

S3.C2 Contexto geográfico y delimitación del área de estudio

HUGO DE ALBA MARTÍNEZ
LUIS DAVID RIZO DECELIS

Las comunidades de Mezcala y San Pedro Itzicán del municipio de Poncitlán, en Jalisco, México, colindan con el lago de Chapala, el más grande del país (véanse los capítulos S3.C1 y S4.C2). A lo largo de su historia Mezcala y San Pedro Itzicán han tenido una relación estrecha con el lago de Chapala, ya que el agua del lago ha sido una fuente importante de alimentos y servido para el riego de los cultivos. Sin embargo, en los últimos años, esta región ha enfrentado problemas de salud pública (García-García et al., 2020), presumiblemente como consecuencia de múltiples factores sociales, ambientales y económicos. Ello se ha vuelto cada vez más común en esas comunidades (Smith et al., 2020).

El trabajo interdisciplinar es muy importante para un estudio sobre crisis sociohídrica, ya que permite abordar estos problemas desde diferentes perspectivas y conocimientos (véase el capítulo S3.C1). La riqueza del trabajo interdisciplinar radica en la combinación de diferentes ciencias y perspectivas, lo que permite una comprensión más completa y detallada de la crisis sociohídrica que se aborda.

El presente capítulo aporta elementos para el estudio del medio natural en la región mencionada. En este contexto, la denominada dimensión de derecho al medioambiente sano y a la salud (DMA) puede aportar elementos para la protección del agua como recurso vital y en la prevención de su contaminación. La caracterización del medio físico permite identificar y conocer el estado actual en el área de estudio, por ejemplo, los cambios en la topografía, la hidrología, el clima, la vegetación y la presencia de fuentes de contaminación pueden afectar la calidad del agua. Esto es especialmente relevante para sentar las bases del análisis de recursos hídricos y, posteriormente, lograr una aproximación preliminar para abordar problemas relacionados con la contaminación del agua y la salud pública. Además, facilita establecer comparaciones y seguimiento en el tiempo. Esto es esencial para determinar si se están instrumentando medidas adecuadas para proteger y mejorar la calidad del agua y la salud de las personas. Por otro lado, la descripción del contexto geográfico es fundamental para comprender las características del área donde se está realizando el análisis.

OBJETIVOS

El objetivo general del presente capítulo es llevar a cabo una caracterización general del medio físico (abiótico y biótico) del área de estudio definida. Para conseguirlo, el primer objetivo particular establecido fue acotar geográficamente la zona de trabajo y, de esta manera, contar con una delimitación que contenga los posibles factores involucrados en la problemática abordada. A partir de ello, los otros tres objetivos particulares son: recopilar e interpretar datos disponibles; proponer una delimitación del sistema hidrogeológico, e

identificar problemas potenciales relacionados con la calidad de los recursos hídricos y sistemas naturales que los proveen.

METODOLOGÍA

El trabajo de campo y el trabajo de gabinete fueron dos aspectos importantes para llevar a cabo un estudio como este. El trabajo de campo consistió en la recolección de datos y muestras en el área de estudio, mientras que el trabajo de gabinete implica el análisis y procesamiento de esa información y la elaboración de mapas. La realización de ambos tipos de trabajo es fundamental para obtener información precisa y confiable sobre el estado y las características del medio físico. Además, el trabajo de campo y de gabinete son complementarios, ya que el primero proporciona los datos necesarios para el segundo, y este permite confirmar y profundizar en los hallazgos obtenidos en el trabajo de campo.

El trabajo de campo permitió recopilar datos *in situ* y realizar mediciones y muestreos directos, mientras que el trabajo de gabinete permite analizar y procesar esos datos de manera más detallada y precisa.

Trabajo de campo

En el periodo comprendido entre 2019 y 2021 se realizaron varios recorridos en el área de estudio. Se contó con la participación de académicos, estudiantes del ITESO y habitantes de las comunidades. Durante estas visitas se llevaron a cabo diversas actividades, entre ellas: visitas de reconocimiento, toma de fotografías, levantamiento de puntos con GPS (modelo *etrex 10* de Garmin), muestreo de la calidad del agua superficial y subterránea (véase el capítulo S4.C2) y verificación y validación *in situ* de la información recopilada (espacial y no espacial), proveniente de distintas fuentes oficiales y científicas, principalmente.

Trabajo de gabinete

Para este trabajo se llevó a cabo una revisión de diversos trabajos relacionados con el objeto de estudio. Se consultaron distintas fuentes de información, así como a través de los acervos físicos y los servicios electrónicos de la biblioteca del ITESO, como libros, tesis y publicaciones periódicas. Entre las fuentes que resultaron especialmente útiles estuvieron las bases de datos electrónicas de publicaciones científicas prestigiosas, revisadas por pares y de alto impacto internacional.

Se consultaron también fuentes oficiales de los ámbitos federal, estatal y municipal. Entre las principales fuentes de información consultadas se encuentran el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Servicio Geológico Mexicano (SGM), la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Jalisco (Semadet), la Comisión Estatal del Agua (CEA), el Instituto de Información Estadística y Geográfica (IEEG), así como el Gobierno Municipal de Poncitlán, Jalisco.

Los datos espaciales, también conocidos como geoespaciales, son un tipo de información que describe la distribución en el espacio geográfico de objetos, rasgos o fenómenos, junto con sus atributos. Estos datos pueden obtenerse de fuentes como cartografía previa, teledetección, otros levantamientos y muestreos (Zhu, 2016). La principal utilidad de los datos

espaciales es que pueden ser procesados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su análisis. Ello permitió el estudio de los datos en función de su localización, con lo que es posible describir y analizar la distribución de características o patrones espaciales en un área determinada.

En este trabajo la información espacial recopilada se ha homologado al sistema de coordenadas proyectadas Universal Transversal Mercator (UTM), con unidades de longitud en metros y datum WGS 1984,¹ acotado a la Zona 13 del Hemisferio Norte.

Se han recopilado mapas vectorizados que contienen información topográfica, climática, geológica, fisiográfica y edafológica, además de sobre la cobertura del suelo y la vegetación en el área de estudio, a escala 1:250.000, 1:50.000 y 1:20.000 elaborados principalmente por el INEGI y la Conagua.

Respecto de las capas geográficas correspondientes a usos del suelo, esa información se ha generado originalmente en seis series a lo largo de más de 30 años: serie I (1980–1989), serie II (1990), serie III (2002–2005), serie IV (2006–2012), serie V y serie VI (2014). Se han unificado los mapas poligonales, a escala 1:50.000, que contienen información actualizada sobre los usos del suelo en el área de estudio (como núcleos urbanos y sus zonas verdes, obras de infraestructura, áreas de alta densidad de vegetación, localización de manantiales, etc.). Estos mapas han sido actualizados por el INEGI hasta 2021.²

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Delimitación del área de estudio

Desde el punto de vista cartográfico, la delimitación del área de estudio supuso un desafío, puesto que se pretende circunscribir el medio físico, biótico y antrópico de la problemática hídrica para ser analizada en el presente trabajo. Por ello, se consideró la cobertura de todo el municipio de Poncitlán, así como el área ocupada por el lago de Chapala, en una superficie que finalmente comprende 1,382 km² (véase la figura 3.2.1). Esto se decidió con la finalidad de acotar los factores más determinantes que intervienen en la gestión de los recursos hídricos en las localidades de San Pedro Itzcán y Mezcala, en Jalisco. Se constató que la propia definición municipal de Poncitlán está basada en criterios hidrográficos; sus fronteras oriental y septentrional están determinadas por la margen izquierda del río Santiago, mientras que su límite occidental está trazado conforme a la divisoria hidrográfica o parteaguas de la subcuenca de El Ahogado. Si bien se determinó que esta fuera la definición geográfica del área de estudio, la problemática descrita en este trabajo no excluye otras zonas relacionadas, como la zona conurbada de Guadalajara y regiones aledañas (véase la figura 3.2.1). El municipio de Poncitlán tiene una extensión territorial de 276.13 km² (IEEG, 2021), está delimitado por el río Santiago, en la región de la Ciénega dentro del estado de Jalisco. Sus municipios colindantes son Chapala, Ocotlán, Zapotlán del Rey y Juanacatlán. Al sur colinda con el lago de Chapala.

1. WGS 84 (World Geodetic System 1984) es un sistema geodésico de coordenadas geográficas usado mundialmente, que permite localizar cualquier punto de la Tierra, por medio de tres unidades dadas (x,y,z).

2. Estos mapas se pueden consultar y descargar del sitio web del INEGI: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>

FIGURA 3.2.1 ÁREA DE ESTUDIO



MEDIO ABIÓTICO

Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1964) para la República Mexicana, el clima predominante en el área de estudio es templado subhúmedo (A)C(wo)(w), con la mayor parte de las lluvias durante el verano, y son las precipitaciones invernales aproximadamente 5% de la precipitación total anual.

La tabla 3.2.1 muestra las normales climatológicas extraídas de los datos registrados en la estación meteorológica del municipio de Mezcala de la Asunción (SMN, 2010), clave 14379, con un periodo histórico de 59 años (1951–2010).

De acuerdo con la tabla 3.2.1, la temperatura media del aire durante el periodo histórico varía entre 16.2 y 23.4 °C, con un valor medio de 20.1 °C. La precipitación promedio (total anual) es de 880.7 mm.

El diagrama ombrotérmico de Gaussen (también conocido como climograma) permite identificar los periodos secos y húmedos a lo largo del año. Este gráfico representa las medias mensuales de temperatura y precipitación en los ejes verticales en una relación 1:2, respectivamente. Las áreas entre ambas curvas representan los periodos secos y húmedos; cuando la temperatura media mensual está por encima de la precipitación se considera temporada seca, mientras que los periodos húmedos corresponden a aquellos en los que la precipitación media mensual está por encima de la curva temperatura media mensual. La figura 3.2.2 muestra el diagrama ombrotérmico elaborado con datos de la estación Mezcala antes descrita, en la que se puede apreciar que el periodo húmedo comienza en mayo y termina en octubre. El periodo húmedo presenta una gran intensidad concentrada en julio, aunque el periodo de estiaje rebasa la duración del periodo de lluvias.

TABLA 3.2.1 NORMALES CLIMATOLÓGICAS

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Récord T_{Max} (°C)	23.8	25.8	28.3	30.4	31.4	29.7	27.1	27.3	27	26.6	25.3	23.7	27.2
Promedio T_{Max} (°C)	26.8	28.6	31.5	33.4	34.3	33	28.6	28.6	28.5	28	27.5	25.8	
Temp. media (°C)	16.2	17.5	19.5	21.7	23.4	23.1	21.5	21.5	21.3	20.3	18.2	16.4	20.1
Promedio T_{Min} (°C)	8.6	9.3	10.8	12.9	15.4	16.4	15.8	15.7	15.5	13.9	11.1	9.1	12.9
Récord T_{Min} (°C)	4.4	3.4	4.7	7	11.4	15	14.7	14.7	14.3	9.4	6.8	5.5	
Precipitación promedio (mm)	20.1	4.5	2.6	4.1	18.4	189.7	244.4	182.8	144.7	48.1	14.2	7.1	880.7
Precipitación promedio en 24h (mm)	84.9	26.6	14	20	29	87	100.3	85	90.3	52.3	68.1	27	
Evapotranspiración potencial (mm)	105	132.4	183.8	211.1	209	155.3	123.9	125.1	115.2	124.7	104	92.3	1681.8

FIGURA 3.2.2 DIAGRAMA OMBROTÉRMICO DE LA ESTACIÓN MEZCALA, CLAVE: 14379

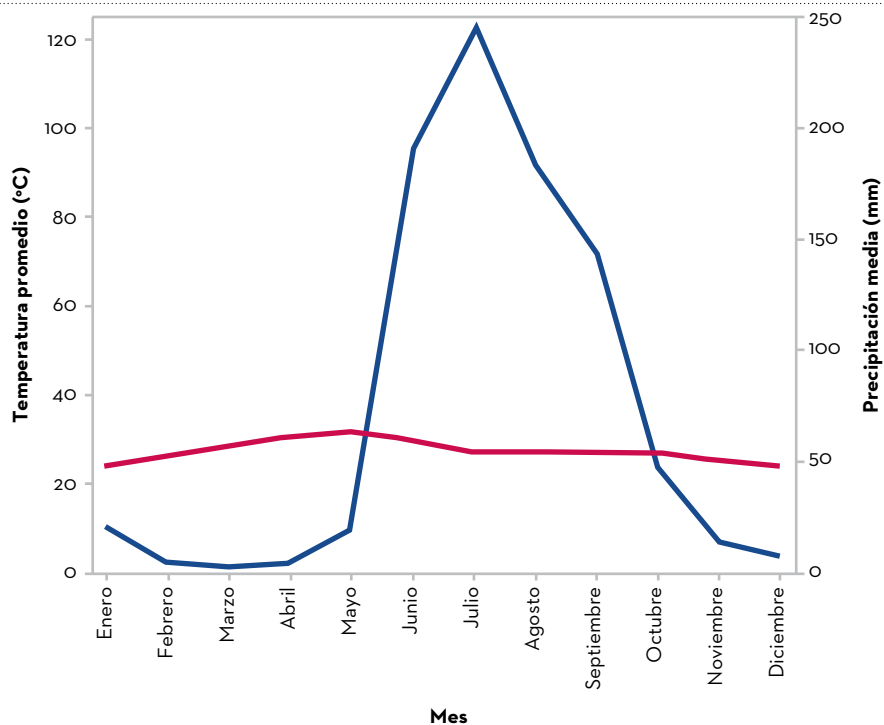


FIGURA 3.2.3 HIPSOMETRÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO



TOPOGRAFÍA

El rango altitudinal del área de estudio está entre 1,520 y 2,350 m s.n.m. (IEEG, 2021). Las cumbres más notorias corresponden a los cerros Punta Grande (2,330 m s.n.m.), el cerro Grande, Chiquihuitillo y Chalpicote. Las partes más bajas corresponden al lago de Chapala (1520 m s.n.m.) y al límite norte, que coincide con la margen izquierda del río Santiago (véase la figura 3.2.3). La mayor parte del área de estudio comprende terrenos planos, con pendientes menores a 5° . El resto se conforma de lomeríos ($5^\circ - 15^\circ$) y montañas ($> 15^\circ$).

GEOLOGÍA

Contexto geológico

El área de estudio, así como el lago de Chapala, se encuentran dentro del Eje Neovolcánico, una región que cruza toda la república mexicana; se extiende desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México y tiene un ancho aproximado de 130 km y una longitud de 900 km (Ferrari et al., 2012). Esta provincia fisiográfica se formó a partir de movimientos tectónicos que dieron lugar a la formación del Eje Neovolcánico, una región delimitada al este y al oeste que presenta una orientación este-oeste. Como resultado de estos movimientos se creó una serie de horts-grabens³ que, debido a su ubicación y disposición, dieron origen a los principales lagos de la zona. Estos lagos fueron rellenados parcial o totalmente por material sedimentario (Ferrari et al., 2012; Conagua, 2015).

3. Las palabras *horst* y *graben* provienen del alemán. En Geología, *horst* alude a un sector elevado, mientras que *graben* se refiere a una zona baja correspondiente a una zanja, trinchera o fosa tectónica.

El Eje Neovolcánico tiene una altitud media de 2,500 m sobre el nivel del mar (Ferrari et al., 2012). El lago de Chapala está conectado a un antiguo sistema de cuencas lacustres pleistocénicas, que se caracterizan por ser grandes masas de rocas acumuladas a lo largo de sucesivos episodios volcánicos, desde el periodo Terciario, hace 35 millones de años. La zona está compuesta por grandes sierras y conos volcánicos dispersos o en serie, escudos de basalto, depósitos de arena y cenizas. La actividad volcánica en esta región se desarrolló a lo largo de líneas de falla que rodean al lago (Ortega-Gutiérrez, 1992; Ferrari et al., 2012).

Tipos de roca

El Eje Neovolcánico se caracteriza por contener rocas ígneas que se acumularon en diferentes etapas, entre el Mioceno y hasta el Holoceno; sierras, volcanes de tipo escudo, estratovolcanes, así como depósitos de arena y ceniza. Afloran también areniscas de origen volcánico, todo este paquete presenta una edad correspondiente al Cuaternario, descansando sobre un basalto del Terciario Superior.

El área de estudio delimitada se encuentra constituida por materiales sedimentarios aluviales, de llanura de inundación, como Piamonte lacustre y limolitas. También hay areniscas de origen volcánico del periodo Cuaternario, sobre basalto del periodo Terciario (Campos-Enríquez & Alatorre-Zamora, 1998; CEA, 2015). Fundamentalmente, la litología predominante son rocas de tipo andesitas o basalto del Plioceno, así como material aluvial del Cuaternario (véase la figura 3.2.4) en las zonas bajas a lo largo de la ribera (Alatorre-Zamora & Campos-Enríquez, 1998; Torres-González, 2012; Ferrari et al., 2012). Las rocas más antiguas que forman el basamento son del Mesozoico y Cenozoico (Ortega-Gutiérrez et al., 2000).

Edafología

El suelo es una mezcla de minerales, materia orgánica, gases y agua, que ha sido sometida a procesos de meteorización. Constituye un recurso que cumple un papel clave en los bienes ecosistémicos, sociales y económicos vitales para el desarrollo, dado que el suelo interviene en el suministro de agua y nutrientes a las plantas, además de proteger los ríos y acuíferos al atenuar la toxicidad de los contaminantes vertidos en el medio natural (JRC, 2016). El suelo predominante en el área de estudio es de tipo feozem (52.8%), que también el más común en el estado de Jalisco; se presenta en cualquier tipo de relieve y clima (véase la figura 3.2.5). Es el cuarto tipo de suelo más abundante a escala nacional. Son suelos con espesor muy variable; los más profundos suelen ser utilizados para la agricultura, ya sea de riego o temporal. La gran mayoría de los suelos en área de estudio presenta una textura fina, es decir, con granos cuyo diámetro es menor a 0,002 mm (INEGI, 2009; IIEG, 2021).

Hidrología superficial

Con respecto a la administración de los recursos hídricos, el área de estudio se encuentra en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago y, más concretamente, en la Región Hidrológica Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico, Cuenca Hidrológica Río Santiago 1 y Río Lerma 7 (Conagua, 2014; CEA, 2015). Esta delimitación abarca 65.78% del territorio municipal, y Río Lerma 7 el 34.22 % restante (CEA, 2015); son 2,958.6 km² y 6,306.15 km², respectivamente (véase el capítulo S3.1).

FIGURA 3.2.4 TIPO DE ROCAS AFLORANTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO



FIGURA 3.2.5 UNIDADES Y TEXTURA DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO



Hidrogeología

La Ley de Aguas Nacionales (1992) de México, modificada en 2016, establece que un acuífero es cualquier formación geológica que contiene o permite el flujo de agua subterránea que puede ser explotada, y que se delimita convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración. Por otro lado, la Directiva Marco Europea (2000) define un acuífero como una o más capas subterráneas de roca que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir un flujo significativo de agua o su extracción en cantidades significativas. Estas definiciones difieren en que la normativa europea se centra en la cantidad de agua que se puede obtener de las formaciones rocosas definidas como acuíferos según sus propiedades hidrogeológicas, mientras que la legislación mexicana se refiere a los límites administrativos sin tener en cuenta el caudal que se puede extraer de los materiales existentes (Rizo-Decelis, 2017).

Desde 2001 la Comisión Nacional del Agua (Conagua) ha publicado anualmente el marco de referencia para la asignación de concesiones de aguas subterráneas y la instalación de pozos de extracción en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF). Esto determina la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los territorios delimitados por líneas poligonales. Los informes publicados por la Conagua recogen los criterios utilizados para cuantificar las aguas subterráneas, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que requiere realizar un balance para definir con precisión la recarga de los acuíferos y, en consecuencia, estimar el volumen disponible para su aprovechamiento. Sin embargo, todos los acuíferos en México son administrados de manera diferente, y la obtención de una concesión depende de la clasificación del acuífero en la ubicación deseada. No se puede obtener un permiso para instalar un sondeo en una zona de veda, reserva o con déficit. El *Manual de procedimientos para la delimitación de acuíferos*, publicado por la Subgerencia de Aguas Subterráneas de la Conagua (2009), señala que estas áreas administrativas denominadas *acuíferos* no tienen en cuenta las características litológicas del territorio. La definición de los acuíferos en México se basa en la legislación que rige la otorgación (o negación) de concesiones de aguas subterráneas. Según este documento oficial, el objetivo de los polígonos delimitados es cubrir completamente el territorio, independientemente de sus propiedades hidrogeológicas (Conagua, 2009; Rizo-Decelis, 2017).

De manera general, el sistema hidrogeológico en el área de estudio corresponde a acuíferos detríticos de materiales volcánicos, formados por litología granular y arcillosa, así como lacustre y residuos de llanura de inundación. También se encuentran depósitos fluviales con altos valores de transmisividad, y pueden constituir acuíferos productivos cuando los niveles piezométricos se hallan a poca profundidad con respecto a la cota topográfica (INEGI, 1998). Otro material característico en el área de estudio es de origen lacustre del Terciario (CEA, 2015; Conagua, 2015), de color verde grisáceo, con textura fina. Estos materiales han rellenado los grabens, que deben su origen a fallamientos normales, y forman buenos acuíferos, por sus altos valores de porosidad y permeabilidad (Ferrari et al., 2012). De acuerdo con la Conagua (2020), existe evidencia de su interconexión hidrológica con la Ciénega de Chapala, a través de sedimentos lacustres.

La cartografía distribuida por el INEGI en formato vectorial, a escala 1:250.000, cuenta con el mejor detalle disponible para toda el área de estudio. Esta información ha sido obtenida por esa institución entre 1994 y 2010 y se ha completado con la documentación de ensayos de bombeo realizados en numerosos sondeos del área de estudio. Los ensayos han sido llevados

FIGURA 3.2.6 DELIMITACIÓN PRELIMINAR DEL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO



a cabo con caudal constante y los cálculos de transmisividad y coeficiente de almacenamiento se han hecho mediante los métodos de Theis, Cooper Jacob y Theis-Jacob, según cada caso (INEGI, 1996, 1998; Rizo-Deceles, 2017). El mapa de la figura 3.2.6 “Delimitación preliminar del sistema hidrogeológico” fue realizado con esta información en forma de polígonos. Se observan tres sectores en los que existe un mayor potencial, en términos de extracción de agua subterránea: el material aluvial distribuido al norte de la delimitación del área de estudio, que colinda con el municipio de Zapotlán del Rey y al oeste con Ocotlán. Asimismo, se localiza una formación de “Material consolidado con posibilidades altas” que se refiere a la presencia de basaltos fracturados con buena permeabilidad secundaria, situado al oeste de Mezcala.

Para una mejor definición del sistema hidrogeológico la Conagua cuenta con una red de pozos con medición de niveles en la región desde 1990 y, según se indica en el documento sobre disponibilidad, se realizan trabajos de campo de manera constante desde 2012 para validar sus resultados. De acuerdo con ese informe los niveles no han descendido sustancialmente en los últimos 30 años. El sentido de flujo general va suroeste a noreste (Conagua, 2015; Conagua, 2020). Desde el punto de vista hidrogeoquímico en el área de estudio predomina el tipo bicarbonatado sódico, con una concentración de entre 300 y 1200 mg/l de sólidos disueltos totales. En general, las aguas son ligeramente duras debido a su contenido de carbonatos de calcio (Conagua, 2015).

MEDIO BIÓTICO

Biodiversidad

El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, como ya se ha mencionado. Según la Conabio (1998), este sector pertenece al Nivel I de ecorregión

FIGURA 3.2.7 ECORREGIONES NIVEL IV



FIGURA 3.2.8 POLÍGONO DE PROTECCIÓN CERRO SAN MIGUEL-CHIQUIHUITILLO



terrestre número 12: Elevaciones Semiáridas Meridionales. En el Nivel II corresponde a la Altiplanicie Mexicana, en el Nivel III a Lomeríos y Planicies del Interior con Matorral Xerófilo y Bosque Bajo de Mezquite, y en el Nivel IV a Lomeríos y Planicies del Altiplano con Matorral Xerófilo y Pastizal, y Planicie Interior con Mezquital (véase la figura 3.2.7).

La mayor biodiversidad terrestre en el área de estudio se encuentra dentro del polígono “Cerro San Miguel–Chiquihuitillo” del Área Estatal de Protección Hidrológica “Sierra Cón-di-ro–Canales y Cerro San Miguel Chiquihuitillo”⁴ (véase la figura 3.2.8). En este polígono se encuentran 262 especies de aves, 113 especies de mamíferos, 49 especies de reptiles y 20 especies de anfibios (Semadet, 2018).

Con respecto a la biodiversidad acuática, en la cuenca del lago Chapala se han reportado 226 especies de fitoplancton —algas microscópicas— (Juárez & Llamas, 2005). Las comunidades de zooplancton están dominadas por la clase Copepoda, particularmente copépodos y cladóceros, ambos son crustáceos microscópicos que suelen formar parte de la cadena alimenticia como presas de peces y otros animales, y desempeñan un papel importante en los ecosistemas acuáticos. Con respecto a la biodiversidad de peces, la cuenca Lerma–Chapala es conocida por su alta diversidad biológica, ya que muchas de las especies que habitan en la zona son únicas de esa región. El lago de Chapala es un importante centro de origen, evolución y biogeografía de la fauna íctica en México, y cuenta con una amplia variedad de especies endémicas, como goodeidos, charales y pescados blancos (Juárez–Aguilar, 2013).

Cobertura de suelo y tipos de vegetación

Para describir los tipos de vegetación y coberturas del suelo se utilizaron los datos del INEGI, que clasifica la vegetación del país con base en sus afinidades ecológicas, florísticas y fisiológicas. La agrupación se basa en primer lugar en aspectos climáticos, pero a veces también en características edafológicas, geológicas y topográficas que pueden ser relevantes. Además, el sistema de clasificación también considera el “desarrollo de la vegetación”, que evalúa el grado de perturbación (natural o antrópica). La vegetación se define como primaria cuando no hay disturbios o estos son muy bajos, y como secundaria cuando ha sido modificada por perturbaciones y muestra el proceso de sucesión ecológica (INEGI, 2015). Según la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie VII (INEGI, 2018), la mayor parte de la superficie (74%) corresponde al lago de Chapala, 16% a usos agrícolas (64% si no se toma en cuenta la superficie del lago), 1% a asentamientos humanos y el resto a zonas forestales, vegetación secundaria y áreas desprovistas de vegetación (véanse la tabla 3.2.2 y la figura 3.2.9)

La gestión adecuada de los cambios en el uso del suelo, de forestal a agrícola, es vital para garantizar la sostenibilidad a largo plazo, tanto de la producción de alimentos como de la conservación de ecosistemas. Una de las principales preocupaciones es la sobreexplotación del agua subterránea, ya que la sobreexplotación puede afectar gravemente su calidad y disponibilidad para uso futuro. Además, el uso excesivo de agroquímicos, especialmente herbicidas, insecticidas y fertilizantes puede tener graves efectos sobre la salud humana y el medio natural. Estas sustancias pueden contaminar el suelo y el agua, y afectar negativamente a la biodiversidad y la salud de las personas. Otra preocupación importante es la erosión,

4. El Área Estatal de Protección Hidrológica “Sierra Cón-di-ro–Canales y Cerro San Miguel Chiquihuitillo” fue decretada el 1 de febrero de 2018 y cuenta con una superficie 18,608.91 hectáreas.

TABLA 3.2.2 TIPOS DE VEGETACIÓN Y COBERTURA DEL SUELO

Tipo de vegetación / Uso del suelo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura de humedad anual	7,490	5.42%
Agricultura de riego anual	7,102	5.14%
Agricultura de riego permanente	83	0.06%
Agricultura temporal anual	8,555	6.19%
Asentamientos humanos	1,103	0.80%
Bosque de encino	976	0.71%
Cuerpo de agua	101,721	73.58%
Desprovisto de vegetación	103	0.07%
Pastizal inducido	3,793	2.74%
Selva baja caducifolia	2,355	1.70%
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	830	0.60%
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	1,760	1.27%
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	2,364	1.71%
Total general	138,240	100.00%

FIGURA 3.2.9 TIPOS DE VEGETACIÓN Y COBERTURA DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO



que puede ocurrir cuando se cultivan terrenos de manera intensiva sin tomar medidas para proteger el suelo. Ello puede reducir la productividad de los cultivos a largo plazo. También es importante considerar las prácticas pecuarias, ya que el manejo inadecuado de los animales puede derivar en degradación ambiental y pérdida de biodiversidad.

CONCLUSIONES

La delimitación geográfica del área de estudio fue un desafío desde un punto de vista cartográfico, ya que se buscaba circunscribir el medio físico, biótico y antrópico relacionado con la problemática hídrica a ser analizada. Esta delimitación puede servir como punto de partida para estudios posteriores que profundicen en la problemática aquí abordada. Esta circunscripción se acotó a partir de mapas existentes, así como del intercambio de perspectivas disciplinares durante el trabajo colaborativo con las otras Dimensiones participantes (véase la sección S2). Ello se desarrolló mediante un taller para conseguir aterrizar los intereses del diverso grupo de investigación.

El diagrama ombrotérmico permitió identificar los periodos secos y húmedos a lo largo del año. Se pudo apreciar que el periodo húmedo es de corta duración, comienza en mayo y termina en octubre, aunque con una intensidad importante. Por el contrario, el periodo de estiaje es de mayor duración, aunque de menor intensidad. Por esta razón es recomendable que las campañas de muestreo de calidad de agua se diseñen tomando en cuenta esto y se lleven a cabo durante el periodo de estiaje, para evitar un efecto de dilución que subestime la concentración de contaminantes o, en contraste, las primeras lluvias podrían arrastrar contaminantes y sobreestimar su cuantificación.

Se han identificado algunas carencias actuales en la gestión del agua subterránea en el área de estudio, las cuales ocurren en prácticamente todo el territorio nacional. La delimitación de los sistemas hidrogeológicos debe mejorar sustancialmente; hay una falta de control sobre el número de pozos o niveles piezométricos, así como de sus límites, o de los caudales extraídos. Esto refleja la necesidad de incorporar trabajos de carácter científico para determinar la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos y proponer medidas más detalladas para su protección.

Las coberturas del suelo más relevantes en el área de estudio, además del lago de Chapala, son la agricultura de riego, la agricultura de temporal, la agricultura de humedad, el bosque de encino, la selva baja caducifolia y el pastizal inducido. Los cambios de uso del suelo de forestal a agrícola condicionan la sostenibilidad, a largo plazo, de los sistemas agrícolas, y esto dificulta proteger la salud humana y el medioambiente. En este sentido, la gestión adecuada del Área Estatal de Protección Hidrológica “Sierra Cóndiri–Canales y Cerro San Miguel Chiquihuitillo” presenta una gran oportunidad para el mantenimiento y potenciación de servicios ecosistémicos, particularmente aquellos relacionados con los ecosistemas hidrológicos.

La cartografía presentada en este trabajo puede servir para la delimitación de los acuíferos que abastecen a las comunidades de San Pedro Itzicán y Mezcala. Estos mapas se realizaron a partir de la división administrativa utilizada actualmente, la descripción de los mapas hidrogeológicos, la cartografía geológica (a escala 1:250,000) y sondeos inventariados por las instituciones públicas. Esta propuesta puede servir como punto de partida para mejorar la gestión y el estudio de las aguas subterráneas en el área de estudio, con un enfoque más hidrogeológico. Ello permitiría avanzar en las estrategias de protección de esas fuentes de agua, que proporcionan la mayor parte del abastecimiento a la población. Por lo tanto, el agua

subterránea es un componente que debe estar muy presente en la organización territorial de esas comunidades. Es importante identificar los sectores con mayores posibilidades y que tengan menor impacto en el medio natural, para el desarrollo sustentable de esas localidades.

La información del medio físico y biótico proporcionada en este capítulo es esencial para comprender, de manera integral, la crisis sociohídrica, y aporta elementos para diseñar estrategias que abordan esa crisis. La colaboración entre diversas disciplinas permitió la construcción de metodologías robustas, en tanto que la delimitación precisa del área de estudio proporciona un enfoque geográfico específico. Es decir, la confluencia entre el trabajo interdisciplinario, descrito en la sección 2, y la delimitación espacial en este capítulo, ofrece una comprensión más profunda y contextualizada de la vulnerabilidad, la injusticia y el agravio de las comunidades de San Pedro y Mezcala. La combinación de enfoques interdisciplinarios y geográficos es fundamental para abordar problemas complejos de manera integral y holística. Esto permite una comprensión más amplia de las dinámicas socioambientales, en el contexto de la crisis sociohídrica del área de estudio delimitada.

REFERENCIAS

- Alatorre-Zamora, M. A., Campos-Enríquez, J. O. (1991). La Primavera caldera (Mexico): Structure inferred from gravity and hydrogeological considerations. *Geophysics*, No.56, 992-1002.
- Ariel Construcciones SA de CV. (1989). *Estudio geohidrológico de la zona de Tesistán-Atemajac, Estado de Jalisco*. Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Contrato SGA-89-47.
- Centro Estatal de Estudios Municipales de Jalisco. (2015). *Poncitlán, 2022*. Secretaría General de Gobierno <https://www.jalisco.gob.mx/wx/jalisco/municipios/poncitlan>
- CEA. (2015). http://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region7/poncitlan.pdf
- Conabio. (1998). *La diversidad biológica de México: estudio de país*.
- Conagua. (2013). Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación* 07-06-2013. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/3_LeyDeAguasNacionales.pdf
- Conagua. (2015). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Poncitlán, estado de Jalisco. 2022. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103713/DR_1404.pdf
- Conagua. (2018). Estadísticas del agua en México.
- Conagua. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Poncitlán (1404), Estado de Jalisco, febrero de 2022. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1404.pdf
- Directiva Marco Europea del Agua. (2000, 23 de octubre). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.
- DOF. (2020, 20 de diciembre). Acuerdo por el que se actualiza la Disponibilidad Media de Agua Subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. *Diario Oficial de la Federación*.
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V. & Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, No.522, 122-149.

- García, E. (1964). *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen* (5ª ed.). Instituto de Geografía-UNAM.
- García-García, G., Gutiérrez-Padilla, A., Pérez-Gómez, H. R., Chávez-Iñiguez, J. S., Morraz-Mejía, E. F., Amador-Jimenez, M. J., Romero-Muñoz, A. C., González-De la Peña, M. D. M., Klarenbach, S. & Tonelli, M. (2020). Chronic kidney disease of unknown cause in Mexico: The case of Poncitlán, Jalisco. *Clinical Nephrology*, 93(1), 42-48. <https://doi.org/10.5414/CNP92S107>
- Hernández-García, A. (2014). Agua y tierra: Organización y reordenamiento de las tierras ganadas y actividades emergentes en el Lago de Chapala, México (1904-2014). *Agua y territorio*, No.5, 111-120.
- IIEG. (2018). Poncitlán, diagnóstico del Municipio. *Geospatial World Awards*. <https://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/Poncitlan.pdf>
- IMTA. (2009). Estrategia general para el rescate ambiental y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala.
- IMTA. (2013). Extractor rápido de información climática III, versión 3.2. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua/Comisión Nacional del Agua.
- INEGI. (1996). Cartas hidrológicas de Aguas Subterráneas a escala 1:250.000.
- INEGI. (1998). *Estudio hidrológico del estado de Jalisco*. Dirección General de Difusión.
- INEGI. (2009). Diccionario de datos edafológicos de la cartografía nacional, a escala 1:250.000.
- INEGI. (2015). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000: serie V.
- INEGI. (2014, 20 de enero). Información Cartográfica 1:1'000,000. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/productos_geograficos.aspx
- Juárez, C. E. & Llamas, E. (2005). Zooplankton del Lago de Chapala. En Orozco, M. M. & García, V. J. (Comps.). *Diagnóstico ambiental del lago de Chapala*. Universidad de Guadalajara.
- Juárez-Aguilar, A. (2013). Características de la subcuenca Chapala. En *Contaminación Agrícola y Erosión en la Cuenca del Lago Chapala* (pp. 27-50). Corazón de la Tierra; Instituto de Desarrollo Ambiental.
- Ley de Aguas Nacionales. (1992). *Diario Oficial de la Federación*. [Aprobada por la Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, en 1992. México (Última reforma: 24-03-2016)].
- Ortega-Gutiérrez, F. (Comp.) (1992) (5ª ed). Carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2'000,000. UNAM.
- Rizo-Decelis, L. D. (2017). *Consideraciones sobre la calidad del agua del río Santiago (México) y cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos de su cuenca, para una adecuada gestión y planificación hidrológica*. [Tesis de doctorado en Ciencias]. Universidad de Málaga, España.
- Semadet. (2018). Decreto que establece la declaratoria del área natural protegida bajo la categoría de "Área Estatal de Protección Hidrológica Sierra Cóndiri-Canales y Cerro San Miguel Chiquihuitillo". *Periódico Oficial de Jalisco*, p.3. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/content/jueves-1-de-febrero-de-2018-16>
- Smith, C. D., Jackson, K., Peters, H. & Herrera-Lima, S. (2020). Lack of Safe Drinking Water for Lake Chapala Basin Communities in Mexico Inhibits Progress toward Sustainable Development Goals 3 and 6. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph17228328>

- SNM. (2010). *Estación Meteorológica Mezcala (14379)*. Comisión Nacional del Agua de México. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/resources/normales5110/normal14379.txt>
- Torres-González, L. G. (2012). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local del municipio de Poncitlán. Enero 2022*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.poncitlan.gob.mx/images/Transparencia/Leyes/32-3/Ordenamiento%20Ecologico%20Poncitlan.pdf>
- Unión Europea, Joint Research Center. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. European Commission–Publications Office of the European Union.
- Zhu, X. (2016). *GIS for environmental applications: a practical approach*. Routledge.