

# Diagnóstico para el saneamiento del agua en las cuencas de la laguna de San Miguel Almaya en el Valle de Toluca, México

## *Diagnosis for Water Drainage Basins in the Laguna de San Miguel Almaya in the Valley of Toluca, Mexico*

Alejandro Rafael Alvarado-Granados  
Elizabeth Díaz-Cuenca  
Adriana Guadalupe Guerrero-Peñuelas\*

Recibido: 24 de abril de 2012

Aceptado: 14 de noviembre de 2013

### Resumen

La calidad del agua para distintos usos es un problema creciente, debido a que se descarga en los cuerpos receptores, los cuales no cumplen con las normas establecidas; esto afecta a otros usuarios aguas abajo, pues su aprovechamiento se limita, sobre todo en su distribución a la población. Es importante conocer las causas específicas en cada caso con el fin de plantear medidas de solución.

**Palabras clave:** cuenca, agua residual, usos del agua.

### Abstract

The quality of water for various uses is a growing problem, because it is discharged into receiving bodies, which do not meet the standards set, this affects other downstream users, as its use is limited, especially in distribution the population. It is important to know the specific causes in each case in order to raise remedial action.

**Keywords:** basin water, wastewater, water uses.

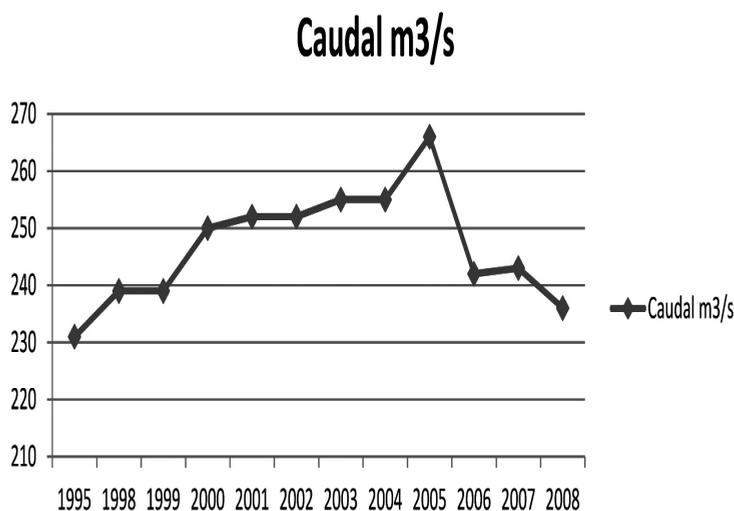
\*Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional, México. E-mail: Alex13\_bum@hotmail.com, ediazc@uaeme.mx, adris\_gp@hotmail.com.

## Introducción

El agua, también llamada “el líquido vital” o “el disolvente universal”, entre otras denominaciones, es un fluido que circula de manera natural por las distintas esferas del planeta: la atmósfera, la litosfera y la biósfera; además, es el elemento fundamental de la hidrosfera. A través de los procesos del ciclo del agua se muestra su dinámica, los cuales frecuentemente son intervenidos por las acciones humanas que provocan desequilibrios. Este compuesto nos lo ofrece la naturaleza para satisfacer diversas necesidades que oscilan desde su consumo para la propia sobrevivencia hasta el esparcimiento y su contemplación, sin olvidar la importancia que tiene para promover el desarrollo; se trata de un insumo insustituible para la producción de bienes y servicios, sin embargo, la manera en que se realiza la apropiación, el aprovechamiento y la descarga del líquido tiene consecuencias ambientales, entre otras por la contaminación de los cuerpos receptores en los que se descargan, con consecuencias negativas para usos posteriores del líquido y para el resto de la biosfera.

El problema es multifactorial y con consecuencias en distintos ámbitos de la actuación humana, pues afectan tanto su calidad de vida como a la producción, ya que prácticamente en todas las actividades se requiere de este líquido; además, atenta contra la biodiversidad. Estas secuelas de los usos irresponsables del agua, que disipan una serie de sustancias disueltas y en suspensión a los ríos y cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, generan un problema que hace insostenible a las actividades que así actúan sin atender a las externalidades negativas.

Según datos del sector del medio ambiente en México, la contaminación del agua en México mostró una tendencia ascendente hasta 2005, que se modificó de manera importante en 2006 para reducir la velocidad de su tendencia hasta 2008, según se observa en la gráfica 1; SEMARNAT (2010) considera que “las aguas residuales municipales afectan severamente la calidad del agua, pues suelen descargarse sin previo tratamiento. Son peligrosas para la salud humana por los agentes tóxicos e infecciosos que contienen, y contribuyen a la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales por el aporte de nutrientes que se derivan de la materia orgánica en descomposición”.

**Gráfica 1. Descarga de aguas residuales municipales en México, 1995-2008**

Fuente: elaboración propia a partir de SEMARNAT (2010).

De acuerdo con SEMARNAT (2010), se hizo un claro esfuerzo nacional para tratar las aguas residuales domésticas, es decir, de atender el 17.7% del total de agua municipal colectada en 1999, se pasó al 35.45 % en 2008; sin embargo, alrededor de dos terceras partes del agua recuperada no reciben el beneficio para ser descargada en condiciones óptimas en los cuerpos receptores. Bajo esta condición se encuentra actualmente la laguna de San Miguel Almaya, compartida por los municipios de Capulhuac y Tianguistenco, en el sureste del Valle de Toluca, en el Estado de México.

Por la zona en la que se encuentra el mencionado embalse, las aguas que la nutren son de origen superficial, subterráneo y residual municipal, en particular, procedentes de las viviendas, pero que mantienen en estado de eutrofización a la laguna. Para entender este proceso de alteración de la calidad del agua por parte de las autoridades locales y estatales, en este proyecto de investigación se propuso: formular y evaluar un proyecto de saneamiento, en función de los sistemas biofísico, social, tecnológico, económico, cultural y político-administrativo, a partir de diagnosticar las causas del deterioro de la calidad del agua de la laguna de San Miguel Almaya, en Capulhuac, Estado de México.

Lo anterior se planteó para generar una experiencia de investigación que permita extrapolar procedimientos de análisis y síntesis en otros espacios del territorio nacional, cuyos problemas son semejantes, así como atender el

esfuerzo nacional para lograr el tratamiento de toda el agua residual y su reutilización en otras actividades, a fin de evitar la escasez de este líquido vital. Para ello, el presente reporte se estructura a partir de los criterios metodológicos seguidos en esta investigación; la definición de las cuencas de captación de agua para la laguna, donde se aportan los contaminantes al cuerpo de agua, sobre todo si no se trata de la zona beneficiada por el proyecto ejecutivo del Sistema de Alcantarillado Intermunicipal Jalatlaco, Capulhuac y Tianguistenco, Estado de México, que cubre el sur y el sureste de la laguna, fuera de sus cuencas de captación, pero con importante cobertura regional.

Es fundamental conocer las características biofísicas y socioeconómicas de las cuencas que conforman el escenario donde se llevan a cabo los procesos del ciclo del agua y las actividades humanas que contaminan el líquido, a fin de establecer acciones locales con respuesta en el cuerpo de agua de interés, en contestación a los pronunciamientos del Cuarto Foro Mundial del Agua, realizado en 2006 en la Ciudad de México, con el lema: “Acciones locales para un cambio global” (World Water Council-CONAGUA, 2006).

En este artículo se muestran los usos del suelo y sus formas de aprovechamiento, sobre todo con relación a la calidad del agua de la laguna de Almaya, y con base en estas características se delinearán algunas alternativas para atender el problema de contaminación, tomando en cuenta los aspectos biofísicos, socioculturales, tecnológicos, económicos y político-administrativos que servirán para formular el programa de saneamiento a nivel de prefactibilidad.

Esta postura también se enmarca en el Decenio Internacional para la Acción: “El Agua Fuente de Vida” 2005-2015, establecido por la Organización Mundial de la Salud, así como en el programa de Agua, Saneamiento y Salud (ASS), promovido por la misma organización internacional. Por su parte, en el Sexto Foro Mundial del Agua, realizado en Marsella, del 12 al 17 de marzo de 2012, se reconoció la obligación mundial de los gobiernos respecto al agua potable y al saneamiento, sin que ello sea una caridad (The International Committee of the 6th World Water [2012]).

En el ámbito nacional, la agenda del agua 2030 plantea, entre otros aspectos, que a pesar del nivel elevado de alcantarillado en el país (89.9%), la cobertura en saneamiento es reducida, con sólo el 43.3% de las aguas residuales colectadas en 2011, con la pretensión de crecer a 100% en 2030 (CONAGUA, 2011), tomando en cuenta que la depuración de aguas inició en México en 1954 y ha crecido lentamente, principalmente en las zonas urbanas.

Por su parte, en el Estado de México, la Comisión de Aguas del Estado de México planea, programa, construye, conserva, mantiene, opera y administra sistemas de agua, que incluye su saneamiento, por lo cual uno de sus objetivos es incrementar la cobertura del servicio de tratamiento de aguas residuales en la entidad federativa (CAEM, 2011), que, aun sin dimensionar el alcance, el sentido de su actuación es claro.

### **Definición de la zona de estudio**

La laguna de San Miguel Almaya es un cuerpo de agua de origen natural con transformaciones humanas en su tamaño y en su funcionamiento, así como en la calidad del agua que le abastece. A pesar de estas transformaciones y de las acaecidas en su entorno, no deja de conformar parte de un paisaje rural de clima templado, con mitos y leyendas que los lugareños han construido a lo largo del tiempo. Es una zona que resulta muy atractiva para los visitantes y con un amplio potencial turístico cerca de La Marquesa, lugar ampliamente visitado por los habitantes de las zonas metropolitanas del Valle de México y de Toluca, pues se encuentra en la colindancia entre el Distrito Federal y el Estado de México; sin embargo, el lugar no tiene la suficiente difusión entre los posibles visitantes, no cuenta con la infraestructura necesaria ni con un proyecto de desarrollo sustentable que aproveche todas sus fortalezas y oportunidades para la actividad turística y que sea suficientemente claro y aceptado por los comuneros, quienes son dueños de esas tierras.

A pesar de ello, la población de la localidad pretende atraer visitantes con la intención de crear una derrama económica que contribuya a la economía local y genere fuentes de empleo para la comunidad a partir del uso de un recurso natural que actualmente no ofrece suficiente beneficio a los habitantes de esta parte del municipio de Capulhuac.

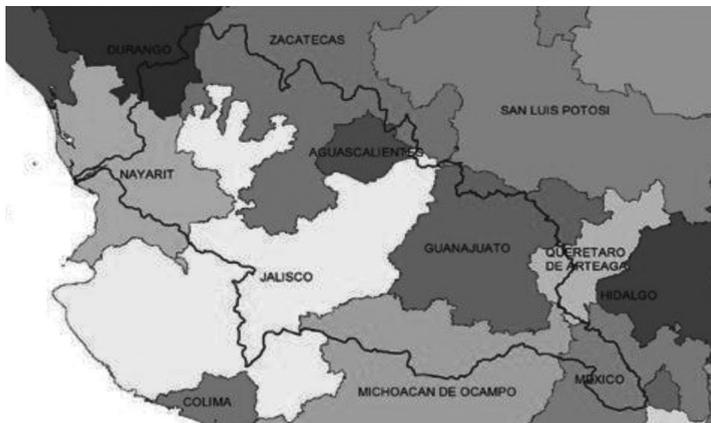
No obstante, se tiene un punto de partida poco favorable que limita el potencial turístico y productivo de este ecosistema acuático por el abundante crecimiento de vegetación, indicativa de eutrofización con especies como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y la elodea (*Elodea canadensis*), que limitan el atractivo de la laguna, tanto para ocupar la superficie del espejo de agua como por la falta de penetración de luz, que restringe la actividad fotosintética, con la consecuente liberación de oxígeno, reduciendo las capacidades de homeostasis y resiliencia de este embalse contaminado que afecta el paisaje, por mostrar una imagen de deterioro.

Este trabajo parte del principio de que la alteración de la calidad del agua de laguna es el resultado de la interacción entre fenómenos naturales y actividades humanas, producto de procesos socioeconómicos, tecnológicos, culturales y políticos, que directa o indirectamente fomentan la fertilización del influente, principalmente a través del arroyo El Muerto, el cual funciona como el vector para desalojar la red de drenaje municipal de las localidades ubicadas aguas arriba de dicho cuerpo de agua, así como de las descargas procedentes de los escurrimientos naturales o de los tubos de albañal que tienen como sumidero al cuerpo de agua, fertilizando así el agua que contribuye a la propagación de las malezas acuáticas. En tal sentido, la definición del área de estudio corresponde con aquella en la que se presentan las causas para esta condición de contaminación y, por lo tanto, el documento inicia por ubicar al cuerpo de agua.

La laguna de San Miguel Almaya se localiza en el Estado de México, con una superficie de 16 hectáreas; es parte de la Región Hidrológica 12 (RH 12): Lerma, Chapala Santiago, que se muestra en la figura 1, como un agrupamiento de varias cuencas hidrológicas que drenan hacia un mismo escurrimiento superficial que, en este caso, descargan sus aguas en el océano Pacífico, luego de su paso por el lago de Chapala.

La laguna se ubica en la parte más alta de la región hidrológica, en su extremo sureste, a una altitud de 2,690 metros sobre el nivel del mar. Colinda con el Distrito Federal, que hidrológicamente es la cuenca del Valle de México, donde inicia la Región Hidrológica 26 (RH 26), del Pánuco, que desagua en el Golfo de México.

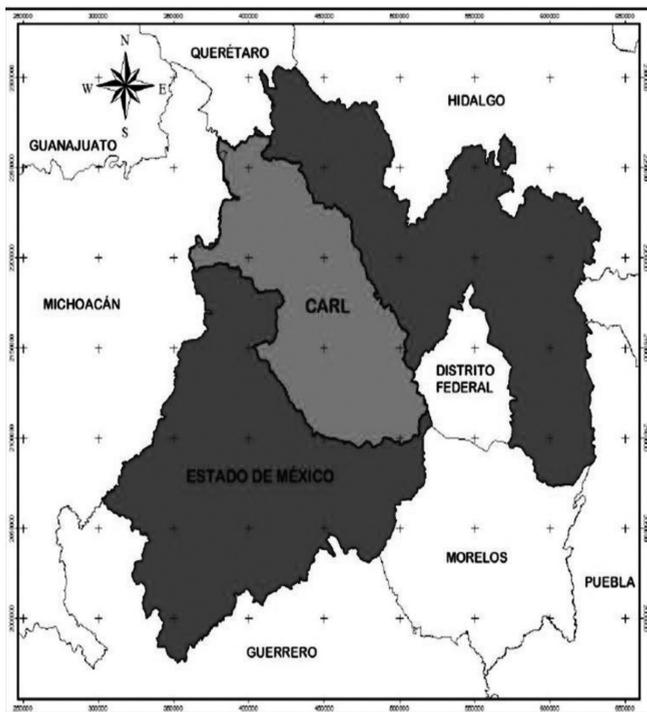
**Figura 1. Región Hidrológica 12: Lerma, Chapala Santiago**



Fuente: CCRECRL (1993).

En el Estado de México, la laguna de Almaya se encuentra comprendida en la Cuenca Alta del Río Lerma (CARL), que se ubica en la zona poniente de dicha entidad federativa, a 28 kilómetros, en línea recta, al Sureste de la capital estatal, como se ilustra en la figura 2; la laguna es parte del Curso Alto o conjunto de cuencas de la presa Antonio Alzate (CCRECARL, 1993), en el extremo sureste, que es de mayor altitud.

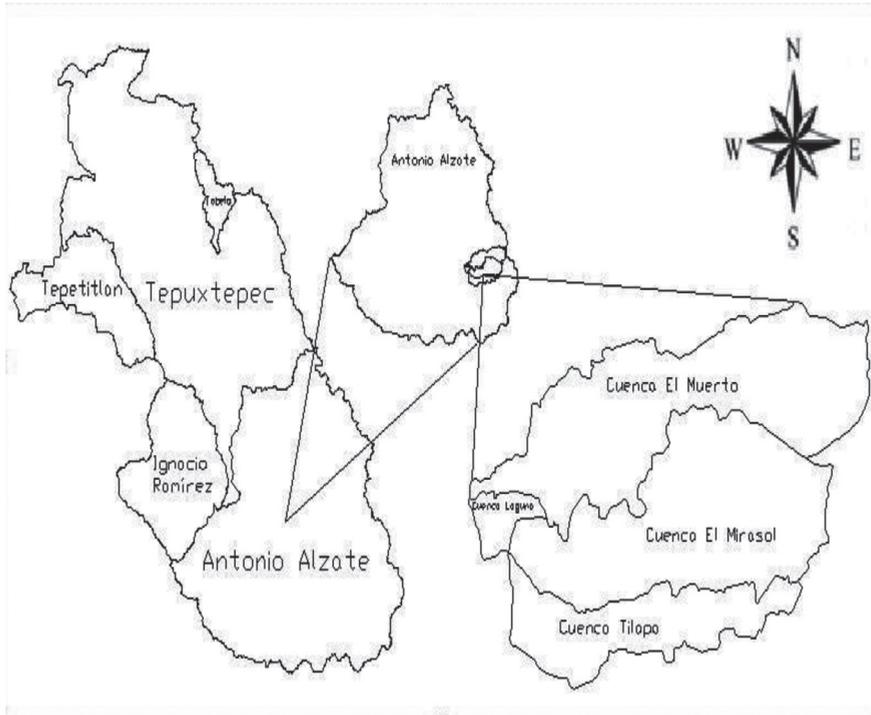
**Figura 2. Región Hidrológica 12 en el Estado de México**



Fuente: elaboración propia con base en CCRECARL (1993).

La laguna tiene su centroide a los  $19^{\circ} 13' 04''$  de latitud norte y los  $99^{\circ} 26' 15''$  de longitud oeste; comparte territorio de los municipios de Capulhuac y Tianguistenco en el oriente del Valle de Toluca, que también alberga a las cuencas de la presa Ignacio Ramírez, con los escurrimientos superficiales del norte del volcán Xinantécatl o Nevado de Toluca, hacia el poniente del Valle, como se puede apreciar en la figura 3.

**Figura 3. Secciones de la Cuenca Alta del Río Lerma**



Fuente: elaboración propia con base en CCRECARL (1993).

La laguna de Almaya recibe los escurrimientos superficiales de dos cuencas de captación: El Muerto y Laguna; la primera a través del arroyo principal que también tiene esa denominación, mientras que la segunda contiene algunos pequeños cauces naturales que localmente le llaman “caños”, los cuales aportan el líquido directamente en el embalse. La superficie de ambas cuencas se menciona en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Superficie de las cuencas de la laguna de Almaya**

Tamaño de cuencas	Hectáreas	Porcentaje
El Muerto	2149.95	93.3
La Laguna	154.39	6.7
Total	2304.34	100.0

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1999).

La cuenca del arroyo El Muerto comprende parcialmente la extensión de tres municipios: Capulhuac (22.9%), Tiangustenco (2.2%) y Ocoyoacac (75%); en este último se encuentra el mayor asentamiento humano de la cuenca. Por su parte, la Laguna se encuentra en el municipio de Capulhuac y abarca alrededor de la mitad de la localidad de San Miguel Almaya; sin embargo, no existen aportaciones de agua residual de dicho asentamiento humano, debido a la disposición de la red de drenaje que descarga en las barrancas que drenan la cuenca vecina del poniente.

Desde la perspectiva fisiográfica, toda la Cuenca Alta del Río Lerma se encuentra en la región del Eje Volcánico Transversal, que atraviesa el centro del país, a los 19° de latitud, lo cual le imprime características geológicas particulares que influyen en la geohidrología local por la amplia presencia de volcanes de distintos tipos y tamaños, que contribuyeron a la formación de la litósfera en esta zona del país. Por su parte, la Cuenca Alta del Río Lerma se encuentra en la subprovincia: Lagos y Volcanes de Anahuac, con un sistema de toposformas definido como Sierra Volcánica, con Estrato-Volcanes o Estrato-Volcanes Aislados (INEGI, 2001).

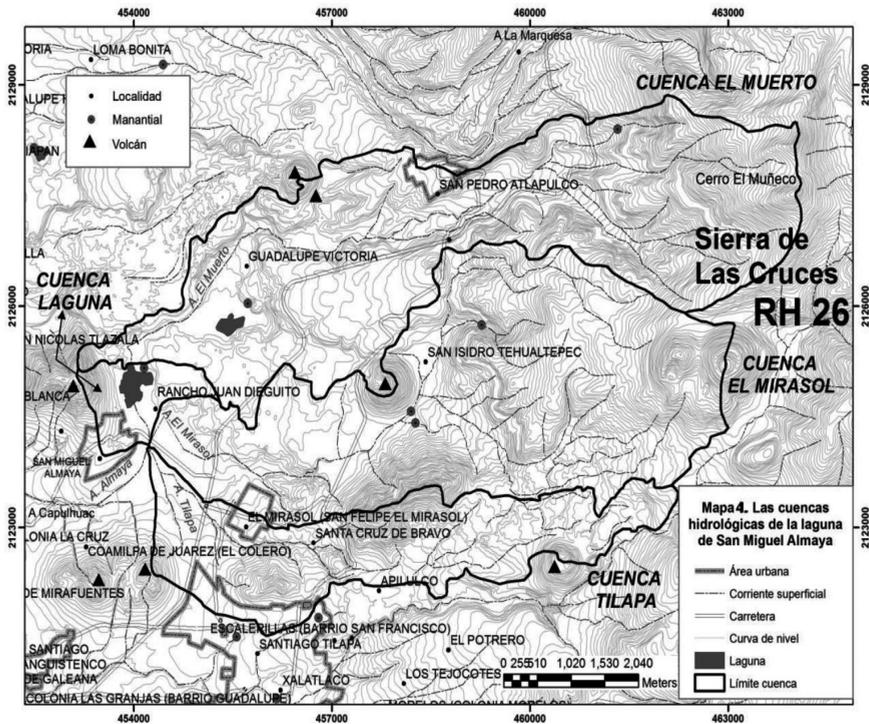
Por su geoforma, la laguna de San Miguel Almaya se encuentra en el Pie de Monte de la vertiente Poniente de la sierra de Las Cruces, mientras que la cuenca del arroyo El Muerto inicia desde su cima, en el cerro El Muñeco, que también participa como parteaguas de la cuenca endorreica de Valle de México, como se ilustra en la figura 4, conjuntamente con otras cuencas pequeñas, del ámbito local.

En su condición original, la laguna de Almaya no drenaba superficialmente; era endorreica, por lo que, además de la evaporación, sólo tenía una salida natural a través del *Resumidero*, que es el espacio que dejan las rocas del derrame basáltico, al noroeste del cuerpo de agua, que permite la salida del líquido, el cual viaja hacia el poniente, de manera subterránea, en el sentido general de la pendiente. El alumbramiento de esta corriente es a través de un manantial en la localidad de San Nicolás Tlazala, donde encuentra su salida natural, a un costado del Acueducto Lerma, para su posterior derrame en la ciénaga de Tultepec.

Sin embargo, con el paso del tiempo, la laguna fue modificada y actualmente cuenta con una salida artificial hacia el sur del cuerpo de agua, la cual es manejada a través de compuertas, en un canal a contrapendiente que descarga al arroyo Almaya cuando el agua de la laguna alcanza cierto nivel, pues permite el flujo del agua por gravedad al superar el parteaguas, casi imperceptible, que en el fondo del canal de descarga reduce su altura por la parte sur de la cuenca de la laguna.

Otra de las modificaciones realizadas a la zona de este embalse es la rectificación de los arroyos El Mirasol y Tilapa, cuyas cuencas están registradas en la figura 4. La importancia local de dichas cuencas es que la primera descargaba originalmente en la laguna de interés y era parte de su cuenca de captación, pero, debido a la obra de rectificación, su caudal drena también a contrapendiente en el arroyo Almaya, en el mismo punto donde lo hace, el canal de desfogue de la laguna. Por su parte, el arroyo Tilapa, con la obra de rectificación, descarga unos metros aguas abajo de los dos primeros, cerca del parteaguas de la laguna.

**Figura 4. Cuenca del arroyo El Muerto y otras cuencas de la zona**



Fuente: elaboración propia con base en INEGI (1999).

### Descripción de las cuencas de captación

La descripción de las cuencas tiene dos dimensiones importantes a través de las cuales ocurren los procesos que dan lugar a la cantidad y calidad del agua en la laguna de Almaya, que es el centro de la presente investigación; dichas dimensiones son la biofísica y la socioeconómica; esta última definida por la

población y sus actividades económicas; en este apartado se muestran ambas para tener presente el marco en el que ocurre el proceso de contaminación de la laguna, para su saneamiento; primo se muestran los aspectos biofísicos de las cuencas de captación y posteriormente se dan a conocer los aspectos generales de la población y sus actividades económicas.

a) *Los aspectos biofísicos*

Como el resto del Eje Volcánico Transversal, la formación reciente de la corteza terrestre que ocupan las cuencas de Almaya data de la era del Cenozoico, en periodo Cuaternario, en el que hizo su aparición la especie humana, lo cual significa su poca antigüedad en la escala geológica y, por lo tanto, el poco tiempo de actuación de los agentes del intemperismo y la conformación del paisaje (CNA-GTZ, 2004).

En cuanto a los procesos que originaron la litósfera superficial en las cuencas de interés, destaca el vulcanismo, con sus conos cineríticos que predominan en la zona, caracterizada por la abundancia de rocas ígneas extrusivas, como: Basalto, Andesita y Brecha volcánica que, con distinto grado de fracturación, favorecen la recarga del acuífero del Valle de Toluca, que cubre a todo el valle; asimismo, existen unidades litológicas de suelos aluviales en las depresiones, que son producto de los procesos de deposición de los materiales erosionados.

Con esta formación volcánica de la zona, al poniente de la laguna de Almaya sobresale el volcán Quilotzin, mientras que al norte y noroeste existe un derrame basáltico del mismo volcán, llamado por la población local El Pedregal, el cual conserva su vegetación original de bosque de encinos, a cuyo extremo oriental se encuentra el volcán Texontep. También se encuentran otros edificios volcánicos en la zona de captación de la laguna: Tehualtepec, Teconto, Texqntepec, Emerenciano y los Volcanes Cuates.

Paralelamente a la importancia de la estructura geológica de la zona de la laguna de Almaya, destacan los fenómenos meteorológicos que definen al clima, en particular la precipitación pluvial. En tal sentido, con el comportamiento de la lluvia, es posible iniciar la descripción del flujo de agua en la cuenca, principal forma de precipitación pluvial en las cuencas, que se distribuye como se muestra en el cuadro 2 y la gráfica 2.

**Cuadro 2. Temperatura y precipitación pluvial en tres estaciones representativas de la cuenca del arroyo El Muerto**

Estación	Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
San Pedro Atlapulco	Temp. media (°C)	9.1	10.6	12.1	13.4	13.8	12.8	11.6	11.7	11.2	10.6	9.8	11.5	11.5
	Precip. media (mm)	21.1	8.8	10.9	41.4	82.5	209.7	212.4	194.8	172.8	76.7	15.9	10.1	1057.1
La Marquesa	Temp. media (°C)	7.7	8.6	10.0	11.3	12.3	12.4	11.4	11.5	11.4	10.2	8.6	7.9	10.3
	Precip. media (mm)	16.2	9.7	17.3	37.6	90.8	242.2	256.9	246.8	205.9	86.6	22.2	11.2	1243.4
Santiago Tianguistenco	Temp. media (°C)	10.2	11.2	13.7	15.4	16.0	15.1	14.1	14.2	14.0	13.4	11.9	10.8	13.3
	Precip. media (mm)	13.9	6.2	8.2	20.4	57.9	146.7	203.1	194.3	139.8	49.0	11.4	7.5	858.4

Fuente: elaboración propia con base en SMN (2010).

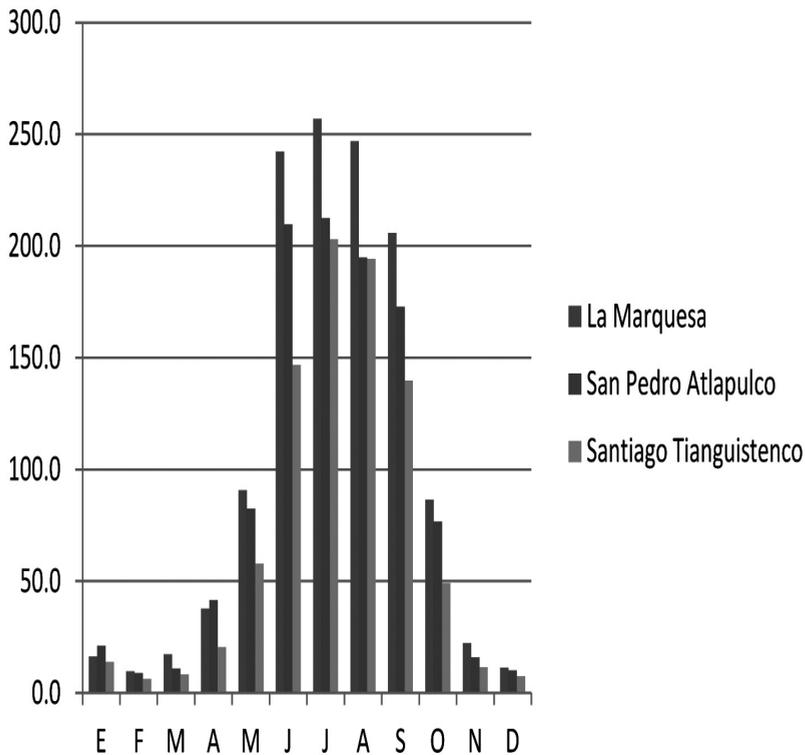
El cuadro 2 muestra los datos de temperatura y precipitación en las tres estaciones representativas de la zona de las cuencas y que tienen por lo menos 15 años de registro. La primera estación del cuadro se encuentra dentro de la cuenca, en el parteaguas norte del arroyo El Muerto, en la localidad de San Pedro Atlapulco; las otras dos están fuera de las cuencas, pero próximas a ellas y en su zona de influencia, pues los fenómenos meteorológicos no responden al parteaguas ni a divisiones administrativas; de esta manera, se cuenta con tres estaciones que representan a la cuenca: en la parte alta, La Marquesa (estación 00015045) y San Pedro Atlapulco (estación 00015242); en la parte baja, Tianguistenco (estación 00015113).

La precipitación pluvial en la zona de captación de la laguna de Almaya tiene una distribución anual con lluvias en verano que incluye el semestre mayo-octubre; en este periodo precipita prácticamente el 90% de la lluvia anual: 90.8 % en La Marquesa, 89.8% en San Pedro Atlapulco y 92.1% en Santiago Tianguistenco, mientras que la otra mitad es seca, con desequilibrios hídricos; en los tres casos destaca julio como el mes de mayor precipitación; la diferencia entre el mes más lluvioso y el más seco

es alrededor de 200 mm: 247 en La Marquesa, 201 en San Pedro Atlapulco y 197 en Santiago Tianguistenco.

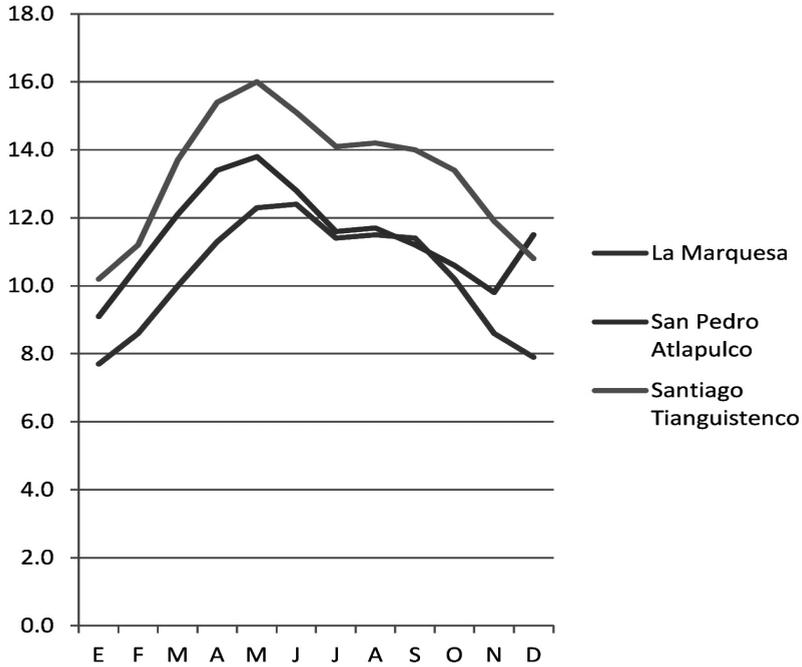
Es notoria también una tendencia a la mayor precipitación conforme aumenta la altitud, con un rango de variación de 385 mm anuales, para una diferencia de 653 m.

**Gráfica 2. Distribución anual de la precipitación pluvial (mm) en tres estaciones representativas de las cuencas de la laguna de Almaya**



Fuente: elaboración propia con base en SMN (2010).

**Gráfica 3. Distribución anual de la temperatura (°C) en tres estaciones representativas de las cuencas de la laguna de Almaya**



Fuente: elaboración propia con base en SMN (2010)

Respecto a los valores de temperatura, destaca su relación con la altitud y los mayores valores de Santiago Tianguistenco; sin embargo, a lo largo del año, la diferencia es importante y la oscilación térmica es de 4.7°C en las estaciones de mayor altitud: La Marquesa y San Pedro Atlapulco, y en Santiago Tianguistenco es de 5.8°C. Lo anterior marca un claro periodo de calentamiento que va de enero a mayo y hasta junio, en la estación de La Marquesa, mientras que el enfriamiento sucede de mayo o junio a enero.

Paralelamente, con los periodos de calentamiento y enfriamiento, se presentan los de aumento y descenso de la precipitación pluvial, con la diferencia de que el mínimo para este meteoro es entre febrero y marzo con su máximo en julio, de donde se pueden destacar varios periodos: seco y frío en invierno, seco y cálido en primavera, y húmedo y cálido en verano.

Con estos datos, INEGI (2001) definió dos tipos de clima en la superficie que ocupa la cuenca El Muerto. El primero es C(W<sub>2</sub>)(W), que es un clima templado, pues su temperatura promedio del mes más frío oscila entre -3° y 18° C, con lluvias en verano que, por su cuantía, es subhúmedo, y dentro

de ellos es la variante más húmeda; esta modalidad climática comprende de la parte baja de la cuenca hasta las inmediaciones entre las localidades de Guadalupe Victoria y San Pedro Atlapulco; 8-asimismo, abarca a toda la cuenca Laguna. El segundo tipo climático en la cuenca El Muerto es C(E)(W<sub>2</sub>)(W), que es un clima semifrío húmedo, es decir, transición entre el frío y el templado; se localiza en la parte más alta de la cuenca.

Cabe destacar la presencia de otro fenómeno meteorológico en la zona: la caída de granizo, es decir, una modalidad de precipitación pluvial con mayor violencia por el golpeteo que genera; su frecuencia se muestra en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Frecuencia de granizadas en tres estaciones representativas de las cuencas de la laguna de Almaya**

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
San Pedro Atlapulco	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	1.2
La Marquesa	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	2.1
Santiago Tianguistenco	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4

Fuente: elaboración propia con base en SMN (2010).

Esta forma de precipitación registrada en la zona es propia de las lluvias convectivas, como las ocurridas mayoritariamente en la cuenca y en la zona centro del país; tiene potencial destructivo y por fortuna es poco frecuente, sin embargo, en promedio anual se presenta, como máximo, hasta en 2.1 veces en La Marquesa, pero en la parte baja la frecuencia se reduce hasta en cuatro quintas partes.

En cuanto a la presencia de agua en la laguna de Almaya, su abastecimiento es con dos fuentes: superficiales, principalmente a través del arroyo El Muerto, así como pequeños escurrimientos que descienden de la ladera oriental del volcán Quilotzin; por otra parte, las fuentes subterráneas están representadas por una serie de manantiales, ubicados dentro de ella y en su ribera oriente; estos manantiales, a la vez de adicionar agua al embalse, constituyen la fuente

de abastecimiento para surtir de agua entubada a la población de San Miguel Almaya. También es importante resaltar que en el volcán Quilotzin existen unos manantiales muy pequeños con capacidad para abastecer a un par de viviendas, según estimaciones de los pobladores.

Ambas fuentes abastecen al cuerpo de agua a partir de la cantidad de lluvia que precipita, atendiendo a su distribución temporal, sobre todo en seis meses, de mayo a octubre, cuando precipita el 90% de la lluvia; por tanto, la emisión permanente de agua a través de los manantiales, que son las salidas naturales del acuífero, se debe a la regulación del líquido que realiza el acuífero, el cual ofrece el flujo hídrico durante todo el año, es decir, esta estructura geológica conduce y almacena agua a partir de la estructuración de estratos de materiales impermeables y permeables, que favorecen el paso del agua por el subsuelo, constituyendo un instrumento de la naturaleza, sin costo alguno, para utilizar el líquido durante todo el año y sin necesidad de ocupar alguna superficie, como ocurre con los embalses.

Con relación a los escurrimientos en las regiones hidrológicas, la laguna de Almaya, sus cuencas de captación y el acuífero que regula el escurrimiento son parte del Curso Alto, de la Cuenca Alta del Río Lerma, por su localización en el Valle de Toluca (CCRECARL, 1993) y, por lo tanto, sus aguas contribuyen a la formación del mencionado río; sin embargo, en el ámbito local, la relativa abundancia hídrica de la zona es el resultado de tres procesos naturales: la cantidad de precipitación pluvial, la configuración geológica de la sierra de Las Cruces con capacidad de regulación y la presencia de bosque. Esta trilogía forma un conjunto que interactúa como un sistema en los procesos de lluvia, escurrimiento e infiltración, para ofrecen un fuerte caudal en el verano, que es la época de lluvias en prácticamente todo el territorio nacional y se reduce, pero no desaparece para la laguna el resto del año, que es de estiaje.

Por ello, los manantiales en la zona de estudio, como en toda la vertiente occidental de la sierra de Las Cruces, son abundantes, y hacia este extremo del Valle de Toluca fueron símbolo del origen del río Lerma, hasta antes de la construcción del Acueducto Lerma, que aprovecha las aguas del subsuelo de la región, al pie de esta cadena montañosa.

Por todas estas bondades de las formaciones geológicas, INEGI (2000) estableció para la zona de estudio un coeficiente de escurrimiento entre el 10% y el 20%; es decir, del total de agua que precipita sólo escurre superficialmente del 10% al 20%, equivalente a un volumen de escurrimiento entre 269,540 y 539,080 m<sup>3</sup> anuales en la zona de influencia de la estación Tianguistenco, cuya

área de influencia es de 303.5 hectáreas, con una altitud menor a los 2,700 msnm dentro de la zona de estudio; el volumen anual de escurrimiento generado en la zona de influencia de la de la estación de San Pedro Atlapulco, que son 4,840 hectáreas del área de estudio por encima de los 2,700 msnm, oscila entre 5,115,334 y 10,230,667 m<sup>3</sup> anuales.

Esta cantidad de agua que precipita y escurre superficialmente no se ocupa y sólo sirve como *agua de empuje* para trasladar los efluentes domésticos hasta la ciénaga de Tultepec, destino final de las aguas que bajan de esta porción de la sierra de Las Cruces; el líquido que se traslada superficialmente a través de arroyos, por lo general no tiene ningún uso en el Valle de Toluca, como ocurre en otras partes del País.

Por otro lado, en materia de suelo, la zona de estudio tiene predominancia de suelos denominados andosol, que son derivados de las cenizas volcánicas recientes, lo cual se vincula con la abundancia de estas estructuras geológicas en la región. Estos suelos son de alta susceptibilidad a la erosión, relacionada con lluvias intensas, incluso granizo; el poder erosivo del agua se incrementa haciendo a estas superficies de alta vulnerabilidad a la erosión, sin embargo, la cubierta boscosa los protege y mantiene el suelo en su sitio, con el potencial productivo que se le asocia, que es la posibilidad de llevar a cabo, sin deteriorar el recurso, las actividades forestales y silvícolas cuando los ritmos de producción biológica superen a los de su extracción.

A partir de la abundancia de andosoles en las laderas montañosas, en las pequeñas planicies intermontanas, existen procesos edafogénicos distintos que han dado lugar a la presencia de unidades edáficas con mayores posibilidades para el uso agrícola, con cultivos anuales y de escarda, donde los procesos no son de erosión, sino de sedimentación, lo que hace que la evolución del suelo tienda hacia la formación de feozem y vertisoles incipientes.

En estas últimas condiciones edáficas y en algunas laderas con menor pendiente se están llevando a cabo actividades agrícolas, principalmente con cultivos de gramíneas, como el maíz, la avena y la cebada. En la zona de estudio, la erosión no se percibe como un problema por el aprovechamiento del suelo, donde sigue existiendo el predominio del bosque.

Por consiguiente, dicha cubierta vegetal está conformada por comunidades arbóreas de latifoliadas y coníferas con mayor o menor nivel de asociación entre ellas. Dentro de la primera comunidad destaca el bosque de encinos, mientras que las coníferas están representadas por distintas especies de pinos y oyamel, que son las especies nativas en la región templada del centro de México.

La combinación de las formaciones geológicas, las precipitaciones pluviales, el suelo y la vegetación de la zona de estudio en la vertiente occidental de la sierra de Las Cruces hacen de esta región natural un importante reservorio de agua subterránea, sin embargo, está siendo sobreexplotada (CNA-GTZ, 2004) por las extracciones del Acueducto Lerma y otros aprovechamientos de carácter local.

Estas condiciones biofísicas hacen de casi toda el área en estudio parte de la zona de recarga de los mantos freáticos del acuífero del Valle de Toluca (CNA-GTZ, 2004), lo cual cobra importancia regional para una significativa fuente de abastecimiento, que no sólo surte del vital líquido a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, sino también a la Zona Metropolitana del Valle de México, por lo tanto, el manejo del territorio en la zona trasciende el interés local.

Bajo esta perspectiva, las actividades humanas en las cuales se utiliza el agua dentro de la zona de estudio se relacionan con su calidad y, por lo tanto, sus procesos son de interés para el saneamiento del agua, pues los residuos que persisten en el agua desechada regresan a los cauces naturales de la cuenca de captación y tienen como destino la laguna de San Miguel Almaya.

b) *Los aspectos de población y sus actividades económicas*

Entre otras características de la población que habita en los asentamientos humanos de las cuencas y que fueron reportadas por INEGI (2006, 2011), destacan las siguientes, así como algunos datos extremos; algunas características son promediadas entre las localidades de la zona de estudio:

- Dentro de ambas cuencas existen cuatro localidades en dos municipios: Capulhuac y Ocoyoacac. En el primero son: San Miguel Almaya y Rancho San Dieguito, mientras que en el otro se encuentran: Guadalupe Victoria y San Pedro Atlapulco.
- INEGI (2011) registró en ambas cuencas 5,315 habitantes y en cada una de ellas las poblaciones más importantes: San Miguel Almaya y San Pedro Atlapulco, ambas lo hacen en el parteaguas, con 50% de la población total de cada localidad, dentro de su respectiva cuenca.
- En la cuenca Laguna se asientan 2,552 habitantes: 2,471 en San Miguel Almaya, mientras que los restantes 81 lo hacen en Rancho Juan Dieguito.
- En la cuenca El Muerto hay 2,765 pobladores, de ellos: 2,144 habitan en la mitad de la localidad de San Pedro Atlapulco y 621 lo hacen en Guadalupe Victoria.

- Todas las localidades mantienen equilibrio entre géneros, con un promedio de 51.1% de mujeres y 48.9% de hombres. Los casos extremos son: Rancho Juan Dieguito, con 48.1% de mujeres; y San Miguel Almaya, que cuenta con 51.8% de habitantes de este género.
- La relación de dependencia, que es un indicador que vincula a la cantidad de dependientes económicos (menores de 15 años y mayores de 65) por cada habitante en edad productiva, muestra un valor promedio de 0.5143 (51.43%), lo cual significa que, en promedio, por cada 100 habitantes, 48.2 están en edad laboral. El indicador se explica principalmente (42%) por la población infantil, menor de 15 años. Los extremos de este indicador son: San Miguel Almaya, con 50.89%; y Rancho San Dieguito, con 65.31%.
- El nivel de analfabetismo en la población de 15 años y más es en promedio de 3.77%, pero en San Pedro Atlapulco llega a 4.01% mientras que en Rancho Juan Dieguito es de 1.92%. De estos datos destaca que del total de analfabetismo el 70.14% se presenta en el género femenino.
- Por cuanto al nivel de escolaridad, el 13.5% de la población mayor de 15 años no tiene estudios de primaria completa, lo que sumado a los analfabetas son 17.28%, cerca de una quinta parte de la población de ese rango de edad.
- El tamaño de la población en 2005 y en 2010 se muestra en el cuadro 4, con base en los datos censales más recientes, que permitieron calcular la tendencia, en caso de mantenerse las condiciones prevaletentes. Como resultado de dicha estimación, la población de ambas cuencas crecerá en un promedio anual de 1.92%, con variaciones que oscilan entre crecimientos negativos de -2.69% en rancho Juan Dieguito y -1.03 en Guadalupe Victoria, hasta 3.33% en San Pedro Atlapulco, que es la localidad más grande y, por lo tanto, la de mayor impacto por su consumo de agua y consecuente generación de agua residual.
- El ritmo de crecimiento promedio en ambas cuencas es ligeramente superior al del Estado de México, que incrementa su población a una velocidad promedio anual de 1.69%, lo cual es indicativo de un mayor dinamismo relativo en esta parte del territorio mexiquense, respecto a la entidad que lo contiene.

**Cuadro 4. Población en las cuencas de la laguna de Almaya**

Ámbito territorial	Población en las cuencas			
	2005 (1)	2010 (1)	2015 (2)	2020 (2)
San Miguel Almaya	2279	2471	2691	2931
Rancho Juan Dieguito	92	81	71	62
Subtotal cuenca Laguna	2371	2552	2758	2981
Guadalupe Victoria	652	621	590	560
San Pedro Atlapulco	1831	2144	2533	2992
Subtotal cuenca El Muerto	2483	2765	3098	3470
Total cuencas	4854	5317	5854	6445

Notas: (1) INEGI (2006, 2011) y (2) estimaciones logarítmicas.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2006, 2011).

- De acuerdo con los datos del cuadro 4, el tamaño de la población en las distintas localidades dentro de las cuencas seguirá siendo relativamente bajo, pero con una población flotante en el llano de La Marquesa, conocido como Valle del Potrero, que recibe alrededor de 3,000 visitantes cada fin de semana, así como durante los periodos vacacionales que, aun cuando no se trata de población residente, ésta genera agua residuales y es consumidora de líquido.
- Con esta población, es de esperarse que prevalezcan los paisajes rurales que se asocian a la zona de la vertiente occidental de la sierra de Las Cruces.
- La población económicamente activa (PEA), que incluye a las personas de 12 y más años de edad, que tuvieron vínculo con la actividad económica o que lo buscaron en el 2010 se menciona en el cuadro 5, el cual incorpora a las personas ocupadas y a las desocupadas.

**Cuadro 5. Población por condición de actividad económica en las cuencas de la laguna de Almaya, 2010**

Ámbito territorial	Población Económicamente Activa		Población Ocupada		Población Desocupada		Población Económicamente Inactiva	
	Cantidad	Porcentaje (1)	Cantidad	Porcentaje (2)	Cantidad	Porcentaje (2)	Cantidad	Porcentaje (1)
San Miguel Almaya	1113	45.0	1048	94.20	65	5.8	805	32.6
Rancho Juan Dieguito	21	25.9	20	95.24	1	4.8	38	46.9
Total cuenca Laguna	1134	44.4	1068	94.22	66	5.8	843	33.0
Guadalupe Victoria	240	38.6	233	97.08	7	2.9	211	34.0
San Pedro Atlapulco	935	43.6	911	97.43	24	2.6	729	34.0
Total cuenca El Muerto	1175	42.5	1144	97.36	31	2.6	940	34.0
Total cuencas	2308	43.4	2212	95.82	97	4.2	1783	33.5
Estado de México	6124813	40.4	5814548	94.93	310265	5.1	5287459	34.8

Notas: (1) Porcentaje en relación al total de población. (2) Porcentaje en relación a la población ocupada.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2011).

- Según el cuadro cinco, la proporción de población económicamente activa de ambas cuencas es cercana a la mitad de la población total y ligeramente mayor que la existente en el Estado de México, sin embargo, esta variable en los asentamientos humanos de las cuencas oscila grandemente: desde 25.9% en la localidad más pequeña hasta 45% en la de mayor magnitud.
- La PEA en todos los casos es ocupada en una alta proporción, siempre por encima de 94%, con variaciones entre 94.2 en San Miguel Almaya y 97.4 en San Pedro Atlapulco, que son las localidades de mayor tamaño, con un valor intermedio en el Estado de México.
- La población económicamente inactiva es de alrededor de un tercio del total de población e inferior a la del Estado de México, en todos los casos, con excepción de Rancho Juan Dieguito, donde el indicador es aproximadamente doce puntos porcentuales más.
- Por su parte, en ambas cuencas existen 1,280 viviendas habitadas, que son el 88.03% del total de viviendas, porcentaje mayor que el estatal, de 83.41%, para dar lugar a una densidad promedio de 0.56 viviendas por hectárea, ubicadas en cuatro localidades, lo cual le da a las cuencas una fisonomía rural con usos del suelo agropecuario y forestal.

- En cuanto a las condiciones de las viviendas habitadas en las cuencas, 3.2% de ellas registraron pisos de tierra, comparativamente con 3.7% en la entidad mexiquense.
- La existencia de excusados o sanitarios en las viviendas habitadas es, en promedio, el 97.11 %, contra 94.11% en el Estado de México, con variaciones: desde 100% en Rancho Juan Dieguito y 96.1% en San Guadalupe Victoria.
- El agua entubada dentro de las viviendas habitadas está registrada en el 97.3%, en relación con 90.2% en el Estado de México.
- Para el desalojo del agua usada en las viviendas, conjuntamente con el agua pluvial, el servicio de drenaje cubre el 97.3% de las cuencas, en relación con 92.6% del Estado de México, destacando para tal efecto Rancho Juan Dieguito con 100% de viviendas servidas y 96.1% en Guadalupe Victoria. Sin embargo, dicho servicio consiste en el desalojo del agua hacia los cauces más próximos de la cuenca, sin previo tratamiento.
- El servicio de energía eléctrica tiene una cobertura promedio de 98.5%, con extremos entre 100% en Rancho Juan Dieguito y 91.6% en Guadalupe Victoria, lo cual contrasta con 90.2% en el promedio estatal.

### **Los usos del suelo y del agua en las cuencas de captación de la laguna de San Miguel Almaya**

Los usos del suelo son el reflejo de las actividades que se llevan a cabo en el territorio y le dan fisonomía, por lo que su conocimiento es un primer paso para establecer las alteraciones realizadas por los actores sociales quienes aprovechan los recursos naturales, ya sea a través de su consumo directo o mediante procesos de transformación, en los que frecuentemente se lleva a cabo la adición de insumos o simplemente por la ocupación del espacio como lugar de asiento de las actividades, en donde queda una huella de la actividad humana, manifiesta por las perturbaciones que pueden tomar distintas direcciones: hacia el deterioro, como ocurre con frecuencia, o también hacia la conservación, la protección o la restauración.

El uso de recursos naturales, y en particular el suelo, deja huella en el agua que usan para sus diversos procesos, por lo que su estudio cobra relevancia en esta investigación, con la misma importancia que el análisis de los usos del suelo que se asientan en las cuencas de la laguna de Almaya y que repercuten en la calidad del líquido en dicho cuerpo de agua. En tal sentido, el conocimiento de los procesos de aprovechamiento de agua, suelo y recursos naturales es relevante para diagnosticar las causas de la calidad del agua en el cuerpo de agua de interés.

a) *Los usos del suelo en las cuencas de la laguna de Almaya*

Para conocer los usos del suelo en la zona de estudio se llevó a cabo la interpretación de la imagen de satélite Spot 5, expedida por IGECEM en 2010; para este análisis se retomaron categorías utilizadas por CETENAL en 1976, para realizar un análisis comparativo, que permita establecer los usos del suelo que tuvieron variaciones en el lapso comprendido entre los dos años de referencia. También se muestra una caracterización de las formas en que se aprovechan los recursos, atendiendo a los impactos que genera en el agua, que expliquen las condiciones de la calidad del agua presente en la laguna de interés.

En tal sentido, las cuencas de la laguna de Almaya presentan los usos del suelo y los tipos de vegetación que se muestran en el cuadro 6, de donde destaca el uso agrícola del temporal y los asentamientos humanos, como las expresiones más antropizadas, aunque también existen en la zona el pastizal inducido y el matorral inerme, que son sucesiones biológicas de los bosques de coníferas y latifoliadas, propios de la región, que tienen un carácter silvestre, pero no son comunidades vegetales, conocidas como clímax, por lo que también se les conoce como vegetación secundaria, sin embargo, los que sí alcanzan esa categoría son las distintas modalidades de bosques.

**Cuadro 6. Usos del suelo y tipos de vegetación en las cuencas de la laguna de Almaya, 1976 y 2010**

Usos de Suelo	1976		2010	
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
Agricultura temporal	10.03	43.5	8.71	37.8
Matorral inerme	2.30	10.0	1.36	5.9
Pastizal inducido	1.18	5.1	1.96	8.5
Bosque Pino - Encino	1.19	5.2	2.28	9.9
Bosque Aile - Pino	6.31	27.4	6.60	28.6
Asentamientos humanos	0.26	1.1	0.89	3.9
Bosque Encino	1.57	6.8	1.04	4.5
Cuerpos de agua	0.20	0.9	0.20	0.9
Total cuencas	23.04	100.0	23.04	100.0

Fuente: elaboración propia a partir de IGECEM (2010) y CETENAL (1976).

Estos usos del suelo y tipos de vegetación dan lugar a las actividades agropecuarias, forestales y urbanas que dejan huella en el territorio, sobre todo por las formas específicas en que éstas se realizan; así, en el caso del uso agrícola del suelo, ocupa las zonas más menos escabrosas donde los productores trabajan sobre laderas de los lomeríos del piedemonte de esta sección de la sierra de Las

Cruces, principalmente sobre suelos de la unidad edáfica Andosol, los cuales son altamente erodables cuando se someten a la labranza, con prácticas que promueven el traslado de materiales en pendientes y con lluvias intensas.

De manera similar, la actividad ganadera, basada en bovinos y ovinos aprovecha los pastizales que fueron inducidos por la alteración del bosque, por lo cual no se restablece la vegetación original y la propia presión de esta actividad realimenta la presencia de los pastizales, que cobran su nombre a partir de esta práctica que los promueve; de manera similar, el matorral inerme, que también es una comunidad vegetal secundaria, producto de la deforestación del bosque, también es aprovechado para el pastoreo del ganado, a la vez de ofrecer el beneficio de otras plantas del género *Baccharis*, como la escobilla, de donde se obtienen las varas para la fabricación artesanal de “escobas de varas” y figuras ornamentales de este material.

Pero los rumiantes también son introducidos al bosque para pastorear, así como a las parcelas agrícolas para consumir los restos de la milpa; las limitantes de la producción extensiva de rumiantes en terrenos inclinados, además de la pérdida de peso por el desplazamiento de los animales cuesta arriba, es la huella local de la actividad pecuaria, que impacta en la biodiversidad por la palatabilidad de los animales en la flora, sobre todo cuando existe sobreexplotación y erosión de los suelos, con énfasis cuando éstos son susceptibles a su transporte mediante el flujo del agua, agravado por las lluvias intensas, lo cual no es un problema apreciable en las cuencas analizadas pero está latente.

Por su parte, los bosques de la zona juegan un papel primordial en el equilibrio de los ecosistemas para estabilizar los suelos y mantener su fertilidad, así como para la conformación del hábitat para la fauna y el mantenimiento de la función de infiltración que existe en la zona, la cual es reconocida por CNA-GTZ (2004), como parte de la “zona de recarga”. Lo anterior no excluye a la zona del aprovechamiento forestal clandestino, que no excesivo, de acuerdo con la opinión de los comuneros de San Miguel Almaya.

En el sentido de la protección, existen en la zona acciones de conservación que se realizan, a partir de los programas, cada vez más importantes de pago por servicios ambientales hidrológicos, promovidos por el Fideicomiso para el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (FIPSAHEM) y otros programas similares del Gobierno Federal, que operan en la zona, ya que el Gobierno del Estado de México asume que “es deber del Estado garantizar un desarrollo equilibrado a través de la creación de mecanismos que aseguren el uso y disfrute de los recursos naturales que

existen en los diversos ecosistemas conforme a lo señalado dentro del Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025 y en el Código para la Biodiversidad del Estado de México, en donde se establece como función esencial el velar por la conservación, el aprovechamiento, la protección y el fomento de los recursos forestales de acuerdo con el principio de uso racional de los recursos naturales renovables” (GEM, 2012: 2).

En el ámbito de los asentamientos humanos, los usos del suelo se centran en la presencia de viviendas, comercio y los servicios públicos, educativos, médicos y administrativos locales para el funcionamiento cotidiano de los 5,317 habitantes, así como en la prestación de los servicios turísticos en El Potrero, que atiende a la población flotante que acude los fines de semana en la zona alta de la cuenca El Muerto.

El patrón de asentamiento general en las cuatro localidades en las cuencas y en la zona en su conjunto está representado por las viviendas individuales de uno y dos niveles, frecuentemente construidas con concreto mediante procesos de autoconstrucción, que se extienden por las localidades a través de la ocupación de tierra comunal, heredada para el desplante de casas que van incorporando los servicios básicos a lo largo del tiempo, luego de iniciar con su construcción, que dura muchos años en su terminación y, en ocasiones, nunca se logra.

Estas transformaciones territoriales, promovidas por la expansión de los asentamientos humanos, impactan en la impermeabilización del suelo, que anteriormente actuaba, en conjunto con el subsuelo y la vegetación, de manera similar a una esponja favoreciendo la retención de agua que escurre de manera superficial al reducir la capacidad de infiltración y la recarga del Acuífero del Valle de Toluca, no obstante, por estos cambios se emiten contaminantes al aire, al agua y al suelo y, al cubrir el sustrato productivo, se pierde la capacidad productiva de las actividades silvoagropecuarias.

b) *Los usos del agua en las cuencas de la laguna de Almaya*

Los usuarios del agua en estas cuencas son principalmente los asentamientos humanos y la actividad agrícola alrededor de la localidad de Guadalupe Victoria, que utiliza el sistema “punta de riego”, el cual consiste en aplicar riego en pequeñas superficies planas en las márgenes del arroyo El Muerto, del cual deriva el agua en el inicio de la primavera para promover la germinación de la semilla de maíz y el crecimiento de las plántulas, que luego son abastecidas con el establecimiento de las lluvias de temporal durante abril y mayo.

Las fuentes de abastecimiento de agua para los asentamientos humanos en las cuencas de interés y para las localidades en la vertiente de la sierra de Las Cruces son los manantiales que alumbran, de manera natural, el agua del acuífero en ciertos puntos que la formación geológica permite. A partir de dicho origen, el agua es conducida por acueductos de distintas dimensiones y materiales, mangueras y tubos, hasta los depósitos que distribuyen el vital líquido y hasta las viviendas, donde es aprovechada por los usuarios que la consumen directamente en mínima medida y la contaminan luego de su uso en distintas actividades domésticas, de donde es emitida en calidad de agua residual con una carga orgánica, que es el principal contaminante emitido por este tipo de uso, según Weitzenfeld (1989), quien propuso un método de evaluación rápida que, al ser aplicado en las localidades de la cuenca, dio lugar al cuadro 7.

**Cuadro 7. Estimación de contaminantes generados en las cuencas El Muerto y Laguna, 2010**

Localidad	Población en la cuenca		Volumen de desecho		DBO		DQO		SS		N		P	
	No.	Miles	m <sup>3</sup> /hab/año (1)	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /año	kg/hab/año	t/año	kg/hab/año	t/año	kg/hab/año	t/año	kg/hab/año	t/año	kg/ha b/año	t/año
San Miguel Almaya	2471	2.471	54.8	135.3	19.7	48.7	44	108.7	20	49	3.3	8.2	0.4	0.99
Rancho Juan Dieguito	81	0.081	54.8	4.4	19.7	1.6	44	3.6	20	2	3.3	0.3	0.4	0.03
Guadalupe Victoria	621	0.621	54.8	34.0	19.7	12.2	44	27.3	20	12	3.3	2.0	0.4	0.25
San Pedro Atlapulco	2144	2.144	54.8	117.4	19.7	42.2	44	94.3	20	43	3.3	7.1	0.4	0.86
<b>Total Cuenca</b>	<b>5317</b>	<b>5.317</b>	<b>54.8</b>	<b>291.1</b>	<b>19.7</b>	<b>104.7</b>	<b>44</b>	<b>233.9</b>	<b>20</b>	<b>106</b>	<b>3.3</b>	<b>17.5</b>	<b>0.4</b>	<b>2.13</b>

(1) Para un consumo de 150 l/hab/día.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (20011) y Weitzenfeld (1989)

En tal sentido, a partir de los datos estimados se establece que la laguna de interés cuenta con una superficie cubierta por malezas acuáticas en cantidades variables, que llegan al 100% del espejo de agua, cuando no es extraída, sin embargo, cuando se corta la maleza, ésta se recupera porque tiene las condiciones de calidad del agua para hacerlo, además de la contribución

de las aves, que participan en la difusión del material vegetativo a través de la diseminación de semillas que, junto con la propagación vegetativa y la fertilización del cuerpo de agua, se tienen condiciones óptimas para el crecimiento de los vegetales acuáticos.

Por otra parte, desde la perspectiva de la contaminación del agua en la zona de estudio, destaca que todas las localidades cuentan con redes de alcantarillado sin tratamiento de sus efluentes, por lo que se estimó, de acuerdo con Weitzenfeld (1989), la cantidad de contaminantes emitidos por la población que descarga a la cuenca, de acuerdo con los siguientes indicadores: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS), nitrógeno (N) y fósforo (P), a través de un modelo que toma en cuenta cargas contaminantes unitarias, de donde resultaron los datos mostrados en el cuadro 7.

Del cuadro 7 destaca que la mayor carga contaminante es por la demanda química de oxígeno, lo que se traduce en presencia de materiales que requieren oxidarse para su degradación. De ellos sobresale la materia orgánica, estimada a través de la DBO, con menos de la mitad de la demanda de oxígeno. En términos de los aportes por asentamiento humano, es relevante que las mayores contribuciones de contaminantes proceden de San Pedro Atlapulco y de San Miguel Almaya, aunque esta última vierte sus aguas a la red de alcantarillado que descarga fuera de la cuenca cuando la pendiente de la ladera del volcán Quilótzin se lo permite; sin embargo, algunas localidades dispersas al poniente de la localidad y próximas a la laguna no tienen la posibilidad de conectarse a dicha red por razones de inclinación del terreno, por lo que es necesario el planteamiento de sistemas alternativos de tratamiento de bajo costo y capacidad para atender la depuración de sus aguas residuales.

## Referencias

- Barkin, David y Klooster, Dan, 2006: "Estrategias de la gestión del agua urbana en México: un análisis de su evolución y las limitaciones del debate para su privatización" en Barkin, David (coordinador), *La gestión del agua urbana en México. Retos, debates y bienestar*, Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- CAEM, Comisión de Agua del Estado de México, 2011a: *Misión, visión y objetivos*, CAEM, Naucalpan, México, en <http://qacontent.edomex.gob.mx/caem/acercadelacaem/misionvisionyobjetivo/index.htm>.
- Carabias, Julia y Landa, Rosalva, 2005: *Agua medio ambiente y sociedad. Hacia una gestión integral de los recursos hídricos en México*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte.
- CCRECARL, Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca Alta del Río Lerma, 1993: *Atlas ecológico de la cuenca hidrográfica del río Lerma*, Tomo I cartografía, Toluca, México: Facultad de Geografía, UAEM.
- CETENAL, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1976: carta de *Uso del suelo y tipos de vegetación*: E14A48, de escala 1:50,000, México: CETENAL.
- Chávez Cortés, Marta M. y Juan M. Chávez Cortés, 2009: "El enfoque de estudios integrales en la planeación de la conservación del agua" en Montero Contreras, Delia y otros, *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua. Nuevos retos del agua en el Valle de México*, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, 2011: *Agenda del agua 2030*, México: SEMARNAT.
- CNA-GTZ, Comisión Nacional del Agua-Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agencia Alemana de Cooperación Técnica), 2004: *Plan de Gestión Integral del Acuífero del Valle de Toluca*, CD ROM, Toluca, México: CNA-GTZ.
- Gobierno del Estado de México, 2012: *Convocatoria para el pago por servicios ambientales hidrológicos 2012*, Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Secretaría del Medio Ambiente en *Gaceta del Gobierno del Estado de México*, 9 de marzo, Toluca, México: Gobierno del Estado de México.
- IGECEM, Instituto de Investigación, Informática y Catastro, 2010: *Imagen de satélite Spot 5*, Toluca, México: IGECEM.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1999: *Conjuntos de datos vectoriales E14A48, E14A49 y E14A38 de las cartas topográficas escala 1:50,000 (Tenango, Milpa Alta y Toluca)*, Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2000: *Carta hidrológica de aguas subterráneas, E-14-2*, escala 1:250,000, Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001: *Síntesis de información geográfica del Estado de México*, Aguascalientes, México: INEGI.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2006: *II Censo de Población en [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)*.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2011: *Censo de Población y Vivienda 2010 en [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)*.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010: *Indicadores básicos del desempeño ambiental de México*, Sistema Nacional de Indicadores Ambientales, México: SEMARNAT en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores\\_2010\\_web/indicadores\\_2010/conjunto\\_basico/10.100.8.236\\_8080/ibi\\_apps/02\\_agua/indicador\\_2\\_2-1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_2010_web/indicadores_2010/conjunto_basico/10.100.8.236_8080/ibi_apps/02_agua/indicador_2_2-1.html).

SMN, Servicio Meteorológico Nacional, 2010: Normales Climatológicas 1971-2000, Comisión Nacional del Agua, México en: [http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75).

The International Committee of the 6th World Water, 2012: *Global Water Framework*, Marseille.

Weitzenfeld, Henyk, 1989: *Documentos para el curso básico sobre evaluación rápida de fuentes de contaminación ambiental (aire, agua y suelo)*, Metepec, México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud-Organización Mundial de la Salud.

World Water Council-CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, 2006: *Final Report of the 4th World Water Forum*, México: Comisión Nacional del Agua.