

Índice de vegetación ajustado de suelo para estimar efecto de manejo al Norte de Coahuila

Soil adjusted vegetation index to estimate management effect at North Coahuila

Mario Alberto García-Aranda¹ ,
Antonio Moreno-Talamantes² ,
Jaime Sánchez-Salas² ,
Dino Ulises González-Uribe^{3*} 

¹Universidad Juárez del Estado de Durango Facultad de Ciencias Biológicas: Gómez Palacio, Durango, MX. Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia. CP. 35010. Gómez Palacio, Durango. México.

²Especies, Sociedad y Hábitat, A. C, Dalí 410, Col. Misión Real, Apodaca, CP. 66644. Nuevo León, México.

³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: digon_mx@yahoo.com

Nota científica

Recibida: 23 de mayo 2022

Aceptada: 14 de diciembre 2022

Como citar: García-Aranda MA, Moreno-Talamantes A, Sánchez-Salas J, González-Uribe DU (2022) Índice de vegetación ajustado de suelo para estimar efecto de manejo al Norte de Coahuila. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(3): e3368. DOI: 10.19136/era.a9n3.3368

RESUMEN. Se evaluó el efecto sobre cobertura vegetal (CV) por medio de Índices de Vegetación Ajustado de Suelo (SAVI). Los resultados indican tendencias de cambio de 2016 a 2020 bajo distinto manejo en seis predios del APFF, en Ocampo, Coahuila. El índice promedio para 348 832 datos, no mostró normalidad, ni la H Kruskal Wallis indicó diferencias significativas entre valores estimados de predios. Terrenos particulares con manejo de conservación tuvieron valores SAVI altos indicando mayor CV, los comunitarios con manejo ganadero tuvieron valores SAVI bajos y menor CV. De 2016 y 2017 hubo diferencias significativas (H, $P < 0.01$) y estadísticamente similares de 2018 a 2020 mientras que en el 2019 se registraron los mayores valores SAVI. El índice mostró utilidades para cubrir grandes extensiones de terreno en regiones áridas y semiáridas, posibilitando detección de cambios en CV para análisis y planeación del manejo de recursos.

Palabras clave: Imagen satélite, matorral, pastizal, SAVI, sensores remotos.

ABSTRACT. Effects on vegetation cover (VC) are evaluated calculated Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), showing change trends between 2016 and 2020 under different management in six properties of the APFF, Ocampo, Coahuila. Index values and the average generated $n = 348\ 832$ data, showing no normality. Kruskal Wallis H test did not indicate significant differences between the estimated values of terrains. Private lands with conservation management had high SAVI values indicating higher CV, community lands with livestock management had low SAVI values and lower CV. From 2016 and 2017 there were significant differences (H, $P < 0.01$) they were statistically similar, for 2018 to 2020 different, in 2019 the highest SAVI values were recorded. The Index was useful for covering large areas of land in arid and semi-arid regions, making it possible to detect changes in CV for analysis and resource management planning.

Key words: Satellite image, scrubland, grassland, SAVI, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

El Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Ocampo, tiene una superficie de 344 238.23 ha, es parte de un grupo de reservas dentro de la Ecorregión del Desierto Chihuahuense. Su vegetación está representada principalmente por matorrales micrófilo y rosetófilo, además de la presencia de importantes áreas con pastizal y vegetación de tipo ripiara entre cañones y comunidades que contienen biodiversidad propia de la región, El APFF forma parte junto con otras reservas y terrenos cercanos de un corredor biológico que mantiene un flujo entre especies del norte y sur del lugar (SEMARNAT-CONANP 2015).

El APFF Ocampo tiene terrenos bajo diferente régimen de propiedad y manejo de sus recursos naturales; dentro de sus posibilidades los habitantes siguen los objetivos del plan de manejo del APFF (SEMARNAT-CONANP 2015). Los cambios presentes en la cobertura de la vegetación (CV) de la zona se pueden presentar por efecto del clima y el tipo de aprovechamiento de sus recursos; los cuáles se pueden detectar a través de técnicas de sensoria remota (Hu *et al.* 2021, García *et al.* 2022), como la fotografía aérea, imágenes satelitales, y más recientemente el uso de vehículos no tripulados (Veneros *et al.* 2020). Estas herramientas de sensoria remota ayudan a dar seguimiento en grandes extensiones a través de determinados periodos de tiempo, haciendo posible diversas estimaciones temporales de cobertura y mapeos de vegetación (Vani y Mandla 2017, Hu *et al.* 2021, García *et al.* 2022).

El índice de vegetación normalizado (NDVI) y el índice de vegetación ajustado de suelo (SAVI) provienen de imágenes vía satélite (Hu *et al.* 2021, García *et al.* 2022). Particularmente el índice SAVI se ha relacionado con el monitoreo de la CV, sus valores fluctúan alrededor de cero, bajos para coberturas vegetales con más suelo desnudo a valores altos para espacios de cobertura vegetal mayor (Lillesand *et al.* 2007, Schultz *et al.* 2018, García *et al.* 2022). Visualmente puede mostrarse a través de un matiz de colores del rojo al verde, los valores menores se presentan con coloraciones rojizas relacionándolas con menor CV y en caso contrario las

de color verde para valores mayores (García *et al.* 2022). Se han utilizado índices de vegetación para el mapeo de matorrales (Bayle *et al.* 2019), incluso en la dinámica de distribución de combustibles acumulados en matorrales (Li *et al.* 2020). En comprobaciones en campo han mostrado una relación directa y útil en distintas aplicaciones (Rodríguez-Moreno 2013); el índice también ha sido utilizado para monitorear y determinar la degradación forestal (Eid *et al.* 2020, Aljahdali *et al.* 2021). Dado lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto sobre la CV a través del índice SAVI durante el período 2016 a 2020 con la finalidad de mostrar la tendencia en años recientes de la cobertura de la vegetación de los predios estudiados bajo distintos tipos de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en terrenos bajo diferente régimen de propiedad y manejo de sus recursos naturales: 1) Terrenos ejidales con manejo extensivo ganadero y de extracción de recursos forestales no maderables (Jaboncillos 1a ampliación y Jaboncillos 2a ampliación), 2) Predios particulares dedicados al uso ganadero (El Mensajero, Santa Rosa) y, 3) Terrenos particulares asociados en actividades de manejo para rehabilitación y conservación del pastizal (El Mazón, Los Pilares). Los cuales se ubican en la zona Noreste del APFF Ocampo al extremo norte del municipio de Ocampo Coahuila y colindan al este con el APFF Maderas del Carmen (Figura 1).

Procesamiento de imágenes de satélite Landsat 8

Desde la plataforma digital de Visualización Global del Servicio del Interior de los Estados Unidos de Norteamérica (Zanter 2004) se ubicó una escena anual del satélite Landsat 8 disponible entre los años 2016 a 2020. Se eligieron los meses de febrero a abril (21 de marzo de 2016, 24 de marzo de 2017, 23 de febrero de 2018, 15 de abril de 2019 y 13 de febrero de 2020), por tener bajos porcentajes de nubosidad. A las bandas 4 (Rojo, R) y 5 (Infrarrojo cercano, IRC) de cada escena adquirida se les aplicó

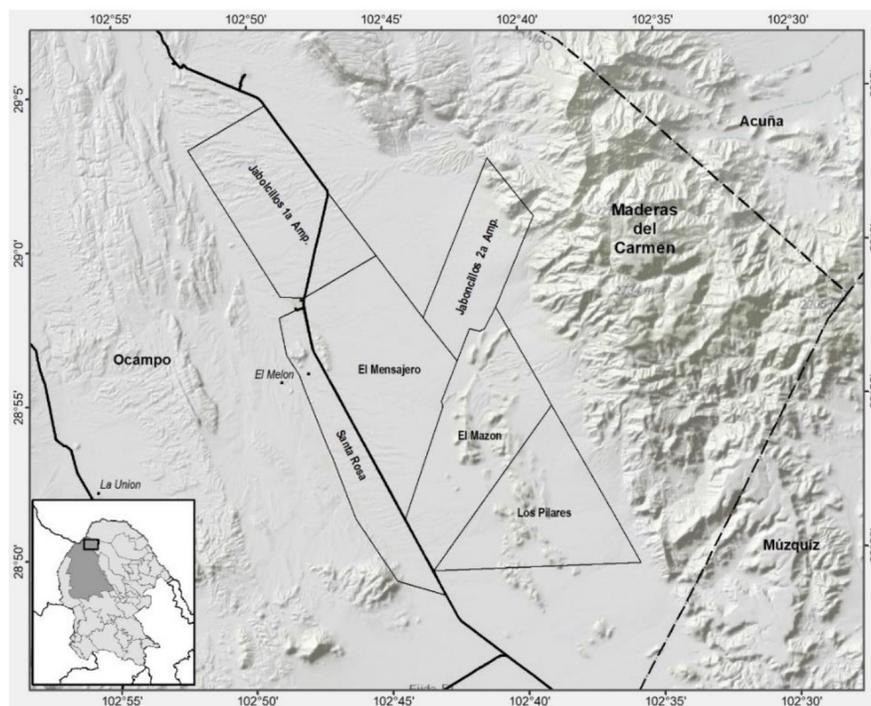


Figura 1. Ubicación de los predios del área de estudio.

un procesamiento de corrección atmosférica con el módulo de clasificación semiautomático de QGIS[®]. Las imágenes se proyectaron en UTM Zona 13 norte, Datum WGS 1984, con el módulo de álgebra de mapas de QGIS[®] 3.16 y con la siguiente fórmula se generó el índice SAVI para cada fecha, representando la variable de estudio.

$$SAVI = \frac{(IRC - R)}{IRC + R + L}$$

Dónde: R = banda del rojo (0.630 - 0.680 μm), IRC = banda del infrarrojo cercano (0.845 - 0.885 μm), L = valor constante de 0.5 (White y Swint 2014) para suelos con vegetación y clima semiárido y templado (SEMARNAT-CONANP 2015).

Registro de valores de índice SAVI

Se utilizó un archivo vectorial con el límite del área de los seis predios de interés, sobre ellos se hicieron recortes del período 2016 a 2020 con índices SAVI generados. Después, fueron transformados del

formato raster TIF a un formato vectorial (shape-file) de tipo puntual, se tomó el valor del pixel con resolución espacial de 30 x 30 m, se obtuvieron n = 348 832 datos. La base de datos tuvo los campos, nombre de cada predio, cinco campos con valores de índice SAVI para el período 2016 a 2020; uno para la estimación del promedio de los cinco años y otro para la desviación estándar. Con el promedio del índice se ponderaron las condiciones cambiantes en precipitación y temperatura en el período de estudio; así se evitaron inconsistencias en los análisis posteriores, se supervisó que los valores obtenidos estuvieran en el rango de -1, 1 (Reddy 2008). Al utilizar el modelo digital de elevaciones CEM 3.0 (Reddy 2008, INEGI 2013, Vani y Mandla 2017), se eliminaron datos de regiones mayores a 15 grados de pendiente de terreno. De esta forma se evitó el efecto de la topografía junto con el cambio de la vegetación de matorral rosetófilo en laderas secas o bosque de encino en laderas más templadas de exposición menos seca.

Análisis estadístico

El archivo final $n = 348\ 832$ datos se concentró en Excel, se les aplicó una prueba de normalidad (Chi-cuadrado de Pearson, $P < 0.01$) a la variable estudiada. Se utilizó el análisis estadístico no paramétrico H de Kruskal-Wallis ($P < 0.01$), para identificar diferencias entre predios en los valores del índice SAVI y por año, luego, se hicieron comparaciones múltiples (U de Mann-Whitney, $P < 0.01$). La obtención de los valores de probabilidad de los estadísticos H y U se hizo con el software R, así como de los estimadores básicos del índice SAVI por predio y por año en el período de estudio (Zar 1999, The R Core Team 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico del índice SAVI

Los estimadores de los valores del índice SAVI se presentan en la Tabla 1. Para el período de estudio, el tamaño de muestra y la prueba de normalidad, no mostraron distribución normal. En la Figura 2 se indican gráficamente los valores del índice SAVI registrados de 2016 a 2020 para los seis predios analizados. Para los años 2016 y 2017 se registran valores bajos, con un repunte entre 2018 y 2019, representando los valores más altos del período de estudio y posteriormente, los valores bajan para el 2020. En este sentido, el valor SAVI mostró fluctuaciones en los primeros tres años, los mayores fueron en Los Pilares, El Mazón y Jaboncillos 1a, y los menores para El Mensajero, Santa Rosa y Jaboncillos 2a. En los últimos dos años, en 2019, Jaboncillos 2a, Jaboncillos 1a y el Mensajero, fueron los más altos y los menores en Los Pilares, Santa Rosa y El Mazón (Figura 2). Si bien hubo variaciones, la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis no mostró diferencias estadísticas ($P > 0.01$) en los predios del área de estudio. La prueba H de Kruskal-Wallis indicó diferencias estadísticas ($P < 0.01$) y la prueba U de Mann-Whitney mostró que los Índices SAVI para 2016 y 2017 fueron estadísticamente similares, sin embargo, para los años 2018, 2019 y 2020 fueron diferentes.

En los cinco años monitoreados, en el 2020 todos los valores disminuyeron, los más altos se observaron en Los Pilares, Jaboncillos 1a y Jaboncillos 2a y los más bajos en El Mazón, El Mensajero y Santa Rosa (Figura 2). Esta variación anual observada puede ser atribuible a las condiciones ambientales predominantes en las fechas analizadas, a la precipitación y temperatura. De acuerdo a la estación climatológica más cercana Ejido San Miguel, Ocampo, Coahuila (CNA 5013), registró para la zona temperaturas mínimas de 2.9 a 5.4 °C, máximas de 28.0 a 35.0 °C y, medias de 17.4 a 26.0 °C. Además, una precipitación mínima de 7.3 a 28.6 mm y máxima entre 49 a 106 mm, éstas condiciones posiblemente afectaron la respuesta de la vegetación y explicarían la variación del índice durante los años observados (Lira-Colorado 2010, Olmos-Trujillo *et al.* 2020). Los altos valores en el índice indican buena salud en vegetación que a su vez guardan estrecha relación con las variables climáticas (Olmos-Trujillo *et al.* 2020). La prueba H de los valores del índice SAVI fueron diferentes ($P < 0.01$). Siendo los dos primeros años similares estadísticamente, mientras que el mayor valor se registró en 2019 y el menor en 2020.

Ambientalmente, los predios compartieron suelo, vegetación y condiciones climatológicas, durante el período de análisis, por lo cual no se detectaron diferencias estadísticas ($P > 0.01$) en el índice SAVI de 2016 a 2020 debido a las condiciones de temperatura y precipitación. La variación que puede presentarse en el índice no es aleatoria, por lo que algunas diferencias podrían estar vinculadas con el terreno, patrones climáticos regionales y procesos de pedogénesis que operan en escalas de tiempo diferentes (Rodríguez-Moreno 2013). Por otro lado, la estimación del promedio del índice de 2016 y 2020 y la desviación estándar mostró un efecto acumulativo en el período estudiado y una tendencia de cambio que se reflejó en los valores del índice y manejo (Eid *et al.* 2020, García *et al.* 2022). Presentando los predios particulares El Mazón, El Mensajero y Santa Rosa, mientras que la menor variación anual, la tuvieron los predios Los Pilares, Jaboncillos 1a y Jaboncillos 2a (Tabla 1).

Tabla 1. Intervalo $\bar{x} \pm s$ para valores de Índice SAVI por predio por año, para todos los años, tamaño de muestra y prueba de normalidad.

Año	Jaboncillos 1a	Jaboncillos 2a	El Mensajero	Santa Rosa	Los Pilares	El Mazon
2016	0.145 ± 0.018	0.150 ± 0.016	0.137 ± 0.018	0.142 ± 0.024	0.162 ± 0.019	0.150 ± 0.017
P > 0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2017	0.144 ± 0.018	0.149 ± 0.016	0.147 ± 0.020	0.147 ± 0.022	0.168 ± 0.023	0.154 ± 0.019
P > 0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2018	0.162 ± 0.022	0.153 ± 0.017	0.162 ± 0.022	0.159 ± 0.022	0.171 ± 0.020	0.170 ± 0.021
P > 0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2019	0.217 ± 0.023	0.221 ± 0.019	0.204 ± 0.022	0.194 ± 0.029	0.202 ± 0.023	0.193 ± 0.019
P < 0.01	**	**	**	**	**	**
2020	0.141 ± 0.016	0.132 ± 0.016	0.133 ± 0.015	0.135 ± 0.018	0.139 ± 0.016	0.135 ± 0.016
P > 0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2016-2020	0.162 ± 0.032	0.161 ± 0.034	0.157 ± 0.029	0.155 ± 0.023	0.168 ± 0.023	0.160 ± 0.022
P > 0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS
n	68 485	35 370	82 918	39 278	61 650	61 131
Chi < P	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

\bar{x} = promedio, s = desviación estándar, NS = No Significativo.

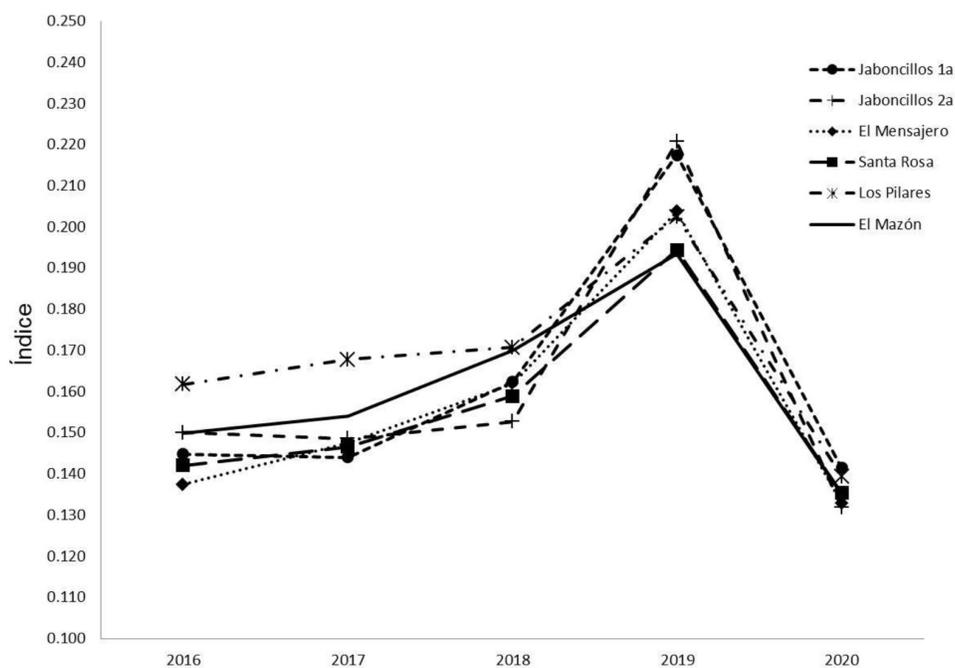


Figura 2. Valores de índice SAVI por año en los predios del área de estudio.

La representación espacial de la distribución de los valores de índice SAVI promedio de los cinco años ordenados en intervalos de clase con color matizado del rojo para valores bajos (menor cobertura) al verde para los valores altos (mayor cobertura) se observan en la Figura 3. La distribución de los valores del índice de 2016 a 2020 muestra la tendencia del manejo en los predios, con valores que variaron de -0.062 (rojo) en zonas con menor CV hasta 0.430

(verde) en terrenos con mayor CV. En los predios Los Pilares, Jaboncillos 1a y Jaboncillos 2a predominaron valores altos de SAVI (tonalidades verdosas), en El Mazón, El Mensajero y Santa Rosa los más bajos (tonalidades rojizas), lo que concuerda con trabajos similares para áreas semidesérticas (Rodríguez-Moreno 2013, Hu *et al.* 2021, García *et al.* 2022).

Las diferencias detectadas en los valores del índice SAVI pueden ser atribuibles al efecto del

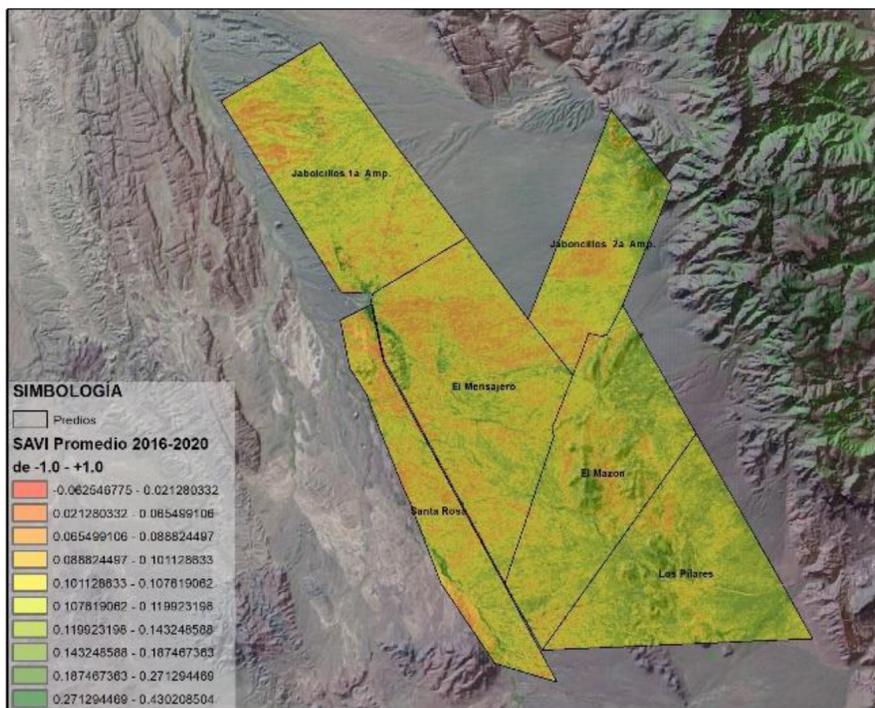


Figura 3. Valores de Índice SAVI promedio de 2016 a 2020.

manejo del terreno y uso de los recursos en los predios de estudio. Por un lado, El Mazón y Los Pilares, tuvieron un manejo que aportó menos impacto a los terrenos, en ellos, se eliminó totalmente el ganado para pastoreo desde el 2000. Por lo que tuvieron rehabilitación y conservación del pastizal, mientras que en Jaboncillos 1a y Jaboncillos 2a hubo manejo ganadero extensivo con un eventual aprovechamiento de recursos forestales no maderables como candelilla, mientras que El Mensajero y Santa Rosa tuvieron manejo ganadero (SEMARNAT-CONANP 2015).

Para el 2019, en la región se calcularon aproximado de 5 139 cabezas de ganado producidas en Ocampo, Coahuila (SDR 2019). Según lo observado en campo, el cálculo fue un número por debajo de la cantidad de animales que pastan en esos predios, lo que en con lo publicado por el Anuario Estadístico Pecuario de 2019. Además, no se consideró el aprovechamiento y comercio informal derivado del manejo del ganado caprino y equino que no está registrado (SEMARNAT-CONANP 2015, SDR 2019).

Los valores de índice SAVI registrados pudieran representar el vigor y estructura del dosel vegetal, por lo que hay la posibilidad de estimar el grado de conservación en los predios estudiados que siguieron los objetivos de los planes de manejo (Rodríguez-Moreno 2013). Si bien no se hizo estimación de biomasa, se sabe que el índice podría no tener una estricta relación con la biomasa superficial presente (Rodríguez-Moreno 2013, Fajji *et al.* 2017). Sin embargo, el SAVI ha tenido un buen desempeño para análisis rápidos en zonas con escasa precipitación y en condiciones similares al área de estudio (Fajji *et al.* 2017, García *et al.* 2022).

Es posible detectar cambios en la cobertura vegetal para ser analizados en la planeación del manejo de recursos naturales del lugar en un período de tiempo. Debido a su manejo ganadero, existen predios que muestran menor estado de conservación con menor CV, además de predios con manejo extensivo ganadero y de extracción de recursos forestales no maderables. Además de predios con mayor estado de conservación asociados a actividades de

manejo de rehabilitación del pastizal, lo que indica mayor CV y valores de índice SAVI. Con este tipo de análisis es posible detectar lugares donde se aplican prácticas de aprovechamiento de bajo impacto que aportaron alternativas para los productores en predios ejidales donde es necesario disponer de la CV en forma continua. La información proporcionada en las imágenes Landsat 8, generó un historial en forma periódica, algo con lo que no se contaba y que mostró tendencias para proyectar planes a futuro en el área de estudio a través del Índice.

AGRADECIMIENTOS

A Naturaleza sin Fronteras AC, por las facilidades prestadas en la visita a campo y el uso de las instalaciones en el Wildernes, El Carmen de CEMEX, sitio de la investigación durante 2019 a 2021. A la Facultad de Ciencias Biológicas campus Gómez Palacio, Durango, de la Universidad Juárez del estado de Durango, por ser la Institución de apoyo en la investigación.

LITERATURA CITADA

- Aljahdali M, Munawar S, Khan W (2021) Monitoring Mangrove Forest Degradation and Regeneration: Landsat Time Series Analysis of Moisture and Vegetation Indices at Rabigh Lagoon, Red Sea. *Forests* 12: 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12010052>.
- Bayle A, Carlson BZ, Vincent T, Marc I, Philippe CI, *et al.* (2019) Improved Mapping of Mountain Shrublands Using the Sentinel-2 Red-Edge Band. *Remote Sens.*, MDPI 11: 23. DOI: 10.3390/rs11232807.
- Eid ANM, Olatubara CO, Ewemoje TA, El-Hennawy MT, Farouk H (2020) Inland wetland time-series digital change detection based on SAVI and NDWI indices: Wadi El-Rayan lakes, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 19: 1-36. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100347.
- Fajji NG, Palamuleni LG, Mlambo V (2017) Evaluating derived vegetation indices and cover fraction to estimate rangeland aboveground biomass in semi-arid environments. *South African Journal of Geomatics* 6: 333-348.
- García AM, Talamantes AM, Sánchez SJ, Muro PG, González UDU, Delgadillo VJA (2022) Conservación de la cobertura vegetal en Maderas del Carmen Coahuila, análisis multitemporal con índice SAVI. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13: 53-75.
- Hu P, Sharifi A, Tahir M, Tariq A, Zhang L, Mumtaz F, Shah S (2021) Evaluation of vegetation indices and phenological metrics using time-series modis data for monitoring vegetation change in Punjab, Pakistan. *Water* 13: 1-15. DOI: 10.3390/w13182550.
- INEGI (2013) Continuo de elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>. Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022.
- Li Z, Hua S, Vogelmann JE, Hawbaker TJ and Peterson B (2020) Assessment of fire fuel load dynamics in shrubland ecosystems in the United States using MODIS products. *Remote Sens* 12: 2-17.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W, Chipman, J.W. (2007) *Remote sensing and image interpretation*. 6th Edition, John Wiley & Sons, New York. 756p.
- Lira-Colorado R (2010) Estaciones climatológicas en Google Earth. Manual de usuario. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. 17p.

- Olmos-Trujillo E, González-Trinidad J, Júnez-Ferreira H, Pacheco-Guerrero A, Bautista-Capetillo C, Avila-Sandoval C, Galván-Tejada E (2020) Spatio-Temporal Response of Vegetation Indices to Rainfall and Temperature in A Semiarid Region. *Sustainability* 12: 1939. DOI: 10.3390/su12051939.
- Reddy MA (2008) Textbook of remote sensing and geographical information systems. 3th Edition. BS Publications. Hyderabad, India. 453p.
- Rodríguez-Moreno VM, Bullock S (2013) Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 611-623.
- Schultz M, Shapiro A, Clevers JGPW, Beech C, Herold M (2018) Forest cover and vegetation degradation detection in the Kavango Sambezi Transfrontier Conservation Area Using BFAST Monitor. *Remote Sensing* 10 (11): 1850. DOI: 10.3390/rs10111850.
- SDR (2019) Anuario Estadístico Pecuario. Secretaría de Desarrollo Rural. Gobierno del estado de Coahuila. <http://seder.coahuila.gob.mx/>. Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022.
- SEMARNAT-CONANP (2015) Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Ocampo. Ciudad de México, México: Talleres de Amelia Hernández Ugalde. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/146_libro_pm.pdf. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022.
- The R Core Team (2017) R: A Language and Environment for Statistical Computing Reference Index Version 3.4.2 (2017-09-28). Vienna, Austria. 536p.
- Vani V, Mandla V (2017) Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur district semi-arid areas. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 8: 559-566.
- Veneros J, Jaris, García L, Eli M, Gómez V, Torres, Mariana, López-Morales F (2020) Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESIA* 38: 99-107.
- White JD, Swint P (2014) Fire effects in the northern Chihuahuan Desert derived from Landsat-5 Thematic Mapper spectral indices. *Journal of Applied Remote Sensing* 8: 1-12. DOI: 10.1117/1.JRS.8.083667.
- Zanter KM (2004) The US Geological Survey's Global Visualization Viewer. AGU Fall Meeting Abstracts 21: 1. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2004AGUFMSF21A0016Z>. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022.
- Zar JH (1999) Biostatistical analysis. 4th Edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 661p.