

# Problemas ambientales de la Cuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México

Adelina Espejel Rodríguez<sup>1</sup>

Isabel Castillo Ramo<sup>2</sup>

## Resumen

La Cuenca del Río Zahuapan es una fuente de contaminación grave, ya que genera permanentemente enfermedades infecciosas, proliferación de diferentes tipos de cáncer y se le relaciona con la presencia de otras enfermedades. Actualmente es una preocupación a nivel estatal, municipal y regional, por tal motivo el presente documento pretende tener un acercamiento al deterioro ambiental del estado de Tlaxcala, bajo el enfoque de la Cuenca del Río Zahuapan. A través del índice de Deterioro Ambiental se presenta una propuesta metodológica que permite analizar la información ambiental generada por diversas instancias de una manera organizada, sistematizada y sintetizada. De tal forma que se puede mostrar como resultado a los municipios que presentan muy alto deterioro (27%), alto deterioro (27%), medio deterioro (17%) bajo deterioro (14.5%) y muy bajo (14.5%), determinado de manera jerárquica los problemas ambientales de cada una de las unidades de análisis, con el propósito de tener una base para la formulación de políticas, programas de manejo y conservación ambiental referidas a las unidades de dirección político administrativa. Se concluye que el índice de deterioro ambiental nos permite determinar los municipios que se les debe dar prioridad para un desarrollo sustentable, principalmente aquellos que se encuentra dentro de la categoría de alto y muy alto. Asimismo, que la Cuenca del Río Zahuapan presenta problemas ambientales relacionados con la erosión, deforestación, contaminación de suelos, agua y aire. Estos deben ser considerados con mayor prioridad por las autoridades municipales y gubernamentales.

**Palabras clave:** Índice de deterioro ambiental, Cuenca hidrológica, Zahuapan

## Introducción

En la actualidad, los diferentes municipios del estado de Tlaxcala han presentado una serie de problemas ambientales, que han preocupado a las instituciones gubernamentales, no gubernamentales y educativas. Uno de los problemas principales es la erosión, ya que por lo menos 93% de los suelos están deteriorados en diversos grados (Alvarado en Alvarado 2010:88)

La constante intervención del hombre sobre el medio el cambio de uso de suelo, la tala, el abandono de tierras agrícolas, el pastoreo excesivo, el manejo inapropiado del uso del suelo y del agua han provocado que el suelo sea vulnerable al arrastre por agua y viento. Todo esto produce

---

<sup>1</sup> Doctora en Ciencias Económicas por la Universidad de Camagüey, Cuba. Profesora-investigadora en el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre el Desarrollo Regional (CIISDER) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, correo electrónico: adelinaer@hotmail.com

<sup>2</sup> Doctora en Ciencias Económicas por la Universidad de Camagüey, Cuba. Profesora-investigadora en el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre el Desarrollo Regional (CIISDER) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, correo electrónico: icastillo@hotmail.com

También se reconoce la coautoría del presente trabajo al Mtro. Miguel Alvarado Cardona y a Rolando Reynoso Pérez. El presente trabajo ha sido aumentado y corregido de la versión original, titulada: índice de deterioro ambiental "Cuenca del Río Zahuapan" estado de Tlaxcala.

un incremento en la erosión, la salinización y la disminución de la humedad, lo que a su vez permite un aumento de la agresividad del proceso que ocurre de manera natural en la región (Espejel, 2009). Los problemas ambientales más comunes en el estado de Tlaxcala se asocian principalmente con la pérdida del bosque y la erosión del suelo, aspectos que han venido incrementándose de forma paulatina.

Otro problema ambiental permanente en el estado de Tlaxcala, es la contaminación del Río Zahuapan, descargas residuales industriales, domésticas, institucionales etc., van a parar ahí directamente. Lo que ha propiciado que lejos de sanearse, se incremente el grado de contaminantes, de ahí que los “programas” emergentes de limpieza no funcionen, dado que la violación a las normas de equilibrio ecológico es una constante (Vázquez 2012:54). Asimismo, la falta de acciones y propuestas específicas para la preservación del ambiente, que generen un equilibrio en el desarrollo, han traído como consecuencia el desequilibrio ecológico<sup>3</sup> en los ecosistemas naturales del Estado, específicamente en la Cuenca del Río Zahuapan.

Otro factor de fuerte impacto ambiental tiene que ver con los desastres producidos por los incendios forestales. Es una pérdida muy fuerte cada vez que ocurre un incendio. El abastecimiento de agua enfrenta limitaciones por no cubrir las necesidades básicas para el consumo de la población y la agricultura; al igual que el estado de Puebla, existe una sobreexplotación de mantos acuíferos y lo que es peor, es ya una constante, al verse tan escaso el vital líquido (Espejel, 2009).

En el Zahuapan se depositan desechos de especie humana, domésticos, agrícolas e industriales, Muñoz, Suárez y Vera (2013:47) mencionan que “ha sido receptor de los escurrimientos y las descargas de agua residual cruda o tratada de los centros de población de la subcuenca”, Castro & Valdés en Laino, Bello, González, Ramírez, Jiménez y Musálem (2015:62) mencionan que “pueden ser fuentes principales de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua”. El autor Mena et al (2017) menciona que las actividades pecuarias urbanas e industriales han afectado los factores físico biológicos del Río Zahuapan.

La Cuenca del Río Zahuapan es una fuente de contaminación grave, ya que genera permanentemente enfermedades infecciosas, proliferación de cánceres y se le relaciona con la presencia de otras enfermedades. Además, las características tóxicas de los contaminantes depositados en el Río Zahuapan tienen la capacidad de bioacumularse en las cadenas alimenticias, de filtrarse a los pozos y al agua superficial o de volatizarse por las mismas condiciones ambientales (Mendieta, 2008). La Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) encomendó a los gobiernos de Puebla y Tlaxcala tener los cuidados necesarios por la alta contaminación de los ríos que son causantes de enfermedades como el cáncer en niños (Yonadab en Handal et al 2017).

Ante esto es imprescindible que se tomen las medidas necesarias para disminuir el deterioro ambiental en esta zona, ya que los recursos naturales son de vital importancia para el hombre; su protección y conservación, constituyen un aspecto cardinal en la sustentabilidad del desarrollo (Espejel, Castillo y Flores, 2015).

La información ambiental organizada, sistematizada y sintetizada es indispensable como base para la formulación de políticas, programas de manejo y conservación ambiental, pero llevar a cabo un proceso de gestión requiere que ésta, se refiera a las unidades de dirección político

---

<sup>3</sup> Alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo de los seres vivos.

administrativa. Ante esto el presente trabajo tiene como objetivos: - Obtener un índice de deterioro ambiental para los municipios de la cuenca del Río Zahuapan. – Determinar de forma jerárquica los problemas ambientales de cada uno de los municipios de la zona de estudio.

Para lograr los objetivos se utiliza la técnica de análisis factorial y componentes principales, se lleva a cabo en cuatro etapas y en cada una de ellas se usan diferentes instrumentos estadísticos, que ayudan a interpretar el resultado final, posteriormente se ordenan jerárquicamente los municipios de la Cuenca, de acuerdo a su IDA. Se divide a la zona, en municipios con deterioro muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. El índice de deterioro ambiental abrirá el campo, para que los funcionarios municipales identifiquen el grado de deterioro que presentan los municipios que se encuentran en la Cuenca del Río Zahuapan, así como sus principales problemas ambientales, lo que permitirá establecer la toma de decisiones para realizar acciones adecuadas y necesarias para lograr un desarrollo sustentable.

### **Crterios e indicadores para medir el deterioro ambiental**

Los problemas y desafíos ambientales presentados actualmente en los países son múltiples y complejos, esto ha provocado la búsqueda de soluciones en los últimos años, además de algunos intentos para desarrollar indicadores integrales relacionados con la dimensión ambiental dentro del marco del desarrollo sustentable. La información ambiental obtenida es dispersa, discontinua y escasa, además, la existente no está siendo incorporada sistemáticamente en su totalidad<sup>4</sup> en la toma de decisiones a nivel central ni regional<sup>5</sup>. Ante esto los indicadores deben ser reconocidos como una necesidad de gran interés para el desarrollo sustentable (Perevochtchikova, 2013).

El capítulo 40 de la Agenda 21 expresa que es preciso desarrollar sistemas de información como indicadores de sustentabilidad dentro del proceso decisonal en la mejora de la producción de datos, indicadores e informes que aseguren el acceso público a dichas herramientas. En los últimos años, el progreso ha sido significativo; cuando se realizó la Cumbre de la Tierra, no se consideraba importante la información sobre sustentabilidad para mejorar la toma de decisiones, mientras que el desarrollo de indicadores era apenas un referente que comenzaba a instalarse en los gobiernos de países industrializados<sup>6</sup>.

En México, la primera experiencia en el desarrollo de indicadores ambientales, se da en el año de 1993 en el Instituto Nacional de Ecología a partir del Taller Norteamericano de Información Ambiental, celebrado en la Ciudad de México en octubre de ese año. Este taller contó con la participación del Instituto Nacional de Ecología, *Environment* Canadá y la *Environmental Protection Agency* (EPA), donde tuvo como objetivo establecer y utilizar indicadores ambientales en México (Rodríguez, López en Perevochtchikova, 2013).

El establecimiento de indicadores fue motivado por la necesidad de atender compromisos internacionales y generar comparaciones a nivel internacional, así como tomar conciencia sobre la importancia de estos instrumentos en la planeación y gestión de las políticas ambientales. Se hizo necesario plantearlos a escala nacional con el fin de enfocarlos en la toma de decisiones en el

---

<sup>4</sup> La forma en que se encuentra sistematizada en el Ordenamiento Ecológico del estado de Tlaxcala, no permite a los presidentes, comisiones municipales y a la Coordinación General de Ecología tener una visión objetiva de la problemática ambiental.

<sup>5</sup> [www.ine.gob.mx/johan/index.html](http://www.ine.gob.mx/johan/index.html)

<sup>6</sup> loc. cit

interior del país, sin excluir las experiencias internacionales (SEMARNAT, 2000). Asimismo, las construcciones de indicadores ambientales deben cumplir requisitos importantes como ser representativos, comparables, fáciles de obtener e interpretar (Abraham, Alturria, Fonzar; Ceresa, Arnés, 2014).

Los indicadores ambientales son herramientas de ayuda para la toma de decisiones. Como toda herramienta, además de su diseño, se hace necesaria la puesta a prueba de su aplicación y uso. Dentro de este contexto, el concepto de indicadores e índices (Sevilla, 2000) se refiere:

- Como información que es parte de un proceso específico de gestión y que puede ser comparada con los objetivos de dicho proceso.
- Como información a la cual se le puede asignar un significado o trascendencia mayor que su valor observado o real.
- Lograr una reducción en el volumen de datos acerca de variables particulares que tienen un significado o trascendencia especial.

Se consideran entonces, en primera instancia como reductores del volumen de datos, lo cual permite asignar un significado superior a su valor observado y, por último, como instrumentos del proceso de gestión para el trazado de acciones de mitigación de los problemas ambientales y su posterior control<sup>7</sup>. Un indicador con tal objetivo se convierte en una importante herramienta para la toma de decisiones y planteamientos de acciones que los mitiguen través de decisiones precisas de los funcionarios municipales.

Los indicadores ambientales son aquellos que evalúan el estado y la evolución de determinados factores medioambientales, como pueden ser: el agua, aire, suelo, etc. Muchos indicadores ambientales expresan simplemente parámetros puntuales, otros pueden obtenerse a partir de un conjunto de parámetros relacionados por cálculos complejos<sup>8</sup>. Algunos ejemplos de indicadores ambientales son:<sup>9</sup> Niveles de contaminación acústica, Niveles de contaminación atmosférica, Porcentaje de agua que recibe un tratamiento adecuado, Porcentaje de residuos recogidos seleccionados y Utilización del transporte público municipal.

Dentro de los indicadores ambientales se encuentran los denominados bioindicadores. Estos se basan en la utilización de organismos propiciadores de información sobre el estado medioambiental de un sistema, por ejemplo: La existencia en el agua de una especie de anfibio como la salamandra de agua, determinará el grado de contaminación. Este hecho se justifica, sabiendo que este tipo de organismo, exclusivamente, puede habitar en zonas de baja contaminación debido a su vulnerabilidad ante la alteración en el medio<sup>10</sup>.

Pero la información brindada por estos indicadores es muy particularizada, de ahí que a través del tiempo se han venido ampliando una serie de indicadores ambientales - sustentables por diferentes grupos e instituciones. En específico, merecen una mención especial los trabajos, que han sido elaborados y construidos por diversas organizaciones (Gao en Alturria, et al 2014:295) A continuación se mencionan:

---

<sup>7</sup> Por ejemplo, el índice de calidad del aire, que indica los niveles de contaminación atmosférica, conocido como IMECA (índice metropolitano de calidad de aire) (Ezcurra, 2001).

<sup>8</sup> [www.miliarium.com/proyectos/agenda21/AnejosIndicadores/indicadores1.asp](http://www.miliarium.com/proyectos/agenda21/AnejosIndicadores/indicadores1.asp)

<sup>9</sup> op cit. Pág. 3

<sup>10</sup> op cit. Pág. 4

Tabla 1. Organizaciones que han elaborado indicadores ambientales

Organizaciones	
Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable:	La lista de 134 indicadores de desarrollo sustentable relacionados con la Agenda 21, que incluyen las esferas económica, social, institucional y ambiental (1996); y otro sistema de 57 indicadores publicado en 2001.
Organización Mundial de la Salud: en 2004.	Indicadores ambientales y de salud: el sistema de indicadores de salud para el monitoreo en países de la Unión Europea 2003 y una propuesta piloto de 45 indicadores lanzada
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos:	Propuestas de indicadores ambientales con el desarrollo continuo desde 1991; de los sistemas de indicadores clave, de base, para la agricultura y el ambiente; para la energía; para el transporte, y consumo sustentable del hogar
Agencia Europea de Medio Ambiente:	Indicadores comunes para Europa, con el sistema de 10 indicadores locales de sustentabilidad.
Eurostat:	El sistema de indicadores de desarrollo sustentable relacionados con la estrategia de la Unión Europea.

Fuente: Elaboración de Alturria, et al (2014:295)

Estos índices tienen como limitante su construcción sobre el tratamiento de los aspectos meramente medioambientales de manera fundamental y, en su mayoría consideran los efectos de manera exclusiva.

El análisis de los componentes de estos índices revela que el más integral es el índice piloto de sustentabilidad ambiental, porque incluye la actividad antropogénica, su impacto y los riesgos. No obstante, obvia un aspecto de vital importancia: las condiciones naturales que pueden favorecer o atenuar los problemas ambientales, aspecto resuelto en esta investigación (Espejel, Castillo y Flores, 2015).

Pero además el uso de estos índices favorece la determinación de los problemas ambientales prioritarios, pero aún esto resulta insuficiente para la formulación eficaz de acciones de mitigación. Los criterios para la selección de indicadores varían de acuerdo a la institución o propósitos. La OCDE, en particular, establece los siguientes lineamientos (Semarnat, 2000).

- Proporcionar una visión de las condiciones ambientales, presiones ambientales y respuestas.
- Ser sencillo y fácil de interpretar, capaz de mostrar las tendencias a través del tiempo.
- Responder a cambios en el ambiente y las actividades humanas.
- Proporcionar una base para las comparaciones internacionales.
- Aplicable a escala nacional o regional, según sea el caso.
- Debe existir un valor con el cual puede ser comparado.

Otros criterios de selección de los indicadores ambientales son los siguientes<sup>11</sup>:

- Pertinencia: que los indicadores representen situaciones ambientales prioritarias, a nivel nacional, regional o de macrozonas, en relación con los componentes básicos del medio ambiente natural y su consecuente impacto en el medio ambiente humano.

<sup>11</sup> [www.sinig.cl/indicadores/index.php?](http://www.sinig.cl/indicadores/index.php?)

- Calidad del Dato: que los datos base sobre los cuales se construya un indicador provengan de fuentes de información confiables, oficiales y con una validación técnica preliminar.
- Flujo Accesible a la Información: se disponga de la información en forma sistemática y periódica, en lo posible, con series históricas; que permitan evaluar tendencias.
- Escala y Georeferenciación: en lo posible, se disponga de indicadores a distintas escalas: nacional, regional y también comunal.

De lo anterior, en el presente trabajo se consideraron los siguientes criterios:

Pertinencia, calidad del dato, flujo accesible a la información (disposición de la información de forma sistemática), escala y georeferenciación (coincidente con el ámbito administrativo territorial para la asignación de recursos), factibilidad (indica la existencia de información estadística para la extracción o cálculo del indicador), interpretables (ser sencillos y fáciles de comprensión), carácter dinámico (que pueden variar a través del tiempo)<sup>12</sup>, (Semarnat, 2000).

### **Proceso para la obtención del Índice de Deterioro Ambiental (IDA) y la sistematización de los problemas ambientales**

Para obtener el índice de deterioro ambiental se propone la técnica de análisis factorial y componentes principales<sup>13</sup>. El análisis factorial es una técnica que nos permite identificar un número relativamente pequeño de factores que pueden ser utilizados para representar la relación existente entre un conjunto de indicadores intercorrelacionadas. Esta técnica nos permite sintetizarlos en un número de posibles factores que tengan una interpretación clara y un sentido preciso (Visauta, 1998: 220,221).

El análisis factorial “representa las relaciones entre un conjunto de variables y plantea que estas relaciones pueden explicarse a partir de una serie de variables no observables denominadas factores, siendo el número de factores substancialmente menor que el de variables” (Pere y Anguiano, 2010:19).

La técnica del análisis factorial, se lleva a cabo en el presente trabajo en cuatro etapas y en cada una de ellas se usan diferentes instrumentos estadísticos, que ayudan a interpretar el resultado final:

A continuación, se explican cada uno de los pasos o etapas que integran el procedimiento.

#### **a) Selección de los indicadores a considerar en la regionalización**

El primer paso consiste en la elección de indicadores. Se consideró pertinente elegir todos los indicadores medioambientales<sup>14</sup> del Programa de Ordenamiento Ecológico General del estado de Tlaxcala del año (2002)<sup>15</sup>, debido a que presenta información completa de 311 unidades

---

<sup>12</sup> [www.sinig.cl/indicadores/index.php?](http://www.sinig.cl/indicadores/index.php?)

<sup>13</sup> El programa estadístico que se utilizó fue el SPSS para Windows

<sup>14</sup> Referidas a las características naturales, económicas, demográficas, sociales y de deterioro ambiental.

<sup>15</sup> *Programa de ordenamiento ecológico general del estado de Tlaxcala*. Gobierno del estado de Tlaxcala, SEMARNAT, INE. 2002. Las variables medioambientales elegidas para conformar la matriz de información inicial, alcanzaron la cifra de 87, las cuales consideramos las más pertinentes para caracterizar la problemática ambiental del estado.

pertenecientes a 60 municipios de dicho estado. Posteriormente se seleccionan y ordenan en una base de datos, dándole a cada indicador una clave correspondiente. Obteniendo así la matriz inicial, a partir de la cual se calcula la matriz de correlación.

### **b) Proceso para determinar el índice de deterioro ambiental (IDA)**

Para conformar el índice de deterioro ambiental se propone la técnica de componentes principales<sup>16</sup> que permite identificar un número relativamente pequeño de factores a utilizar en la representación de la relación existente entre un conjunto de indicadores intercorrelacionados. Esta técnica permite sintetizarlos en un número de posibles factores de interpretación clara y sentido preciso (Visauta, 1998).

Esta técnica de componentes principales “es recomendable cuando se quiere reducir los datos, en ausencia de una teoría previa; porque su propósito no es indagar la existencia de un factor latente, debido a que el componente es la combinación de la correlación entre las variables” (Tabachnick & Fidell citado en Ventura, 2016).

Para determinar el IDA se parte de las puntuaciones factoriales dadas a cada unidad y componentes principales, a partir de esto se procede así:

1. Se analiza el comportamiento de cada factor principal, éste a la vez constituye un índice parcial estableciendo un criterio de clasificación para los territorios según los valores de las puntuaciones factoriales para cada factor.

2. A partir de los factores o componentes ambientales que explican al menos un 60% de la variación total se determina un índice representativo de la situación medioambiental general, llamado índice de deterioro ambiental, en el cual actúa como factor de ponderación la raíz cuadrada del valor propio correspondiente a cada componente de los que cumplen la condición anterior.

El índice de deterioro se construye a partir de la siguiente expresión:

$$IDA_i = \sum P_j \cdot F_{ij}$$

Donde:

IDA<sub>i</sub>= índice para cada unidad territorial

F<sub>ij</sub>= factores de deterioro ambiental estandarizados o tipificados

i= componente, factor principal o variable ambiental

i= unidades de análisis

P<sub>i</sub>= factor de ponderación que corresponde a la variable de deterioro ambiental (raíz cuadrada del valor propio).

Con los resultados obtenidos por el método de componentes principales se calcula el índice de deterioro para cada unidad. Si se obtuvieran valores negativos del índice se aplica la suma de la constante 10 para eliminarlos<sup>17</sup>. Posteriormente se calcula el promedio de las unidades correspondientes a cada uno de los municipios, obteniendo así el índice de deterioro y factor para éstos.

<sup>16</sup> El programa estadístico que se utilizó fue el SPSS para Windows.

<sup>17</sup> Esta constante es arbitraria, pero usualmente se elige el menor múltiplo de 10 que logra hacer positivos todas las magnitudes.

Con el IDA y sus componentes principales, se obtiene un conocimiento del grado de deterioro y de la problemática ambiental a nivel municipal. De esta manera se pueden detectar, por su magnitud, los municipios con peor situación, así como los que presentan situaciones similares en sus componentes, o sea, en sus problemas. Por otra parte, cada componente en un municipio establece la prioridad para el mismo, dada por la componente con mayor peso en él. Esto posibilita determinar el aspecto ambiental al cual deben destinarse prioritariamente los recursos del municipio a través de las acciones de mitigación que se consideren necesarias.

Los componentes ambientales obtenidos por el método, se les asigna un nombre de acuerdo con las variables que los conforman y se ordenan de acuerdo con los valores de su índice de deterioro, de mayor a menor. Esto indica que a los primeros se deberá prestar mayor atención en las acciones de mitigación.

Al considerar el monto limitado de recursos existentes para las acciones de mitigación ambiental, éstas se dirigen a los problemas más acuciantes en los municipios. Este criterio en ningún momento significa obviar aquellos problemas existentes que no forman parte de los componentes principales, es simplemente un instrumento para la toma de decisiones considerando las restricciones de los recursos. En consecuencia, en la medida que estos recursos aumenten, se debe considerar un mayor espectro de problemas en las acciones de mitigación.

### **Caracterización ambiental de la Cuenca**

La Cuenca del Río Zahuapan pertenecen a la Región Hidrológica 18 Río Balsas y a la cuenca del Alto Atoyac, abarca 2,380 km<sup>2</sup> desde la zona Norte, hasta el centro y Poniente del estado, donde el Río Zahuapan es la corriente hídrica más importante de esta cuenca, tiene su origen en la Sierra de Tlaxco; hace un recorrido de Norte a Sur, sigue un curso sinuoso que recoge los escurrimientos de pequeños ríos no menos importantes como el Atenco, Apizaco, Negros, Briones y de las barrancas de Texopa, Huehuetitla y Totolac, localizadas en la sección poniente del Volcán de la Malinche; en conjunto capta el 52% (3 051.3 km<sup>2</sup>) de la superficie del Estado (Alvarado, Espejel y Reynoso Alvarado et al, 2010:28 )

Los autores Alvarado et al, (2010:21) hacen una caracterización del Río Zahuapan, en relación a factores físicos:

**Clima.** Las diferentes condiciones latitudinales, altitudinales, de temperatura, precipitación, vientos y de evaporación, han contribuido para que en la cuenca del Río Zahuapan se presenten los siguientes tipos de climas: Templado subhúmedo el más seco de este tipo. Templado subhúmedo el más húmedo de este tipo. Templado semifrío subhúmedo. Frío. Para lo anterior se tomó como base la Estación Meteorológica Tlaxcala, (clave 29-030), que se localiza a los 19° 19'00" Latitud Norte y 98° 14' 45" Longitud Oeste y a una altitud de 2,247msnm.

**Geología** El área de interés se localiza en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, subprovincia lagos y volcanes de Anáhuac. Estas unidades fisiográficas se caracterizan por su material producto de las erupciones volcánicas desde hace varios millones de años y por sus frecuentes movimientos telúricos, esto ha dado lugar a una litología con características muy particulares y distintivas. Al analizar las cartas del INEGI; 1984,1985; y con los recorridos de campo se determinó que el área de estudio está integrada por los siguientes tipos de roca: Toba andesítica, Ígnea, Basalto. Brecha sedimentaria. Brecha volcánica basáltica. Andesita., Limonita-arenisca. Suelo aluvial

**Relieve.** Los procesos geológicos como el vulcanismo, la tectónica y la erosión, han originado las formas del relieve que se observan en las cartas topográficas (INEGI, 1982-96), y que se describen a continuación: Sierras volcánica con lomeríos de tobas, Cerros volcánicos con lomeríos de tobas, Mesetas de tobas con suelos aluviales, Lomeríos de tobas y cerros volcánicos, Valles con lomerío de tobas, Volcanes con lomeríos de tobas.

**Hidrología.** La Cuenca del Río Zahuapan se ubica en la Región Hidrológica 18 del Río Balsas (SEMARNAT, 2007 e INEGI, 1983), donde la corriente principal es el Zahuapan y el Atenco como secundario, está delimitada al Norte por la Sierra de Tlaxco, al Sur por el punto de unión entre el Río Zahuapan y el Atoyac, al Este por el volcán Malinche y la sierra de Taxcala al Oeste.

**Edafología.** En la determinación de las unidades de suelo se utilizó el mapa del INEGI (1996), fotografías aéreas (INEGI, 1970), la cartografía del INEGI, (1980-83), recorridos de campo y la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO, ISRIC, SIGS, 1999), dando como resultado las siguientes unidades de suelo: **Feozem** (Phaeozem) háplico, Litosol (Leptosol lítico), Vertisol pélico, Cambisol eútrico, Andosol húmico (úmbrico), Fluvisol eútrico, Regosol eútrico.

**Vegetación.** La cuenca del Río Zahuapan, presenta diversas comunidades forestales: bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de tlaxcal y matorrales xerófilos que se encuentran marcadamente modificadas, las cuales se describen en forma sintética. Bosque de Pino, Bosque de *Abies*, Bosque de Encino. Bosque de *Juníperos* (táscate). Bosque de *Pinus-Abie*, Bosque de *Abies-Pinus*. Bosque de Pino-Encino. Bosque de Encino-Pino. Bosque de Encino-Juníperos. Bosque de Juníperos-Encino. Bosque de pino-táscate (*Juniperus*). Matorrales, Matorral Xerófito, Vegetación Acuática, Pastizal

**Fauna.** El área que comprende la Cuenca del río Zahuapan, podemos afirmar que está ocupada en un 70% por zonas agrícolas; sin embargo, al norte, en la región montañosa de Acopinalco y Tlaxco, donde aún persisten bosque de coníferas, son sitios que albergan ciertos grupos de fauna entre los que destacan las siguientes clases: anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Sin ser menos importante el área central de la Cuenca, sobresale la presa de Atlangatepec, refugio de aves migratorias en la época invernal; así como la presencia de anfibios y reptiles de ambientes húmedos. En el área de la Cuenca que comprende los alrededores de Apizaco hasta el municipio de Nativitas, las condiciones climáticas más bien xerófilas, el paisaje se aprecia con elevaciones cerriles de mediano tamaño, llanos, lomeríos y una serie de barrancas que confluyen hacia pequeños ríos tributarios que en su recorrido final desembocan al río Zahuapan, también forman parte de hábitats fragmentados para reptiles (víbora de cascabel), aves menores (zanate, tórtola, gorriones, dominicos, petirrojo, etc.) y pequeños mamíferos de hábito nocturno (cacomiztle, conejo y zorrillo) y diurnos (ardilla terrestre y tuzas), fauna similar a la del Valle de México.

### Resultados del índice de deterioro ambiental (IDA)

De acuerdo con el índice de deterioro ambiental se seleccionaron los municipios de Tlaxcala que pertenecen a la Cuenca del Río Zahuapan y se clasificaron de acuerdo con su índice IDA: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. En correspondencia con estas categorías se encuentra que un alto porcentaje de ellos se localizan en el rango de muy alto y alto, ya que 26.8% presentan un deterioro muy alto, 26.8% alto, 17% medio, 14.7% bajo y 14.7% muy bajo (ver tabla 2).

PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO

Tabla 2. Grado de deterioro de los Municipios de la Cuenca del Río Zahuapan

Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Juan Cuamatzi	Panotla	Tzompantepec	San Lucas Tecopilco	Atlangatepec
San Jerónimo Zacualpan	Antonio Carvajal	Santa Apolonia	Muñoz de Domingo A.	Xicohtzingo
Santa Isabel Xiloxoztla	Xaloztoc	Tetla	Tepeyanco	San Lorenzo Axocamanitla
Teolocholco	Chiautempan	Santa Catarina Ayometla	San Damián Texoloc	Tlaxco
Sta. Cruz Tlaxcala	Yauhquemecan	Papalotla	Coaxomulco	Santa Ana Nopalucan
San José Teacalco	Xaltocan	Hueyotlipan	Acuamanala	Magdalena Tlatelulco
San Fco. Tetlanohcán	Totolac	San Juan Huactzingo		
Nativitas	Ixtacuixtla			
Tetlatlahuca	Santa Cruz Quileta			
Zacatelco	Amamax de Guerrero			
Tlaxcala	Apizaco			

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del IDA

Esto indica que el deterioro ambiental de la Cuenca del Río Zahuapan es grave, por consiguiente, los ayuntamientos necesitan atención urgente para su conservación y preservación, ya que los problemas ambientales tienden a aumentar básicamente en aquellos que muestran un índice bajo y muy bajo. Esto indica la necesidad de atender a todos en un corto y mediano plazo de forma inmediata a los poseedores de muy alto, alto y medio deterioro, utilizando esta estructura como criterio preliminar para asignación del presupuesto por parte del estado.

La Cuenca del Río Zahuapan se ubica en el corredor centro con orientación de Norte a Sur del estado de Tlaxcala y este se localiza en la porción central de la República Mexicana. De los 41 municipios que abarca la zona de estudio, Tlaxco, Apizaco, Tlaxcala, y Zacatelco, principalmente, aparecen como el eje central del corredor urbano, el cual ha experimentado en los últimos años, un fuerte incremento poblacional, abandono del campo a la ciudad, emigración, presión y conflictos urbanos, lo cual ha contribuido agravar la ya no incipiente problemática socioeconómica regional, aunado a fuertes demandas de suelo urbano para vivienda, escuelas, mercado, comercio, clínicas y hospitales, rastros y panteones, y en consecuencia servicios de agua potable, sistema de drenaje y alcantarillado, servicio de recolección de residuos sólidos urbanos y municipales, energía eléctrica, áreas verdes, parques y jardines, instalaciones deportivas y de solaz recreación, salas de espectáculos, parque vehicular y central de autobuses, telefonía y comunicaciones, vías terrestres y corredores industriales (Reynoso, et al, 2010:141).

Aproximadamente el 59% de los habitantes de Tlaxcala viven en su área de influencia, (Muñoz et al en Pérez, Tamariz, López, Hernández, Castelán, Morán, García, Díaz y Handal, 2018).

La forma de ordenar los componentes ambientales (de mayor a menor), permite conocer los problemas ambientales en cada uno de los municipios, asimismo detectar las variables que incurren con mayor frecuencia en el deterioro ambiental municipal. Por ejemplo, el municipio de Juan Cuamatzi, que presenta un IDA muy alto. Tiene como problema fundamental los problemas de erosión, deforestación y suelos contaminados (componente 2) y le sigue en orden de importancia la componente 3 (contaminación del aire y agua), por dicho orden deben destinarse los recursos recibidos del estado, para los problemas ambientales de la cuenca (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Componentes ambientales

	Componente	Nombre del componente	Variabes
<b>69.8% de la variación</b>	PRIMER (1) COMPONENTE AMBIENTAL (25.5%)	<b>Actividad económica</b>	sector económico presión habitantes por ha tipo de población
	SEGUNDO (2) COMPONENTE AMBIENTAL (13.6%)	<b>Características del suelo y su degradación</b>	fisiografía erosión deforestación suelos contaminados
	TERCER (3) COMPONENTE AMBIENTAL (11.1%)	<b>Contaminación de aire y agua</b>	granizadas contaminación de aire contaminación de agua
	CUARTO (4) COMPONENTE AMBIENTAL (7.7%)	<b>Políticas de conservación</b>	clima políticas de conservación
	QUINTO (5) COMPONENTE AMBIENTAL (6.1%)	<b>Efecto y causas de políticas ambientales</b>	fragilidad vulnerabilidad nivel de conservación
	SEXTO (6) COMPONENTE AMBIENTAL (5.7%)	<b>Condiciones climatológicas</b>	precipitación heladas altitud

Fuente: Elaboración de las autoras

En la tabla 3, indica la necesidad de prestar atención prioritaria a los municipios con mayor grado de deterioro, estableciendo acciones de conservación y preservación. No obstante, esto no significa que se obvien totalmente los que no aparecen en los primeros lugares, se le debe dar la importancia que merecen (ver tabla 4).

Los problemas ambientales a nivel estatal son de gran preocupación para las instituciones gubernamentales, no gubernamentales y educativas. Deben establecerse estrategias de planeación municipal para mitigar el deterioro entre municipios con problemas ambientales semejantes.

Además, se puede obtener una caracterización general de la Cuenca del Río Zahuapan ya que los componentes ambientales con mayor frecuencia en los municipios de la cuenca son: Características del suelo y su degradación, contaminación del aire y agua y efectos y causas de políticas ambientales (ver gráfica 1). Cabe mencionar que el estado de Tlaxcala es una de las entidades de la República Mexicana más erosionadas, ya que 93.70% de su territorio presenta este fenómeno en diferentes formas y grados (Alvarado, et al 2010:88). Asimismo, la contaminación del agua es una preocupación, el autor Navarro en Handal (2017) menciona que se han descubierto los micro contaminantes orgánicos (MCO) y los contaminantes emergentes (CE). Los cuales se caracterizan por ser persistentes, aunque se encuentran en bajas concentraciones, su efecto es duradero, se han localizado en aguas que se utilizan para riego.

PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN, TLAXCALA, MÉXICO

Tabla 3. Municipios de la Cuenca del Río Zahuapan con Alto deterioro Ambiental

Municipios	IDA	Componente Ambiental	Principales problemas ambientales En orden jerárquico
Juan Cuamatzi	26.7	2 3 1 6 4 5	Erosión, Deforestación Suelos contaminados Contaminación del agua y aire
San Jerónimo Zacualpan	15.9	2 3 1 4 6 5	Erosión Deforestación Suelos contaminados Contaminación del agua y aire
Santa Isabel Xiloxoztla	15.7	6 2 1 3 4 5	Erosión Deforestación Suelos contaminados Contaminación del agua y aire
Teolocholco	15.1	4 2 6 1 3 5	Erosión Deforestación Suelos contaminados
Sta. Cruz Tlaxcala	14.3	1 3 4 2 5 6	Erosión Deforestación Suelos contaminados
San José Teacalco	13.9	5 4 6 3 1 2	Contaminación del agua Contaminación del aire
San Fco. Tetlanohcán	13.6	4 1 2 5 3 6	Erosión Deforestación Suelos contaminados
Natívitás	13.6	6 4 2 1 3 5	Erosión Deforestación Suelos contaminados
Tetlatlahuca	13.2	3 1 2 5 6 4	Contaminación del agua y aire Erosión Deforestación
Zacatelco	13.1	2 3 1 6 5 4	Erosión Deforestación Suelos contaminados Contaminación del agua y aire
Tlaxcala	13.1	3 1 2 6 4 5	Contaminación del agua y aire Erosión Deforestación Suelos contaminados

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Municipios con muy bajo deterioro ambiental

	IDA	Componente ambiental	Principales problemas ambientales
Atlangatepec	7.1	6 2 3 5 1 4	Erosión Deforestación Suelos contaminados Contaminación de aire Contaminación de agua
Xicohtzingo	6.7	4 2 5 6 3 1	Erosión Deforestación Suelos contaminados
San Lorenzo Axocamanitla	6.7	1 5 4 2 3 6	
Tlaxco	6.6	5 1 6 4 3 2	
Santa Ana Nopalucan	5.4	2 3 1 5 6 4	Erosión Deforestación Suelos contaminados Contaminación de aire Contaminación de agua
Magdalena Tlatelulco	1.7	5 3 6 4 1 2	Contaminación de aire Contaminación de agua

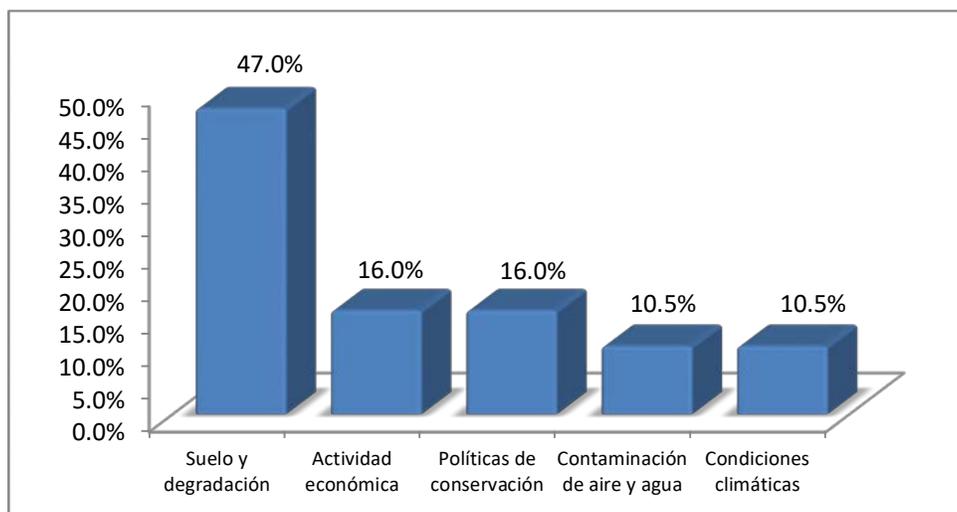
Fuente: Elaboración propia

El autor Alvarado et al (2010:107) detecta tres problemas ambientales la erosión, compactación y contaminación y asevera que el más severo es la erosión, ya que se presenta en gran parte de la superficie de la cuenca con un grado muy alto de afectación. Handal (2017:16) menciona que se han destruido suelos, desviado el cauce de ríos, arrasado la vegetación y agotado o degradado recursos naturales. Alvarado, Colmenero y Reynoso (2010:83,84) obtienen un índice sobre la calidad del agua a lo largo del Río Zahuapan encontrando valores de 70% en su sección norte y disminuyendo paulatinamente al sur, conforme tiene contacto con pequeños y grandes poblados y con zonas de alta actividad industrial, registra valores de 30-40% donde la calidad del agua muestra que es prácticamente inadecuada para los múltiples usos.

El índice obtenido de los autores no puede mostrar los efectos acumulativos que provocan las sustancias tóxicas y mucho menos los efectos sinérgicos o antagónicos provocados sobre cualquier organismos animal o vegetal.

De acuerdo al orden de los componentes, predomina la denominada características del suelo y su degradación, indica que 36.6% de los municipios necesitan mayor atención en los problemas de erosión, deforestación y suelos contaminados, el 17% su deterioro se debe a la contaminación del aire y agua, 14.7% a los efectos y causas de políticas ambientales y 12.1% a las condiciones climáticas (ver gráfica 1).

Gráfica 1. Componentes ambientales que mayor atención deben tener (%)



Fuente: Elaboración de la autora de acuerdo a los resultados

En la Cuenca, la situación de los bosques es crítica debido a diversos factores y a la intensidad de las actividades socio-económicas, sobresaliendo: a) tala b) incendios c) agricultura d) crecimiento urbano irregular e) ganadería extensiva, f) explotación de bancos de material, g) reforestación con eucalipto y h) apertura de nuevas vías de comunicación (Alvarado et al, 2010: 35).

De esta manera se evidencia la necesidad práctica de tener instrumentos que contribuyan a la toma de decisiones, para que los resultados de éstas propicien la mitigación de los agudos problemas ambientales existentes en el estado; ya que la problemática ambiental en la entidad tlaxcalteca y en la Cuenca del Río Zahuapan se debe a: la erosión, deforestación, suelos contaminados, contaminación del agua y aire; indicativos que sirven para establecer las medidas en cada uno de los problemas ambientales municipales. Se destacan como los más preocupantes a nivel estatal la erosión y la contaminación del agua.

Los sectores económicos de la producción que inciden en la zona, son el primario con actividades de agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca; como base principal de la economía rural, local y municipal, y que se ocupa también en actividades agropecuarias, forestales y agroindustriales. (Reynoso, Espejel y Alvarado, 2010:159).

Considérese la situación de la región con deterioro muy alto, San Jerónimo Zacualpan y Zacatelco tienen como uno de sus problemas priorizados el componente dos y tres: erosión deforestación, contaminación del suelo, contaminación de aire y agua; (Ver Cuadro 3) la colindancia de estos municipios permite coordinar sus acciones conjuntamente para atenuar los problemas mencionados. Pero también desde el punto de vista interno en cada uno de ellos estos problemas son los que deben abordar de manera priorizada, por lo que la gestión y asignación presupuestaria debe ir dirigida a ellos.

De igual manera se puede aplicar con otros municipios, no sólo al interior de las regiones, sino de manera intermunicipal, para conformar políticas más coherentes y dirigir los recursos desde el Estado hacia grupos de municipios que tienen similares características en la problemática.

Si se creara una comisión ad hoc integrada por los municipios de la cuenca del Río Zahuapan con deterioro muy alto, entonces, ésta puede ser la instancia administrativa que coordine las acciones, aunque también esta función puede recaer sobre la Coordinación General de Ecología del Estado (CGE).

Esta información así agregada se convierte en un instrumento para la CGE, relativa a los problemas más prioritarios en la cuenca del Río Zahuapan, el caso. Es importante mencionar que el índice calculado puede variar en el tiempo, debido a un mayor deterioro o por políticas aplicadas adversas a una mejora ambiental. Tal situación plantea una exigencia: la actualización periódica de la base de datos primaria y el posterior recálculo del índice. El segundo aspecto se resuelve fácilmente con el uso de la computación, pero el primero requiere inversión de recursos para el trabajo de campo. No obstante, debe analizarse la posibilidad de actualizarla al menos cada seis años.

### **Consideraciones finales**

- La Cuenca del Río Zahuapan presenta serios problemas ambientales que preocupan a las instituciones gubernamentales, no gubernamentales, instituciones educativas y a la sociedad. Por lo tanto, se debe proponer una política real y viable para disminuir principalmente la contaminación del agua, que está provocando serios problemas de salud a los habitantes aledaños al río Zahuapan. Mena et al (2017) menciona que “las actividades pecuarias y las descargas de aguas residuales urbanas e industriales son los principales factores de deterioro de la condición del río Zahuapan”. La actividad agrícola afecta menos que los asentamientos humanos e industria. Handall et al (2017) sintetiza que hay un desequilibrio ecológico por la alteración de la calidad del agua, por la erosión, contaminación de los suelos, pérdida y alteración de la biodiversidad, que amenaza su continuidad.

- La problemática ambiental de la Cuenca del Río Zahuapan nos da un panorama general para que se establezcan estrategias o acciones para mitigar el deterioro del entorno de la Cuenca. Asimismo, para que se realicen visitas para concientizar y evitar la negación y minimización de la contaminación y sus efectos en los habitantes de los municipios de alto y muy alto deterioro. Los autores Ramírez y López (2018:4) en su investigación encontraron elementos químicos como posibles cancerígenos y niveles de demanda bioquímica de oxígeno que rebasaban los límites máximos establecidos por la norma mexicana en la materia, estos datos han sido minimizados por autoridades y habitantes de los municipios de Tepetitla y Nativitas.

- Los problemas ambientales de cada uno de los municipios de alto y muy alto deterioro deben ser considerados por las autoridades municipales, para establecer acciones conjuntas con el gobierno estatal y federal, para lograr un desarrollo competitivo y sustentable en la Cuenca del Río Zahuapan.

- El desequilibrio ecológico de la Cuenca del Río Zahuapan está generando como consecuencias, daños a la salud y muerte de la flora y fauna. Mena (2017:18) menciona que debe establecerse una estrategia de manejo integral de cuencas, para la restauración de las condiciones ecológica, a través de la vinculación de las variables de hábitat, bióticas y de la calidad del agua.

## Bibliografía

### Libros y capítulos de libros

- Alvarado Cardona, Miguel, Espejel Rodríguez Adelina y Reynoso Pérez, Rolando (2010) *Caracterización ambiental “Cuenca del Río Zahuapan” estado de Tlaxcala*. En Espejel Rodríguez, Adelina; Alvarado Cardona, Miguel; Reynoso Pérez, Rolando; Colmenero Robles, Aurelio; Flores Hernández, Aurelia (2010). *La problemática ambiental de la Cuenca del Río Zahuapan, estado de Tlaxcala México*. México, UPN-UATx.
- Alvarado Cardona, Miguel, Colmenero Robles, Aurelio y Reynoso Pérez, Rolando (2010) *Calidad del agua “Cuenca del Río Zahuapan” estado de Tlaxcala*. En Espejel Rodríguez, Adelina; Alvarado Cardona, Miguel; Reynoso Pérez, Rolando; Colmenero Robles, Aurelio; Flores Hernández, Aurelia (2010). *La problemática ambiental de la Cuenca del Río Zahuapan, estado de Tlaxcala México*. México, UPN-UATx.
- Espejel, A. (2009) *Problemas ambientales, procedimiento metodológico y acciones de mitigación en el estado de Tlaxcala* (2ª ed.). Tlaxcala: Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Espejel Rodríguez, Adelina, Castillo Ramos, Isabel, Flores Hernández, Aurelia (2015) *Problemas ambientales de los municipios de la Zona Metropolitana Tlaxcala-Apizaco*. En Flores Hidalgo, Octavio, Castillo Ramos, Isabel, Sesín Marín, José de Jesús (Coord). *Zona Metropolitana Tlaxcala-Apizaco*. México, México. UATx.
- Joseph Hair Jr., Ronald L. Tatham y Willian C. black. (1999) *Análisis multivariante*. Madrid. Prentice Hall.
- Ezcurra Exequiel (2001) *De las Chinampas a la megalópolis. El medio Ambiente en la Cuenca de México*. México, Fondo de la cultura económica, SEP, CONACYT.
- Gobierno del estado de Tlaxcala. (2002) *Programa de ordenamiento ecológico general del estado de Tlaxcala*. Gobierno del estado de Tlaxcala, SEMARNAT, INE.
- Lisa Segnestam. (2000) *Desarrollo de indicadores, lecciones aprendidas de América Latina*. México, El Banco Mundial, PNUMA.
- Reynoso Pérez, Rolando, Espejel Rodríguez, Adelina y Alvarado Cardona, Miguel, (2010) *Problemática socioeconómica del proceso de urbanización “Cuenca del Río Zahuapan” estado de Tlaxcala*. En Espejel Rodríguez, Adelina; Alvarado Cardona, Miguel; Reynoso Pérez, Rolando; Colmenero Robles, Aurelio; Flores Hernández, Aurelia (2010). *La problemática ambiental de la Cuenca del Río Zahuapan, estado de Tlaxcala México*. México, UPN-UATx.
- Semarnat. (2000) *Sistema de indicadores ambientales y registro de emisiones y transferencias de contaminantes*. México, INE-SEMARNAT.
- Sevilla Buitrano, Álvaro (2000) *Operacionalización del marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales*. Proyecto de fortalecimiento institucional del organismo de control municipal de la municipalidad de San Martín de los Andes.
- Semarnat (2002) *Avances y perspectivas de las estadísticas e indicadores ambientales, visión de la Semarnat*. México. Semarnat.

Visauta, Vinacua, (1998) *Análisis estadístico con SPSS para Windows*. Volumen II, MC GRAW H. ILL. Madrid, Pág. 358

Revistas electrónicas

Laino-Guanes, Rafaela María, Bello-Mendoza, Ricardo, González-Espinosa, Mario, Ramírez-Marcial, Neptalí, Jiménez-Otárola, Francisco, Musálem-Castillejos, Karim (2015) “Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala”. [Fecha de consulta: 8 de junio de 2019] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353543299004>>\_ISSNMuñoz-

Nava, Hipólito, Suárez-Sánchez, Juan, Vera-Reyes, Andrea, Carreón-Coca, Miguel Francisco, Montealegre-Muñoz, Raúl Gehiel, Baumann, Jürgen (2013) “Relación entre el nitrógeno y las microcuencas del río Zahuapan, México”. [Fecha de consulta: 10 de julio 2020] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531984003>> ISSN

Pérez Castresana, Gabriela; Tamariz Flores, Víctor; López Reyes, Lucía; Hernández Aldana, Fernando; Castelán Vega, Rosalía; Morán Perales, José Luis; García Suastegui, Wendy Argelia; Díaz Fonseca, Alfonso Handal Silva, Anabella (2018). “Atoyac River Pollution in the Metropolitan Area of Puebla, México”. *Water*. Núm. 10, Vol. 3, doi:10.3390/w10030267. [Fecha de consulta: 10 de julio 2020]<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/3/267>

Ramírez Varela, Alejandra y Santos López, David José (2018) “Luchamos por un Atoyac con Vida! La lucha contra la contaminación del Río Atoyac y los daños a la salud que origina en el sur de Tlaxcala, México” Núm. 18, Vol. 18. Bajo el volcán. [Fecha de consulta: 16 de julio 2020] <https://www.redalyc.org/jatsRepo/286/28659183007/html/index.html>  
Revistas impresas

Alturria Abraham, Laura; Fonzar, Alfredo; Ceresa, Alejandro; Arnés, Esperanza (2014) “Propuesta de indicadores de sustentabilidad para la producción de vid en Mendoza, Argentina” *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 46, núm. 1, pp. 161-180

Carsten, Enevoldsen; Jens, Hindhede and Troels, Kristensen (1996) “Dairy Herd Management Types Assessed from Indicators of Health, Reproduction Replacement, and Milk Production”, *Journal of Dairy Science*, Vol. 79, No.7, pp. 1221-1236.

Espejel Rodríguez, Adelina. Carrasco Rivas, Guillermo. (1999) “El deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999”. *Gaceta ecológica*, No. 52, pp. 421-52

Fernández, J. O. (1988) “Comprensión y Manejo del Análisis Factorial”, *Revista Internacional de Sociología*, No. 12, pp. 7-35.

Handal-Silva, Anabella, Pérez-Castresana, Gabriela, Morán-Perales, José L. y García-Suastegui, Wendy (2017) “Historia de la contaminación hídrica del Alto Balsas”. *Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable*. No. 3, Vol. 9, pp. 10-23.

Martínez Guzmán, Anabel. (2002) “Indicadores de sustentabilidad ambiental de la economía mexicana”, *Comercio exterior*, No. 3, Vol.1, pp. 246-253

- Mena Mejía, Irma; Bustamante González, Ángel; Vargas López, Samuel; Olvera Hernández, José Isabel; Méndez Espinoza, José Arturo (2017) “Evaluación de la condición ecológica del río Zahuapan”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 33, núm. 1. pp.1-15
- Perevochtchikova, María (2013) “La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales”. *Gestión y Política Pública*, vol. XXII, núm. 2, pp. 283-312
- Pere Ferrando, Joan; Anguiano-Carrasco, Cristina (2010) “El análisis factorial como técnica de investigación en psicología” *Papeles del Psicólogo*, vol. 31, núm. 1, pp. 18-33
- Ventura León, José Luis (2016) “¿Componentes principales o factores comunes?: Comentarios al artículo de Hederich- Martínez y Caballero-Domínguez CES” *Psicología*, vol. 10, núm. 1, pp. 146-147

#### Tesis

- Mendieta Herrera, Rosario A. (2008) “La contaminación del Río Zahuapan como factor de riesgo para la salud”. Tesis para obtener el grado de maestra en Análisis Regional. Universidad Autónoma de Tlaxcala. pp. 96

#### Cartografía, fotografías aéreas e imágenes de satélite

- INEGI, (1986) Carta de Climas escala 1:1000,000
- INEGI, (1982, 98) Cartas Topográficas escala 1: 50,000
- INEGI, (1984, 85) Cartas Geológicas escala 1: 50,000
- INEGI, (1985, 83) Cartas Edafológicas escala 1: 50,000
- INEGI, (1983) Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, escala 1: 250,000
- INEGI, (1983) Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas, escala 1: 250,000
- INEGI. (1996) Síntesis geográfica de Tlaxcala. México, D.F. 90 pp.
- INEGI. (2007) Anuario estadístico de Tlaxcala. Tomo I. Aguascalientes, Ags. México. 338 pp.
- INEGI, (1970, 82, 99) Fotografías Aéreas escala 1: 70,000, 1: 80,000. 1:50,000
- INEGI, (1996) Espaciomapa Estatal Tlaxcala 1: 150,000
- INEGI (1980) Carta Fisiográfica México, escala 1:1000,000