

Elementos para gestión del agua en la cuenca del lago de Zirahuén

Elements for water management in Zirahuén lake watershed

Mauricio José Ríos¹, Rosalva Mendoza Ramírez², Rodolfo Silva Casarín², Roel Simuta Champo¹,
Delfino Reyes López³ y Fermín Pascual Ramírez^{4*}

¹ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 1ª Sur Poniente no. 1460, Col. Centro. 29000 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

² Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria. 04510 Delegación Coyoacán, Ciudad de México, México.

³ Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. Universidad S/N, San Juan Acateno. 73965 Teziutlán, Puebla, México.

⁴ CONACYT-Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro #8701, Col. ExHacienda de San José de la Huerta. 58190 Morelia, Michoacán, México.

* Autor responsable (fpascualr@gmail.com)

RESUMEN

El conocimiento de los fenómenos en el interior de una cuenca permite identificar la relación causa-efecto en tiempo y espacio mediante modelación. Una de las etapas necesarias es conocer los elementos que conforman e influyen en forma directa en los escurrimientos; éstos constituyen la base para plantear y formular estrategias de conservación y manejo del recurso hídrico. El objetivo principal fue conocer la condición actual de la cuenca del lago de Zirahuén estudiando los acervos de información disponibles del lugar de estudio. Se recopiló información fisiográfica, sociodemográfica y geomorfológica, en las bases oficiales de información de acceso público y se ejecutaron procesos geoespaciales en el acondicionamiento y análisis de la información. Se encontró que a pesar de la distribución en cobertura y uso del suelo, las características morfométricas contribuyen a la estabilidad del lago. De continuar las tendencias de la dinámica poblacional y el uso del suelo, la supervivencia de los ecosistemas podría estar amenazada por el aumento de la población y de las actividades productivas que deterioran y alteran el ciclo hidrológico, con disminución de acceso al agua, en cantidad y calidad, para las actividades humanas esenciales.

Palabras clave: *caracterización de cuencas, uso del suelo, morfología de cuencas, sustentabilidad, gestión de recursos hídricos.*

SUMMARY

Knowledge of the phenomena that occur in a basin allows finding cause-effect relationships over time and space through modeling. One of the necessary steps is to determine elements that make up and directly influence runoff. These elements are the basis for planning and formulating strategies for the conservation and management of water resources. The main goal was to determine the current condition of the Zirahuén lake basin by studying collections of available information of the place of study. We collected physiographic, sociodemographic and geomorphological information in the official databases of public access, and geospatial processes were executed in conditioning and analysis of the information. It was found that despite the distribution in coverage and land use, the morphometric characteristics contribute to lake stability. If trends in population dynamics and land use continue, ecosystem survival could be threatened by the increase in population and productive activities that deteriorate and alter the hydrological cycle, with decreases in access to water, in quantity and quality, for essential human activities.

Index words: *watershed characterization, land use, watershed morphology, sustainability, water resources management.*

Cita recomendada:

José Ríos, M., R. Mendoza Ramírez, R. Silva Casarín, R. Simuta Champo, D. Reyes López y F. Pascual Ramírez. 2018. Elementos para gestión del agua en la cuenca del lago de Zirahuén. *Terra Latinoamericana* 36: 431-439. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.418>

Recibido: junio de 2018. Aceptado: septiembre de 2018.

Publicado como Ensayo en
Terra Latinoamericana 36: 431-439.

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son las unidades territoriales básicas para la gestión integrada de recursos hídricos, se definen como el área superficial que drena sus aguas de escurrimiento en una salida única, estructurada de manera jerárquica que funciona a diferentes niveles de organización (Thoms *et al.*, 2007; Mavrommati *et al.*, 2013), donde los cambios y sus efectos ocurren a diferente escala espacial y temporal (O'Neill y King, 1998). La eficacia de las decisiones con respecto a la gestión de los recursos hídricos depende del conocimiento integral de las características, los actores y las interacciones; en este sentido, es una entidad socio-político-ecológica que desempeña una función crucial en la seguridad alimentaria, social y económica (Wani *et al.*, 2008).

El lago de Zirahuén, con profundidad máxima de 39.4 m, es uno de los cuerpos de agua superficiales más estudiados (Martínez-Almeida y Tavera, 2005); sin embargo, la descripción de las características generales de la cuenca es escasa y en ocasiones solo enfocada a los fines particulares de cada estudio (Bravo *et al.*, 2009; Lozano-García *et al.*, 2013; Mendoza *et al.*, 2015), por lo que es necesario integrar la información referente a la cuenca.

Los métodos morfométricos permiten definir características de la cuenca, mediante la obtención de índices que aproximan la definición del estado y transformación a través del tiempo (Rai *et al.*, 2017). Estos métodos estudian la relación altura-área, la superficie de erosión, la pendiente, y las características

particulares del terreno, todo ello, para conocer la temporalidad y calidad de los escurrimientos (Nongkynrih y Husain, 2011). De manera similar, en la evaluación potencial de las aguas subterráneas y superficiales que requiere el análisis de parámetros propios de la cuenca y de su red de drenaje (Rai *et al.*, 2017).

Las características de drenaje en una cuenca determinan el comportamiento de la velocidad en que las aguas circulan sobre la superficie y condicionan la capacidad de respuesta de la cuenca ante las precipitaciones (Esper y Perucca, 2014). Además de los parámetros geomorfológicos, es importante tener información sobre los aspectos geológicos, edáficos y la cobertura vegetal para caracterizar una cuenca. Las características edáficas condicionan la permeabilidad, los suelos influyen sobre el régimen hidrológico de las corrientes, los patrones de drenaje reflejan el grado de ramificación que presenta una cuenca (Horton, 1932) y responden a la capacidad de infiltración y retención de humedad en el suelo. Por último, la cobertura vegetal controla la capacidad de retención, evapotranspiración y el escurrimiento dentro de una cuenca.

Área de Estudio

La Cuenca del Lago Zirahuén ($19^{\circ} 21' 09''$ y $19^{\circ} 29' 51''$ N y $101^{\circ} 29' 11''$ y $101^{\circ} 46' 22''$ O) está en la región central norte del estado de Michoacán de Ocampo, México (Figura 1) y pertenece a la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y la subprovincia Neovolcánica Tarasca (INEGI, 2001). Está en la cuenca

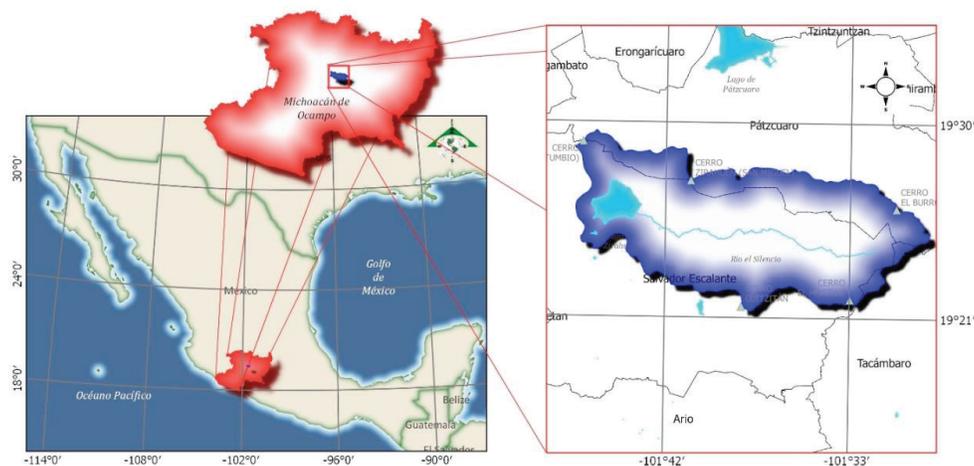


Figura 1. Macrolocalización de la cuenca del lago de Zirahuén.

R. Tepalcatepec-Infiernillo de la Región Hidrológica 18 Balsas; la superficie oficial es 273.07 km² y el perímetro 90.34 km, es de tipo cerrada (endorreica); su afluente principal es el Río El Silencio también conocido como La Palma (CONAGUA, 2009); colinda al suroeste con la subcuenca Río La Parota, al sureste con la subcuenca Río Tacámbaro, al noreste con la subcuenca del Lago Cuitzéo y al norte con la subcuenca Lago de Pátzcuaro. Abarca un territorio que pertenece a los municipios de Salvador Escalante (73.7%), Pátzcuaro (24.8%) y Tacámbaro (1.6%) (INEGI, 2016).

El parteaguas está conformado por un sistema de montañas y lomeríos que alcanzan alturas que van de los 2310 m a los 3283 m de elevación; resalta al Este el Cerro El Burro con la máxima elevación. En la parte alta de la cuenca se encuentran otras elevaciones como los Cerros El Janamo, La Tapada, El Frijol, Zirahuén, El Cantón y El Morillo con alturas de 3024, 3007, 2979, 2968, 2943 y 2921 m, respectivamente (INEGI, 2014).

Morfometría

Los parámetros más comunes para conocer la naturaleza morfológica de las cuencas se pueden agrupar de acuerdo con sus fines: parámetros Generales 1) área, perímetro, longitud de la cuenca, ancho máximo y ancho promedio; parámetros de Forma 2) coeficiente de compactación e índice de alargamiento; parámetros de Relieve 3) curva hipsométrica y pendiente media de la cuenca, y parámetros de la Red de Drenaje 4) número de orden, densidad de drenaje, frecuencia de drenaje, longitud de cauce principal y pendiente media del cauce.

De acuerdo con los parámetros generales (INEGI, 2016), la cuenca tiene un área (A) de 273.4 km², y se clasifica como una cuenca intermedia pequeña; el perímetro (P) es de 90.7 km y es un elemento en el cálculo del coeficiente de compacidad; longitud (La) de 26.3 km; ancho máximo (Am) de 12.8 km y ancho promedio (Ap) de 10.4 km. Estos parámetros proporcionan una idea general de las condiciones de la cuenca, ligeramente alargada en el sentido de la corriente principal de Este-Oeste hasta llegar al lago, y ensanchada de Norte a Sur, por lo que la cuenca tiene mínima rotación axial alineada en sentido horizontal.

En cuanto a los parámetros de forma, el coeficiente de compacidad (Kc) (Gravelius, 1914) es 1.6 que indica que la cuenca es oval-oblonga a rectangular-oblonga; el Kc se complementa con los resultados del índice de alargamiento (Ia) de 2.1, que cuando es mayor a 1 se trata de cuencas con fuerte tendencia alargada; este tipo de cuencas está menos sujeta a avenidas intensas por la longitud del cauce principal, siempre que exista un cauce principal dominante y los flujos laterales sean leves debido a pequeñas áreas de captación.

Para los parámetros de relieve, la pendiente media (Pm) (Horton, 1945) de 13.7% se complementa con el análisis de la Curva Hipsométrica (Figura 2) que permite conocer la evolución de la cuenca en función de los procesos erosivos expuesta a través del tiempo (Strahler, 1957). La cuenca presenta un proceso de vejez con bajo potencial erosivo considerada como una cuenca sedimentaria, esto se puede observar al analizar la distribución de la superficie por elevación, donde las elevaciones bajas, entre 2071 a 2320 msnm, ocupan casi el 50% de la superficie total de la cuenca.

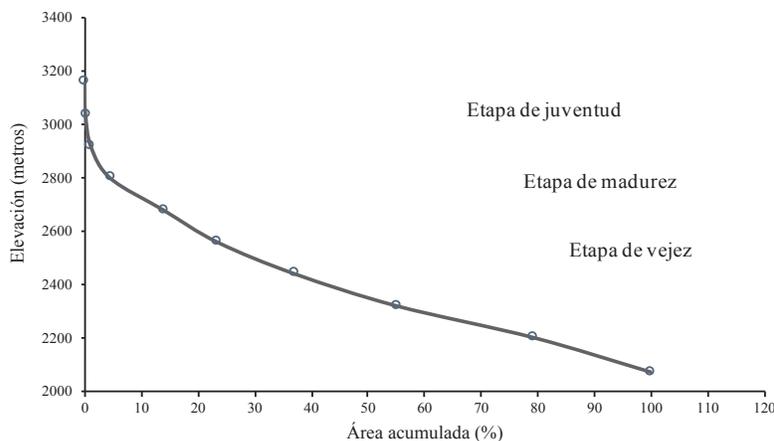


Figura 2. Curva hipsométrica.

La pendiente media de la cuenca está correlacionada positivamente con variables morfométricas como la relación de bifurcación, la densidad de drenaje, así como con la frecuencia de drenaje (Samal, 2015).

Hay dos tipos de drenaje: el primero es de tipo radial centrífugo, se caracteriza por corrientes que parten de un punto central hacia afuera, procedentes del punto más alto y con pendientes fuertes que van de 20° a $> 45^\circ$ como resultado de las formaciones montañosas que corresponden a los Cerros Zirahuén, El burro y La Anona; el segundo es de tipo subparalelo, son influenciados por planicies inclinadas, valles inclinados y lomeríos con pendientes bajas en el rango de 1° a 20° localizados hacia la parte central de la cuenca que ocupa el valle aluvial del afluente principal, lo cual supone una mayor infiltración (Horton, 1932), bajo una estructura geológica de origen volcánico formada por basaltos que prevalece en casi toda la cuenca y que favorece mayor resistencia al desgaste hídrico.

La red de drenaje resultante es propia de un buen sistema de drenaje (Strahler, 1964) y el valor de densidad de drenaje (Dd) (Horton, 1945) de 1.5 es típico en áreas de alta precipitación con zonas escarpadas e impermeables (Horton, 1932), donde la mayor concentración de los escurrimientos está en las partes altas de la cuenca originada por las formaciones montañosas de origen volcánico que delimitan el parteaguas. El valor de la pendiente media del cauce (Pmc) (Horton, 1932) de 5.4% está influenciado por las elevaciones de la parte media-baja, lo que indica

la preponderancia de topografía suave (Nongkynrih y Husain, 2011) por lo que se pueden considerar volúmenes bajos de escurrimiento y velocidades bajas. Las áreas donde hay precipitaciones altas con proporcionales velocidades de escurrimiento y carga erosiva, se desvanecen al llegar a las partes bajas por lo cual aún permanece el cuerpo de agua, aunque se trate de un lago pequeño con respecto a la cuenca. Si los cambios de uso del suelo generan altos cambios en la cobertura vegetal, las pendientes bajas de la parte media-baja, sirven para amortiguar los efectos de la sedimentación, lo que genera mayor vida al lago a pesar de la degradación del ecosistema natural circundante.

Uso de Suelo y Vegetación

Para conocer el estado de la cobertura del suelo y vegetación se usó la Serie V a escala 1:250 000 del producto Uso de Suelo y Vegetación (INEGI, 2013a).

La distribución (Figura 3) indica que 35.2% está cubierto aún por vegetación primaria de bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque de encino.

Las actividades agrícolas ocupan 49.5% del territorio de la cuenca con agricultura de secano anual, los asentamientos humanos y zonas urbanas ocupan 2.4%, y los cuerpos de agua ocupan 3.9%, de los cuales 3.6% corresponde al vaso del Lago de Zirahuén (Cuadro 1).

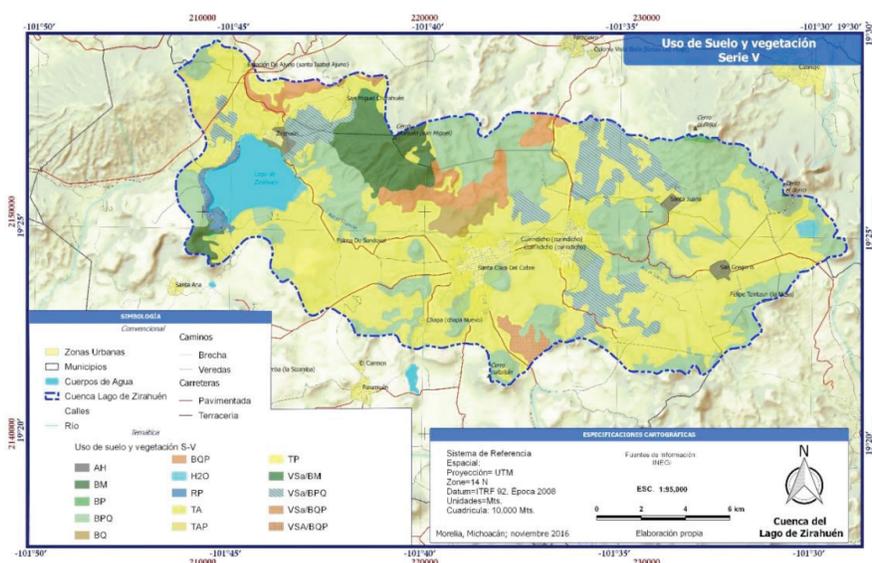


Figura 3. Uso de suelo y vegetación, Serie V.

Cuadro 1. Tipos de uso de suelo por superficie.

Clave	Tipo de vegetación	Superficie	
		ha	%
BM	Bosque mesófilo de montaña	1346.8	4.9
BP	Bosque de pino	36.05	0.1
BPQ	Bosque de pino-encino	6821.72	25
BQ	Bosque de encino	298.56	1.1
BQP	Bosque de encino-pino	116.94	4.1
BM/VSa	Bosque mesófilo de montaña/vegetación secundaria arbustiva	58.27	0.2
BPQ/Vsa	Bosque de pino-encino/vegetación secundaria arbustiva	2162.53	7.9
BQP/Vsa	Bosque de encino pino/vegetación secundaria arbustiva	228.1	0.8
BQP/VSA	Bosque de encino-pino/vegetación secundaria arbórea	18.48	0.1
H2O	Cuerpo de agua	1060.93	3.9
RP	Agricultura de riego temporal permanente	213.05	0.8
TA	Agricultura de temporal anual	13 056.04	47.8
TAP	Agricultura de temporal anual permanente	139.06	0.5
TP	Agricultura de temporal permanente	119.61	0.4
AH	Asentamientos humanos	188.09	0.7
ZU	Zona urbana	472.54	1.7
	Superficie total	27 336.77	100

Edafología

Se usó el Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos Serie II a escala 1:250 000 por ser la de acceso más reciente (INEGI, 2013b). La superficie de la cuenca está cubierta por suelo Andosol (AN) en más del 75% de la superficie total. En menor medida hay Leptosol (LP) en la porción central y al oriente en las partes altas de la cuenca. En pequeñas áreas hay Luvisol (LV) (en dos elevaciones) y Phaeozem (PH), este último en las partes bajas de la cuenca junto al cauce principal. Las actividades agropecuarias se realizan en los Andosoles que se caracterizan por poseer altas tasas de fertilidad que favorecen el enraizamiento de las plantas y retención de humedad (IUSS, 2015).

Geología

De acuerdo con el Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales Serie I, a escala 1:250 000 (INEGI, 1983), la caracterización litológica indica que la cuenca está integrada por rocas ígneas intrusivas correspondientes a la Era del Cenozoico, constituidas por basaltos que

cubren la mayor parte de la superficie (92%). En muy pequeñas cantidades relativas se encuentran brechas volcánicas básicas, el basalto-brecha volcánica, aluvial, dacita y toba básica. Desde el punto de vista estructural, en la cuenca existe una falla de tipo normal, que indica ruptura de la corteza terrestre y con ella un desplazamiento entre los bloques, y está ubicada en la porción noroeste entre los Cerros Zirahuén y El Borrego (INEGI, 2005).

Clima

Se revisó la información de las unidades climáticas a escala 1:1 000 000 (INEGI, 2008); además, se usó la información reportada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la estación 16146, que está dentro de la cuenca (próxima al vaso), y que aporta la información más confiable sobre la configuración climática de la zona de estudio (SMN, 2016). De acuerdo con la cartografía oficial, la cuenca tiene un clima templado subhúmedo C(w2) (w) del subtipo de los más húmedos de los subhúmedos y el cociente de la precipitación total sobre la temperatura media anual

es mayor de 55.0 mm (INEGI, 2000); el régimen de precipitación oscila de 1000 a 1200 mm totales anuales; la temperatura máxima va de 18 a 21 °C, y las isoyetas de temperatura mínima van de 6 a 9 °C. Las normales climatológicas para la estación 16146 en el período 1951-2010 muestran un régimen de precipitación anual de 1162.20 mm, con temperatura media anual de 16.1 °C, temperatura máxima de 25.2 °C y mínima de 7 °C. El climograma (Figura 4) mostró sequía entre febrero y abril y época húmeda a partir de mayo, que supone la recarga de agua del Lago de Zirahuén de mayo a noviembre.

Actividades Productivas

La caracterización socioeconómica se realizó con el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI mediante los Principales Resultados por Localidad (INEGI, 2013c). Esta información se complementó con detalles a nivel municipal de la base de datos de las estadísticas de producción agrícola del SIAP (2015).

En los municipios de Salvador Escalante y Pátzcuaro las principales actividades productivas del sector primario son: agricultura, cultivo de maíz (*Zea mays*), aguacate (*Persea americana*), avena forrajera (*Avena sativa*); ganadería, manejo de bovinos para producción de carne, leche y otros; y, forestal, tala de árboles, sistemas agrosilvopastoriles con aprovechamiento forestal (INEGI, 2011), aunque no se encontraron estadísticas sobre las actividades ganaderas y forestales. El SIAP detalla las estadísticas

de la producción agrícola para el año 2013 en los municipios de Pátzcuaro y Salvador Escalante y los datos integrados a nivel municipal, pero no hay datos geoespaciales que puedan dar respuesta a las actividades realizadas dentro de la cuenca en particular.

En el municipio de Pátzcuaro los principales cultivos son el maíz de grano y la avena forrajera que ocupan el 49 y 32% de las 4054 ha de la superficie agrícola del municipio. En el municipio de Salvador Escalante los principales cultivos son el aguacate, maíz de grano y zarzamora (*Rubus spp.*), con 68, 20 y 6% de 19 092 ha agrícolas del municipio; en contraste, hay solo 139 ha de agricultura anual permanente, categoría en la que está el cultivo de aguacate. Estas cifras en la Serie V contrastan con los datos del SIAP y lo visto en recorridos de campo en la cuenca; además, inspecciones rápidas con la herramienta Google Earth® permiten inferir que la superficie ocupada por el cultivo de aguacate es mayor que lo reportado en la Serie V y, por tanto, se debería actualizar la información de uso de suelo. Los resultados indicaron que la mayor ocupación corresponde a agricultura anual de secano, en su mayoría de maíz (48%); además hay áreas que eran agrícolas de secano y se han sustituido para cultivar aguacate.

Otra actividad que genera fuerte derrama económica y generación de empleos en la cuenca es el turismo, representado por la artesanía de cobre martillado de Santa Clara del Cobre y la pesca en el Lago de Zirahuén como actividades relevantes.

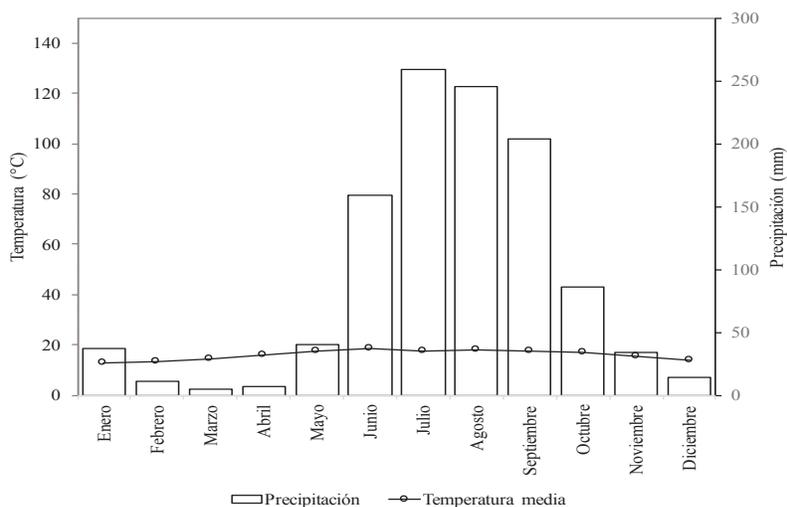


Figura 4. Climograma de la estación 16146 en el periodo 1951-2010.

Población

Los índices de Marginación por Localidad se tomaron de los productos generados por CONAPO, considerados como la medida-resumen del impacto global de las carencias que la población presenta en función al acceso a la educación, vivienda y carencia de bienes y servicios (CONAPO, 2012a). Respecto a la dinámica poblacional se consideraron los datos demográficos 1990-2010 y las proyecciones de población para el periodo 2010-2030 (CONAPO, 2012b).

En el municipio de Salvador Escalante hay 40 localidades y un total de 33 803 habitantes que representan el 74.8% del total de la población del municipio y las principales localidades son Santa Clara del Cobre, Opopeo, Zirahuén, San Gregorio, Chapa (Chapa Nuevo), Felipe Tzintzun (La Mesa) y Palma de Sandoval. En el municipio de Pátzcuaro, la cuenca ocupa siete localidades que representan el 3.8% del total de la población y las localidades más importantes son Santa Juana, San Miguel Charahuén, Estación de Ajuno (Santa Isabel Ajuno) y Las Palmitas.

Respecto a la marginación, en resultados integrados a nivel municipal, el grado de marginación en el municipio de Salvador Escalante es medio y en el municipio de Pátzcuaro es bajo (CONAPO, 2012a); sin embargo, cuando se analizan los indicadores de marginación en las localidades dentro de la cuenca, todas las localidades de ambos municipios presentan un grado de marginación alto. En contraste, el índice

de rezago social (CONEVAL, 2011) indica valores medios para la mayoría de las localidades, pero Santa Clara del Cobre presenta un grado de rezago social bajo (Cuadro 2).

La dinámica de la población en las proyecciones al 2030, con base en la tendencia del periodo 1990-2010 (CONAPO, 2012b), es que la población de Santa Clara del Cobre disminuirá en 7.8%, la de Zirahuén y Opopeo crecerá 19.3 y 8.6%, y en Santa Juana el crecimiento será 100.6%, lo cual aumentará la presión sobre los recursos naturales. Los aumentos en la población implican cambios directos en la superficie urbana o semiurbana, lo cual aumentará la superficie impermeable al interior de la cuenca y, desde el punto de vista hidrológico, disminuye el tiempo que transcurre entre los fenómenos de lluvia y la ocurrencia de escurrimientos. Lo anterior denota peligro latente de inundaciones aún con lluvias ligeras, ya que la condición impermeable en la cuenca hará que los escurrimientos rebasen con facilidad la capacidad de las obras de desfogue pluvial (alcantarillas) y la consecuente inundación por las pendientes prevalecientes en la parte media-baja, que representan más de la mitad de la superficie de la cuenca.

CONCLUSIONES

- El lago de Zirahuén basa su supervivencia en las particulares condiciones morfométricas de la cuenca por tener un afluente principal y valle aluvial con pendientes

Cuadro 2. Indicadores sociodemográficos de las localidades.

Localidad	Población	Índice de marginación	Grado de marginación	Índice de rezago social	Grado de rezago social
Santa Clara del Cobre	14 359	-0.72	Alto	-0.76	Bajo
Opopeo	10 055	-0.32	Alto	-0.16	Medio
San Gregorio	1180	-0.4	Alto	-0.22	Medio
Chapa	1066	-0.53	Alto	-0.22	Medio
Felipe Tzintzun	381	-0.16	Alto	0.3	Medio
Palma de Sandoval	289	-0.59	Alto	-0.05	Medio
Santa Juana	1956	0.31	Alto	0.64	Medio
San Miguel Charahuén	631	0.3	Alto	0.8	Medio
Estación de Ajuno	393	-0.62	Alto	-0.28	Medio
Las Palmitas	261	0.16	Alto	0.54	Medio

bajas en la parte media-baja de la cuenca, hay depósito de la mayor parte de los sedimentos producidos por la precipitación en los suelos en su mayoría agrícolas y las descargas de aguas servidas. Las pendientes influyen en la velocidad de los escurrimientos, con bajos niveles de aireación natural que podrían contribuir a elevar la contaminación del lago. Por lo tanto, es importante la estricta vigilancia de la calidad de las descargas de las aguas servidas en el afluente principal y mantener el uso de suelo forestal.

- Además, el número de habitantes aumentará en la cuenca, para evitar esto se deberá poner énfasis en controlar la explosión demográfica porque habrá mayor presión sobre los recursos naturales, cambio de uso de suelo y urbanización. La superficie de infiltración disminuirá por la urbanización, la erosión aumentará, la fertilidad de suelos y la biodiversidad se reducirá, y el ciclo hidrológico se alterará, afectando la estabilidad del lago, causando crisis de disponibilidad en cantidad y calidad del agua para las actividades humanas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado en el marco del Proyecto 6331 del II de la UNAM y del Proyecto CONACYT PDCPN-2015-640.

LITERATURA CITADA

- Bravo, E., M. Mendoza y L. Medina. 2009. Escenario de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México. *Invest. Geográf.* 68: 73-84.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2009. Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH_05-08.pdf (Consulta: agosto 10, 2018).
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2012a. Índice de marginación por localidad. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010 (Consulta: diciembre 5, 2016).
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2012b. Proyecciones de la población de México 2010- <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones> (Consulta: diciembre 5, 2016).
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2011. Comunicado de prensa no. 012. http://www.coneval.org.mx/Informes/COMUNICADOS_DE_PRENSA/COMUNICADO_012_indice_de_rezago_social_2010.pdf (Consulta: diciembre 8, 2016).
- Esper, A. M. y L. Perucca P. 2014. Caracterización morfométrica de la cuenca del Río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 66: 235-245.
- Gravelius, H. 1914. *Grundrifi der gesamten Gewisserkunde*. Band I: Flufkunde (Compendium of Hydrology, vol. I. Rivers, in German). Goschen, Berlin, Germany.
- Horton, R. E. 1932. Drainage-basin characteristics. *Trans. Am. Geophys. Union* 13: 350-361.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56: 275-370.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1983. Conjunto de datos geológicos vectoriales escala 1:250,000 Serie I. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2000. Diccionario de datos climáticos escala 1:250,000 y 1:100,000. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2001. Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. escala 1:100,000. Serie I. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2005. Guía para la interpretación de cartografía geológica. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2008. Conjunto de datos vectoriales climáticos escala 1:1,000,000. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI. 2011. Sistema de consulta de información geoestadística agropecuaria. <http://gaia.inegi.org.mx/sciga/viewer.html>. (Consulta: diciembre 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013a. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250,000 serie V. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI. 2013b. Conjunto de datos vectoriales edafológicos escala 1:250,000 Serie II. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013c. Censos y conteos, 2013. http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est (Consulta: diciembre 12, 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Conjunto de datos vectoriales topográficos. Escala 1:50000. Serie III. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI. 2016. SIATL. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#. (Consulta: diciembre 12, 2016).
- IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Lozano-García, S., E. Torres-Rodríguez, B. Ortega, G. Vázquez, and M. Caballero. 2013. Ecosystem responses to climate and disturbances in western central Mexico during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 370: 184-195.
- Martínez-Almeida, V. and R. Tavera 2005. A hydrobiological study to interpret the presence of desmids in Lake Zirahuén, México. *Limnol. Ecol. Manage. Int. Waters.* 35: 61-69.
- Mavrommati, G., K. Bithas, and P. Panayiotidis. 2013. Operationalizing sustainability in urban coastal systems: a system dynamics analysis. *Water Res.* 47: 7235-7250.
- Mendoza, R., R. Silva, A. Jiménez, K. Rodríguez, and A. Sol. 2015. Lake Zirahuén, Michoacán, Mexico: An approach to sustainable water resource management based on the chemical and bacterial assessment of its water body. *Sust. Chem. Pharm.* 2: 1-11.

- Nongkynrih, J. M. and Z. Husain. 2011. Morphometric analysis of the Manas river basin using earth observation data and Geographical Information System. *Int. J. Geomat. Geosci.* 2: 647-654.
- O'Neill, R. V. and A. King. 1998. Homage to St. Michael; or, why are there so many books on scale. pp. 3-16. *In*: D. L. Peterson and V. T. Parker (eds.). *Ecological scale: Theory and applications*. Columbia University Press. New York, NY, USA.
- Rai, P. K., K. Mohan, S. Mishra, A. Ahmad, and V. N. Mishra. 2017. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. *Appl. Water Sci.* 7: 217-232.
- Samal, D., S. S. Gedam, and R. Nagarajan. 2015. GIS based drainage morphometry and its influence on hydrology in parts of Western Ghats region, Maharashtra, India. *Geocarto Int.* 30: 755-778.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2016. Normales climatológicas. <http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=42> (Consulta: diciembre 2, 2016).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Estadística de producción agrícola 2013. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, D.F. <http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/siap/Paginas/estadistica.aspx> (Consulta: diciembre 2, 2016).
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geoph. U.* 38: 913-920.
- Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. pp: 439-476. *In*: V. Chow (ed.). *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill. New York, NY, USA.
- Thoms, M. C., M. E. Parsons, and J. M. Foster. 2007. The use of multivariate statistics to elucidate patterns of floodplain sedimentation at different spatial scales. *Earth Surf. Processes Landforms* 32: 672-686.
- Wani, S. P., T. K. Sreedevi, T. S. V. Reddy, B. Venkateshvarlu, and C. S. Prasad. 2008. Community watersheds for improved livelihoods through consortium approach in drought prone rainfed areas. *J. Hydrol. Res. Develop.* 23: 55-77.