

Análisis socioespacial de las Ciénegas del Lerma: caracterización para el diseño de políticas públicas ambientales

Socio-spatial analysis of Ciénegas del Lerma: Characterization for environmental public policy design and assessment

Alek Daniel Rodríguez Guerrero¹

Lidia Ivonne Blasquez Martínez²

Recibido 16 de febrero de 2024; aceptado 22 de junio de 2024

RESUMEN

Este trabajo utiliza el análisis socioespacial y los SIG para caracterizar las Ciénegas del Lerma, a través de imágenes satelitales para obtener datos de alta resolución sobre el suelo y la vegetación, permitiendo una comprensión detallada de la distribución de cuerpos de agua, vegetación y áreas urbanas. El objetivo es aportar herramientas para los hacedores de políticas públicas, en particular aquellos del orden municipal, que les permitan diseñar instrumentos de política pública más eficientes y precisos con datos vigentes. Asimismo, contribuir en el diseño de mecanismos de evaluación que permitan ajustar los programas públicos de gestión ambiental para garantizar la conservación de los ecosistemas. El Área de Protección de Flora y Fauna (APFyF) Ciénegas del Lerma (2002) la constituyen los humedales epicontinentales más extensos de la altiplanicie central de México, catalogados también como sitio Ramsar, desde 2004. Su importancia es crucial para la Ciudad de México, su zona conurbada y el valle de Toluca, porque dependen de su manto freático para abastecerse de agua potable. Asimismo, son un amortiguador de inundaciones, recargan el acuífero y regulan el clima. Contienen una importante cantidad de

¹ División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, México, correo electrónico: alkrodgue@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8752-9692>

² Departamento de Procesos Sociales, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, México, correo electrónico: l.blasquez@correo.ler.uam.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-1468>

especies endémicas, tanto de flora como fauna, entre ellas: el ajolote del Lerma (*Ambystoma lermaense*), la mascarita transvolcánica (*Geothlypis speciosa*), la papa de agua o aplacol (*Sagittaria macrophylla*) y el zazamol (*Nymphaea gracilis*). También es refugio de aves migratorias del norte del continente americano. Por todas estas funciones es crucial que su conservación sea exitosa, lo cual, hasta ahora no se ha podido garantizar porque se acelera el cambio de uso de suelo, la dispersión de asentamientos urbanos irregulares y la sobreexplotación del manto acuífero. Por lo tanto, se reconoce la utilidad del análisis socioespacial en la generación de información georreferenciada para el diseño y evaluación de política pública ambiental.

Palabras clave: *análisis socioespacial, Ciénegas del Lerma, políticas públicas ambientales, SIG.*

ABSTRACT

This work shows how socio-spatial analysis and GIS can be applied to characterize wetlands, in this case the Ciénegas del Lerma, through satellite images to obtain high-resolution data on land and vegetation, allowing a detailed understanding of the distribution of bodies of water, vegetation and urban areas. The aim of this work is to show policymakers, specially at the municipal order, key tools that contribute to a better design and more efficient policy instruments, based on current data. Likewise, to guarantee ecosystem conservation through mechanisms that will enable specialized civil servants to assess and to adjust in real time environmental policies. The Flora and Fauna Protected Area Ciénegas del Lerma is composed by the larger epicontinental wetlands in the Mexican central plateau. They are classified as RAMSAR wetlands, since 2004. Since the population depend on its water-table to satisfy the water needs, the wetlands importance is crucial to Mexico City, its metropolitan area and the Toluca Valley. Also, Ciénegas del Lerma help to control floods and contribute to climate mitigation. This wetland is cradle to an important number of endemic species, like: *Ambystoma lermaense*, *Geothlypis speciosa*, *Sagittaria macrophylla* y *Nymphaea gracilis*. Additionally, it is refuge to migratory birds from the North of the continent. For all these functions, it is imperative that conservation policies succeed, but until now, this is not the case, because land use continue to change, urban sprawl is expanding, and phreatic table is overexploited. Therefore, it is urgent to show the usefulness of socio-spatial analysis for the environmental public policy design and assessment.

Key words: *socio-spatial analysis, Ciénegas del Lerma, environmental public policy, GIS.*

1. Introducción

De los diversos ecosistemas que existen sobre la tierra, los humedales son considerados de los más importantes. Es uno de los medios más productivos del mundo, al ser fuente de agua y sustento para diversas especies de flora y fauna tanto migratorias como endémicas. Además, son generadores de servicios

ecosistémicos para nuestra especie, entre los que destacan la regulación del clima, el almacenamiento y retención de agua, el control de inundaciones, la retención y eliminación de contaminantes y nutrientes, entre otros (Convención relativa a los Humedales Ramsar, 2016, p. 10; Reid, Mooney, Cropper *et al.*, 2005, p. 31; Finlayson, D'Cruz, Davidson *et al.*, 2005).

A pesar de la relevancia ambiental, cultural, política y económica que representan los humedales de las Ciénegas del Lerma, su deterioro se mantiene y avanza. Los tres principales problemas que los aquejan son: 1) Ampliación de la urbanización tanto para habitación como para los corredores industriales; 2) Contaminación derivada de las descargas de aguas residuales en el río Lerma y los tres vasos de las Ciénegas; 3) Sobreexplotación y abatimiento de los mantos fráticos, derivado del aumento de aprovisionamiento en agua potable a la Ciudad de México, a través del Sistema Lerma (actualmente Sistema Lerma-Cutzamala) y del aumento en la demanda de agua en la región (Torres, 2014, p. 138; Zepeda *et al.*, 2011; Garza, 1985, p. 267; Velasco, 2008, p. 110).

Es contradictorio que las Ciénegas del Lerma estén protegidas por un instrumento de política ambiental como es el de Área Natural Protegida (ANP) y sigan amenazadas territorialmente por las actividades humanas. La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) atribuye a los tres órdenes de gobierno funciones para la formulación, conducción y evaluación de la política ambiental. Sin embargo, dichas políticas muchas veces no se armonizan ni transversalizan. Lo que genera que, por ejemplo, las políticas urbanas, de desarrollo económico o industrial vayan en contrasentido a garantizar un medio ambiente sano y proteger la biodiversidad.

Dado que los recursos presupuestales son limitados en las instituciones como la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y de estados y municipios, es complicado dar un seguimiento integral de las condiciones de los humedales. Aunque, desde la academia se han hecho muchos estudios sobre calidad del agua y la distribución de especies que caracterizan fragmentos específicos de cada uno de los vasos, la información es muy específica y no se relaciona a otros datos, lo que limita su uso en las políticas públicas. Por lo tanto, este artículo busca aportar un diagnóstico de las condiciones ambientales de los humedales Ciénegas del Lerma, a partir del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una herramienta que permita obtener información útil para el diseño y evaluación de políticas públicas ambientales municipales.

A partir de lo anterior, se decidió trabajar con las Ciénegas del Lerma, clasificadas como ANP el 27 de noviembre de 2002, bajo la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna (APFyF) conformada por tres humedales llamados Chignahuapan (346 ha), Chimaliapan (2,081 ha) y Chiconahuapan (596 ha) que suman un total de 3,023 hectáreas. Se ubican en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Capulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac del Estado de México (Decreto 20 de 2002, p. 1; Decreto 22 de 2003, p. 1). Cabe señalar que la laguna de Chimaliapan también ocupa

una parte del municipio de Ocoyoacac, conocida como San Pedro Cholula. Sin embargo, se omitió este municipio en el decreto de APFyF.

2. Importancia de las Ciénegas del Lerma

Estas ciénegas se destacan como un tesoro ecológico de suma relevancia en México, ya que constituyen una región de excepcional biodiversidad y múltiples servicios ambientales. Juegan un papel esencial en el sustento, transformación y prosperidad de diversas especies de flora y fauna silvestres. Esta área es uno de los escasos enclaves en el país que aún conserva ecosistemas plenamente desarrollados, y es considerada como el último vestigio de los extensos humedales que cubrían el Altiplano Central (Decreto 20 de 2002; Decreto 22 de 2003). Desde la perspectiva ecosistémica, las ciénegas son humedales.

La Convención relativa a los Humedales Ramsar establece en su artículo 1° que los humedales son:

[...] las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (1994, p. 1).

Los humedales del tipo que sean¹ son considerados como uno de los medios más productivos del mundo, al fungir como:

[...] fuentes de diversidad biológica y fuentes de agua y productividad primaria de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Dan sustento a altas concentraciones de especies de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e invertebrados. [...] son también importantes depósitos de material genético vegetal (Convención relativa a los Humedales Ramsar, 2016, p. 10).

A pesar de su crucial importancia en la reproducción y sostenimiento de la vida, se reporta que entre 1970-2015 a nivel internacional tuvieron un deterioro del 35%, con una tasa media anual de pérdida de -0.78%. En América Latina se observa una pérdida promedio del 59% (Convención relativa a los Humedales Ramsar, 2018, p.19). Lo anterior es preocupante ya que evidencia la poca eficacia de las políticas públicas de gestión ambiental para garantizar su protección y conservación.

¹ La Convención de Ramsar adoptó un Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales en 1990 donde cataloga 42 tipos de humedales en tres grupos: marinos y costeros, continentales o artificiales. Este sistema proporciona un marco amplio para identificar rápidamente los principales tipos de humedales (Convención de Ramsar, 2006, p. 66).

En el caso mexicano, Landgrave y Moreno-Casasola (2012) advierten que el país ha perdido el 62.1% de sus humedales. Es decir que, desde 1970, se han desvanecido 6,968,452 ha en favor de la ampliación de la frontera agrícola y urbana (Figura 1). A pesar de la grave pérdida de humedales en México, aún existen 6 331, de los cuales, 60 son Áreas Naturales Protegidas (ANP) y 144 están incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional como Sitios Ramsar,² suman una superficie de 8,657,057 ha, según datos del Inventario Nacional de Humedales (INH) de la República Mexicana (Comisión Nacional del Agua, 2020; Ramsar, 2024).

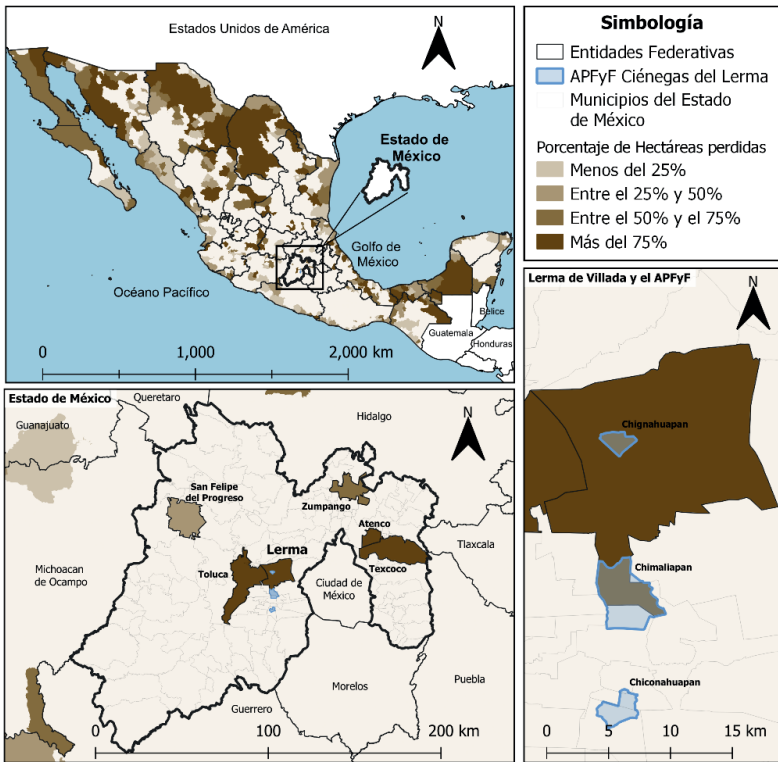


Figura 1. Pérdida de humedales en México a nivel municipal entre 1970-2010, ubicación del municipio de Lerma y del APFYF Ciénegas del Lerma.
Fuente: Landgrave & Moreno-Casasola (2012).

² También conocida como la Lista de Ramsar. Los humedales que forman parte de la Lista, deben de cumplir al menos uno de los nueve criterios divididos en dos grupos: A) Sitios que comprenden tipos de humedales: representativos, raros o únicos y B) Sitios de importancia internacional para conservar la diversidad biológica basados en: especies y comunidades ecológicas; aves acuáticas; peces y en otros taxones (Convención de Ramsar, 1971, 1994).

El Estado de México no es la excepción a la regla nacional, que ha perdido un 80% de sus humedales. La superficie se redujo en 19,672 ha, principalmente en seis municipios³ (Figura 1). El municipio de Lerma es responsable de la protección, preservación y aprovechamiento sustentable del 43% de la superficie total del APFyF Ciénegas de Lerma. Es decir, un aproximado de 1,322 ha. del total de las 3,023 ha. pertenecientes a toda el APFyF (Decreto 20 de 2002; Decreto 22 de 2003).

Las Ciénegas del Lerma, al ser humedales continentales son refugio para flora y fauna endémica y migratoria. Su protección resulta compleja porque el agua es un recurso vital para los humanos pero también lo es para la permanencia del ecosistema. Desde la mitad del siglo XX, las Ciénegas del Lerma son el principal abastecedor del líquido vital para una megalópolis y un conjunto de urbes medianas, la Ciudad de México y el Valle de Toluca, junto con sus zonas conurbadas, a través del Sistema Lerma, y el Sistema Cutzamala.⁴

3. Métodos de investigación

La región de las Ciénegas del Lerma abarca un total de 3,023 hectáreas distribuidas en siete municipios. En este trabajo nos enfocamos en Lerma de Villada. Este municipio se ubica en el valle de Toluca del Estado de México compartiendo frontera al norte con los municipios de Jilotzingo y Xonacatlán, con Capulhuac y Tianguistenco al sur, al este con Metepec, San Mateo Atenco y Toluca, por último, al oeste con Huixquilucan, Naucalpan de Juárez y Ocoyoacac. Se ubica entre los 2,640 y 3,150 metros sobre el nivel del mar.

Nuestro trabajo se enfoca en utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para política pública a nivel local. Por un lado, se entiende en este trabajo a la política como un conjunto constante y coherente de acciones dirigidas hacia un objetivo de interés público, que aborda problemas y defectos de las estrategias públicas de manera eficaz (Aguilar, 2010). Por el otro, un SIG es un conjunto integral de componentes de *hardware* y *software* diseñados específicamente para adquirir, gestionar, analizar y visualizar datos espaciales georreferenciados. Su propósito principal radica en facilitar la comprensión y el análisis de información que posee una dimensión geográfica. En este caso, el objetivo sería que los hacedores de políticas públicas utilicen los SIG para respaldar su toma de decisiones con una perspectiva holística (Arcilla, 2003, p. 13). Los datos espaciales desempeñan un papel fundamental al proporcionar información crítica que influye en el abordaje de problemas y

3 Lerma con una pérdida de 92.58% (5,635 ha), seguido de Atenco 4,569.83 ha (89%), Texcoco 5,114.56 ha (80%), Toluca 1,557.29 ha (77%), Zumpango 2,450.2773 (66%) y San Felipe del Progreso con 344.84 ha (31%), (Landgrave & Moreno-Casola, 2012).

4 El Sistema Cutzamala se encarga de abastecer de agua a 13 municipios del Estado de México: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec, Huixquilucan, Lerma, Naucalpan, Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, Ocoyoacac, Tlalnepantla, Toluca, Tultitlán, de igual manera, abastece a 11 delegaciones (actualmente alcaldías) de la Ciudad de México: Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa, Cuauhtémoc, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tlalpan, (Comisión Nacional del Agua, 2012, p. 4).

defectos públicos, permitiendo tomar medidas informadas y estratégicas en una variedad de campos, desde la planificación urbana y la gestión ambiental hasta la administración de recursos naturales y la logística. Al utilizar los SIG podemos agregar la dimensión del análisis espacial. El cual comprende un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas utilizadas para el estudio de datos que se encuentran distribuidos en un espacio geográfico determinado. Permite examinar la distribución y la relación entre los datos espaciales y proporciona información valiosa sobre patrones, tendencias y asociaciones. El análisis socioespacial, por su parte, se centra específicamente en el tratamiento de variables de carácter social, como aspectos políticos, demográficos, económicos, educativos, entre otros, en las poblaciones que se ubican geográficamente dentro de un área de estudio. Las técnicas de análisis espacial permiten comprender la interacción entre factores sociales y su relación con el espacio, lo que resulta fundamental para abordar cuestiones como la planificación urbana, la distribución de recursos o la evaluación de políticas públicas en un contexto geoespacial específico (Buzai y Baxendale, 2011).

Dicho lo anterior, se eligió el municipio como escala de análisis dado que este orden de gobierno es el que define las políticas territoriales, en particular, la regulación de asentamientos urbanos. Por lo tanto, se analizaron los dos cuerpos de agua, al interior del municipio de Lerma conocidos como: Chimaliapan y Chignahuapan. Se desarrollaron en este trabajo una serie de insumos cartográficos (figuras) con base en el Marco Geoestadístico Nacional (2020a), la Red Nacional de Caminos (2020b), publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); la Información Espacial de las Áreas Naturales Protegidas publicada por la CONANP (2021), todo en formato .SHP (shape o capa); la descarga de las imágenes satelitales (GEOTIFF) proporcionadas por el satélite Sentinel-2 (L2A) del Earth Observing System (EOS, 2021) en formato .TIFF (imagen con sistema de referencias geográficas). Cabe señalar que la creación de las figuras fue mediante la plataforma geoinformática QGIS versión: 3.14.

En las figuras donde se muestra la ciénega Chimaliapan, las Áreas Geoestadísticas Básicas Urbanas (AGEB)⁵ pertenecen a la región de Tultepec, específicamente San Pedro Tultepec. Por otro lado, las figuras donde se visualiza la ciénega Chignahuapan, las AGEB forman parte de San Nicolás Peralta, pertenecientes a la región de Atarasquillo.

Cabe señalar que el color de la simbología para cada figura será diferente, esto se debe a los colores que reflejan las composiciones de las imágenes del satélite Sentinel-2 (L2A). Dicho lo anterior, para explicar las condiciones ambientales de los humedales de Chimaliapan y Chignahuapan, sirvan los escenarios que muestran las composiciones de la Tabla 1.

⁵ El AGEB es la "extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales, las cuales pueden clasificarse en rurales y urbanas. Siendo un AGEB Urbana el conjunto de manzanas que generalmente va de 1 a 50, perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo sea principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etc., las cuales solo se ubican dentro de localidades urbanas" (INEGI, 2010. p. 7).

Tabla 1. Definición por composición del Sentinel-2 (L2A)

<i>Composición</i>	<i>Descripción</i>
Infrarrojo cercano (Near InfraRed, NIR)	La vegetación aparece en sombras o en rojo. Las áreas urbanas, en cian o azul, y los terrenos variarán de los marrones claros a los oscuros
Infrarrojo de onda corta (Shortwave Infrared, SWIR2, NIR, Red)	La vegetación vigorosa e irrigada, y las zonas ribereñas aparecen en verde brillante mientras que las zonas secas y naturales son de color verde tenue. Las zonas de coníferas ⁶ aparecen en verde profundo y las zonas con menor vegetación, en verde intenso
Índice de Diferenciación Normalizada del Agua (Normalized Differential Water Index, NDWI)	Los valores altos del NDWI (en azul) corresponden a un alto contenido de agua en la planta y al recubrimiento de una gran parte de la planta. Los valores bajos del NDWI (en rojo) representan bajo contenido de vegetación y una cobertura escasa
Índice de Diferenciación Normalizada de la Vegetación (Normalized Differential Vegetation Index, NDVI)	Las plantas (u hojas) cuando se deshidratan, enferman, sufren enfermedades, etc., de ahí que absorban más luz infrarroja cercana, en lugar de reflejarla. De ahí que, la observación de cómo cambia el NIR en comparación con la luz roja proporciona una indicación precisa de la presencia de clorofila, que está vinculada con la salud de las plantas

Fuente: Earth Observing System (2021).

Estas composiciones forman parte de los instrumentos de la teledetección, técnica que obtiene información sin contacto directo mediante el escaneo a distancia. En contraste, con la teledetección activa, la pasiva emplea sensores (multiespectrales o hiperespectrales) que miden la radiación emitida por la superficie terrestre en varias bandas, generando composiciones (EOS, 2021).

4. Resultados y discusión de resultados

4.1 Resultados

Para empezar, tenemos la composición del Infrarrojo⁷ Cercano (Near InfraRed, NIR) en la Figura 2 y Figura 3 donde se utilizó el color azul claro para delimitar el APFyF, mientras que el color amarillo permite distinguir las AGEB del municipio. Por un lado, Chimaliapan (Figura 2), al ser el humedal más grande del APFyF con una extensión de 2,081 has, muestra dentro del polígono (azul claro) un gran

⁶ Si bien SWIR2 se utiliza para ubicar áreas de coníferas en regiones boscosas, en este caso, al ser una ciénega sabemos que la vegetación se caracteriza por hidrófitas enraizadas emergentes, hidrófitas enraizadas de hojas flotantes, hidrófitas enraizadas sumergidas, hidrófitas enraizadas de tallos postrados, hidrófitas libres sumergidas, hidrófitas libre flotadoras y maleza. Por lo tanto, este indicador nos refiere la existencia de vegetación palustre como los tules, los juncos y pastos.

⁷ Esta combinación de banda puede también representarse de la siguiente manera: R (rojo) = XS3 (banda NIR), G (verde) = XS2 (banda roja) y B (azul) = XS1 (banda verde), (EOS, 2021).

cuerpo de agua en color negro. En su interior, se pueden observar pequeñas formas de color blanco que indican una alta reflectancia del agua. El área inundada mide alrededor 9 km² aproximadamente.

La parte sur del polígono muestra una gran concentración de vegetación saludable con pequeñas áreas inundadas, pero al mismo tiempo, se pueden observar áreas con tonalidades más claras del rojo, evidenciando que la vegetación puede no estar del todo sana o es muy pequeña y poco abundante al no reflejar mucha luz, esto puede deberse a la división del terreno ya que su uso puede estar dirigido a la agricultura. El área entre el cuerpo del agua y las AGEB (polígonos amarillos) tiene una alta reflectancia, evidenciando vegetación en abundancia con muy buena salud, algo peculiar que muestra esta área es la sobreposición de ambos polígonos, es decir, la AGEB de lado derecho tiene algunos metros al interior del APFyF.

Las áreas urbanas dentro y fuera de las AGEB se muestran en color cian y/o blanco, mostrando poca reflectancia de color rojo. En el caso del AGEB del lado izquierdo, se observan zonas inundables (color negro), así como se refleja un color rojo intenso con áreas ligeramente tenues. Lo anterior podría evidenciar que la zona inundable del humedal pudo haber llegado hasta la parte norte del AGEB del lado izquierdo, de igual manera, se puede decir que el área urbana podría estar ocupando un aproximado del 30% de todo el polígono.

Sucede algo muy diferente con el AGEB del lado derecho, donde claramente el desarrollo urbano está a lo largo del polígono (color cian), mostrando áreas mínimas de color rojo, las cuales se encuentran en una tonalidad demasiado tenue, estableciendo una vegetación poco abundante y no del todo saludable. En el lado superior derecho del APFyF se muestran pequeñas áreas de color cian dentro y fuera del polígono, lo cual podría indicar la existencia de caminos con viviendas o sitios sin vegetación.

Por el otro, la Ciénega Chignahuapan (Figura 3) es el humedal más pequeño, con alrededor de 346 ha. Mostrando al interior del polígono pequeños cuerpos de agua en color negro, del mismo modo, son pocas las áreas que reflejan un rojo intenso concentrándose en la parte central y norte del humedal. En la parte norte del APFyF hay existencia de vegetación con reflectancia no tan intensa como lo es en el sur, evidenciando que su salud o abundancia no es buena.

Esta ciénega sólo colinda con un AGEB en dirección al noroeste, pero en las demás direcciones y alrededor del polígono hay reflectancia en diversas tonalidades de rojo. La variedad del rojo en los alrededores se puede justificar por los patrones y divisiones que generó, esto pudo haber sido provocado por el tipo de uso de suelo al que se encuentran destinadas esas áreas, siendo la agricultura el uso más probable. Algo similar sucede al interior del AGEB, reflejando entre un 40-50% de su superficie en color cian, ilustrando la extensión de áreas urbanas.

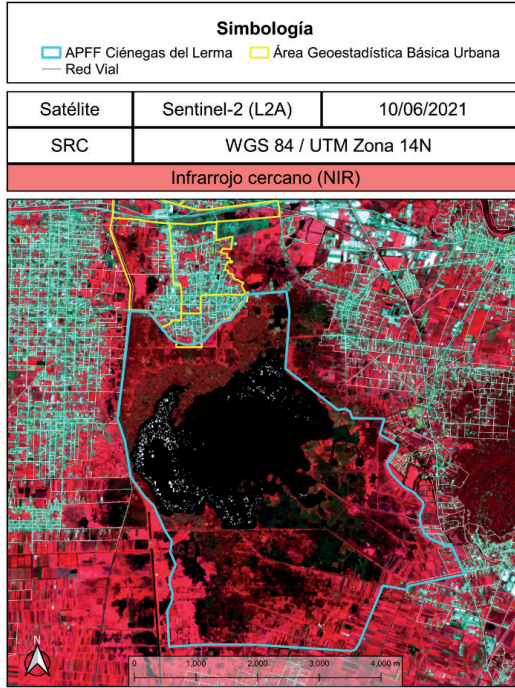


Figura 2. Ciénega Chimaliapan con Infrarrojo cercano (NIR).
 Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

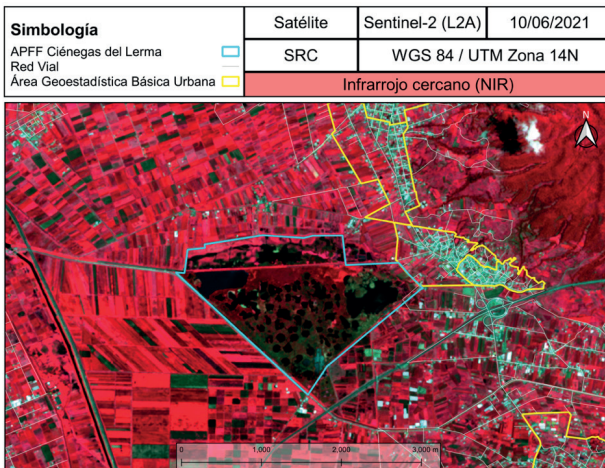


Figura 3. Ciénega Chignahuapan con Infrarrojo cercano (NIR).
 Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

Ahora es turno de utilizar el Infrarrojo de onda corta (SWIR2, NIR, Red), esta composición normalmente se utiliza en el monitoreo de patrones del suelo y del drenaje, en estudios de la vegetación y en la observación del crecimiento de cultivos. Para la simbología de esta composición (Figura 4 y Figura 5), se utilizó el color rojo para el APFyF y el negro para las AGEB.

Esta combinación de bandas permite observar en color verde brillante la vegetación más húmeda, cuando el verde se vuelve más tenue, la vegetación se encontrará cada vez más seca. Del mismo modo, en un verde profundo aparecen las zonas de vegetación con hojas largas y finas (hoja acicular) y las áreas con vegetación mínima se muestran en un verde intenso. En el caso de los tonos rojos, estos muestran una vegetación de hoja ancha y más saludable. Al igual que la composición anterior, el agua se observa en color negro o azul oscuro. Por último, las áreas urbanas aparecen en tonalidades de rosa y blanco (EOS, 2021).

En primer lugar, alrededor del cuerpo de agua (negro) de la ciénega Chimaliapan (Figura 4), se puede observar vegetación muy pequeña al reflejar un verde intenso, pero en la frontera suroeste se refleja un rojo marrón, es probable que en esa área la vegetación sea la más saludable de todo el polígono. Cabe señalar que, este rojo también se encuentra en una parte más al sur del APFyF, al igual que en la zona donde se ubican los límites entre la ciénega y el AGEB derecho.

Hay una alta probabilidad de que la temporada de lluvias que ha marcado el segundo semestre del 2021 haya influido en que la vegetación húmeda (verde brillante) abunde a lo largo de toda la zona, al interior del humedal el verde refiere a especies acuáticas y subacuáticas que se concentran más en la parte sur. Las zonas de color verde profundo están pobladas de lirio acuático (*Eichornia crassipes*) y lentejilla (*Lemna minor*) las que abundan a lo largo y ancho del APFyF pero se observa más marcado al sur del cuerpo de agua.

La vegetación al interior del AGEB izquierdo se encuentra en un verde brillante en su mayoría evidenciando la presencia de tule palma (*Typha latifolia*) y tule redondo (*Schoenoplectus californicus*), así como algunas áreas pequeñas de lirio acuático, berro redondo (*Hydrocotyle ranunculoides*) y lentejilla en color rojo. En el caso del AGEB derecho, la vegetación está casi extinta, evidencia de ello es la predominación de tonalidades de color rosa y blanco, representando el crecimiento urbano.

Para continuar, al interior de la Ciénega Chignahuapan (Figura 5) predomina la vegetación de hoja ancha y más saludable (rojo) concentrándose al sur del polígono. La parte norte, concentra las áreas de vegetación más húmeda (verde brillante) y sobresalen pequeños espacios de vegetación en tonalidades rojas. En el caso del AGEB con el que colinda el humedal, las tonalidades de rosa y blanco son abundantes revelando la dimensión urbana de la región, del lado contrario, se pueden observar algunas áreas con vegetación húmeda y vegetación con hoja acicular, a saber, tule palma y tule redondo en verde brillante y verde profundo respectivamente. Del mismo modo, la vegetación en las fronteras externas al APFyF de oeste a sur aparece en color verde con presencia de vegetación ligeramente sana y áreas con vegetación mínima (verde intenso).

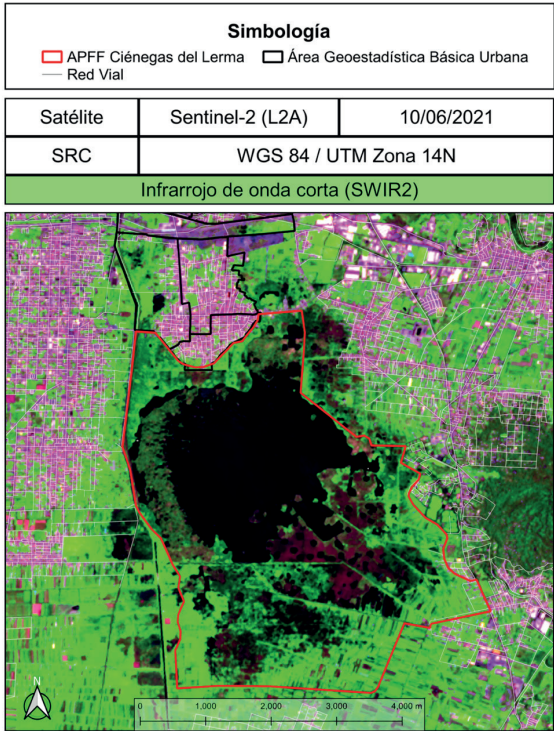


Figura 4. Ciénega Chimaliapan con Infrarrojo de onda corta (SWIR2).
 Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

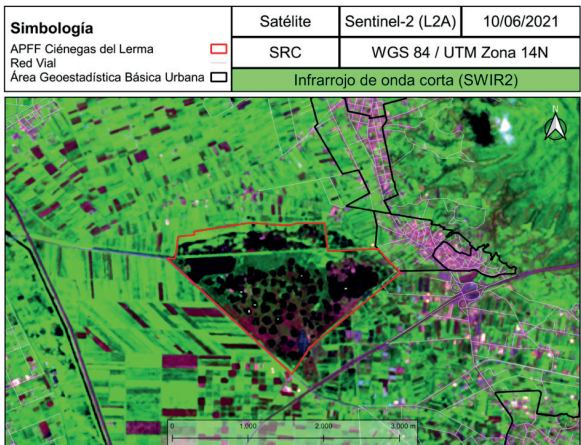


Figura 5. Ciénega Chignahuapan con Infrarrojo de onda corta (SWIR2).
 Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

El Índice de Diferenciación Normalizada del Agua (Normalized Differential Water Index, NDWI) refleja el grado de humedad tanto en plantas como de suelos.⁸ El NDWI permite —con el monitoreo remoto de tierras— mejorar significativamente la agricultura mediante el control del riego en tiempo real (EOS, 2021). Con esta composición se utilizó el negro para resaltar el APFyF y el rojo representa las AGEB del municipio (Figura 6 y Figura 7). Los resultados muestran la distribución espacial de los cuerpos de agua. En tonalidades de azul se puede observar la existencia de superficie acuática, entre más oscuro es más profundo. En aquellas zonas con tonalidades de verde más profundo es donde se encuentran las zonas urbanas o áreas sin vegetación, en el caso de las tonalidades claras del verde hay sequía moderada o superficies no acuosas y, por último, el blanco puede representar la presencia de vegetación acuática o suelo húmedo (EOS, 2021).

En el caso de Chimaliapan (Figura 6), específicamente en la parte sur del polígono, pueden observarse pequeños cuerpos de agua. Hay presencia de abundante humedad y escasas áreas de vegetación con poca humedad en tonalidades claras del verde. Lo mismo puede ser observado en el área entre el cuerpo de agua y los AGEB, siendo el blanco el color dominante, el cual puede reflejar vegetación con mucha humedad o superficie acuosa. En ambos AGEB no hay presencia de agua, las tonalidades más coloreadas de verde representarían las áreas meramente urbanas ya que no hay presencia de superficie acuosa, pero puede tener presencia de humedad mínima. En el caso del color blanco, este se concentra en el AGEB izquierdo, reflejando la existencia de vegetación acuática o subacuática.

De manera similar, la ciénega Chignahuapan (Figura 7) muestra diversos cuerpos de agua en tonalidades de azul no tan oscuras en el interior del polígono del APFyF. Esto se debe a que la profundidad de los cuerpos de agua ronda entre los 2-4 metros. En los alrededores de los cuerpos de agua se concentra la vegetación acuática y algunas áreas ligeramente inundadas -menos de dos metros de profundidad. En esta ciénega la vegetación ligeramente húmeda o superficie no acuosa (verde) se concentra en el sureste y suroeste del polígono.

El AGEB que colinda con el humedal resalta un verde tenue, lo cual quiere decir que hay presencia de superficie no acuosa, mientras que la verde más oscura puede representar las áreas donde hay mayor crecimiento urbano. Por último, el blanco muestra la concentración de vegetación, con una alta probabilidad de que sea vegetación acuática y subacuática abundante.

⁸ El NDIW se determina analógicamente con el Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) de la siguiente manera: $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. Esta fórmula permite utilizar el "infrarrojo cercano de onda corta (SWIR) que muestra una alta absorción de luz debido al agua" (EOS, 2021).

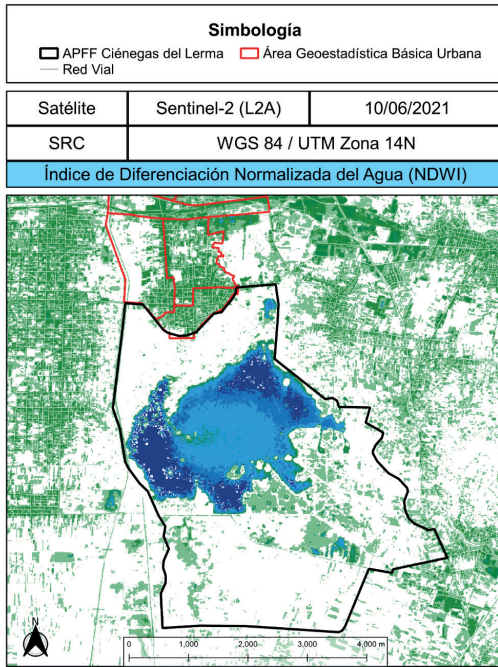


Figura 6. Ciénega Chimaliapan con índice de Diferenciación Normalizada del Agua (NDWI).
 Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

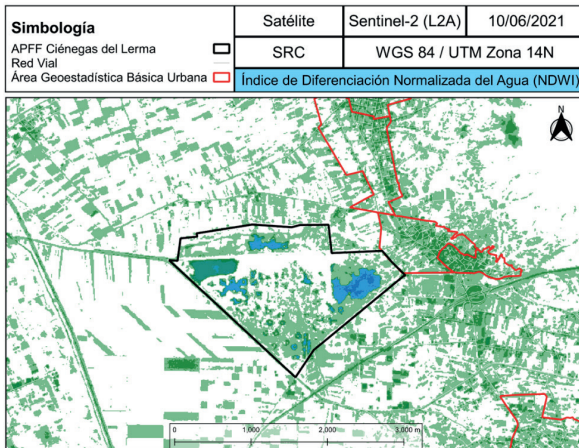


Figura 7. Ciénega Chignahuapan con índice de Diferenciación Normalizada del Agua (NDWI).
 Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

La última composición es el Índice de Diferenciación Normalizada de Vegetación (Normalized Differential Vegetation Index, NDVI).⁹ Permite conocer la salud de la vegetación, donde las áreas en rojo muestran ausencia de vegetación, en tonalidades naranjas hay presencia de vegetación, pero es escasa, mientras que la presencia de vegetación moderada se muestra en amarillo. Por último, las áreas donde hay vegetación en abundancia pueden ser observadas en tonalidades verdes (EOS, 2021). En esta composición (Figura 8 y Figura 9) se utilizó el negro para resaltar el APFyF y el azul marino para las AGEB.

En el caso de la ciénega Chimaliapan (Figura 8) al interior del polígono del APFyF se pueden observar los cuerpos de agua en rojo. Las áreas con vegetación escasa y moderada se observan en tonalidades de amarillo. Las tonalidades más tenues del verde son áreas con vegetación densa, se presentan al sur del cuerpo de agua.

Por último, el verde más oscuro representa aquellas áreas donde hay abundancia de vegetación, siendo el sur y algunas áreas de la frontera norte interna donde la reflectancia es mayor. En el caso de las AGEB del municipio, las áreas urbanas y la ausencia de vegetación puede ser observada en color rojo.

Por un lado, el AGEB derecho muestra pocas áreas con vegetación, siendo las tonalidades de naranja y amarillo las que resaltan alrededor del rojo, esto quiere decir que hay vegetación, pero es mínima o no se encuentra con buena salud. Estas tonalidades también pueden representar el cambio de uso de suelo de conservación hacia el agrícola.

Por el otro, el AGEB del lado izquierdo muestra áreas urbanas (rojo) pero entre un 60 y 70% de su superficie refleja tonalidades de verde, evidenciando la presencia de vegetación saludable en su mayoría, aunque hay pequeñas áreas con vegetación poco densa o ligeramente menos saludable.

De manera similar, en la Ciénega Chignahuapan (Figura 9) y específicamente al interior del APFyF los cuerpos de agua pueden ser observados en color rojo. La presencia de áreas con vegetación mínima (color naranja) parecen concentrarse de oeste a sur y se agrupa alrededor de los cuerpos de agua. En cuanto el AGEB, en este caso, las áreas urbanas (rojo) y sin vegetación podrían representar hasta un 30% de la superficie total, en sus alrededores sobresale el color naranja, lo cual quiere decir que hay vegetación mínima.

De los dos AGEB que colindan con la frontera natural con la ciénega Chimaliapan, la del lado derecho muestra un gran desarrollo urbano, mientras que la del lado izquierdo, aun cuenta con áreas de vegetación y zonas inundables pero el desarrollo urbano también está presente. A pesar de que la ciénega de Chignahuapan sólo comparte frontera física con un AGEB se observa la consolidación del desarrollo urbano.

⁹ El NDVI se calcula con la siguiente fórmula: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$. Donde NIR es la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano, mientras que RED es la Espectroscopía de Reflectancia de la parte Roja Visible (EOS, 2021).

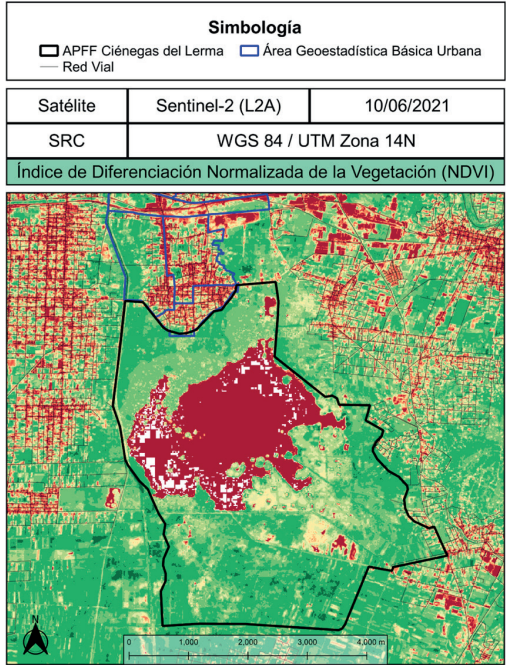


Figura 8. Ciénega Chimaliapan con índice de Diferenciación Normalizada del Agua (NDWI). Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

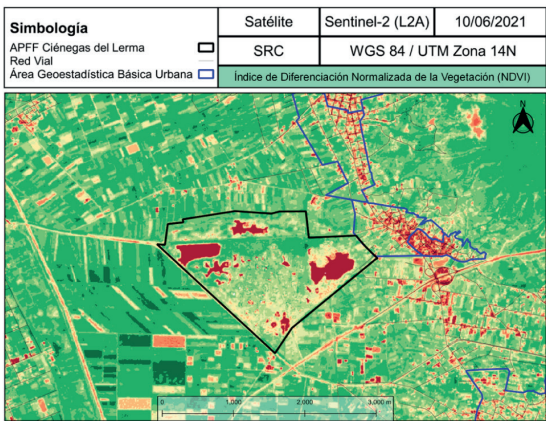


Figura 9. Ciénega Chignahuapan con índice de Diferenciación Normalizada del agua (NDWI). Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021), Earth Observing System (2021) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a, 2020b).

4.2 Discusión de resultados

Una caracterización detallada de la distribución espacial de cuerpos de agua, vegetación y áreas urbanas en los humedales permite una comprensión de la dinámica ambiental de la región, al identificar áreas potencialmente deterioradas, zonas inundables, salud de la vegetación, cambios en el uso de suelo de conservación y posibles impactos del desarrollo urbano en los humedales. La información recopilada a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis socioespacial ofrece una visión detallada de dicha dinámica en las Ciénegas del Lerma.

Debe considerarse que la morfología de la vegetación cambia constantemente según la estación del año o la intensidad de la sequía o época de lluvias. Por lo tanto, los SIG nos muestran también la complejidad de caracterizar los humedales, y por ende, se demuestra que son una herramienta importante para conocer las condiciones ambientales generales de los humedales desde una perspectiva sincrónica. Es necesario, por lo tanto, integrar un contexto temporal más amplio para tener un diagnóstico fiable que haga emerger los patrones estacionales y las transformaciones de los humedales en el largo plazo. Además, para garantizar una adecuada interpretación sobre el tipo de vegetación y sus condiciones generales es importante realizar comprobaciones en campo para generar caracterizaciones certeras.

Cabe señalar que durante los recorridos de campo, algunos comuneros y pescadores resaltaron que ha incrementado la profundidad de las lagunas. También señalan que desde el 2017, algunas tierras que emergían en estiaje y se sembraban, se han mantenido inundadas. Respecto a los cuerpos de agua, podemos vincular lo observado por comuneros y pescadores con las figuras del Índice de Diferenciación Normalizada del Agua (NDWI) que identifican áreas acuáticas. Podría realizarse entonces una medición de profundidad por especialistas en la materia para respaldar los datos de incremento en la profundidad de los humedales. Una hipótesis para este aumento de profundidad es que el abatimiento del manto freático haya generado hundimientos diferenciales y por lo tanto, existan zonas más profundas y permanentes.

La información presentada en cada una de las composiciones NIR, SWIR2, NDWI, NDVI fue obtenida a través del Earth Observing System, fuente que se encuentra en línea. Por un lado, una limitante de dichos datos es la naturaleza dinámica de internet, lo que implica que la accesibilidad de la información puede cambiar de un momento a otro, y la precisión de los datos puede depender de la fuente y su actualización. Por otro lado, es una ventaja dado su acceso libre. En este trabajo, se pudo comprobar que la información obtenida fue precisa al contrastarla con observaciones durante recorridos de campo. Se pudo verificar que los datos cartográficos señalaban que las Ciénegas del Lerma se caracterizan por tener zonas inundadas con pocos centímetros hasta zonas de agua abierta con una profundidad de 4 metros. En las figuras se observan, en el centro —que es la zona más profunda— áreas con vegetación densa, que en campo se caracterizan por manchones de tule, junco, lirio acuático, berros, jara y lentejilla.

Se observa que es información con un alto grado técnico pero que puede ser útil en la toma de decisiones para el desarrollo urbano y la gestión ambiental. En el pasado contar con material cartográfico era costoso. Esto hacía que muchos gobiernos locales no pudieran acceder a estas herramientas para la toma de decisiones. Actualmente, los SIG nos permiten identificar zonas de intervención, por ejemplo, para drenar canales de flujo que pueden tener exceso de materia orgánica o vegetación. Por el contrario, ubicar una zona que está siendo desecada y que forma parte de un humedal protegido, o detectar vegetación en deficiente estado. Las acciones pueden realizarse de forma precisa sin perturbar otras dinámicas del ecosistema. Asimismo, se pueden identificar zonas de restauración de la vegetación y también se puede conocer la profundidad de los espejos de agua. En zonas periurbanas, como es el caso de las Ciénegas de Lerma, pueden detectarse los riesgos de inundación de los asentamientos y planear zonas de amortiguamiento. Este método resulta menos costoso que, por ejemplo, la utilización de drones, donde se tiene que adquirir el equipo, el software y se tiene que realizar una capacitación especializada tanto en la generación de las imágenes como en su interpretación. La coordinación de los diferentes órdenes de gobierno y dependencias puede facilitarse al trabajar de forma colaborativa con herramientas cartográficas y de esta forma, generar acciones coherentes y complementarias. Razones por las cuales, las herramientas SIG son útiles para realizar diagnósticos precisos de los humedales desde un eje espacial ubicando las condiciones ambientales y del desarrollo urbano. Cabe subrayar que siempre es necesario cotejar en campo los datos y conocer los procesos socioambientales que han generado dichas morfologías. La descripción técnica y detallada de las composiciones y figuras puede resultar compleja para personas tomadoras de decisión que no están familiarizadas con la teledetección y cartografía. Esto puede solventarse, por una parte, con capacitaciones cortas y puntuales en la interpretación de imágenes sentinel y por otra, si se promueve la colaboración interinstitucional al momento de abordar los problemas públicos de los humedales.

5. Conclusiones

El estudio de las Ciénegas del Lerma revela la crítica situación de estos humedales, a pesar de su importancia ecológica y los esfuerzos de protección mediante su designación como Área Natural Protegida (ANP). La expansión urbana, la contaminación derivada de las descargas de aguas residuales y la sobreexplotación de los mantos freáticos representan amenazas significativas para estos ecosistemas.

Se recalca que las composiciones NIR, SWIR2, NDWI, NDVI deben complementarse con modelaciones que integren la dimensión temporal para aprehender las dinámicas del ecosistema y eventualmente, pronosticar fenómenos y tomar decisiones públicas preventivas. Asimismo, para planear estrategias de monitoreo y respuestas oportunas a los cambios ambientales. Es importante resaltar que en este trabajo fue fundamental la colaboración con expertos locales para enriquecer la comprensión de la ecología de los humedales.

Este tipo de análisis junto con recorridos de campo permitiría a los municipios mejorar sus ordenamientos territoriales y planear un desarrollo urbano ordenado. Asimismo, el uso de las composiciones NIR, SWIR2, NDWI, NDVI puede ser base de políticas públicas con mayor precisión, en lo que toca a la identificación de zonas y estrategias para la restauración y la conservación ambiental, y el desarrollo de actividades productivas sustentables.

Por último, los insumos cartográficos presentados permitieron dimensionar y explicar la realidad actual de dos humedales en relación con las AGEB que comparten frontera, lo cual, refleja su utilidad en el quehacer de las políticas públicas, específicamente, para la gestión ambiental. Si lo que se desea es preservar los humedales, se requiere un monitoreo constante que permita conocer las condiciones ambientales y las dinámicas socioespaciales en tiempo real, además es necesario la elaboración de planes de trabajo multidisciplinarios, por lo que las herramientas que se presentan en este trabajo permiten la colaboración entre funcionarios públicos de los tres órdenes de gobierno, especialistas de diversas disciplinas, actores de la sociedad civil y población local.

Bibliografía

- Aguilar, L. F. (comp.) (2010). *Política Pública*. México: Ed. S.XXI. ISBN: 978-607-03-0267-1.
- Arcilla, M. (2003). *Sistemas de información geográfica y medio ambiente*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz.
<http://hdl.handle.net/10498/27700>. ISBN 84-7786-827-1
- Buzai, G. & Baxendale, C. (2011). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica: perspectiva científica: temáticas de base ráster*. Lugar Editorial, Buenos Aires. ISBN: 978-950-892-385-1.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2021) Información Espacial de las Áreas Naturales Protegidas.
http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm
- Comisión Nacional del Agua (2012). Libro Blanco CONAGUA-04, Sustentabilidad del Sistema Cutzamala. CONAGUA/WBG.
<https://documents1.worldbank.org/curated/es/309801468189248037/pdf/99219-P150092-SPANISH-WP-PUBLIC-Box393194B.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (septiembre, 2020). GeoVisor del Inventario Nacional de Humedales (INH). Gerencia de Calidad del Agua.
<https://sigagis.conagua.gob.mx/humedales/>
- Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (1994) Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Recuperado de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf
- Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales*. 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf

- Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas 2018*. Secretaría de la Convención de Ramsar.
https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_spanish_web.pdf
- Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (2016). *Subserie 1/Manual 1: Introducción a la Convención sobre los Humedales: Cooperación internacional sobre los humedales*, 5ta. Edición. Secretaría de la convención de Ramsar.
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
- Decreto 20 de 2002 [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. Por el que se declara área natural protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Ciénegas del Lerma, ubicada en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México, con una superficie total de 3,023-95-74.005 hectáreas. 27 de noviembre de 2002. *Diario Oficial de la Federación*.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=718862&fecha=27/11/2002#gsc.tab=0
- Decreto 22 de 2003 [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. Por el que se declara área natural protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Ciénegas del Lerma, ubicada en los municipios de Lerma, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, Calpulhuac, San Mateo Atenco, Metepec y Texcalyacac en el Estado de México, con una superficie total de 3,023-95-74.005 hectáreas. 29 de julio de 2003. *Diario Oficial de la Federación*.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=693839&fecha=29/07/2003#gsc.tab=0
- Earth Observing System (2021). Land Viewer. <https://eos.com/products/landviewer/>
- Finlayson, C., D'Cruz, R., Davidson, N., Alder, A., Cork, S., Groot, G., Lévêque, Ch., Milton, G., Peterson, G., Pritchard, D., Ratner, B., Reid, W., Revenga, C., Rivera, M., Schutyser, F., Siebentritt, M., Stuij, M., Tharme, R., Butchar, S...Taylor, D. (2005). *Informe de síntesis de evaluación de los Ecosistemas del Milenio: Los ecosistemas y el bienestar humano: Humedales y agua*, World Resources Institute.
https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf / ISBN 1-56973-597-2.
- Garza, G. (1985). *El proceso de industrialización en la ciudad de México (1821-1970)*. El Colegio de México. <https://doi.org/10.2307/j.ctv26d9jx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Levantamiento: Manual de cartografía geoestadística*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/mg/metadatos/manual_cartografia_censal.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020a). *Marco Geoestadístico Nacional, Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020b). Red Nacional de Caminos. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/viascomunicacion/#Descargas>
- Landgrave, R. y Moreno-Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. Investigación ambiental. *Ciencia y política pública*, 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>
- Reid, W., Mooney, H., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Kumar A., Duraiappah, P., Hassan, T., McMichael, M., Samper, C., Scholes, R., Watson R., A.H. Zakri, Shidong, Z., Ash, N., Bennett, E.... Zurek M. (30 de marzo 2005). Un Informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. medición del milenio.org. ONU.
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.432.aspx.pdf>
- Torres, L. (2014). *Sistema Lerma: una visión política en la gestión pública del agua, ¿solución Estatal o Federal?* Instituto de Administración Pública del Estado de México, A. C.
<https://shs.hal.science/halshs-02055419>
- Velasco, J. (2008). La Ciénaga de Chiconahuapan, Estado de México: un humedal en deterioro constante. *Contribuciones desde Coatepec*, (15), 101-125.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28101505>
- Zepeda, C., Nemiga, X., Lot, A. & Madrigal Uribe, D. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas*, (78), 48.
<https://doi.org/10.14350/rig.32469>