



DOI: [10.29298/rmcf.v14i79.1356](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1356)

Artículo de Investigación

Análisis temporal de uso del suelo en un sitio Ramsar (Núm. 1981) en el centro de Nuevo León

Temporary analysis of land use in a Ramsar site (No. 1981) in central *Nuevo León*

Marco Antonio Medina García¹, Laura M. Scott-Morales^{1*}, Patricia Vela Coiffier², Mauricio Cotera Correa¹, Eduardo Estrada Castellón¹

Fecha de recepción/Reception date: 13 de marzo de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de julio de 2023.

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. México.

²Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Laboratorio de Sistemas de Información Georreferenciada. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: morasgurrola@gmail.com

*Corresponding author; e-mail: morasgurrola@gmail.com

Resumen

Los servicios ecosistémicos de los humedales son fundamentales para la sustentabilidad de las sociedades por su aporte alimentario y regulación del clima; su gradual deterioro agudiza la crisis ambiental y disminuye la calidad del agua. Los sitios Ramsar fueron creados para la protección de los humedales del Planeta, con el objetivo de preservar la integridad y el mantenimiento de sus características biológicas. Este estudio describe la situación del Sitio Ramsar Núm. 1981 ubicado al noreste de México. Con apoyo de imágenes con vista satelital y mapas de uso de suelo, se contabilizó el cambio de uso de suelo por un periodo de 44 años, analizado en tres instantáneas temporales: 1975, 2003 y 2019. Se comprobó una reducción substancial del humedal y su zona de influencia. Se registró una pérdida de 84 % en área inundable, el matorral decreció 36 % y la zona agrícola y el pastizal incrementaron su superficie en 547 % y 284 %, respectivamente. Dicho aumento ocurrió a expensas del área inundable, posiblemente causado por los prolongados periodos de sequía durante las últimas décadas. Es importante reconocer que en México no se ha legislado específicamente para la protección de los humedales, por lo que decretar un sitio Ramsar no es suficiente para frenar o revertir los procesos de deterioro ambiental. Es necesario mejorar la gestión de las leyes vigentes y desarrollar un plan de manejo adaptativo sujeto a los cambios hídricos provocados por el cambio climático, el manejo inadecuado de las cuencas y la falta de cobertura natural.

Palabras clave: Agricultura, cambio de uso de suelo, conservación, humedal, México, Ramsar.

Abstract

The ecosystem services provided by wetlands are central to the sustainability of societies through their contribution to food supply and climate regulation. The gradual deterioration of these ecosystems exacerbates the environmental crisis and the deterioration of water quality. Ramsar Sites were created for the protection of the world's wetlands, with the aim of preserving the integrity and maintenance of their biological character. This study presents the situation of Ramsar Site No. 1981 which is in north-eastern Mexico, using satellite images and land use maps, land use change is accounted for a period of 44 years analysed in three temporal snapshots: 1975, 2003 and 2019. The flooded area decreased by 84 %, scrubland decreased by 36 % and agricultural area increased by 547 %, and grassland by 284 %. The area increased at the expense of floodplain cover, possibly caused by prolonged periods of drought over the last few decades. It is essential to recognise that Mexico has not legislated specifically for the protection of Wetlands, therefore decree a system of Ramsar is not enough to stop or reverse the processes of environmental degradation. It is necessary to improve the management of existing laws and develop an adaptive management plan subject to hydrological changes due climate change, inadequate watershed management and lack of natural cover.

Key words: Agriculture, land use change, conservation, wetland, Mexico, Ramsar.

Introducción

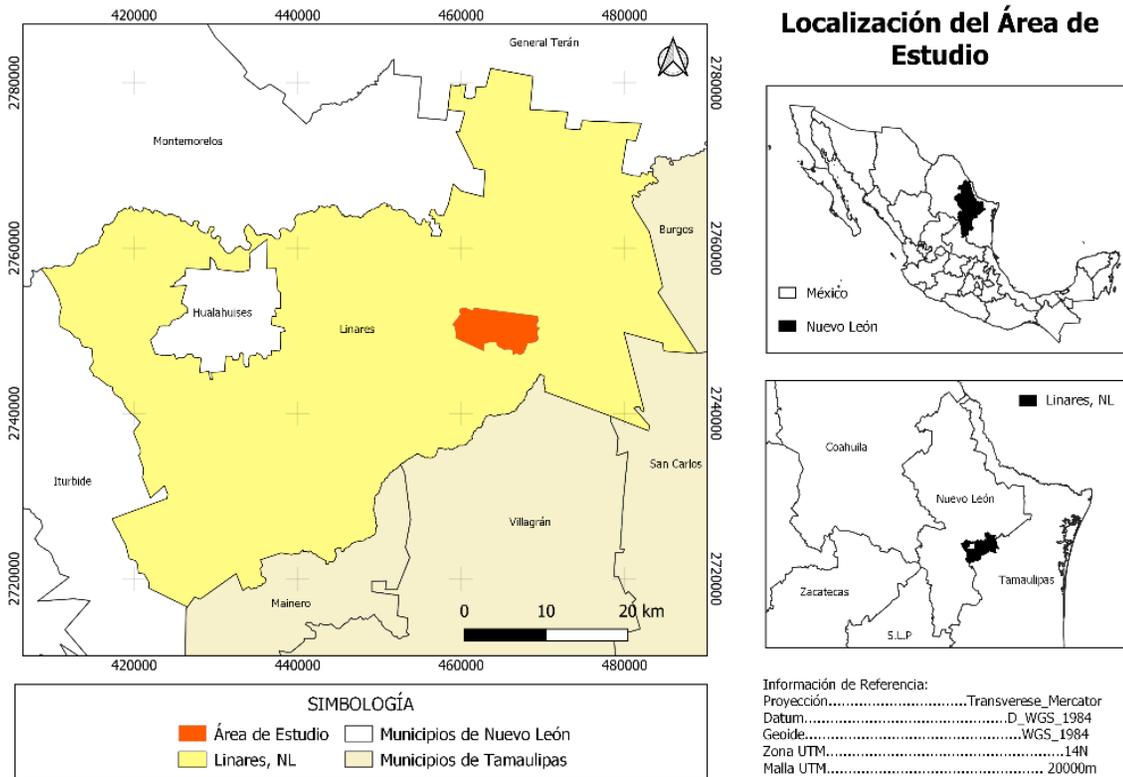
Los humedales son ecosistemas que por su origen, forma, biodiversidad, sistema hídrico y biogeoquímico se clasifican como únicos, también se consideran ecosistemas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres (Cowardin *et al.*, 1979), e intervienen directa o indirectamente en el ciclo global del agua (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018). Los servicios ecosistémicos que brindan los coloca en una parte fundamental para la sustentabilidad de algunas sociedades, pues de ellos se obtienen productos pesqueros, algas, arroz, fibra y otros insumos directos e indirectos. Solo en 2020 se generaron 214 millones de toneladas de productos de pesquería que se obtuvieron de los humedales, lo que redituó en \$ 151 billones de dólares americanos para el mismo año (FAO, 2022).

Otros bienes intrínsecos de los humedales se vinculan al bienestar social y cultural, como constatan estudios en el reciclaje de agua, satisfacción recreacional y estética, regulación de clima, transmisión de valores de conocimiento, entre otros (Rochgiyanti y Susanto, 2017; Clarke *et al.*, 2021; Agaton y Guila, 2023).

La aportación de servicios de los humedales, no obstante, está en riesgo a escala global por la conversión continua de este ecosistema hacia "otros usos productivos"; por ello, frecuentemente, son drenados o modificados para usos agrícolas o para asentamientos humanos (Amenu y Mamo, 2018). Detener o revertir los impactos negativos sobre los humedales requiere de una acción mundial, razón por la cual,

en 1971 se creó la Convención sobre los Humedales (Convención de Ramsar), que entró en vigor hasta 1975. Este acuerdo entre países tiene como objetivo central la conservación y el uso racional de los humedales a partir tanto de la idea del uso racional, como del mantenimiento de sus características ecológicas. La Convención de Ramsar identifica humedales de relevancia internacional, en especial aquellos que proporcionan hábitat para aves acuáticas (Ramsar, 2023a).

De acuerdo con el sitio *Web* de Ramsar, actualmente México tiene 144 sitios designados como humedales de importancia internacional (sitios Ramsar), que cubren 8 721 911 ha (Ramsar, 2023b), lo que equivale a 1.69 % de su superficie territorial total. Representan humedales de diferente origen y regulación hídrica, siete de ellos se ubican en el noreste de México (Ramsar, 2023c); de estos, destaca el sitio Núm. 1981 (Figura 1) por ser fuente de aguas azufrosas que albergan especies endémicas de peces y es hábitat de aves migratorias, como la grulla gris (*Antigone canadensis*, Linnaeus 1758) (eBird, 2023). Además, es un emblema en el noreste mexicano, su sistema hidrogeoquímico es único en Nuevo León y permite la formación de tapetes microbianos (Chacon-Baca *et al.*, 2015), así como la presencia de ictioespecies endémicas (Lozano-Vilano *et al.*, 2021); sin embargo, la presión agrícola y pecuaria ha modificado su paisaje durante las últimas décadas (Benítez, 1997).



Sitio Ramsar Núm. 1981.

Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio en el municipio Linares, Nuevo León, México.

La escasa información que se genera en México sobre los humedales, específicamente del interior (no costeros), acrecientan la incertidumbre de su futuro. El presente estudio se enfoca en analizar el cambio de uso de suelo en el Sitio Ramsar Núm. 1981 (Figura 1) en un periodo de 44 años (1975 a 2019), con la finalidad de determinar el deterioro y cambios significativos que modifiquen su superficie e identificar perturbaciones en su zona de influencia.

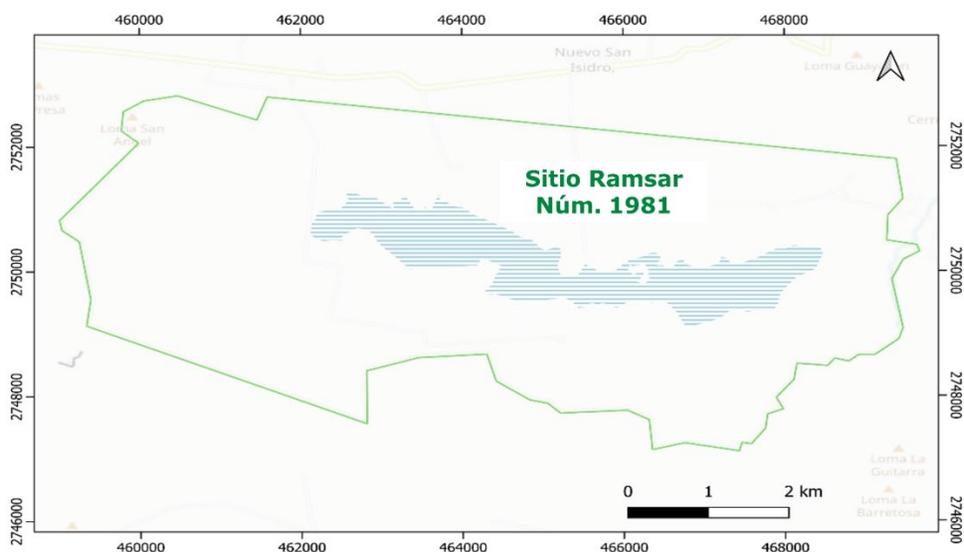
Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio fue decretada como Zona Sujeta a Conservación Ecológica (ZSCE) el 24 de noviembre de 2000 y comprende una superficie de 4 225.40 ha, consta de un humedal en el que se incluye un manantial hidrotermal de aguas azufrosas rodeado de un pastizal natural inundable (Cantú, 2001). En los márgenes meridionales del pastizal se desarrolla una comunidad de Matorral Espinoso Tamaulipeco. En 2009, la totalidad de la ZSCE se declaró Sitio Ramsar (Cantú, 2009).

Delimitación del área de estudio

Se importó una capa de *Tesela raster* (conocida en inglés como *Tile server*) del sitio web *OpenStreetMap* (2021), que contiene el polígono del Sitio Ramsar Núm. 1981. En *QGIS* 3.32.2 (QGIS Development Team, 2021) se creó una capa vectorial en formato *Shapefile* de *ESRI*® (.shp) con geometría polígono y con proyección WGS 84/UTM Zona 14N, en ella se trazó el área de estudio con la herramienta “añadir polígono” que se apoyó en las líneas verdes marcadas por el mapa de *OpenStreetMap* (Figura 2).



El contorno verde muestra el polígono del Sitio Ramsar, y el área con barreado azul representa el cuerpo de agua.

Figura 2. Imagen de *OpenStreetMap* empleada en la delimitación del Sitio Ramsar Núm. 1981.

Para corroborar que la superficie fuera correcta, se empleó la herramienta calculadora de campos. Debido a que este programa trabaja con metros como unidad predeterminada, en la calculadora de campos se utilizó la fórmula $\$area/10\,000$ para expresar el valor obtenido en hectáreas. El valor resultante fue 4 225.40 ha, lo que concuerda con la superficie establecida como área de estudio y valida el polígono creado.

Fuentes de datos para cambio de uso de suelo

La aproximación del estado actual del humedal Ramsar Núm. 1981 se obtuvo mediante comparación de imágenes con vista satelital y de un mapa de uso de suelo y vegetación de 1975 obtenido del Programa de Manejo del Área Natural Protegida (Cantú *et al.*, 2001), que se extrajo en formato JPG desde su formato original (PDF). De los atributos contenidos en este mapa, se seleccionaron los tipos de vegetación que se consideran en el presente estudio (Cuadro 1). Para cuantificar los cambios ocurridos a través del tiempo, se usaron imágenes con vista satelital correspondientes a los años 2003 y 2019 con fecha de julio y agosto, respectivamente (fechas más cercanas disponibles) que se obtuvieron de la plataforma *Google Earth*® disponibles de manera pública. El criterio de selección se basó en la imagen más antigua y reciente con una resolución de 15 m por pixel, suficiente para la discriminación de los tipos de uso de suelo; así, se generaron imágenes JPG con la resolución máxima aceptada (4 000×2 000 píxeles).

Para lograr las imágenes, se cargó la capa del polígono del área de estudio en formato SHP en el *software Google Earth Pro*® (Mendenhall y Wrona, 2018; Gabrielli *et al.*, 2020). Posteriormente, se posicionó la vista aérea (de las fechas seleccionadas) sobre el polígono del área de estudio y se exportó cada imagen en formato JPG. Este formato no incluye las coordenadas geográficas, por lo que todas las imágenes generadas se georreferenciaron. Para facilitar el proceso, cada imagen obtenida de *Google Earth*® se exportó con una capa del polígono visible del área de estudio, para ello se emplearon los vértices del polígono como puntos de control. La georreferenciación se realizó utilizando la herramienta "Georreferenciar", a partir de un tipo de transformación y muestreo lineal, y se le asignó la proyección EPSG: 32 614-WGS 84/UTM Zona 14N. El producto georreferenciado fue exportado en formato *raster GeoTIFF* y tuvo un error de 20.73 m. Los rásters generados se cargaron en *QGIS 3*; y a las vistas de satélite de 2003 y 2019 se les aplicó un filtro

de saturación de color de +100. Este incremento en la saturación permite una mejor distinción a simple vista de las coberturas y otros elementos del paisaje.

Cuadro 1. Esquema de reclasificación para el mapa de uso de suelo y vegetación de 1975.

Clasificación original (1975)	Reclasificación
Matorral Espinoso Tamaulipeco	Matorral
Matorral Submontano	Matorral
Mezquital	Matorral
Pastizal	Pastizal
Agricultura de Riego	Área agrícola
Agricultura de Temporal	Área agrícola
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua
Pantano	Área inundable

Clasificación del uso de suelo

Para hacer coincidir la clasificación de la vegetación entre los años 1975, 2003 y 2019, se reclasificaron el uso de suelo y la cobertura vegetal (Cuadro 1).

Análisis de cambios de coberturas

Los cambios temporales de cobertura 1975-2003 y 2003-2019 se analizaron con la herramienta *Land Change Modeler for Ecological Sustainability (LCM)* disponible en *IDRISI Selva 17.0* (Clark Labs, 2022) en la cual se sigue una metodología estandarizada para analizar patrones de cambio de uso de suelo y vegetación (Humacata, 2019; Gupta y Sharma, 2020). Previamente, se generaron capas ráster en formato RST a partir de las capas vectoriales SHP con valores del 1 al 7, asignando un valor a cada tipo de cobertura de suelo (Cuadro 2). A la superficie de fondo de la imagen (sin datos) le correspondió el valor 0.

Cuadro 2. Valores asignados a cada cobertura de suelo para ser procesados por la herramienta *Land Change Modeler* de *IDRISI*.

Cobertura	Valor asignado
Agricultura	1
Matorral	2
Pastizal	3
Área inundable	4
Agua	5
Infraestructura	6
Sin vegetación aparente	7

Todas las imágenes utilizadas deben poseer el mismo formato, extensión, sistema de proyección, geometría y categoría (Eastman, 2012). Este procedimiento resulta en gráficos y mapas con evaluación de los cambios de pérdida, ganancia y persistencia en formato nativo de *IDRISI* que en este caso se exportaron después a formato IMG para su evaluación en un sistema de información geográfica.

Comprobación de diferencias en coberturas

Los valores de superficie expresados en hectáreas que se obtuvieron de las capas vectoriales, se introdujeron en el paquete estadístico *PAST* (Natural History Museum, 2021) para realizar una prueba de χ^2 para tablas de contingencia (Hausner *et al.*, 2015). La prueba contrasta frecuencias observadas con las frecuencias esperadas de acuerdo con la hipótesis nula y sirve para calcular la intensidad de la asociación entre los datos.

Resultados

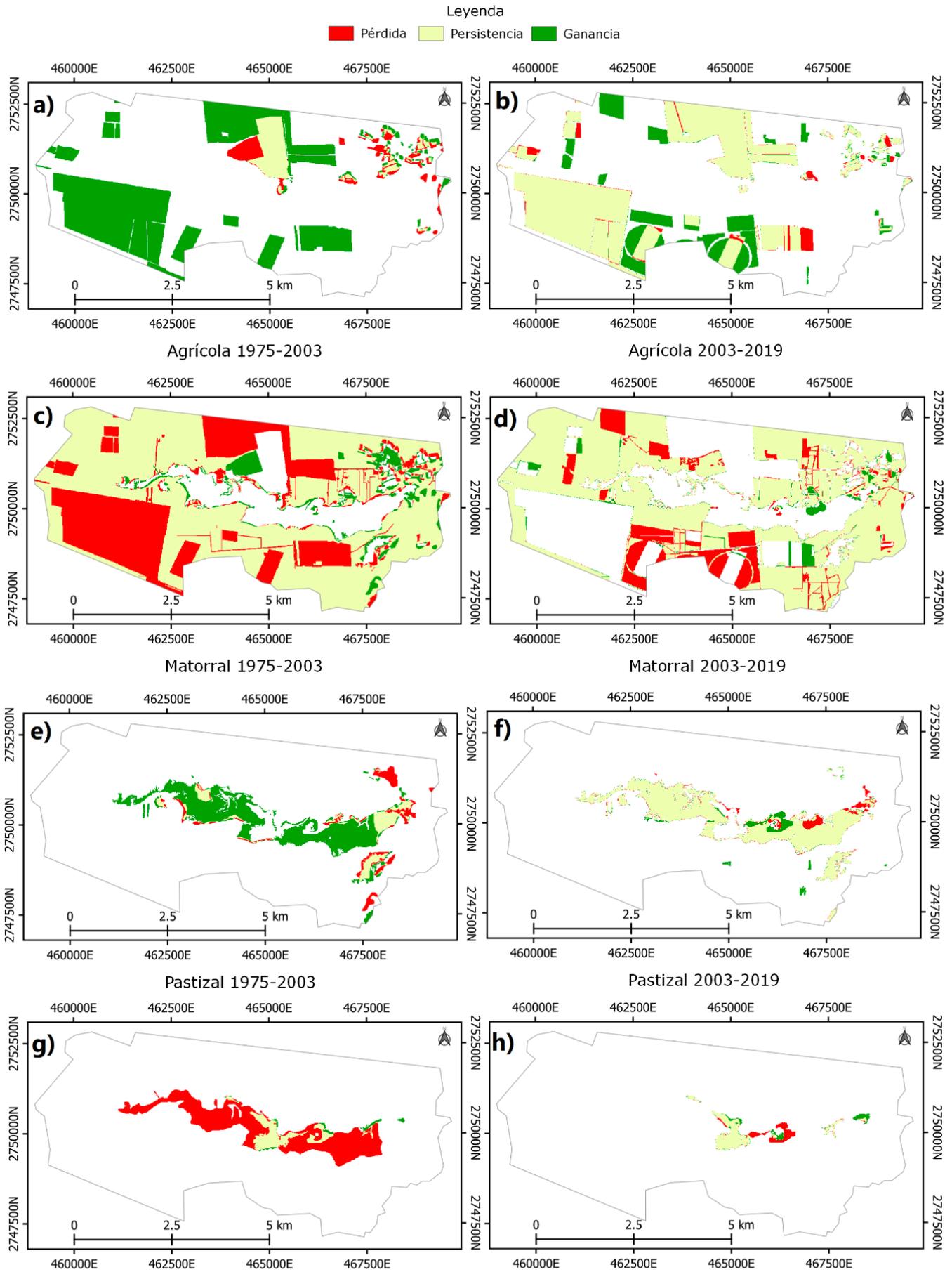
En 1975 no se tuvieron registros de la presencia de la clase sin vegetación aparente (SVA) e infraestructura debido a la falta de detalle del mapa de origen sin embargo, es factible apreciar la reducción y el incremento sustancial en las coberturas naturales del sitio y la expansión de la actividad antrópica (Cuadro 3; Figura 3).

Cuadro 3. Superficie del tipo de cobertura para los años 1975, 2003 y 2019, expresadas en hectáreas y porcentaje con respecto a la superficie total.

Cobertura	Superficie (ha)			Superficie (%)		
	1975	2003	2019	1975	2003	2019
Agricultura	252.86	1 138.53	1 384.53	5.98	26.94	32.76
Matorral	3 414.16	2 490.62	2 185.40	80.80	58.95	51.72

Pastizal	157.80	445.95	447.81	3.73	10.55	10.60
Infraestructura	0.00	10.79	13.62	0.00	0.26	0.32
Agua	0.23	1.22	1.08	0.01	0.03	0.03
Área inundable	400.35	79.62	70.08	9.48	1.88	1.66
SVA	0.00	58.87	123.23	0.00	1.39	2.92
Total	4 225.40	4 225.40	4 225.40	100	100	100

SVA = Sin vegetación aparente.



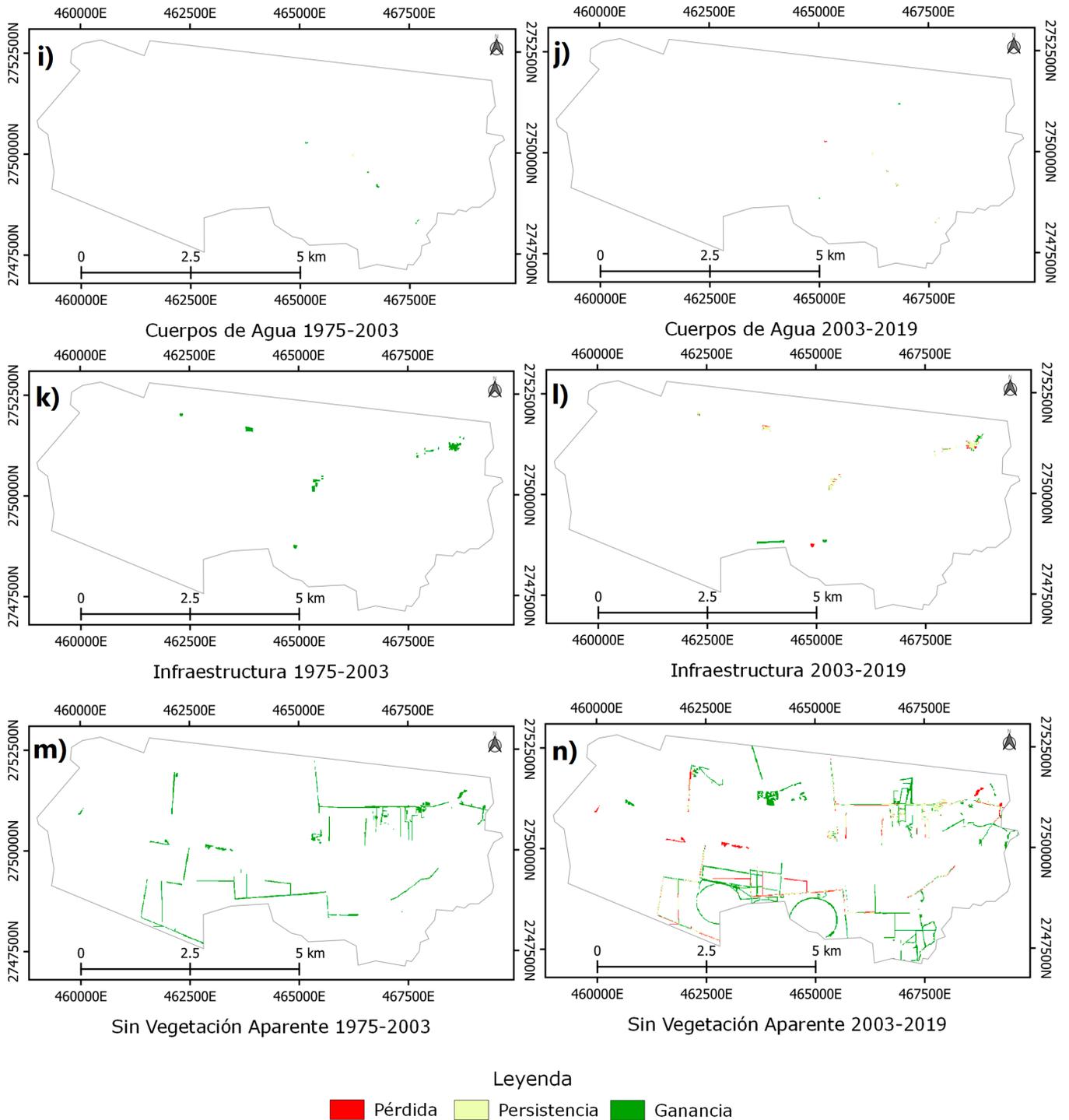
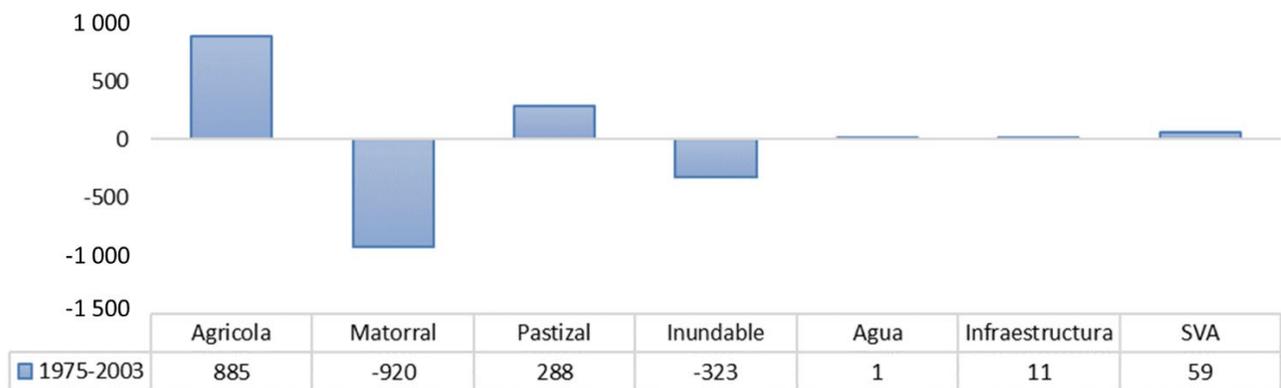


Figura 3. Cambio de uso de suelo por año, línea base el año 1975.

Los cambios más sobresalientes se muestran en la Figura 3. En ella se puede apreciar que los más notables correspondieron a la pérdida de cobertura de matorral y área inundable, para un incremento de la misma magnitud en áreas agrícolas y en el pastizal respectivamente, los cuales fueron principalmente en el periodo de 1975 a 2003 (Figura 3a-3h). Los cambios mínimos o poco aparentes se presentaron en cuerpos de agua, infraestructura y SVA para los periodos analizados (Figura 3i-3n).

El análisis del cambio de uso de suelo entre 1975 y 2003 (Figura 4) evidenció modificaciones relevantes de coberturas de matorral (-22 %), área inundable (-7.6 %), pastizal (+7 %) y área agrícola (+21 %). Cambio menor en agua e infraestructura y moderado en SVA.

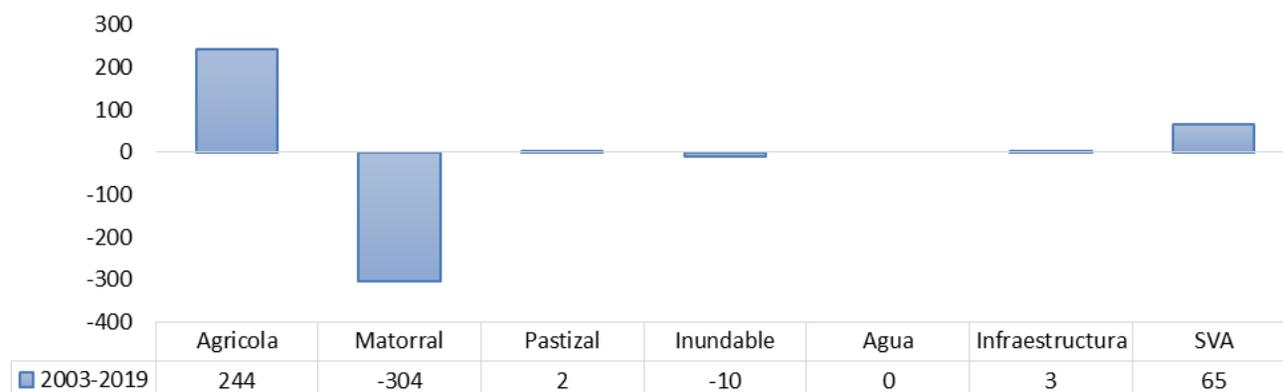


SVA = Sin Vegetación Aparente. Los valores negativos indican una pérdida en el tipo de cobertura.

Figura 4. Cambios de cobertura en el Sitio Ramsar Núm. 1981 durante el periodo 1975-2003 expresado en hectáreas.

La expansión agrícola continuó durante el periodo comprendido entre 2003 y 2019, con un incremento de 7 % e igual proporción de pérdida para el matorral. El pastizal

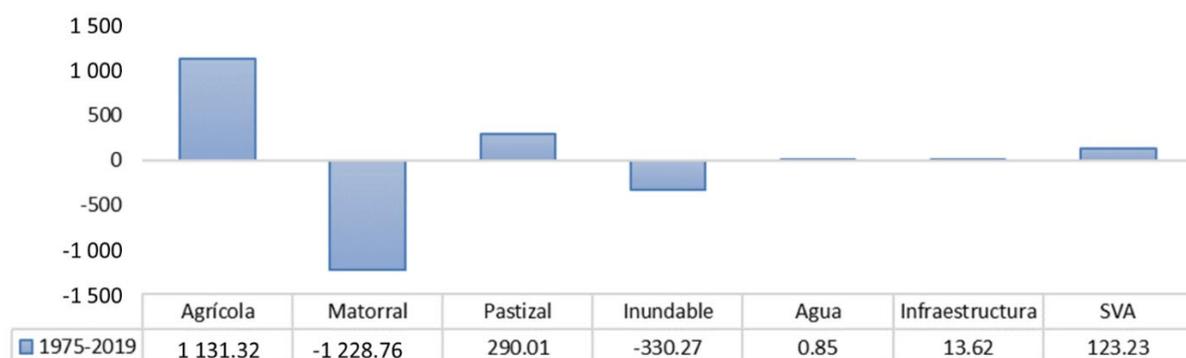
y los cuerpos de agua se mantuvieron sin cambios significativos en su cobertura, al igual que la infraestructura y la zona inundable (0.22 %), y SVA se modificó en bajos porcentajes (2 %) (Figura 5).



SVA = Sin Vegetación Aparente.

Figura 5. Cambios de cobertura en el Sitio Ramsar Núm. 1981 durante el periodo 2003-2019 expresado en hectáreas.

Los cambios totales de cobertura ocurridos en un periodo de 44 años (1975-2019) fueron considerables, como se muestra en la Figura 6. Los mayores incrementos se observaron en agricultura (de 253 a 1 384 ha) y en pastizal (de 158 a 448 ha), lo que contrasta con la notoria pérdida de matorral (de 3 414 a 2 185 ha) y área inundable (de 400 a 70 ha). Ganancias pequeñas se presentaron para infraestructura (de 11 a 14 ha) y agua (0.23 a 1 ha).



SVA = Sin Vegetación Aparente.

Figura 6. Cambios de cobertura totales en el Sitio Ramsar Núm. 1981 durante un periodo de 44 años (1975-2019).

Los cambios observados en el periodo analizado fueron significativos en la mayoría de las clases de uso de suelo ($p=0.000001$; Cuadro 4). Únicamente, los cuerpos de agua (agua) permanecieron sin modificación aparente, quizás por ser abastecidos de forma subterránea.

Cuadro 4. Valores de p residuales de la tabla de contingencia de X^2 (12 grados de libertad).

	1975	2003	2019
Agrícola	5.0101E-195*	8.934E-21*	2.268E-93*
Matorral	4.5364E-167*	6.1467E-15*	3.1081E-87*
Pastizal	3.206E-40*	4.4711E-11*	1.9156E-11*
SVA	NA	NA	1.8855E-23*
Agua	0.3155E	0.61493	0.6153
Inundable	8.5039E-91*	9.050132E-22*	1.855E-25*
Infraestructura	NA	NA	0.017788*

SVA = Sin Vegetación Aparente. NA = No aplica.

Discusión

Los resultados confirman una pérdida significativa de cobertura en el Sitio Ramsar Núm. 1981. Se comprobó una casi extinción del área inundable al perder 84 % de su superficie y ser reemplazada por pastizal. La expansión de la frontera agrícola fue causante de la pérdida de matorral (36 %) al ocupar inicialmente 6 % de la superficie total del área, hasta 33 % en 2019. Aunado a la pérdida de la cobertura original y de acuerdo con las imágenes generadas, se advierte una modificación del paisaje, principalmente, en las inmediaciones de lo que antes fue el área inundable, lo que es posible que haya interrumpido el flujo natural de agua hacia el área inundable y las pozas; lo que modificó, además, los niveles de evaporación y la protección a la erosión.

Esta degradación y modificaciones en el Sitio Ramsar Núm. 1981 concuerdan con otras investigaciones realizadas en humedales mexicanos, en las cuales se cita la desecación y la pérdida de la cobertura autóctona por efectos de la urbanización, agricultura, acuacultura y la industria (Merlín-Uribe *et al.*, 2012; Castellanos-Navarrete, 2021; Ballut-Dajud, 2022), proceso que sucede en la mayoría de estos ecosistemas en el mundo (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018). Lo anterior, coincide con lo indicado por Benítez (1997), quien afirma que el mayor cambio de uso de suelo en el área de estudio se debió a un incremento de la zona agrícola, y confirma que la reducción de la cubierta del matorral fue causada por el desmonte, la extracción selectiva de elementos leñosos y las prácticas de sobrepastoreo extensivo.

A la fecha, los casos más exitosos de recuperación de la integridad ecológica de estos sitios, considera la inclusión de los pobladores locales que utilizan los recursos que estos ecosistemas generan. Ejemplo de ello son las comunidades Rarámuri y los tenedores de tierra en Chihuahua, donde en conjunto con las organizaciones no gubernamentales (ONG) concientizan a la población local para optimizar el uso del agua del manto freático y almacenar agua de lluvia para evitar estrés hídrico, realizar acciones concretas de mitigación de la erosión (cercos vivos) (Briggs *et al.*, 2020) o variar las prácticas agrícolas (Sarkar *et al.*, 2020). Empoderar a los actores directos con base en el recurso y la calidad de vida que los humedales brindan, parece ser la mejor vía para conservar y perpetuar los servicios ambientales vinculados a este ecosistema (Rochgiyanti y Susanto, 2017; Pedersen *et al.*, 2019).

La gobernanza del Sitio Ramsar Núm. 1981 es esencial para lograr recuperar su integridad biológica, la cual debe ser inclusiva, transparente y en equidad con las poblaciones en el área de influencia (Mauerhofer, 2015); ya que sus actividades impactan directamente la hidrología, toda vez que el uso de suelo periférico fragmentó notoriamente el paisaje.

El uso del agua para fines agrícolas también repercute de forma importante en su hidrología debido a cambios en el flujo que ocasionan las zonas agrícolas, como se ha referido en el pasado para otras regiones (McCauley y Jenkins, 2005). Estudios más detallados se requieren para conocer el abastecimiento hídrico subterráneo del Sitio Ramsar Núm. 1981. La pérdida de vegetación autóctona y la ganancia de superficie agrícola refleja la falta de acciones concretas que se observan en la Política Nacional de Humedales, cuyo objetivo es conservar las cuencas hidrológicas y su componente biológico (Semarnat, 2018). Esto es reflejo de una legislación pocas veces observada, además de no ser específica a estos ecosistemas y que, lamentablemente, no presenta acciones integrales y transversales, lo que dificulta la coordinación para su conservación (CEDRSSA, 2021).

Una revisión rápida de las imágenes de satélite históricas disponibles en *Google Earth*[®] y la consulta de los datos históricos de la precipitación de la estación meteorológica Cerro Prieto (1950-2010) (Servicio Meteorológico Nacional, 2011), comprueban una prolongada sequía durante las últimas décadas, lo que potencialmente influyó en el sistema hídrico, ya que el suelo se desecó y el agua superficial se evaporó. Los cambios hídricos experimentados en las últimas décadas por un manejo inadecuado exponen los riesgos del cambio climático y la deforestación, incluso la pérdida de especies endémicas (Lozano-Vilano *et al.*, 2021), la reducción de especies vegetales semiacuáticas presentes en las áreas inundables como *Carex* L. spp. y *Cyperus* L. spp., constatan la pérdida de diversidad biológica que paulatinamente ocurre en el sitio.

Pérez (2017) propuso que el flujo subterráneo que controla el Sitio Ramsar Núm. 1981 tiene su origen en la Sierra Madre Oriental (SMO), lo que es coincidente con las conclusiones de Cantú y González (2002) quienes mencionan la importancia de los bosques de encino, pino y pino-encino para el escurrimiento y aprovechamiento hídrico en la SMO. Esta información vinculante deja en claro que la conservación de la cobertura vegetal en la cuenca donde se ubica el Sitio Ramsar Núm. 1981 es prioritaria, si el objetivo es preservar su funcionalidad.

De acuerdo con Landgrave y Moreno-Casasola (2012), México ha perdido 62 % de sus humedales, y Nuevo León es uno de los estados con mayor disminución (>50 %). En la actualidad no existe un estudio que actualice las condiciones de estos sitios en el país; el Inventario Nacional de Humedales recopila e integra la base de datos más completa; sin embargo, falta un monitoreo periódico de ellos a nivel nacional. Por lo tanto, las pequeñas o grandes aportaciones que proporcionen estudios como este apoyarán a identificar su estado actual, principalmente, los del interior (no costeros), cuya información es muy escasa.

Es fundamental reconocer que un sistema Ramsar (o Área Natural Protegida) no es suficiente para frenar o revertir los procesos de su deterioro ambiental. Se

requieren de leyes y acciones específicas que garanticen la perpetuidad de los reservorios de agua dulce. Las áreas naturales protegidas están sujetas a diversas amenazas (Maass *et al.*, 2010), además son vulnerables a los esquemas de manejo de sus superficies colindantes, e incluso dentro de la misma área protegida debido a que en muchas ocasiones existe infraestructura inapropiada dentro de ellas, lo cual ocurre en el Sitio Ramsar Núm. 1981 en el que la infraestructura ha registrado un aumento superficial de 3 ha. Parte del sitio de estudio ha pasado de ser una propiedad ejidal a una privada, específicamente, el área inundable y parte del matorral que lo circunda, lo que aísla tanto la poza principal, como las menores del humedal.

La primera acción fue circundar la propiedad y restringir el paso al público y ejidatarios en general, lo que envía una señal errónea a los habitantes de la zona. En lo social, desvincular a la población local de las acciones que se llevan a cabo en poco favorece su conservación, ya que la cuenca que surte del agua al humedal es fundamental. Un acercamiento con los actores principales de los asentamientos rurales permitirá generar soluciones holísticas que beneficien a todos los involucrados y reditúen en la recuperación del sitio.

Establecer acciones claras de manejo y aprovechamiento que sean compatibles y pertinentes con la declaratoria de Ramsar, evitaría el continuo crecimiento de la frontera agrícola en el área protegida; además, la conservación de la cobertura vegetal de la cuenca reduciría el estrés hídrico detectado y abastecería a los humedales presentes.

Conclusiones

Los resultados comprueban un cambio significativo en la estructura del paisaje del Sitio Ramsar Núm. 1981 durante el periodo de 1975 a 2019. La drástica reducción de área inundable refleja la falta de flujo hídrico superficial, así como la baja saturación del suelo, lo que posteriormente produce una ligera reducción de agua en la poza principal del humedal.

Los resultados expuestos muestran claras variaciones entre los periodos analizados con la casi extinción de la superficie inundable (16 % remanente). La ausencia de información de calidad actualmente supone una dificultad para realizar un trabajo con un alto grado de precisión en el área de estudio. Aunado a esto, está la poca disposición del propietario a dar permisos para obtener datos de campo, lo que dificulta la corroboración *in situ* de las pérdidas antes mencionadas. No obstante, es preocupante lo expuesto en este estudio por los bajos niveles freáticos al disminuir el nivel de agua de la poza principal y extinguirse pequeños veneros dentro del sitio. La pérdida de matorral altera las escorrentías e infiltración del agua, la agricultura aumenta el albedo del área y con ello la evaporación, aunado a una sequía prolongada que acentúa la pérdida paulatina de superficie del humedal.

La cuenca sigue bajo presión antrópica, ya sea por agricultura, ganadería o uso de los mantos freáticos, por lo que un ordenamiento de las actividades dentro de la cuenca es prioritario. Al momento no existe un programa de manejo que se enfoque a la situación actual de cambio climático y de uso de suelo, su protección es prioritaria para conservar no solo la hidrología de la cuenca, igualmente para proteger la biota presente y que depende de ecosistemas azufrosos y termales.

Promover leyes específicas para humedales tanto costeros como de interior, será una tarea de la legislatura actual y venidera, así como dar soporte a la investigación básica de monitoreo e inventario de las poblaciones silvestres dependientes de estos ecosistemas. El escenario actual deja claro que las políticas establecidas en

poco beneficiaron al área de estudio; no obstante, cada reservorio de agua es prioritario para la salud y calidad de vida de los habitantes del país.

Agradecimientos

Agradecemos a Celina Garza Quintanilla y Rosalía Chávez Garza por el apoyo en la traducción del resumen. A los revisores de este trabajo por su contribución a su mejora.

Conflicto de intereses

Se declara que no existe conflicto de intereses por parte de los autores.

Contribución por autor

Marco Antonio Medina García: toma de datos, análisis estadísticos y recopilación, participación en la redacción del manuscrito; Laura M. Scott-Morales: conceptualización de los objetivos y desarrollo de la investigación, redacción y coordinación de la revisión del escrito, autora por correspondencia; Patricia Vela Coiffier: diseño y supervisión de la metodología, estadísticos y redacción del manuscrito; Mauricio Cotera Correa: asesoría, revisión y corrección del manuscrito; Eduardo Estrada Castillón: asesoría, revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Agaton, C. B. and P. M. C. Guila. 2023. Ecosystem services valuation of constructed wetland as a nature-based solution to wastewater treatment. *Earth* 4(1):78-92. [Doi: 10.3390/earth4010006](https://doi.org/10.3390/earth4010006).
- Amenu, B. T and G. S. Mamo. 2018. Review on wetland ecosystem destruction. *International Journal of Scientific Research in Civil Engineering* 2(2):5-15. <https://ijsrce.com/IJSRCE182202>. (20 de julio de 2021).
- Ballut-Dajud, G. A., L. C. Sandoval H., G. Fernández-Lambert, J. L. Marín-Muñiz, M. C. López M. and E. A. Betanzo-Torres. 2022. Factors affecting wetland loss: a review. *Land* 11(3):434. [Doi: 10.3390/land11030434](https://doi.org/10.3390/land11030434).
- Benítez G., M. C. 1997. Contribución a la caracterización ecológica y socioeconómica de la región "Baño de San Ignacio". Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 136 p.
- Briggs, M. K., E. A. Lozano-Cavazos, H. M. Poulos, J. Ochoa-Espinoza and J. A. Rodríguez-Pineda. 2020. The Chihuahuan Desert: A binational conservation response to protect a global treasure. In: Goldstein, M. I. and D. A. DellaSala (Edits.). *Encyclopedia of the World's Biomes*. Elsevier Inc. Amsterdam, NH, Netherlands. pp. 126-138.
- Cantú A., C. 2009. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)-Versión 2009-2012: Baño de San Ignacio. Facultad de Ciencias Forestales y Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 23 p. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1981RIS.pdf>. (1 de septiembre de 2021).
- Cantú S., I. y H. González R. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de los bosques de pino-encino en el noreste de México. *Ciencia UANL* 5(1):72-77. http://eprints.uanl.mx/972/1/propied_hidrol.pdf. (8 de febrero 2023).

Cantú, C., R. Guerra, F. González y L. Rocha. 2001. Programa de Manejo del Área Natural Protegida Baño de San Ignacio. Gobierno del Estado de Nuevo León y Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, NL, México. 145 p. <https://archive.org/details/programa-de-manejo-anp-bsi/>. (20 de julio de 2021).

Castellanos-Navarrete, A. 2021. Oil palm dispersal into protected wetlands: Human-environment dichotomies and the limits to governance in south Mexico. *Land Use Policy* 103:1-13. Doi: [10.1016/j.landusepol.2021.105304](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105304).

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). 2021. Importancia, Protección, Conservación de los Humedales. CEDRSSA y Cámara de Diputados LXV Legislatura. Venustiano Carranza, Cd. Mx., México. 23 p.

<http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/89Importancia,%20protecci%C3%B3n,%20conservaci%C3%B3n%20de%20los%20humedales.pdf>. (29 de octubre 2021).

Chacon-Baca, E., L. Alba-Aldave, S. Angeles y C. Cantú-Ayala. 2015. Tapetes microbianos recientes en el manantial hidrotermal de Baño San Ignacio, Linares, Nuevo León. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67(3):387-400. Doi: [10.18268/BSGM2015v67n3a3](https://doi.org/10.18268/BSGM2015v67n3a3).

Clark Labs. 2022. TerrSet 2020 Software Features (Versión 17.0). Worcester, MA, United States of America. Universidad Clark. <http://www.clarklabs.org>. (30 de mayo 2023).

Clarke, B., A. K. Thet, H. Sandhu and S. Dittmann. 2021. Integrating cultural ecosystem services valuation into coastal wetlands restoration: A case of study from South Australia. *Environmental Science and Policy* 116:220-229. Doi: [10.1016/j.envsci.2020.11.014](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.014).

Convención de Ramsar sobre los Humedales. 2018. Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas. Secretaría de la Convención Ramsar. Gland, VD, Suiza. 84 p.

https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf. (4 de octubre de 2021).

Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Golet and E. T. LaRoe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. United States Department of the Interior and Fish and Wildlife Service. Washington, DC, United States of America. 131 p.

Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva, Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Universidad Clark. Worcester, MA, Estados Unidos de América. 321 p.

eBird. 2023. Grulla gris. The Cornell Lab of Ornithology. https://ebird.org/species/sancra?siteLanguage=es_MX. (20 de febrero de 2023).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2022. The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO. Rome, RM, Italy. 236 p.

Gabrielli, S., M. Spagnolo and L. De Siena. 2020. Geomorphology and surface geology of Mount St. Helens volcano. *Journal of Maps* 16(2):585-594. Doi: [10.1080/17445647.2020.1790048](https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1790048).

Gupta, R. and L. K. Sharma. 2020. Efficacy of spatial land change modeler as a forecasting indicator for anthropogenic change dynamics over five decades: A case study of Shoolpaneshwar Wildlife Sanctuary, Gujarat, India. *Ecological Indicators* 112(274):106171. Doi: [10.1016/j.ecolind.2020.106171](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106171).

Hausner, V. H., G. Brown and E. Lægreid. 2015. Effects of land tenure and protected areas on ecosystem services and land use preferences in Norway. *Land Use Policy* 49:446-461. Doi: [10.1016/j.landusepol.2015.08.018](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.08.018).

Humacata, L. 2019. Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista Cartográfica* (98):239-257. Doi: [10.35424/rcarto.i98.149](https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.149).

Landgrave, R. y P. Moreno-Casasola. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental* 4(1):19-35.

<https://biblat.unam.mx/es/revista/investigacion-ambiental-ciencia-y-politica-publica/articulo/evaluacion-cuantitativa-de-la-perdida-de-humedales-en-mexico>.

(29 de octubre 2021).

Lozano-Vilano, M. L., A. J. Contreras-Balderas, G. Ruiz-Campos and M. E. García-Ramírez. 2021. Current conservation status of some freshwater species and their habitats in México. In: Propst, D. L., J. E. Williams, K. R. Bestgen and C. W. Hoagstrom (Edits). Standing between life and extinction: Ethics and ecology of conserving aquatic species in North American Deserts. The University of Chicago Press. Chicago, IL, United States of America. pp.:79-88.

Maass, M., E. Jardel, A. Martínez-Yrizar, L. Calderón, ... y M. Equihua. 2010. Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente 19(2):69-83. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/47>. (3 de marzo 2023).

Mauerhofer, V., R. E. Kim and C. Stevens. 2015. When implementation works: A comparison of Ramsar Convention implementation in different continents. Environmental Science and Policy 51:95-105. Doi: [10.1016/j.envsci.2015.03.016](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.016).

McCauley, L. A. and D. G. Jenkins. 2005. GIS-based estimates of former and current depressional wetlands in an agricultural landscape. Ecological Applications 15(4):1199-1208. <https://stars.library.ucf.edu/facultybib2000/5468>. (3 de marzo 2023).

Mendenhall, C. D. and A. M. Wrona. 2018. Improving tree cover estimates for fine-scale landscape ecology. Landscape Ecology 33:1691-1696. Doi: [10.1007/s10980-018-0704-2](https://doi.org/10.1007/s10980-018-0704-2).

Merlín-Uribe, Y., A. Contreras-Hernández, M. Astier-Calderón, O. P. Jensen, R. Zaragoza and L. Zambrano. 2012. Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. Journal of Environmental Planning and Management 56(3):1-14. Doi: [10.1080/09640568.2012.683686](https://doi.org/10.1080/09640568.2012.683686).

Natural History Museum. 2021. Past (Version 4.12). Oslo, O, Norway. University of Oslo. <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>. (14 de octubre de 2021).

OpenStreetMap. 2021. OpenStreetMap (Área Natural Protegida Baño de San Ignacio). Fundación OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/#map=13/24.8594/-99.3478>. (1 de agosto de 2021).

Pedersen, E., S. E. B. Weisner and M. Johansson. 2019. Wetland areas' direct contributions to residents' well-being entitle them to high cultural ecosystem values. *Science of the Total Environment* 646:1315-1326. Doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.236](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.236).

Pérez A., X. J. 2017. Estudio geofísico para la determinación de la estructura geológica en los alrededores del Baño San Ignacio, Linares, Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 101 p.

QGIS Development Team. 2021. QGIS (Version 3.32.2). Geographic Information System. <https://qgis.org>. (5 de mayo de 2021).

Ramsar. 2023a. *La Convención sobre los Humedales y su misión*. <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-sobre-los-humedales-y-su-mision>. (5 de febrero de 2023).

Ramsar. 2023b. *México, la Convención sobre los Humedales*. <https://www.ramsar.org/es/humedal/mexico>. (20 de febrero de 2023).

Ramsar. 2023c. *Servicio de Información sobre Sitios Ramsar*. <https://rsis.ramsar.org/es>. (27 de marzo 2023).

Rochgiyanti, M. and H. Susanto. 2017. Transformation of wetland local wisdom values on activities of Swamp Buffalo Breeding in Social Science Learning Practice. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research* 147:272-276. Doi: [10.2991/icsse-17.2018.62](https://doi.org/10.2991/icsse-17.2018.62).

Sarkar, P., M. Salami, Y. Githiora, R. Viera, ... and M. Padgurschi. 2020. A conceptual model to understand the drivers of changes in tropical wetlands: a comparative assessment in India and Brazil. *Biota Neotropica* 20:e20190913. Doi: [10.1590/1676-0611-BN-2019-0913](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0913).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2018. *ANP, corazón del patrimonio natural de México*. <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/inedito-21-de-junio-articulo-central-anp-corazon-del-patrimonio-natural-de-mexico-mas-de-90-millones-de-has-resguardan-porciones-terrestres-acuaticas-e-insulares-de-importancia-para-la-conservacion-de-la-biodiversidad-desde-tiempos-remotos-yas?idiom=es#:~:text=Las%20ANP%20son%20zonas%20del,sujetas%20al%20r%C3%A9gimen%20previsto%20en>. (2 de febrero de 2023).

Servicio Meteorológico Nacional. 2011. Normales Climatológicas, Nuevo León, 1951-1910, Estación 00019011 Cerro Prieto. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL19011.TXT>. (15 de octubre de 2021).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.