

Análisis y Evaluación de la Cuenca Hidrológica Lerma

Celeste García Jaimes¹

Tonahtuic Moreno Codina²

Resumen

En la región de la cuenca del Alto Lerma en el Estado de México, se encuentra el Área Natural Protegida con categoría de protección de Flora y Fauna conocida como Ciénegas del Lerma, unidad ecológica en la que están presentes diversos ecosistemas de alta biodiversidad, así como de extrema fragilidad ambiental siendo invadida la zona por desarrollos habitacionales e industriales. El objetivo es correlacionar las problemáticas presentes y futuras que pudieran afectar el potencial de desarrollo de los sistemas ecológicos en relación al equilibrio de la configuración físico-geográfico proponiendo estrategias de rehabilitación en zonas afectadas. La metodología a emplear es a través de la Teoría de Umbrales donde se podrá determinar las estrategias de desarrollo físico urbano de la zona de estudio analizando las limitaciones más significativas con base a los factores causales de umbrales entre estos: medio ambiente natural y medio ambiente construido. Concluyendo que la Región hidrológica es de prioridad implementar captadores de agua pluvial, sistemas por métodos biológicos para el tratamiento de los cuerpos de agua contaminados, crecimiento de humedales, rehabilitación del río Lerma, eliminación de fosas sépticas de los asentamientos humanos contiguos a los humedales para la implementación de una infraestructura hidrosanitaria.

Conceptos clave: Ciénegas de Lerma, fragilidad ambiental, región hidrológica, Teoría de Umbrales, humedales.

Introducción

La cercanía entre las Zonas Metropolitanas del Valle de Toluca (ZMVT) y la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), a través de la consolidación del corredor industrial Toluca-Lerma ha traído consigo el crecimiento acelerado del comercio y los servicios, generando un desarrollo poblacional exponencial que requiere de dotación de servicios e infraestructura, así como el vital suministro de agua para alrededor de 26.5 millones de habitantes que cohabitan diariamente en los 60 municipios pertenecientes a la ZMVT y ZMVM así como las 16 alcaldías de la ciudad de México.

El abastecimiento de agua para esta Región es directamente extraído de los pozos ubicados sobre el valle de Toluca, lugar donde nace la cuenca hidrológica Lerma – Chapala-Santiago; tercera cuenca hidrológica más grande del país. La Ciénega de Lerma forma parte fundamental de esta red hidrológica, actualmente sólo queda en circunstancias críticas un

1 Alumna de la Maestría en Planeación Urbana del Departamento de Urbanismo del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes, tecadmon2011@gmail.com

2 Profesor Investigador del Departamento de Urbanismo del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Actualmente Secretario Técnico de la Maestría en Planeación Urbana, tonahtuic@hotmail.com

remanente de lo que en el siglo pasado fueron 40,000 has. de humedales. La presión que impone el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial permeó los programas gubernamentales autorizando la desecación de los humedales, abriendo espacio para la concentración de los asentamientos humanos y las áreas con potencial agrícola industrial. Esta acción ha traído consigo la modificación del paisaje, la irreversible pérdida de biodiversidad ecológica única en América, problemas ambientales, así como la creciente sobreexplotación de la cuenca hidrológica.

Siendo el objetivo de la presente investigación el poder correlacionar las problemáticas del medio físico construido contra el medio físico natural que puede afectar el desarrollo de los sistemas ecológicos en relación al equilibrio de la zona, a través de la proposición de estrategias de rehabilitación y conservación en las áreas afectadas.

Metodología

Emplear el sistema deductivo nos conduce a inferir que la zona metropolitana del valle de México y del Valle de Toluca se han ido construyendo en virtud de su posición territorial, deduciendo que la variable de movilidad ha representado un factor primordial de enlace nodal entre la Ciudad de México y Toluca, siendo esta comunicación de las vías carreteras detonadora del desarrollo comercial e industrial, marcando un crecimiento acelerado de la población, que se ha asentado en el trayecto del eje carretero de composición espacial lineal, con origen en la ciudad de México en dirección poniente hasta la zona metropolitana de valle de Toluca.

Lo anterior determina que la variable de habitabilidad del municipio de Lerma se desarrolla sobre un eje cartesiano con una superficie territorial de 228.6 km² presentando una población de 560,434 habitantes que inciden directamente sobre el vector geográfico de las Ciénegas de Lerma a través de la conformación de sistemas polinucleares de asentamientos humanos, presentando concentración dispersa alrededor del humedal, ejerciendo presión el desarrollo urbano sobre la Ciénega.

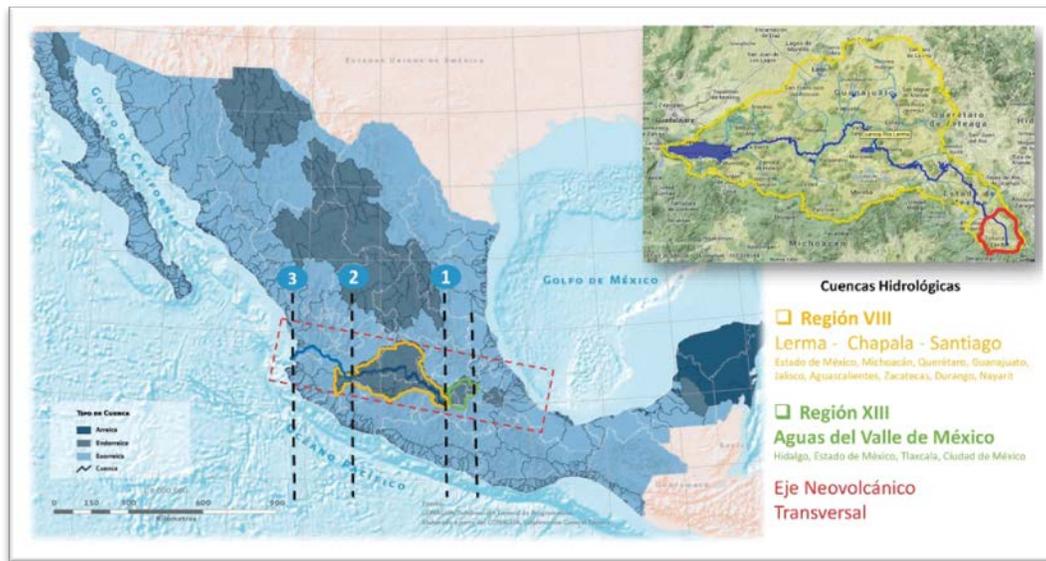
Se aplicará el método de análisis de la teoría de umbrales con el objetivo de formular estrategias que permitan interactuar -integralmente- el medio físico construido con el medio físico natural del polígono en estudio; laguna Chimaliapan. A partir de la definición de umbrales, mismos que se analizarán en periodos de diez años cada uno de la siguiente forma: Primer umbral comprendido de 1990 al año 2000, umbral intermedio del año 2000 al 2010, último umbral del 2010 al 2020 comprendiendo un periodo de tiempo de treinta años que permitirá analizar el desarrollo histórico en cuanto a la definición de la traza urbana y la desecación de los humedales.

El desarrollo de las etapas definidas entre el primer y último umbral, así como el umbral intermedio suponen los umbrales librados arrojando información sobre el crecimiento urbano en la fase de diagnóstico, determinando con mayor certeza la dirección para el futuro crecimiento urbano proyectado al año 2040.

Sector Regional VIII Lerma – Chapala – Santiago

Con el objetivo de facilitar la operación y administración de los cuerpos de agua en México se determinó a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), agrupar en regiones hidrológicas, registrándose a trece regiones hidrológico – administrativas, La sede y circunscripción territorial de la Cuenca de estudio es la Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico. (ver Figura No.1), ubicada en el eje neovolcánico transversal, con sede en Guadalajara, Jalisco. Esta región hidrológica reúne a varios estados, como Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Nayarit, Querétaro y Zacatecas, y cuenta con una superficie de 190 366 km².

Figura No. 1 Sector Regional Hidrológico VIII



Fuente: Elaboración propia con base a datos y mapas contenidos en el Atlas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2009 y Google Earth.

Como se puede observar en la Figura No. 1 la cuenca hidrológica Lerma – Chapala – Santiago se encuentra en la Región de la Zona Centro – Pacífico, entre sus afluentes están los ríos de la Laja, Silao, Turbio, Angulo y Duero⁴. Esta región enfrenta el constante crecimiento urbano a través de los asentamientos irregulares ganándole tierra a los cuerpos de agua, desarrollando una agricultura local que coadyuva al crecimiento regional del Bajío, y que ha traído entre algunas consecuencias directas; el cambio de los cauces de los ríos, la desecación y contaminación de los cuerpos de agua.

De acuerdo con CONAGUA una región hidrológica está integrada por varias cuencas hidrológicas existiendo 37 regiones hidrológicas en el país, siendo que: “en cada una de estas regiones hidrológicas está contenida, al menos, una cuenca hidrográfica y a su vez, no existe cuenca hidrográfica alguna que esté en más de una región hidrológica” (Carabias, J. Landa, R.

3 Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

4 IBID

2005:48)⁵. En dichas regiones se pueden encontrar contrastes diferenciados que van de regiones hidrológicas más húmedas debido a su alta precipitación anual, como la región del sistema Grijalva-Usumacinta, a las regiones hidrológicas más secas del país como la región del Vizcaíno en Baja California Sur, encontrándose también las regiones más densamente pobladas como la Lerma-Santiago. Que en conjunto con la región hidrológica XIII Aguas del Valle de México comparten una población de alrededor de 26.5 millones de habitantes.

Sobre el vector geográfico enmarcado por el eje neovolcánico transversal se concentran las masas de agua pertenecientes a tres de las cuencas más importantes del país; la región Lerma-Santiago-Pacífico, la del Pánuco ubicada en la parte central de la Sierra Madre Occidental con desembocadura en el Golfo de México y la del Balsas ubicada en la vertiente del pacífico a través de los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Morelos, Tlaxcala y Puebla, los ríos importantes en sus límites son el Atoyac, el Amacuzac, el Nexapa y el Cutzamala, siendo una de las regiones con el mayor número de acuíferos sobreexplotados.

El Estado de México concentra las tres cuencas (Lerma-Chapala-Santiago, Pánuco y Balsas), (ver figura No.2) siendo la región hidrológica VIII Lerma-Chapala-Santiago objeto de estudio de la presente investigación bajo la perspectiva de que el caudal del río Lerma constituye una vertiente estratégica en el desarrollo de la configuración espacial del crecimiento urbano y económico de la región. A partir del nacimiento del río Lerma con una corriente natural en dirección norponiente hacia los estados de Michoacán, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y Nayarit. Así como también interactúa con la región XIII Aguas del Valle de México con demarcación del Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y la ciudad de México.

En la figura No. 2 se muestra la concentración de las tres cuencas en el Estado de México teniendo como origen el vector geográfico del municipio de Almoloya del Río su nombre viene del Náhuatl almoloyán que significa lugar “donde nace el agua” o “el lugar donde mana el agua a borbollones”⁶ y es precisamente donde nace el río Lerma desembocando en el lago de Chapala, actualmente la captación de sus aguas son dirigidas hacia la ciudad de México ocasionando la desaparición y desecación de lagos dejando el origen del río por los escurrimientos que bajan del nevado de Toluca y de la Sierra de las Cruces. Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las cuencas están conformadas por componentes biofísicos (agua, suelo), Biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), componentes que están interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos se produce un desbalance de todo el sistema.⁷

Actualmente los factores hidrometeorológicos, el crecimiento demográfico, la explotación agrícola, agropecuaria e industrial, entre otros factores; ejercen una presión hídrica sobre la disponibilidad en el volumen de agua que se consume, la Comisión para el Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas define que el mayor grado de presión (muy fuerte: cuando se extrae más del 100%) de los acuíferos, lo presenta la región XIII Aguas del

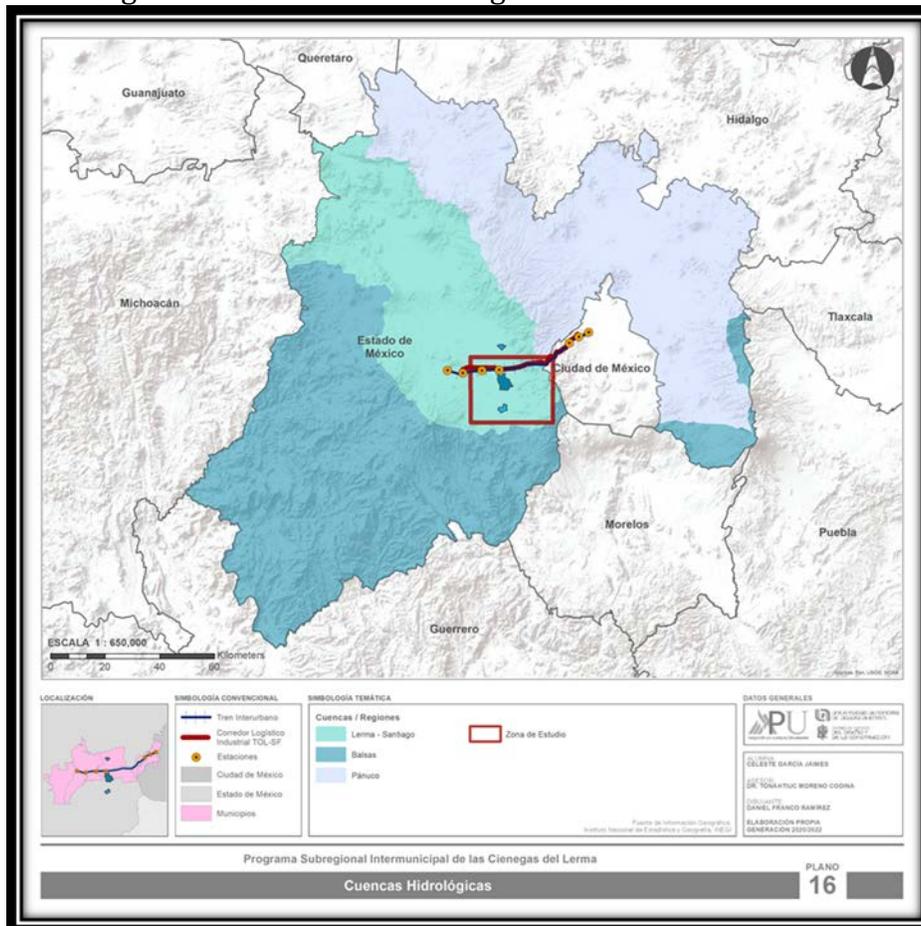
5 Carabias, J. Landa, R. (2005). Agua, Medio Ambiente y Sociedad Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México. Distrito Federal. México. UNAM. El Colegio de México. Fundación Gonzalo Río Arronte.

6 Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Almoloya del Río, Estado de México.

7 CONAGUA. Atlas del Agua en México 2009.

Valle de México con el 132.3% región que contempla la ZMVT y la ZMVM sumando 26.5 millones de habitantes, siendo una de las regiones metropolitanas más grandes del país con una aportación al PIB de 3.8 billones MXN para la ciudad de México y de 2.8 billones MXN para el Estado de México⁸, cifras que contrastan con la Región Sur XII Península de Yucatán con una presión hídrica del 8% definida con grado de presión escaso y un PIB de 369 mil millones MXN⁹. Datos que reflejan la dinámica económica de las regiones centro y norte del país con una alta productividad económica en zonas de bajo volumen hídrico.

Figura No. 2 Cuencas Hidrológicas del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con base a datos y mapas contenidos en el Atlas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2009 y base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Se ha estimado que México capta en promedio 1,489 miles de millones de m³ de agua pluvial, de los cuales el 73.2% regresa a la atmósfera mediante evapotranspiración, el 22.1% escurre por las corrientes de las cuencas y solo el 4.7% se infiltra en los acuíferos (CONAGUA,2008). De este promedio solo se dispone alrededor de 459 mil millones de m³ de

8 Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2022

9 IBID

agua dulce renovable al año, la cantidad de agua renovable anual per cápita se estima en 4,288 m³ por habitante¹⁰.

De acuerdo con el Diario Oficial de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales con fecha del Lunes 21 de septiembre de 2020, donde se postulan los Acuerdos por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos¹¹. En el Artículo No. 12 Se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las cuencas hidrológicas que integran la Región Hidrológica Lerma-Santiago como se muestra en la tabla No. 1.

Tabla No. 1 Disponibilidad Media Anual de las Cuencas Lerma - Santiago

No. Cuenca	Nombre de la Cuenca	Volumen Disponible a la Salida (millones de metros cúbicos)	Estado de Clasificación
1201	Cuenca hidrológica río Lerma 1	0.000	Déficit
1204	Cuenca hidrológica río Lerma 2	-0.001	Déficit
1205	Cuenca hidrológica río Lerma 3	-0.008	Déficit
1206	Cuenca hidrológica río Lerma 4	-2.453	Déficit
1207	Cuenca hidrológica río la Laja 1	-0.105	Déficit
1209	Cuenca hidrológica río la Laja 2	-0.259	Déficit
1211	Cuenca hidrológica río turbio	-3.192	Déficit
1212	Cuenca hidrológica río Angulo	-8.718	Déficit
1213	Cuenca hidrológica río Lerma 5	-45.062	Déficit
1214	Cuenca hidrológica río Lerma 6	-70.593	Déficit
1216	Cuenca hidrológica río Duero	-37.512	Déficit
1217	Cuenca hidrológica río Lerma 7	-250.669	Déficit

Fuente: Elaboración propia con base a los datos contenidos en el Diario oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales(SEMARNAT), el 21 de septiembre 2020

De las 58 cuencas pertenecientes a la región hidrológica Lerma – Santiago, sólo se enunciaron 12 cuencas con el objetivo de observar la problemática imperante sobre el déficit del recurso hídrico sobre la región. También se observa la misma dinámica en la cuenca 1201 Río Lerma 1: desde su nacimiento hasta la presa José A. Álzate perteneciente a la Región Metropolitana del Valle de Toluca con una disponibilidad media anual de agua superficial de 0.000 millones de metros cúbicos como se muestra en la Tabla No. 2 resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial.

10 Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

11 Diario Oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, lunes 21 de septiembre de 2020

Tabla No. 2 Resumen de valores para el cálculo de la disponibilidad de agua en la cuenca 1201 Río Lerma 1

Cuenca	Nombre	Cp	Ar	Uc(a)	Uc(b)	Uc(c)	R	Im	Estado
1201	Río Lerma 1	228.529	0.000	94.439	0.502	0.000	65.656	44.371	Déficit
		Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	
		0.000	12.157	-0.575	232.033	232.033	0.000	0.000	

* Valores en millones de metros cúbicos

Fuente: Elaboración propia con base a los datos contenidos en el Diario oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales(SEMARNAT), el 21 de septiembre 2020

Para el cálculo de la disponibilidad media anual de agua superficial la SEMARNAT utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc(a) + Uc(b) + Uc(c) + Ev + Ex + Av)$$

$$D = Ab - Rxy$$

Con una simbología para el despeje de la ecuación que se muestra en la Tabla No. 3

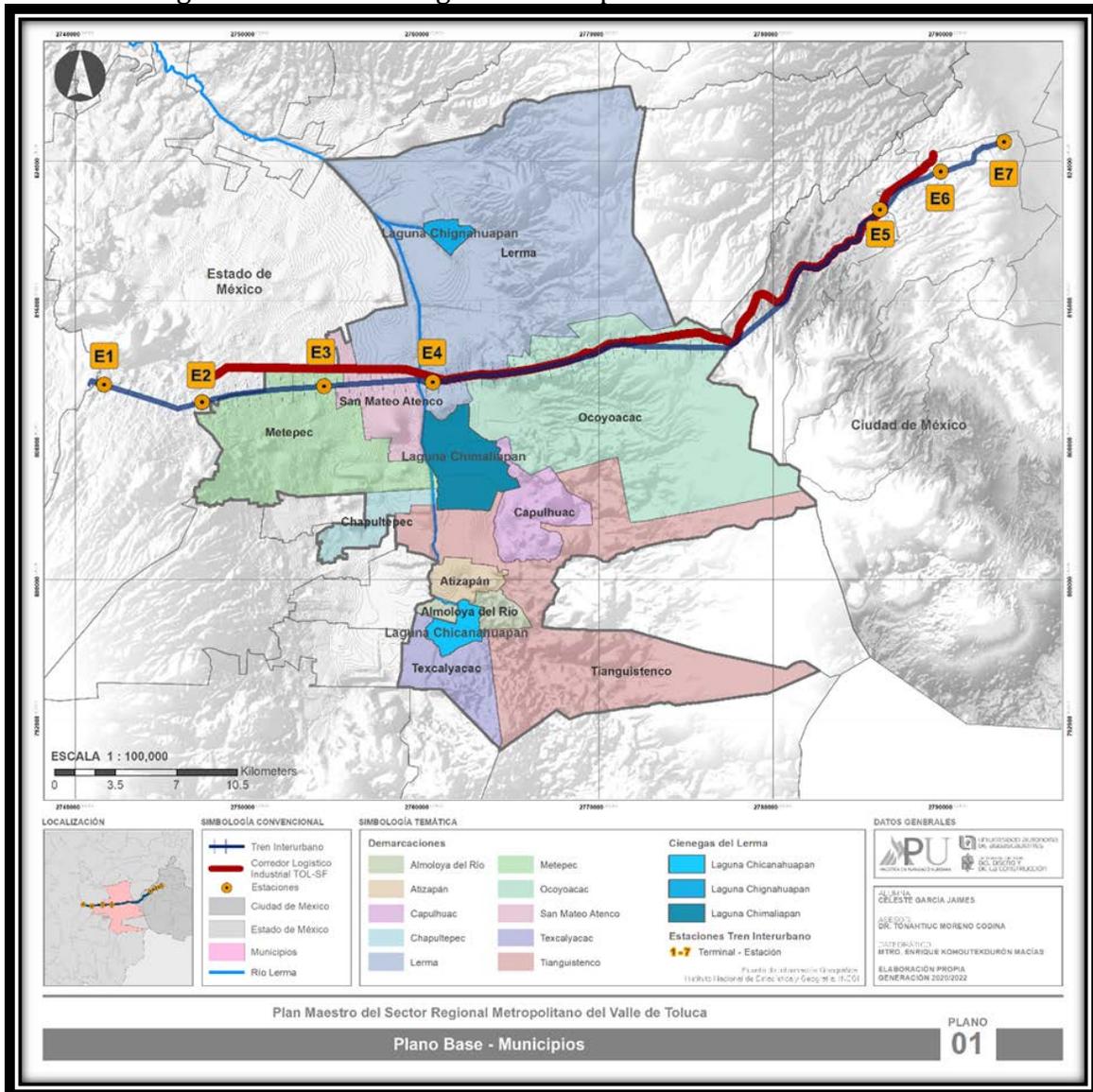
Tabla No. 3 Simbología empleada para el cálculo de la disponibilidad media anual

SIMBOLOGÍA	
Cp	Volumen medio anual de escurrimiento natural
Ar	Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba
Uc(a)	Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos/asignados actualmente en el REPDA
Uc(b)	Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA.
Uc(c)	Volumen anual correspondiente a las reservas y las zonas reglamentadas
R	Volumen anual de retornos
Im	Volumen anual de importaciones
Ex	Volumen anual de exportaciones
Ev	Volumen medio anual de evaporación en embalses
Av	Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses
Ab	Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo
Rxy	Volumen anual actual comprometido aguas abajo, los volúmenes correspondientes a reservas, uso ambiental, reglamentos y programación hídrica
D	Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica
EH	Estación hidrométrica
EC	Estación climatológica

Fuente: Datos contenidos en el Diario oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el 21 de septiembre 2020

Sumando las 58 cuencas un caudal de 1877.624 millones de metros cúbicos¹² de disponibilidad media anual de agua superficial en la Cuenca hidrológica. Cifras que sobreexplotan a la región hidrológica VIII Lerma – Santiago inserto en el Sector Regional Metropolitano del Valle de Toluca comprendido por los municipios; Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec, los cuales suman una superficie territorial de 2,410.5 km² y una población total de 2,387,371 habitantes¹³ (ver Figura No.3

Figura No. 3 Sector Regional Metropolitano del Valle de Toluca



Fuente: Elaboración propia con base a datos y mapas contenidos en el Atlas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2009 y base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

12 Diario Oficial, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, lunes 21 de septiembre de 2020
 13 Censo de población 2020, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

Como se puede apreciar en la Figura No.3 de la ZMVT sobre el municipio de Lerma quedan alrededor de 3,000 has. de humedales, divididos en tres polígonos marcados por el eje de comunicación de la carretera federal No.15 México – Toluca; al sur sobre el espacio lineal carretero se encuentra el primer polígono denominado Laguna Chignahuapan o Laguna Almoloya del Río, el segundo polígono (caso de estudio de la presente investigación) Laguna Chimaliapan o Laguna Lerma encontrándose a 1,000 mts. de distancia hacia el sur sobre la infraestructura vial y el Tren Interurbano México – Toluca, el tercer polígono llamado Laguna Chiconahuapan o Laguna de Atarasquillo ubicada hacia el norte con respecto al segundo polígono.

Delimitación Físico Espacial de la Zona de Estudio (Polígono de Análisis), intervienen los siguientes municipios:

- Norte: Lerma
- Sur: Santiago Tianguistenco, Atizapán, Almoloya del Río, y Texcayalcac
- Oriente: Ocoyoacac, Capulhuac
- Poniente: San Mateo Atenco, Metepec y Chapultepec

La población por municipio se muestra en la tabla No. 4

Tabla No. 4 Población por Municipio

Municipio	No. Habitantes
Lerma	170,327
Tianguistenco	84,259
Atizapán	12,984
Almoloya del Río	12,694
Metepec	242,307
Texcayalcac	5,736
Ocoyoacac	72,103
Capulhuac	36,921
San Mateo Atenco	97,418
Chapultepec	12,772
Total Población	747,521

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo 2020.

El municipio de Lerma tiene una superficie de 982 km², que representa el 4.38% de la superficie total del Estado de México, siendo el municipio más extenso con 232.58 km² que equivale al 23.69% del territorio regional. La densidad poblacional es de 630 habitantes por km² la cual tiende a incrementarse en el futuro a un ritmo del 1.4% anual.

Dentro de las bellezas naturales de Lerma se encuentran las Ciénegas de Lerma, las cuales a través de la Secretaría de Medio ambiente y recursos Naturales el 5 de septiembre de 2018 se firma el acuerdo donde se da a conocer en la Gaceta del Diario Oficial el resumen del Programa del Área Natural Protegida con categoría de área de protección de Flora y Fauna de la zona conocida como Ciénegas de Lerma, documento que refiere que en el 2002 el

Gobierno Federal emitió el “Decreto donde se declara Área Natural Protegida, debido a que representa una unidad ecológica en la que están presentes diversos ecosistemas de alta biodiversidad, así como de extrema fragilidad y siendo uno de los pocos sitios de la República Mexicana que aún conserva sistemas ecológicos bien desarrollados, siendo los últimos remanentes de lo que fueron los extensos humedales del Altiplano Central”¹⁴.

Las Ciénegas de Lerma forman parte de un sistema ambiental de la zona oriente de Toluca, las cuales se encuentran bajo presión de la expansión urbana, así como la constante e interminable presión hídrica que ejercen los sectores productivos, de comercios, de servicios y la propia dinámica sociodemográfica sobre los últimos remanentes de lo que un día fueron los humedales más grandes del Altiplano mexicano.

Las Ciénegas de Lerma forman parte de La Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, se conoce en forma abreviada como Convenio de Ramsar, lleva este nombre debido a que se firmó en 1971 en Ramsar ciudad Iraní. El principal objetivo de esta Convención es «la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo»¹⁵

La Laguna Chimaliapan (ver Figura No.3), cuenta con una superficie del humedal de 2,081 has. a una altitud de 2,560 (msnm), formando parte de la Cuenca del Alto Lerma abastecido de los Afluentes: Arroyos Xalatlaco, Muerto y Texcalapa, y el Río Acalotli, cruzando y vertiendo sus aguas a la laguna de oriente a poniente, así como los escurrimientos por deshielo del volcán Xinantécatl mejor conocido como Nevado de Toluca.

El agua que se consume en la ZMVT y la ZMVM es abastecida a través del sistema Cutzamala con una aportación del 27% mientras que el 73% es extraído de 120 pozos acuíferos del valle de Toluca (ver Figura 4). Los estudios de cuantificación hídrica de CONAGUA informan que la recarga total media anual de agua es de 336.8 hm³/año con una explotación de aguas subterráneas de 393,543,020 m³/año reportados en el Registro Público de Derechos de Agua (REDPA)¹⁶. El resultado es un déficit de 110,343,020 m³/año volumen extraído a costa del almacenamiento no renovable de la cuenca hidrológica del Valle de Toluca¹⁷.

La zona de estudio comprende una superficie de 50,000 has. en el que se encuentran ubicados diferentes tipos de pozos de extracción de agua (ver Tabla No. 5).

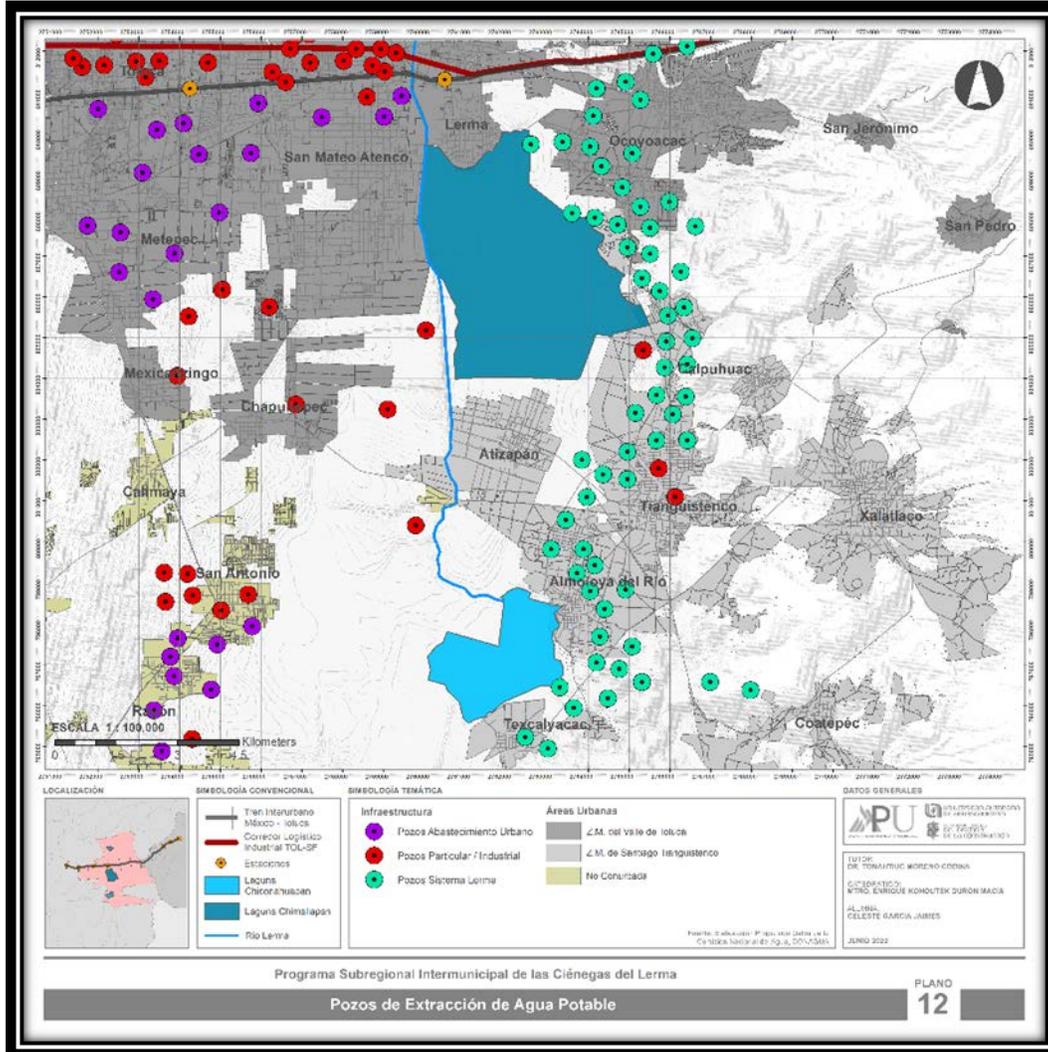
¹⁴Diario Oficial, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 5 de septiembre de 2018.

¹⁵ «The Ramsar Convention and its Mission Ramsar». web.archive.org. 9 de abril de 2016.

¹⁶ Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de Toluca (1501), Estado de México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), CDMX. Diciembre 2020

¹⁷ IBID

Figura No. 4 Pozos de extracción de Agua del Sector Regional Metropolitano del Valle de Toluca



Fuente: Elaboración propia con base a datos y mapas contenidos en el Atlas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2009 y base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Tabla No. 5 Inventario de las Fuentes de Agua en Bloque

TIPO DE POZO	No. DE POZOS
Pozos Abastecimiento Urbano	24
Pozos Particulares/Industriales	36
Pozos Sistema Lerma	60
TOTAL	120

Fuente: Elaboración Propia con datos de la Comisión Nacional del Agua, Consejo de Cuenca Lerma – Chapala, abril 2015.

De los 120 pozos 84 pertenecen al sistema de aguas subterráneas pertenecientes a la Cuenca Hidrológica Lerma – Chapala – Santiago, ubicadas en los municipios de Texcalyacac, Coatepec, Almoloya del Río, Santiago Tianguistenco, Capulhuac, Ocoyoacac, estos pozos de abastecimiento corresponden al sistema Lerma y son para el abastecimiento urbano. Los pozos de abastecimiento de agua para la zona industrial se encuentran ubicados en los municipios de Rayón, San Antonio, Chapultepec, Mexicaltzingo y Toluca. Con un total de 36 pozos que se encuentran dentro de las zonas industriales que abastecen directamente a las 1,069 empresas, con agua de buena calidad.

La captación de agua por escurrimientos e infiltración es aportada por el Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces, recargando la cuenca hidrológica de Lerma donde existen tres microcuencas que producen agua de excelente calidad: Buenavista, Tejalpa-Terrerillo y Agua Bendita-Cano, dos de ellas producen agua de muy buena calidad: Las Cruces- Zacango y las Ciénegas¹⁸, la dinámica económica de la región está basada en la agricultura, la industria, el comercio y los servicios, tan solo el 86.49% del agua de la cuenca es destinada para la agricultura, mientras que el agua para uso doméstico oscila alrededor del 11% mientras que el 2.37% se destina para uso de la industria (CONAGUA,2020).

Planteamiento del Problema

Dentro de las problemáticas que presenta la Ciénega de Lerma caso de estudio la Laguna Chimaliapan se encuentra: la sobreexplotación de los cuerpos de agua, la perturbación de la dinámica hídrica correspondiente a la construcción de canales y cambio de los cauces de los ríos que abastecen el embalse, el desarrollo de la infraestructura carretera ha ganado terreno a los humedales, durante los últimos años se designaron alrededor de 2,000 has. para uso agrícola, se ha desviado el cauce del agua mediante bordos para riego y uso doméstico, así como el incremento de la caza furtiva de patos en temporada invernal utilizando perdigones de plomo que dejan basura y aportación de plomo, la cual contribuye a la modificación en el equilibrio químico del agua, se desarrolla el lirio disminuyendo el oxígeno del agua matando a las especies acuáticas.

Se vierten 3.4 millones de m³ anuales de aguas negras sin tratamiento provenientes de la industria además de las aguas residuales domésticas agravando los problemas de contaminación en la Cuenca del Alto Lerma. La desecación de los humedales ha contribuido a la desaparición de manantiales y ojos de agua, afectando el descenso de los mantos freáticos. Por otra parte, el cambio de uso del suelo por agropecuario, urbano e industrial continúa propiciando la erosión y disminución en la recarga de acuíferos al ser explotados de forma irracional invadiendo las áreas naturales protegidas las cuales no son aptas para el desarrollo urbano en el que se presentan hundimientos del terreno. Todas estas problemáticas afectan el delicado equilibrio ecológico de los humedales impactando drásticamente a toda la Cuenca del Valle de México.

18 Rojas Merced, Eric Edmundo, Estimación de la producción de agua Superficial del Parque Nacional Nevado de Toluca, Revista Quivera, Vol.9 Num.1 2007 p.p. 157-176.UAMEX, Toluca, México.

Factores Causales de Umbrales

La aplicación de la teoría de Umbrales tiene el propósito de determinar las estrategias de desarrollo físico urbano de la zona de estudio donde se analizarán las limitaciones más significativas con base a los factores causales de umbrales entre estos: medio ambiente natural, medio ambiente construido, sistema de agua potable, sistema de drenaje, sistema de energía eléctrica, sistema vial y equipamiento. De acuerdo con los factores mencionados, se tomará para el desarrollo de esta investigación los sistemas de medio ambiente natural y medio ambiente construido.

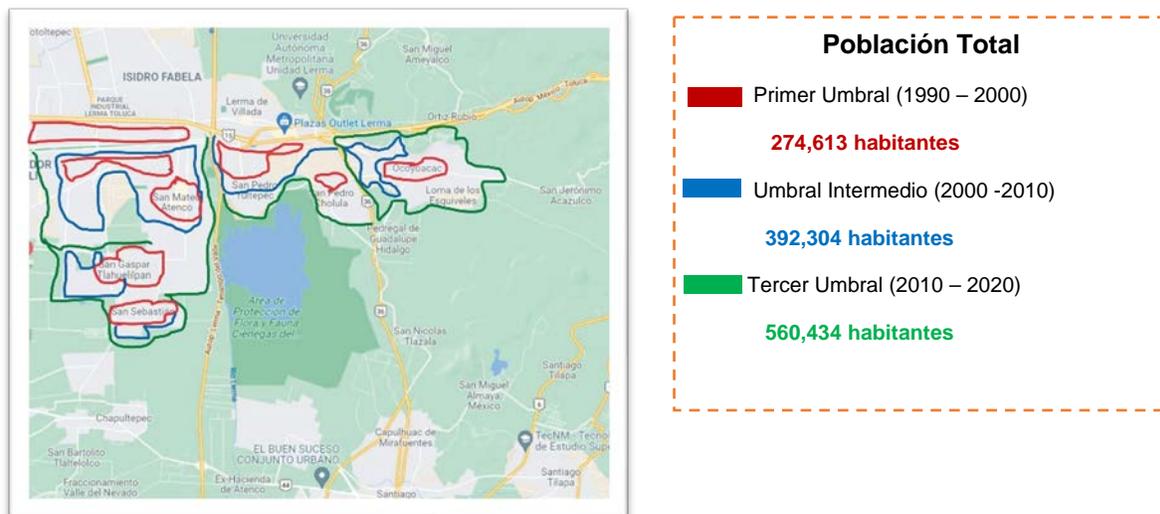
Siguiendo la metodología de la teoría de Umbrales, las barreras físicas naturales detectadas en el área de investigación se determinan a continuación.

a) Localización del primer y último umbral en el municipio de Lerma, zona de estudio Ciénegas de Lerma: Laguna Chimaliapan, determinando los umbrales basados en el crecimiento urbano durante las décadas comprendidas del año 1990 a 2000, 2000 al 2010 y del 2010 al 2020 (ver Figura No.5)

b) La zona urbana está delimitada de la siguiente forma:

- **Norte:** Lerma, San Mateo Atenco, Ocoyoacac, San Jerónimo
- **Sur:** San Antonio, Almoloya del Río, Rayón, Texcayalcac, Coatepec
- **Oriente:** San Pedro, Capulhuac, Atizapán, Santiago Tianguistenco, Xalatlaco
- **Poniente:** Metepec, Mexicaltzingo, Chapultepec, Calimaya

Figura No. 5 Histórico del medio ambiente construido - Umbrales rebasados sobre el medio ambiente natural

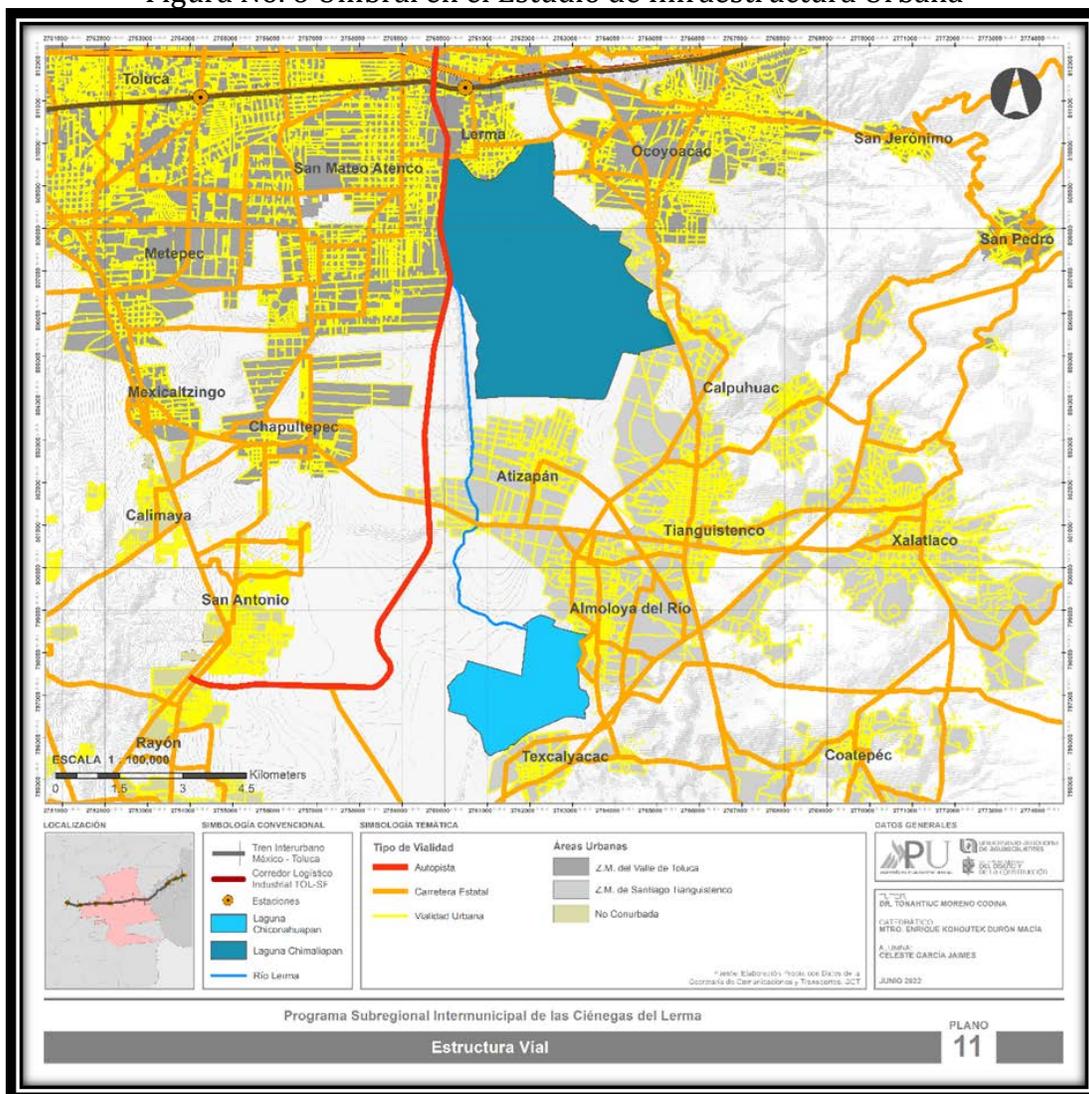


Fuente: Elaboración propia con mapas Google Earth y datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

El Histórico del medio ambiente construido muestra el crecimiento urbano a través de los últimos treinta años sobre el vector geográfico colindante con el medio ambiente natural; en primer lugar se estima una población de 274,613 habitantes para el primer

umbral marcado en color rojo, zona donde se asentaron los primeros cuadros urbanos alrededor con la vía carretera federal No. 15 México – Toluca la cual lleva en su línea de acotamiento los servicios públicos municipales (agua, drenaje, luz), mismos que sirvieron para detonar en las siguientes décadas un importante crecimiento exponencial desarrollado en veinte años, dando como resultado en el tercer umbral una población de 560,434 habitantes, según el Plan Municipal de Almoloya del Río estiman una migración promedio de 1,000 personas que llegan a esta región a vivir, impulsados por la fuerza de trabajo del lugar. Situación que propicia el establecimiento de comunidades que no cuentan con servicios de drenaje, invadiendo el terreno de los humedales, reduciendo paulatinamente el suelo de los cuerpos de agua, así como también la contaminación de los mantos freáticos, está dinámica ha concentrado un tejido social anárquico que se refleja en el último Umbral representado en color verde.

Figura No. 6 Umbral en el Estudio de Infraestructura Urbana



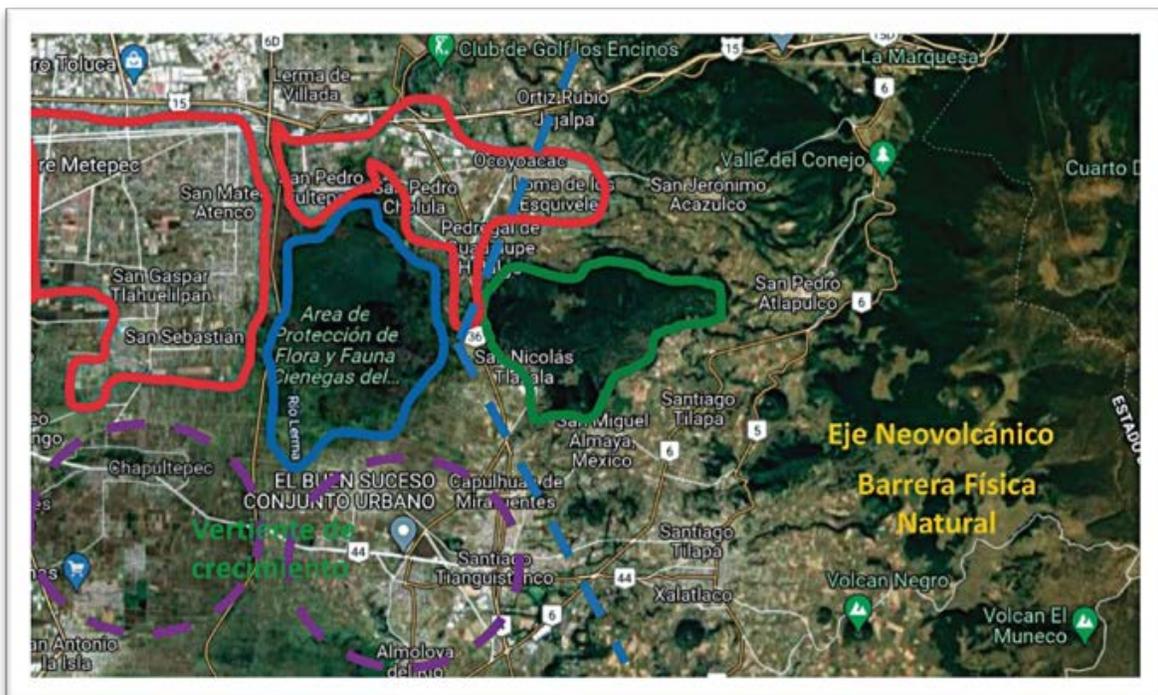
Fuente: Elaboración propia con base a datos y mapas contenidos en el Atlas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2009 y base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Cabe destacar que el desarrollo urbano en esta zona manifiesta una tendencia de crecimiento, extendiéndose hacia las áreas de las Ciénegas de Lerma, por una parte, se ven afectados los sistemas de servicios públicos que rebasan su capacidad y por la otra el sistema de humedales se encuentra en una fase crítica de contaminación y desertificación.

Dentro de la infraestructura; la zona de estudio cuenta con un sistema de comunicación alrededor de la Laguna Chimaliapan conformado por la vía principal carretera federal México -Toluca No. 15, La autopista Lerma Tenango de Valle 6D y la carretera No. 36, vías de comunicación primaria que conectan localmente con los poblados de San Pedro Tultepec, San Pedro Cholula, San Mateo Atenco, San Gaspar Tlahuelilpan, San Sebastián, Pedregal de Guadalupe Hidalgo y San Nicolás Tlazala, cabe señalar que las arterias principales y secundarias al extenderse determinan un sistema de enlace regional conectando la Ciénega de Lerma con la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ver Figura No. 6).

Como se puede observar en la figura No. 6 los Umbrales son de tipo espacial, ya que sólo reflejan el crecimiento urbano a partir de una temporalidad, lo cual constituye un umbral en el que se manifiesta la cobertura de las redes básicas de infraestructura. El propósito básico de la teoría de umbrales es determinar las barreras físicas, naturales y estructurales que impiden el desarrollo urbano a partir del análisis cuantitativo en cuanto a la utilización óptima de los recursos. A través de una planeación económica se podrá calcular los costos del desarrollo físico de la ciudad, así como el costo per cápita que marcará la dirección para la propia expansión de la ciudad. Bajo este contexto el crecimiento urbano presenta los siguientes umbrales (ver Figura no. 7).

Figura No. 7 Umbrales detectados en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con mapas Google Earth

UMBRAL ESCALONADO	UMBRAL DE GRADO	UMBRAL TECNOLÓGICO
<p>El desarrollo urbano está siendo detenido por un Umbral Escalonado identificado por el Área de Protección de Flora y Fauna de las Ciénegas de Lerma: Laguna Chimaliapan</p>	<p>Las Ciénegas de Lerma es una reserva de humedales que forman la cuenca hidrológica del valle Metropolitano de Toluca, elemento físico natural protegido. Hacia el oriente se encuentra la Sierra del eje neovolcánico; elemento físico natural que cualquier desarrollo urbano tendría que considerar para asentarse en la zona</p>	<p>El desarrollo urbano de la zona de estudio se localiza en una zona topográficamente regular. Debido a su rápido desarrollo urbano, la infraestructura se enfrentará a un Umbral Tecnológico o de eficiencia</p>

Como se puede apreciar en la figura No. 7 el crecimiento urbano está regido por las vías de comunicación y dotación de servicios, formando sistemas polinucleares que enfrentan un desarrollo del tejido social compacto hacia el norte donde se ubica el Corredor Industrial, el tren Interurbano México-Toluca y la carretera federal No. 15, así como una concentración dispersa de los asentamientos humanos alrededor de la laguna Chimaliapan que sirve como Umbral de Grado, el crecimiento poblacional día a día va creciendo y consolidándose sobre este vector geográfico coadyuvando al deterioro, contaminación y desecación del humedal. En aras de proteger y salvaguardar las Áreas Naturales Protegidas a través del análisis de los Umbrales se puede determinar que las áreas en las que se puede establecer una posible vertiente de crecimiento urbano son hacia el norponiente y suroriente, lo cual demandará la dotación de servicios e infraestructura que impactará la biodiversidad ecológica de las Ciénegas de Lerma.

Resultados y Discusión

A través de la metodología aplicada de la Teoría de Umbrales en esta primera fase de investigación se evidencia Primero: las Ciénegas de Lerma son una unidad ecológica en la que están presentes diversos ecosistemas de alta biodiversidad, así como de extrema fragilidad ambiental, quedando para el siglo XXI la suma de 3,000 has, en una superficie aislada en tres cuerpos de humedales.

Segundo: las Ciénegas de Lerma forman parte de la cuenca hidrológica Lerma – Chapala – Santiago en un recorrido de más de 700 km, con origen en el río Lerma en el municipio de Almoloya del Río hasta su desembocadura en el Puerto de San Blas en el estado de Nayarit.

Tercero: esta cuenca hidrológica denominada del Alto Lerma (debido a su altitud 2,600 m.s.n.m) abastece a través de la red hidrológica el suministro de agua a la zona metropolitana del valle de Toluca y a la zona metropolitana del valle de México, así como a las 16 Alcaldías de la ciudad de México sumando 26.5 millones de habitantes.

Cuarto: presenta una explotación de aguas subterráneas de 393,543,020 m³/año. Ejerciendo una presión hídrica muy fuerte sobre la disponibilidad en el volumen de agua.

Quinto: la cantidad de agua renovable anual per cápita se estima en 4,288 m³ por habitante.

Sexto: la región de las Ciénegas se compone de aproximadamente 1,000 unidades económicas que descargan alrededor de 3.4 millones de m³/año de aguas residuales contaminadas con desechos tóxicos y metales pesados provenientes de la industria y de las zonas urbanas sin tratamiento alguno.

Séptimo: los humedales están siendo invadidos por desarrollos habitacionales e industriales.

Octavo: la situación actual de la Ciénega presenta degradación natural e inducida por el hombre.

Noveno: las Políticas Públicas sólo están contenidas en planes y programas, no se llevan a la práctica.

Siendo estos resultados, la premisa de discusión entre la interacción de los sistemas del medio físico natural con los sistemas de medio físico construido, pudiéndose interpretar que el sistema hidrológico de la Cuenca Lerma - Chapala - Santiago se compone por un conjunto de cuerpos de agua con relaciones e interacciones entre sí, así como su propia interdependencia de los afluentes que emanan desde la formación de los manantiales en el municipio de Almoloya del Río en el Estado de México, formando una unidad compleja que desemboca en dirección al norponiente hasta el Lago de Chapala, ubicado en la parte sur de la altiplanicie Mexicana o Mesa Central, este lago es considerado el más grande de México con una superficie de 112,721.60 km².

Funge como vaso regulador de la cuenca, influyendo directamente sobre la temperatura y la precipitación pluvial regional. El lago de Chapala presenta problemáticas similares a las de los humedales de la laguna Chimaliapan, que van desde la desecación del lago para ganar tierra para la siembra y desarrollos habitacionales reduciendo el manto acuífero a niveles por debajo de la cota permitida, así como la contaminación propiciada por el desarrollo industrial y urbano que descargan directamente sin proceso alguno sus aguas residuales, así como el abastecimiento de agua para los procesos de producción y uso doméstico.

Conclusiones

La economía siempre ha sido una fuerza importante que determina el patrón de los asentamientos humanos en el caso de la Ciénega de Lerma debido a su riqueza en biodiversidad, ubicación y cercanía con la ciudad de México, la Región se ha desarrollado a través de la industria, el comercio y los servicios, unidades económicas que requieren de mano de obra conduciendo a los fenómenos de migración, ensanchando la mancha urbana que se abre espacio sobre tierras fértiles y mantos freáticos. El día de hoy, es importante poder correlacionar las problemáticas presentes y futuras que pudieran afectar el potencial de desarrollo de los sistemas ecológicos, en relación al equilibrio de la configuración físico-geográfico del crecimiento urbano, a través de Políticas Públicas encaminadas al accionar de estrategias conducentes a realizar soluciones a corto, mediano y largo plazo. La habitabilidad entre los centros de población, la industria y las Ciénegas de Lerma deberá construirse sobre

los principios de restauración, de protección, de preservación y de conservación del equilibrio entre el medio físico construido y el medio físico natural, a través de planes y programas de ordenamiento territorial que coadyuven a realizar acciones sustentables para el desarrollo de la Región.

Las Ciénagas de Lerma aún poseen una diversidad significativa en su ecosistema, desafortunadamente estos sistemas están sujetos a cambios negativos drásticos e irreversibles, si las condiciones de perturbación, contaminación y disminución del nivel de agua no se revierten y las autoridades se mantienen ajenas a la problemática, la vida de la Ciénaga de Lerma estará confinada al vacío, donde sus efectos irreversibles, nos enfrentarán a problemas de proporciones desconocidas y a una guerra por el agua.

Referencias

- Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de Toluca** (1501), Estado de México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), CDMX. Diciembre 2020.
- Agua**, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Atlas del Agua en México**, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2009.
- Carabias, J. Landa, R.** (2005). Agua, Medio Ambiente y Sociedad Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos.
- Centro Mario Molina** (2014). Estudio del Sistema Integral de Movilidad Sustentable para el Valle de Toluca. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente S.A.
- Diario Oficial** de la Federación, Norma Oficial Mexicana. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 5 de septiembre de 2018.
- Diario Oficial**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, lunes 21 de septiembre de 2020.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México**, Almoloya del Río, Estado de México.
- Friedmann, J.** (2017). Planificación para el siglo XXI: El desafío del posmodernismo. En Ignacio Kunz Bolaños (comp.), Planeación metropolitana, en busca de la integridad, México; Biblioteca Básica de las Metrópolis.
- Gasca, José.** (2009). Geografía Regional. La región, la regionalización y el desarrollo regional, México. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D.F.
- Graizbord, B.** (2007). Megaciudades y Cambio Climático, Ciudades sostenibles en un mundo cambiante. Colegio de México, México.
- Lefebvre Henri** (1978), El derecho a la ciudad, Ediciones Península, Barcelona (301.36 L489d)

Rojas Merced, Eric Edmundo, Estimación de la producción de agua Superficial del Parque Nacional Nevado de Toluca, Revista Quivera, Vol.9 Num.1 2007 p.p. 157-176.UAMEX, Toluca, México.

SEDATU, *Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2013). Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio. México.*

The Ramsar Convention and its Mission Ramsar». web.archive.org. 9 de abril de 2016.

Planes de Desarrollo Urbano

Plan Estatal de Desarrollo Estado de México 2017 – 2023

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Toluca 2019 - 2021

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Lerma 2019 - 2021

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Ocoyoacac 2019 - 2021

Plan Municipal de Desarrollo Urbano de San Mateo Atenco 2019 – 2021.

