



**Universidad Michoacana  
de San Nicolás de Hidalgo**

**Instituto de Investigaciones  
Económicas y Empresariales**



**Doctorado en Ciencias del Desarrollo Regional**

**Cambio de uso del suelo, calidad de agua y salud  
pública: implicaciones para el desarrollo regional.  
Estudio de caso de la cuenca del lago de  
Zirahuén**

**Tesis**

**Que para obtener el grado de:**

**Doctora en Ciencias del Desarrollo Regional**

**Presenta:**

**M.C. Selene Maldonado López**

**Director de Tesis:**

**Dr. Casimiro Leco Tomás**

**Morelia, Michoacán. Agosto 2019**

*A Mauricio y Leonardo, que con su genuina sabiduría*

*despliegan la poesía de lo cotidiano*

## **Agradecimientos**

Me siento muy agradecida con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo donde he pasado la mayor parte de mi vida académica; particularmente al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, por darme la oportunidad de estudiar el doctorado en Ciencias del Desarrollo Regional. Agradezco a los maestros y directivos del Instituto que me han formado y guiado durante ésta etapa como doctorante, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme la oportunidad integrarme al doctorado como becaria.

De manera especial agradezco a mi director de tesis Dr. Casimiro Leco Tomás, por compartirme su conocimiento y creer en mí durante estos años. También quiero expresar mi gratitud al comité sinodal, los doctores María Teresa Cortés Zavala, José Odón García García, Alfredo Uribe Salas y Carlos Francisco Ortiz Paniagua, por sus valiosas observaciones que me hicieron ver mi trabajo desde otra perspectiva, por su constante motivación y apoyo, muchas gracias por su tiempo, disposición, por enriquecer mi trabajo y formación.

Mi más profundo agradecimiento a mi familia que siempre me ha alentado a seguir adelante. En primer lugar a la familia en que crecí y me formó, mis padres Graciela y Jesús, mis hermanas Yurixhi y Yunuén; y ahora también a la que yo decidí formar, muchas gracias Alberto por tu apoyo, Mauricio Maren y Leonardo.

A todas las personas que han sido fuente de inspiración en mi vida personal y académica.

## ÍNDICE

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Índice de figuras .....    | 8  |
| Índice de tablas.....      | 9  |
| Índice de gráficas.....    | 9  |
| Índice de imágenes.....    | 10 |
| Lista de abreviaturas..... | 11 |
| Resumen/Abstract.....      | 12 |
| Introducción.....          | 13 |

## CAPITULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Planteamiento del problema                                                                   |    |
| 1.1.1. Problemática global y nacional del agua.....                                               | 15 |
| 1.1.2. Caracterización de la calidad de agua.....                                                 | 18 |
| 1.1.3. Eutroficación cultural.....                                                                | 20 |
| 1.1.4. Los bosques y su relación con el agua.....                                                 | 22 |
| 1.1.5. Calidad de agua bajo la regionalización de cuenca.....                                     | 24 |
| 1.1.6. Problemática ambiental de la cuenca del lago de Zirahuén<br>en el estado de Michoacán..... | 25 |
| 1.2. Importancia y justificación.....                                                             | 32 |
| 1.3. Universo de la investigación.....                                                            | 35 |
| 1.4. Objetivos.....                                                                               | 44 |
| 1.5. Preguntas de Investigación.....                                                              | 45 |
| 1.6. Hipótesis.....                                                                               | 46 |
| 1.7. Método y metodología.....                                                                    | 47 |
| 1.8. Marco teórico.....                                                                           | 49 |
| 1.9. Variables.....                                                                               | 50 |

## **CAPITULO II. MARCO TEORICO PARA EL ESTUDIO REGIONAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Pensamiento Complejo.....                                    | 51 |
| 2.2. Conceptos desde la Complejidad                               |    |
| 2.2.1. Cuenca.....                                                | 54 |
| 2.2.2. Región.....                                                | 56 |
| 2.2.3. Salud.....                                                 | 58 |
| 2.2.4. Desarrollo.....                                            | 60 |
| 2.3. Integración de paradigmas. ....                              | 64 |
| 2.3.1 Desarrollo sustentable y ecosalud .....                     | 64 |
| 2.3.2 Metabolismo social y teoría de sistemas complejos.....      | 66 |
| 2.4. Caracterización de un sistema complejo.....                  | 71 |
| 2.5. La cuenca del lago de Zirahuén como un sistema complejo..... | 73 |

## **CAPITULO III. CONTEXTO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN**

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Sistema socioeconómico mundial.....                              | 81  |
| 3.2. Estructura social y económica de la cuenca del lago de Zirahuén: |     |
| sus actores y relaciones.....                                         | 82  |
| 3.2.1. Actores locales.....                                           | 84  |
| 3.2.1.1. Formas de organización indígena: las voces de la             |     |
| comunidad.....                                                        | 85  |
| 3.2.1.2. Actividades productivas.....                                 | 88  |
| 3.2.2. Actores externos.....                                          | 89  |
| 3.2.3. Grupos de interés y conflictos.....                            | 91  |
| 3.2.3.1. Los recursos naturales: confrontación de visiones.....       | 93  |
| 3.2.3.2. Conflictos agrarios.....                                     | 97  |
| 3.2.3.3. Crimen organizado.....                                       | 99  |
| 3.2.3.4. Educación: espacio de interculturalidad.....                 | 100 |
| 3.2.4. Problemáticas específicas de la región.....                    | 102 |
| 3.2.5. Enlaces de la región con el exterior                           |     |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 3.2.5.1. Gobierno.....                       | 105 |
| 3.2.5.2. Organizaciones de lucha social..... | 107 |

#### **CAPITULO IV. METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE CAMBIO: USO DEL SUELO, CALIDAD DE AGUA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN Y LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA CUENCA, DENTRO DEL PERIODO 1995- 2005**

|                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Área de estudio.....                                                                                                                                                                                   | 110 |
| 4.2. Análisis de cambio de cobertura/Usos del Suelo (CCUS).....                                                                                                                                             | 112 |
| 4.2.1. Detección e interpretación cartográfica y digital del cambio                                                                                                                                         |     |
| 4.2.1.1. Materiales.....                                                                                                                                                                                    | 115 |
| 4.2.1.2. Métodos.....                                                                                                                                                                                       | 116 |
| 4.2.2. Análisis de los patrones de cambio.....                                                                                                                                                              | 118 |
| 4.2.3. Análisis de las causas del cambio de cobertura/uso del suelo...119                                                                                                                                   |     |
| 4.2.3.1. Altitud y tenencia de la tierra como variables<br>explicativas.....                                                                                                                                | 121 |
| 4.3. Construcción de la línea de tiempo de calidad de agua del lago de<br>Zirahuén (1995-2015) y análisis de tendencia en el tiempo.....                                                                    | 123 |
| 4.3.1. Materiales.....                                                                                                                                                                                      | 124 |
| 4.3.2. Métodos.....                                                                                                                                                                                         | 124 |
| 4.4. Construcción en la línea de tiempo 1995-2015 la prevalencia de<br>enfermedades en la población de la cuenca, relacionadas con la calidad<br>de agua del lago de Zirahuén, y análisis de tendencia..... | 124 |
| 4.4.1. Materiales.....                                                                                                                                                                                      | 125 |
| 4.4.2. Métodos.....                                                                                                                                                                                         | 125 |

#### **CAPITULO V. RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE CAMBIO: COBERTURA/USO DEL SUELO, CALIDAD DE AGUA Y SALUD**

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo de 1995 y 2015.....                                         | 126 |
| 5.2. Patrones de cambio de cobertura/uso del suelo de 1995 al 2015.....                                     | 132 |
| 5.3. Cambio de cobertura/uso del suelo en función de la altitud y el tipo de<br>propiedad de la tierra..... | 138 |

|                                                                                                                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4. Línea de tiempo de calidad de agua del lago de Zirahuén (1995-2015)<br>y análisis de tendencia en el tiempo.....                                                                    | 148        |
| 5.5. Línea de tiempo 1995-2015 la prevalencia de enfermedades en la<br>población de la cuenca, relacionadas con la calidad de agua del lago<br>de Zirahuén, y análisis de tendencia..... | 156        |
| 5.6. Integración e Interpretación de los resultados a partir de la teoría<br>de sistemas complejos y el enfoque de metabolismo social.....                                               | 160        |
| <b>Discusión.....</b>                                                                                                                                                                    | <b>164</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>                                                                                                                                                                 | <b>176</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>                                                                                                                                                              | <b>180</b> |
| <b>Propuesta.....</b>                                                                                                                                                                    | <b>180</b> |
| <b>Referencias bibliográficas.....</b>                                                                                                                                                   | <b>183</b> |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Universo de la investigación.....                                                                                                                                             | 78  |
| <b>Figura 2.</b> Localización y delimitación de la cuenca del lago de Zirahuén<br>en el Estado de Michoacán, México.....                                                                       | 111 |
| <b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo sobre la metodología que se llevó a cabo para<br>el análisis de CCUS en la cuenca del lago de Zirahuén.....                                                 | 122 |
| <b>Figura 4.</b> Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo para 1995 y 2015 en<br>la cuenca del lago de Zirahuén.....                                                                         | 131 |
| <b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo de los principales cambios de cobertura/uso del<br>suelo en la cuenca del lago de Zirahuén durante el periodo<br>1995-2015.....                             | 137 |
| <b>Figura 6.</b> Mapa de coberturas y usos del suelo dentro de los polígonos de<br>propiedad ejidal y propiedad de comunidad indígena en 1995, en<br>la cuenca del lago de Zirahuén.....       | 145 |
| <b>Figura 7.</b> Mapa de coberturas y usos del suelo dentro de los polígonos de<br>propiedad ejidal y propiedad de comunidad indígena en 2015, en la<br>cuenca del lago de Zirahuén.....       | 146 |
| <b>Figura 8.</b> Mapa de los polígonos de propiedad social ubicados en el gradiente<br>altitudinal de la superficie de la cuenca del lago de Zirahuén.....                                     | 147 |
| <b>Figura 9.</b> Diagrama del sistema socio-ambiental y su interacción con<br>la reconversión productiva, la calidad de agua y salud de la población<br>de la cuenca del lago de Zirahuén..... | 164 |



## Índice de tablas

|                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Caracterización del problema de estudio como sistema complejo...                                                                                                                     | 77  |
| <b>Tabla 2.</b> Insumos para la elaboración de mapas de cobertura/uso de suelo.                                                                                                                      | 116 |
| <b>Tabla 3.</b> Matriz de cambios de cobertura y uso del suelo entre 1995<br>y 2015 en la cuenca del lago de Zirahuén, datos en hectáreas (ha)....                                                   | 135 |
| <b>Tabla 4.</b> Datos comparativos entre 1995 y 2015 de la superficie de las<br>coberturas identificadas .....                                                                                       | 136 |
| <b>Tabla 5.</b> Ejidos y comunidades indígenas: número de polígonos, total de<br>Hectáreas y proporción dentro de la cuenca del lago de Zirahuén.....                                                | 139 |
| <b>Tabla 6.</b> Matriz de CCUS que ocurrió dentro de la propiedad de<br>comunidades indígenas en el periodo de 1995 al 2015.....                                                                     | 141 |
| <b>Tabla 7.</b> Matriz de CCUS que ocurrió dentro de la propiedad ejidal en el periodo<br>de 1995 al 2015.....                                                                                       | 141 |
| <b>Tablas 8 y 9.</b> Cambios de cobertura/uso del suelo dentro de la propiedad<br>social en la cuenca del lago de Zirahuén en el periodo de<br>1995 al 2015.....                                     | 142 |
| <b>Tabla 10.</b> Ganancias y pérdidas de las diferentes coberturas/usos del suelo en<br>toda la cuenca y desglosado por tipo de tendencia de la tierra.....                                          | 143 |
| <b>Tabla 11.</b> Principales procesos de cambio dentro de la cuenca y por tipo de<br>tenencia de la tierra.....                                                                                      | 144 |
| <b>Tabla 12.</b> Valores de <i>tau</i> y <i>P</i> de los parámetros que se encontraron<br>significativos o relevantes en el tiempo.....                                                              | 149 |
| <b>Tabla 13.</b> Estudios que generaron la información de los parámetros de calidad<br>de agua del lago de Zirahuén que resultaron<br>estadísticamente significativos o con tendencia relevante..... | 153 |
| <b>Tabla 14.</b> Localidades de las que se obtuvo información de la secretaria salud<br>pública. Se indican los centros de salud específicos y las instancias a las<br>que pertenecen.....           | 156 |
| <b>Tabla 15.</b> Enfermedades asociadas a la presencia de coliformes y <i>Microcystis</i> sp.<br>en el agua en relación con los usos otorgados al recurso hídrico, según                             |     |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| diversos autores..... | 158 |
|-----------------------|-----|

## Índice de gráficas

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Grafica 1.</b> Grafica comparativa de la superficie que abarca cada una de las coberturas identificadas para 1995 y 2015.....                  | 134 |
| <b>Gráficos 2.</b> Parámetros de calidad de agua del lago de Zirahuén que resultaron estadísticamente significativos o con tendencia relevante... | 151 |
| <b>Gráfica 3.</b> Número de casos de hepatitis en Salvador Escalante del año 2000 a 2013.....                                                     | 159 |

## Índice de imágenes

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Imagen 1.</b> Fotografía aérea de la cuenca del lago de Zirahuén.....                   | 81  |
| <b>Imagen 2.</b> Bosque riverero de la cuenca del lago de Zirahuén.....                    | 126 |
| <b>Imagen 3.</b> Matorral de la cuenca del lago de Zirahuén.....                           | 127 |
| <b>Imagen 4.</b> Terreno de uso agropecuario dentro de la cuenca del lago de Zirahuén..... | 127 |
| <b>Imágenes 5 y 6.</b> Huertas de aguacate en la cuenca del lago de Zirahuén.....          | 128 |
| <b>Imagen 7.</b> Lago de Zirahuén, 2015.....                                               | 128 |

## Lista de abreviaturas

|          |                                                                           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|
| BM       | Banco Mundial                                                             |
| CCUS     | Cambio de Cobertura/Usos del Suelo                                        |
| CEF      | Consejo Estatal Forestal                                                  |
| CLZ      | Cuenca del Lago de Zirahuén                                               |
| CNA      | Comisión Nacional del Agua                                                |
| CONAFOR  | Comisión Nacional Forestal                                                |
| CONAGUA  | Comisión Nacional del Agua                                                |
| CONAPO   | Consejo Nacional de Población                                             |
| CONEVAL  | Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social        |
| FAO      | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación    |
| FICIM    | Frente Independiente de Comunidades Indígenas de Michoacán                |
| FMI      | Fondo Monetario Internacional                                             |
| INEGI    | Instituto Nacional de Estadística y Geografía                             |
| LZ       | Lago de Zirahuén                                                          |
| MIR      | Movimiento Indígena Revolucionario                                        |
| MS       | Metabolismo Social                                                        |
| OMS      | Organización Mundial de la Salud                                          |
| ONP      | Organización Nación Purépecha                                             |
| PIB      | Producto Interno Bruto                                                    |
| RAN      | Registro Agrario Nacional                                                 |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales                         |
| SIAP     | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera                        |
| SAGARPA  | Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación |
| SIG      | Sistemas de Información Geográfica                                        |
| SSP      | Secretaría de Salud Pública                                               |
| SUIVE    | Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica            |
| MDE      | Modelo Digital de Elevación                                               |
| TSC      | Teoría de Sistemas Complejos                                              |

**Cambio de uso del suelo, calidad de agua y salud pública: implicaciones para el desarrollo regional.  
Estudio de caso de la cuenca del lago de Zirahuén**

**Land use change, water quality and public health: implications for regional development. Case study of  
Zirahuén basin**

**Resumen / Abstract**

El deterioro de los recursos hídricos es un problema a nivel mundial, las actividades antropogénicas son la principal causa ya que generan contaminación por vertidos de aguas residuales, y por escorrentías dentro de las cuencas debido al cambio de cobertura vegetal natural para otorgar otros usos al suelo. A escala mundial, el cambio de uso del suelo se considera el principal factor de deterioro de los cuerpos de agua superficiales.

Dentro de éste contexto, la cuenca del lago de Zirahuén ubicada en el estado de Michoacán en México, ha experimentado en los últimos años una acelerada expansión de huertas de aguacate, y la disminución de la calidad de agua de los afluentes de la cuenca y del Lago de Zirahuén (LZ). Esto preocupa a la población y las autoridades, debido a los posibles efectos a la salud ya que el lago es utilizado con fines recreativos, actividad pesquera y abastecimiento de agua para parte de la población de la cuenca.

Existen estudios sobre los parámetros de calidad de agua del LZ, pero no un análisis que lo aborde como una problemática en relación con otros elementos ambientales o con las actividades humanas. Por lo que esta investigación consiste en un análisis-diagnóstico de la problemática ambiental del deterioro de la calidad de agua del LZ dentro del sistema de cuenca, en un periodo determinado de tiempo (1995-2015)

Los resultados arrojaron evidencia sobre el proceso de disminución de la calidad de agua del lago, el cambio de cobertura/uso del suelo y de la recurrencia de padecimientos de origen hídrico en la población, así como de la relación entre ellos. Se discuten las posibles causas y efectos socioambientales de la disminución de la calidad de agua del LZ. Se analiza la problemática en relación con el contexto externo del sistema de cuenca. En base a los resultados y al proceso de investigación se hacen recomendaciones para futuras investigaciones, así como una propuesta de desarrollo que pretende mejorar las condiciones del LZ y como consecuencia, de la población que habita en la cuenca.

**Palabras clave:** calidad de agua, lago de Zirahuén, cambio de uso del suelo

Water resources deterioration is a worldwide concern associated to anthropogenic activities. Wastewater spill in to natural bodies and diffuse pollution associated to land use change and land use intensification, are the main sources of pollution. While the latter is considered the main cause of deterioration of surface fresh water.

Within this context, Lake Zirahuén watershed, located in Michoacán in Central Mexico, has experienced an increase in land dedicated to commercial avocado culture as well as a decrease in fresh water quality. This has raised concerns among certain population sectors in the watershed as well as among government officials since lake Zirahuén is used as a recreational waterbody and portion of the watershed populations uses its water for domestic use.

Several studies about water quality of this particular waterbody and watershed can be found, however, most of them do not consider the relationship between water quality, natural features, environmental conditions and human activities. Therefore this research consist on environmental diagnosis and analysis of water quality deterioration within the watershed of lake zirahuén in a period of time 1995-2015

The results provided evidence of the lakes water quality decrease, land cover/use changes and the recurrence of hydric origin diseases in the human population, as well as the relation among them. The socio-environmental causes of water quality deterioration in lake Zirahuén, its watershed and the effects on human population living within the watershed are discussed. The situation was addressed considering the internal and external contexts of the watershed system.

Considering these results and the research process, future research recommendations are addressed, and also a development proposal that intends to improve the conditions of lake Zirahuén and as a consequence, the human population living in the watershed

**Key words:** water quality, Lake Zirahuén, land cover/use changes

## Introducción

El agua es indispensable para toda forma de vida, es un elemento fundamental para la formación de los asentamientos humanos y su desarrollo (Al Radif, 1999). Sin embargo, en muchas partes del mundo la disponibilidad de agua, principalmente para consumo humano, se ha limitado debido a que procesos de sobreexplotación y contaminación del recurso han modificado tanto su cantidad como su calidad (Ongley, 1995; Novotny, 2003). Históricamente los diversos cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos, lagunas y océanos han sido utilizados como receptores de los desechos generados por la sociedad (Novotny, 2003). De esta forma, es como un recurso vital se ha transformado también en un importante vector de enfermedad. Actualmente el agua contaminada es la principal fuente de transmisión de enfermedades como el dengue, cólera y en general enfermedades diarreicas, conocidas como enfermedades de origen hídrico (Gleick, 1993), que son responsables de más del 65% de los internamientos hospitalarios en los países en desarrollo y 30% de las muertes de niños menores de un año en ámbito rural (Hunter, 2003; Pruss-Ustun, 2008).

En México, la disponibilidad de agua es un problema que se ha agudizado. Actualmente hay 64% menos agua disponible *per cápita* que hace 50 años, debido principalmente a que la mayoría de los acuíferos que suministran el 50% del agua a nivel nacional han sido sobreexplotados, por lo que se prevé tendrán que ser reemplazados por otras fuentes en un futuro cercano (CNA, 2011). Estos problemas de disponibilidad también se relacionan con la contaminación, ya que la mala calidad del agua limita su aprovechamiento. En México el 22.7% del agua superficial se encuentra contaminada o fuertemente contaminada, el 33.2% tiene calidad aceptable, y el 44.1% del agua superficial posee buena calidad. Éstos problemas de disponibilidad se acentúan por un fuerte sesgo en su distribución, el sureste de México cuenta con el 72 % del total nacional de agua pero concentra sólo 23% de la población, mientras que la región norte y centro de México cuenta con el 32% del escurrimiento natural y el 77% de la población (Manson, 2004). En cuanto a los sectores productivos, la agricultura de riego sobresale debido a que consume un 78% del agua del país,

además, el sector agropecuario genera el 62% de las aguas residuales que van hacia los cuerpos de agua con contenido de cargas orgánicas, plaguicidas, fertilizantes, entre otros contaminantes (CNA, 2011; Novotny, 2003). Ésta situación se agrava al considerar las altas tasas de deforestación del país, que se encuentra entre las más altas de Latinoamérica, ya que los bosques mantienen en equilibrio el ciclo hidrológico a nivel de cuenca que incluyen la cantidad y calidad de agua (Manson, 2004).

El estado de Michoacán posee una de las tasas de deforestación más altas de México (Bocco *et al.* 2001), y se considera que en algunas regiones gran parte del bosque que se ha extraído ha sido para el cultivo de aguacate, uno de los cultivos comerciales más importantes para el estado, a ésta zona en su conjunto se le conoce como *la franja aguacatera*. Dentro de esta franja se ubica la Cuenca del Lago de Zirahuén (CLZ) por lo tanto se asume que se han removido grandes masas de bosque para la expansión de las huertas. Sin embargo no existe un análisis espacial cuantitativo que lo sustente, y que además señale las zonas donde han ocurrido estos cambios de cobertura/uso del suelo dentro de los límites de la cuenca lo cual es muy relevante para analizar los posibles efectos en la calidad del agua del lago.

Diversas investigaciones han mostrado que el Lago de Zirahuén (LZ) ha experimentado en los últimos quince años aproximadamente, cambios en los parámetros de calidad del agua (Bernal-Brooks 1986, 1987, 1988, 2000; Chacón *et al.*, 1993; Ruz-Sevilla 2002; Vergara de Paz 2005), lo cual es de gran relevancia debido a que la mayoría de las localidades de la cuenca utilizan el agua del lago para uso doméstico o recreativo, lo cual representa un riesgo potencial para la salud de la población (Moreno-Calles *et al.*, 2013; Hernández-Morales *et al.*, 2016).

Debido a lo anterior, la presente investigación busca probar la relación en el tiempo entre los procesos de: deterioro de la calidad del agua del LZ, deforestación dentro de la cuenca, e incremento en la incidencia de padecimientos en la población que correspondan a los elementos presentes en el lago que son determinantes para la salud humana. Lo anterior con la finalidad de generar un diagnóstico ambiental en relación al deterioro de la calidad de agua del LZ, que revele las posibles causas así como los efectos en la salud humana.

## **CAPITULO I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

#### **1.1.1. Problemática Global y Nacional del Agua**

El agua es indispensable para toda forma de vida, por lo tanto es uno de los recursos más preciados de nuestro planeta. Es un elemento fundamental para la formación de los asentamientos humanos y su desarrollo. El agua está estrechamente relacionada con los patrones de vida y cultura así como con los procesos socioeconómicos, por lo que se le reconoce como un factor indispensable en el desarrollo regional y nacional (Al Radif, 1999).

Sin embargo, en muchas partes del mundo el uso del agua se ha limitado debido a que procesos de sobreexplotación y contaminación del recurso han modificado tanto su cantidad como su calidad (Ongley, 1995; Novotny, 2003). El crecimiento demográfico y económico, el modelo de desarrollo imperante, la ausencia histórica de criterios de conservación y aprovechamiento sustentable, y el crecimiento de su demanda en el ámbito regional, han sido algunas de las causas del deterioro de los cuerpos de agua como lagos, lagunas y manantiales, de los que se abastecen todos los asentamientos humanos, desde las poblaciones rurales más pequeñas hasta las grandes ciudades (Aguilera-Klink *et al.*, 2000; Swyngedouw, 2009).

Los cuerpos de agua no son solamente agua, son un conjunto de ecosistemas formados por una gran variedad de especies animales y vegetales, y un elemento indispensable para mantener el equilibrio climático del planeta (Bates *et al.*, 2008). Así que el aprovechamiento racional de los recursos hídricos como parte de un plan de desarrollo sustentable es fundamental para la preservación del agua, de ecosistemas saludables, equilibrio climático, y como consecuencia, preservación de los asentamientos humanos, las culturas y actividades socioeconómicas (Sophocleous, 2000).

Existen grandes desequilibrios a nivel global relacionados con el agua, que se traducen en problemáticas que se pueden dividir en cuatro rubros: problemas de cantidad, calidad, distribución y uso (Chapman *et al.*, 1996). Aproximadamente el 18%

de la población mundial no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable. El uso promedio de agua por persona al día en la mayoría de los países europeos es de 200 a 300 litros, frente a los menos de 10 litros en países en vías de desarrollo; la escasez de agua ya afecta a 4 de cada 10 personas (Consejo consultivo del agua A.C., 2018). Las zonas áridas y semiáridas del mundo han ido en expansión, actualmente constituyen el 40% de la masa terrestre, y disponen solamente del 2% de la precipitación mundial (Manson, 2004).

En cuanto a su uso, se estima que del agua disponible para consumo humano se destina el 20 % a la industria, 10 % para uso doméstico, y para la agricultura de riego el 70%, que puede llegar hasta el 90% en las regiones tropicales áridas; el consumo de agua para éste rubro ha aumentado más del 60% desde 1960, como consecuencia de la expansión de cultivos comerciales de alto rendimiento en los que se intensifica el sistema de producción, llevando con ello la sobreexplotación del suelo y el agua (FAO, 2011). La agricultura por irrigación, además de ser la principal responsable de extracción de aguas subterráneas y superficiales, también es el sector que más contribuye a la generación de escurrimientos contaminantes hacia los cuerpos de agua de las cuencas, debido principalmente al elevado uso de agroquímicos (Aguilar y Pérez-Espejo, 2007)

La cantidad de agua disponible en el mundo está limitada para su uso por su calidad, principalmente para uso potable. Históricamente los diversos cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, han sido utilizados como receptores de los desechos generados por la sociedad (Novotny, 2003). El 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas (UNESCO, 2017); y gran parte de los contaminantes que se desechan son difíciles de eliminar por métodos convencionales de depuración, por lo que su recuperación resulta difícil y muy costosa (Viessman *et al.*, 1989; Novotny, 2003). De esta forma, es como un recurso vital se ha transformado también en un importante vector de enfermedad. Actualmente el agua contaminada es la principal fuente de transmisión de enfermedades como el dengue, cólera y en general enfermedades diarreicas, conocidas como enfermedades de origen hídrico (Gleick, 1993), que son responsables de más del 65% de los internamientos



hospitalarios en los países en desarrollo y 30% de las muertes de niños menores de un año en ámbito rural (Hunter, 2003; Pruss-Ustun, 2008).

En México, la disponibilidad de agua es un problema que se ha agudizado. Actualmente hay 64% menos de agua disponible *per cápita* que hace 50 años, debido principalmente a que la mayoría de los acuíferos que suministran el 50% del agua a nivel nacional, están siendo sobre explotados, por lo que se prevé que tendrán que ser reemplazados por otras fuentes en un futuro cercano (CNA, 2011). Éstos problemas de disponibilidad se acentúan por un fuerte sesgo en su distribución, el sureste de México cuenta con el 72 % del total nacional de agua pero concentra sólo 23 % de la población, mientras que la región norte y centro de México cuenta con el 32 % del escurrimiento natural y el 77 % de la población (Manson, 2004).

La contaminación y mal uso del agua agravan la situación. En las ciudades del país se desperdicia alrededor del 40% del agua por fugas en las redes de abastecimiento, distribución y tomas domiciliarias. Por otro lado, la mala calidad del agua superficial limita su aprovechamiento, ya que el 22.7% del agua superficial se encuentra contaminada o fuertemente contaminada, el 33.2% tiene calidad aceptable, y el 44.1% del agua superficial observa calidad buena. Si bien oficialmente el 92.0% de la población tiene acceso al servicio público de agua potable, dicho porcentaje disminuye dramáticamente cuando se considera su calidad, ya que sólo el 23% de las aguas residuales reciben algún tratamiento (CNA, 2011), y un porcentaje mucho más bajo cumple con las normas de calidad establecidas para las descargas (CONAGUA, 2007). En cuanto a los sectores productivos, la agricultura de riego sobresale debido a que consume un 78 % del agua del país, sin embargo, más de la mitad es desperdiciada (CNA, 2011); Además, el sector agropecuario genera el 62% de las aguas residuales que van hacia los cuerpos de agua con contenido de cargas orgánicas, plaguicidas, fertilizantes, entre otros contaminantes (CNA, 2011; Novotny, 2003).

### **1.1.2. Caracterización de la Calidad de Agua**

La contaminación de un cuerpo de agua se define como la alteración en su integración ambiental por factores antropogénicos. Ésta alteración incluye la afectación inicial de cualquiera sus elementos físicos, químicos y biológicos (Novotny, 1994; Novotny, 2003), de la que se van derivando otros cambios en el resto del ecosistemas acuático. La alteración significa daño o deterioro en su calidad y por lo tanto limita su uso y en algunos casos es fuente de enfermedad para el hombre (Gleick, 1993; Chapman *et al.*, 1996). La alteración de la calidad del agua está determinada por el contenido de sustancias químicas, sedimentos, nutrientes, microorganismos, grasas, aceites, sólidos, pesticidas, entre otros (Moshiri, 1993; Novotny, 2003); éstos componentes pueden ser eliminados de los cuerpos de agua como parte de su principio regulador, resiliencia y capacidad de regeneración de los sistemas acuáticos, sin embargo, esto depende de la cantidad de vertidos, las particularidades del sistema, y los cambios fisicoquímicos que vayan generando (Moshiri, 1993).

La contaminación procede de fuentes puntuales y fuentes no puntuales o difusas. La contaminación puntual corresponde a efluentes de agua residual fácilmente identificables, éstas son principalmente las descargas de tuberías o canales, comprende a los efluentes de agua residual municipal e industrial y existe una estructura que permite su identificación y caracterización (Moshiri, 1993; Novotny, 1994; Novotny, 2003). En México y en muchos otros países del mundo, éstas efluentes están reguladas, se requiere un permiso para descarga y así se facilita su monitoreo, con la finalidad de que se cumplan las normativas vigentes y así controlar el exceso de contaminación a los cuerpos de agua receptores (Bravo-Inclán *et al.*, 2018).

En contraste, la cuantificación, evaluación y control de la contaminación difusa o no puntual es mucho más compleja. La contaminación difusa involucra el transporte y transformación de desechos que puede ser a través de diversos medios, como el suelo, el aire y el agua (Novotny, 2003; Alfaro y Salazar, 2005). Sin embargo, el principal mecanismo mediante el cual se inicia el transporte de contaminantes a los cuerpos de agua provenientes de fuentes no puntuales, es la lluvia. El agua de lluvia promueve el escurrimiento y arrastra hacia los cuerpos de agua lo que encuentra a su paso; puede disolver contaminantes producto de las actividades humanas y dirigirlos

hacia los cuerpos de agua superficiales, algunos de éstos contaminantes pueden ser aceite y desechos por desgaste de vehículos en las vialidades urbanas, productos químicos de zonas agrícolas, excremento de actividades pecuarias, lavado de actividades mineras. Por lo que estas emisiones no se pueden regular directamente, sino a través de la implementación y evaluación de las actividades dentro de las cuencas (Cisneros *et al.*, 2010).

Las características más relevantes de la contaminación difusa son las siguientes: resultan de actividades ligadas al uso del suelo de las que se generan escurrimientos como son los de zonas urbanas, tierras agrícolas, actividades pecuarias, mal manejo de contenedores de basura; éstas fuentes de contaminación están fuertemente influenciadas por los patrones de lluvia como son la intensidad, volumen total, frecuencia. Los desechos de contaminación difusa más importantes y sujetos al manejo y control son: sólidos suspendidos, microorganismos fecales, compuestos tóxicos, nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno (Novotny, 2003). Se considera que éste tipo de contaminación es la principal causa del deterioro de los recursos hídricos en todo el mundo, fenómeno al que se ha denominado eutrofización cultural, que indica el envejecimiento acelerado de los cuerpos de agua y posteriormente su desaparición (Vadeboncoeur *et al.*, 2003; Schindler, 2012).

La condición eutrófica de éstos ecosistemas se caracteriza fundamentalmente por un elevado contenido de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, y como consecuencia, la floración masiva de cianobacterias o *blooms* algales que a simple vista dan señales de alteración del cuerpo de agua (Wang, 2006). Éstos nutrientes llegan a los cuerpos receptores por escurrimientos, principalmente agropecuarios, se estima que dos terceras partes del nitrógeno en el agua provienen de éste sector, donde un tercio corresponde a desechos de animales y otro tanto a la escorrentía de agroquímicos procedentes de los cultivos. Esto significa que las regiones con mayor superficie dedicada a la agricultura y la ganadería tendrán mayores riesgos de generar contaminación difusa (Almaza *et al.*, 2016; Pérez-Espejo, 2008). En México, la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha señalado que las fuentes de contaminación difusa son responsables de más del 70% del total de cuerpos de agua contaminados,

y que estas fuentes provienen básicamente de la agricultura, la deforestación y mal manejo de la basura (Pérez-Espejo, 2008).

### **1.1.3. Eutroficación Cultural**

Eutrofia proviene del adjetivo alemán *eutrophe*, el cual se refiere a la abundancia de nutrientes (Vollenweider, 1970). En Ecología se utiliza el término eutrófico, para describir sistemas biológicos acuáticos en los cuales existe un alto ingreso de nutrientes que modifican las características físico-químicas y como consecuencia alteran la cadena trófica del cuerpo de agua. Para que un cuerpo de agua llegue a condición de eutrofia, pasa anteriormente por dos etapas que son: oligotrofia y mesotrofia. Estas etapas hacen referencia al estado de salud o edad de un cuerpo de agua a partir de la caracterización de diversos indicadores, de los cuales los principales son, el contenido de nitrógeno y fósforo, oxígeno disuelto en el agua, transparencia, así como características cualitativas y cuantitativas en las comunidades de fitoplancton.

Un lago oligotrófico es un ecosistema joven y saludable, que se caracteriza por tener un bajo contenido de nutrientes, elevada transparencia, oxígeno disuelto y biodiversidad. El estado mesotrófico se refiere a un cuerpo de agua en etapa madura, es una condición intermedia entre la oligotrofia y la eutrofia (Lambert y Sommer, 1997; Thornton *et al.*, 1990); finalmente, la condición eutrófica se refiere al deterioro avanzado de un cuerpo de agua, indica desequilibrio del ecosistema y potencial fuente de enfermedad para el ser humano. El parámetro más visible que indica esta condición, es la composición del fitoplancton que es poco diversa, ya que es dominado por el grupo de microalgas cianofíceas o cianobacterias, las cuales llegan a formar floraciones masivas conocidas como *blooms* algales que se pueden presenciar desde grandes masas oceánicas hasta pequeñas lagunas. Esta característica es de gran relevancia para el hombre, no sólo por su visibilidad sino también porque la mayoría de las algas cianofíceas que producen estas floraciones masivas, producen compuestos tóxicos para los seres humanos (Falconer, 2003).

El fenómeno de eutrofización es un proceso natural de envejecimiento de los

cuerpos de agua, como resultado del ingreso de nitrógeno y fósforo procedente de las escorrentías de las lluvias y deslave de las rocas (Vollenweider, 1970; Nixon, 1995). Sin embargo, a partir de los años setenta, muchos cuerpos de agua en todo el mundo comenzaron a mostrar procesos acelerados de eutrofización (Schindler, 2012). Por lo que se inició el estudio de las posibles causas de éste fenómeno denominado “eutrofización antrópica o cultural” debido a que, aunque aún se investigan los mecanismos de éste proceso, se sabe que es consecuencia de las actividades humanas no sustentables (RAPAL, 2010; Schindler, 2012), principalmente aquellas que remueven la vegetación natural y que generan escurrimientos contaminantes (Schindler, 2012). Estos estudios se iniciaron principalmente en Estados Unidos ya que se observaban cambios en la coloración y proliferación de vegetación acuática en algunos cuerpos de agua (Vadeboncoeur, *et al.*, 2003). Más adelante se observó el mismo fenómeno en Europa que además se relacionó con problemas de salud de la población (Xu *et al.*, 2001), actualmente es en los países asiáticos donde están proliferando éstas investigaciones.

Por lo que existe una amplia bibliografía sobre cobertura/uso del suelo y su relación con la calidad del agua en distintas zonas geográficas, bajo diversas condiciones climáticas, topográficas, ambientales y socioeconómicas (Amiri y Nakene 2008; Bolstad y Wayne, 1997; Mattikalli y Richards, 1996). En estos estudios se ha encontrado evidencia de que los diferentes tipos de uso del suelo tienen efectos diferenciales en la calidad del agua (Amiri y Nakene, 2008; Bolstad y Swank, 1997). Por ejemplo, dentro de los parámetros que se han evaluado, se observa que el nitrógeno y el fósforo son los que se encuentran más relacionados con el uso del suelo agrícola (Bolstad y Swank, 1997); esto se puede explicar por el hecho de que los fertilizantes son un insumo de la agricultura que se compone principalmente de éstos elementos. En cambio, la cantidad de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua se ha asociado de manera directamente proporcional a la superficie de cobertura forestal en las cuencas (Ahearn *et al.*, 2005; Mokondoko *et al.*, 2016).

A manera de resumen, las principales causas antrópicas del proceso de eutrofización son (Carpenter *et al.*, 1999): a) descarga de aguas residuales, que poseen alto contenido de nutrientes y materia orgánica, b) deforestación y erosión del

suelo, c) entrada de escurrimientos agrícolas a los cuerpos de agua d) presencia de gases ambientales como óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre que al entrar en contacto con el agua atmosférica forman sales en el suelo que son volcadas fácilmente en los cuerpos de agua. Los principales efectos de la eutrofización son los siguientes: a) florecimientos algales con potencial toxico, b) acumulación y sobrevivencia de patógenos en la columna de agua o el sedimento, c) disminución de la biodiversidad de flora y fauna acuáticas (Smith, 2003; Smith y Schindler, 2009).

#### **1.1.4. Los bosques y su relación con el agua**

Actualmente más de siete billones de humanos compartimos el planeta con aproximadamente tres trillones de árboles, 46% menos árboles que cuando comenzó la civilización humana (Crowther *et al.*, 2015). De éstos árboles, la mayoría se encuentran dentro de bosques y selvas, ecosistemas que representan una indispensable fuente de alimentos, medicinas, combustible, entre otros recursos; albergan más de tres cuartas partes de la biodiversidad terrestre, y proporcionan numerosos productos y servicios que contribuyen al desarrollo socioeconómico. Algunos de los servicios ambientales que nos otorgan los bosques y selvas son, la fijación de carbono, conservación de la biodiversidad, recreación y entre los más relevantes, los servicios relacionados con el ciclo hidrológico ya que el bosque en su conjunto es un modulador de los flujos de agua. Los bosques cubren cerca del 30% de la superficie terrestre y captan casi el 50% de la lluvia del planeta, por lo que aproximadamente tres cuartas partes del agua dulce accesible de la tierra proviene de cuencas hidrográficas boscosas (Manson, 2004).

Porras (2003) menciona los siguientes servicios hidrológicos como los más relevantes generados por estos ecosistemas: abastecimiento de agua, regulación de la calidad del agua, regulación del clima y de enfermedades, estabilización del paisaje con el fin de evitar deslaves y azolve, control de la erosión, inundaciones y sequías. La generación de todos éstos servicios hidrológicos se deben a las funciones y atributos resultado de su compleja estructura: sus múltiples estratos de vegetación controlan el escurrimiento pluvial, interceptando el agua de lluvia de manera muy eficiente, la canalizan lentamente por sus hojas, ramas y troncos hacia el suelo, de

esta forma regulan la fuerza con que el agua llega al suelo para así evitar el deslave en grandes cantidades y la saturación de agua en el suelo ya que al saturarse rápidamente, pierde capacidad de absorción. El agua llega primero a la hojarasca y enseguida al suelo poroso con alto contenido de materia orgánica. El suelo con éstas propiedades es capaz de absorber una elevada cantidad de agua, permitiendo su lenta filtración hacia el subsuelo y por lo tanto, la recarga de los mantos acuíferos, de esta manera también evitan grandes deslaves e inundaciones (Bruijnzeel, 2004).

A pesar de su gran relevancia, éstos ecosistemas son de los más amenazados del planeta (Chazdon, 2008) y al perderse estos, también se pierden los servicios ambientales que generan y de los que dependemos las sociedades humanas. Las actividades antrópicas no sustentables y la deforestación son los principales factores que han afectado a éstos ecosistemas. Diversas investigaciones ponen de manifiesto que el 40% de las 230 cuencas hidrográficas más importantes del mundo han perdido más de la mitad de su cubierta original de bosque (FAO, 2017). La deforestación o remoción de bosque, es el resultado del remplazo de áreas de vegetación natural para llevar a cabo otros usos de la tierra (Bennet, 1999). Según Lambin (1997), la mayor parte de los cambios ocurridos en ecosistemas terrestres se deben a la conversión de la cobertura del terreno y a la intensificación en su uso, que se derivan de actividades humanas principalmente aquellas relacionadas con el crecimiento económico; por lo que el ser humano es el principal promotor de los cambios de cobertura y uso del suelo (Bassols, 1993; Vitousek *et al.*, 1997).

Históricamente la deforestación ha sido notable en el oeste del continente africano donde los bosques han sido reducidos en un 44%; en el sur y sudeste de Asia 34% y en América Latina que ha reducido sus bosques en un 32% (Houghton *et al.*, 1999). La deforestación en México alcanzo entre 1976 y 2000 una de las tasas más altas de América Latina (SEMARNAT, 2002). En los últimos cincuenta años ha habido una disminución del 29% de la cobertura boscosa, y de los bosques remanentes muchos se consideran como perturbados o secundarios (SEMARNAT, 2002). Por lo tanto, en México estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria. Considerando que además, son muy escasos los análisis detallados y actualizados que permiten

determinar los niveles actuales de pérdida de cobertura forestal, su expresión espacial y las variables socioeconómicas y ambientales que inciden sobre ellos. Así como los datos cuantitativos sobre dónde, cuándo, cuánto y por qué de cada cambio de uso y cobertura (Lambin, 1997). Por lo que el entendimiento de éstos procesos se encuentran en el centro de atención de la investigación ambiental (Bocco *et al.*, 2001).

#### **1.1.5. Calidad de agua bajo la regionalización de cuenca**

De lo anteriormente mencionado, se deriva la conclusión de que las actividades y usos del suelo dentro de las cuencas son las que definen en gran medida tanto la contaminación puntual como la difusa, ya que la cuenca es la unidad física básica en la regulación del agua (Maass, 2003). Es por eso que los dos tipos de contaminación se estudian bajo la regionalización de cuenca (Smith, 2003).

Una cuenca es un área que delimita la superficie en donde la lluvia y el agua superficial drenan hacia un colector como un arroyo, río o lago (Gaspari *et al.*, 2009). Lo que sucede cuando el agua se transporta sobre la tierra hacia el cuerpo receptor, determina en gran medida su calidad hídrica. La mayoría de los problemas de los cuerpos de agua como agua turbia, malezas acuáticas, espuma verde, muerte de peces por falta de oxígeno, entre otros, son reflejo de los diferentes usos en la cuenca. Estos usos, producto de las actividades socioeconómicas, se traducen en la modificación de las coberturas prístinas de vegetación que conforman ecosistemas, como son los bosques, selvas, manglares, entre otros. El cambio de uso del suelo de estos ecosistemas genera el transporte de volúmenes significativos de sedimento, el cual se deposita en los cuerpos de agua. La cantidad y tipo de contaminantes que acompañen al sedimento, dependerá de los usos que se le otorgue a la superficie modificada, algunos de éstos usos puede ser: asentamientos humanos, industria, minería, agricultura (Xu *et al.*, 2001). Por lo tanto, la restauración y el manejo de un lago o embalse se traduce a trabajar tanto con el cuerpo de agua como con su cuenca, promoviendo actividades sustentables (Smith, 2003).



### **1.1.6. Problemática ambiental de la cuenca del lago de Zirahuén, en el estado de Michoacán**

El estado de Michoacán ha sufrido intensos cambios de uso de suelo desde hace varias décadas. Bocco *et al.* (2001) en un análisis de cambio de cobertura/uso del suelo (CCUS) revela que en un lapso de 18 años el estado de Michoacán perdió 513 644 ha de bosques templados y 308 292 ha de selvas, correspondientes a tasas de deforestación de 1.8 y 1% anual, respectivamente. La tasa de pérdida de bosques es casi el doble que la estimada a nivel nacional para este tipo de vegetación, adicionalmente el 20% de la superficie cubierta de bosques o selvas sufrió un proceso de degradación. Bray *et al.* (2004) mencionan que las regiones con altas tasas de deforestación en México, corresponden primordialmente a áreas de urbanización y extensión agropecuaria, lo que se traduce en incremento de contaminación difusa hacia los cuerpos de agua. En el caso de la agricultura, durante las últimas décadas México ha utilizado gran parte de su extensión de cultivo a la producción comercial de frutales en huertas. Dentro de éste panorama, la producción agrícola michoacana ha definido su perfil orientado principalmente a la producción de frutales, donde el cultivo de aguacate ha cobrado gran relevancia. El PIB agropecuario estatal es de los más importantes del país y su valor de producción real es muy significativo, esto se debe en buena medida al cultivo de aguacate, por lo que se le ha denominado *oro verde* (De la Tejera *et al.*, 2012).

México es el primer productor y exportador de aguacate en el mundo, con cerca de 153 mil hectáreas sembradas y una producción anual estimada de 1.53 millones de toneladas (FAOSTAT, 2017). La producción de este fruto se caracteriza por concentrarse cada vez más en una región específica abarcando los estados de Colima, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Puebla y Querétaro. El estado de Michoacán tiene cerca del 73% de la superficie nacional sembrada de aguacate, y genera poco más del 80% de la producción nacional (Chávez-León *et al.*, 2012; SIAP–SAGARPA, 2016) por lo es el principal núcleo productor del país (Morales-Manilla *et al.*, 2012).

El Consejo Estatal Forestal (CEF) de Michoacán argumenta que el cambio de cobertura forestal del bosque de pino encino en el estado, es debido al proceso de

conversión del bosque natural a plantaciones de aguacate, ya que se observa una tasa de cambio mucho mayor (2.1%) que en el resto de los bosques de pino-encino del resto del país 1.0% (CEF, 2007). Esto tiene importantes implicaciones en cuanto a los recursos hidrológicos del Estado, ya que como se mencionó anteriormente, la superficie boscosa está directamente relacionada con la cantidad y calidad de agua disponible en las cuencas. Debido a que el bosque mantiene constante la recarga de agua en los acuíferos y aguas superficiales, retiene el suelo y controla los escurrimientos a los cuerpos de agua que pueden modificar la calidad del recurso hídrico.

Barsimantov y Navia (2012) mencionan que el cambio de cobertura del suelo no ocurre igual en toda la franja aguacatera, que mientras algunas comunidades han deforestado gran parte de sus bosques, otras permanecen casi intactas. Señalan también que es necesario documentar a nivel local y regional las implicaciones ecológicas, económicas y sociales de la expansión del cultivo de aguacate y la deforestación asociada, para comprender lo que ocurre en torno a la expansión de éste cultivo. Uno de los primeros estudios cartográficos y cuantitativos sobre el cambio de uso del suelo en la región aguacatera fue el de Garibay y Bocco (2011), el análisis lo hicieron para el periodo 1976 y 2005 con once municipios, en el que excluyeron al municipio de Salvador Escalante, que de acuerdo con De la Tejera *et al.* (2012) es de las regiones donde más ha incrementado el área dedicada a este cultivo. Salvador Escalante es el principal municipio dentro de la cuenca hidrográfica del lago de Zirahuén, (83% de la cuenca), seguido por Pátzcuaro (15.7%), y Tacámbaro (0.6%). Hasta el momento sólo se ha realizado un estudio cartográfico-estadístico de CCUS en el que se incluye el municipio de Salvador (Morales-Manilla *et al.* 2012), sin embargo, fue realizado bajo una perspectiva de límites político-administrativos, por lo que no hay coincidencia del espacio analizado con la presente investigación que es bajo la perspectiva de cuenca, así como tampoco es posible relacionar con las condiciones de la calidad de agua del lago.

En cuanto a los recursos hídricos, México es un país que se caracteriza por poseer pocos lagos, la mayoría del agua disponible para consumo humano se encuentra en acuíferos subterráneos (SEMARANT, 2015). Dentro de este escenario,

el estado de Michoacán cobra gran importancia por poseer varios lagos incluyendo dos de los siete más importantes del país por su extensión y capacidad de almacenamiento: Cuitzeo y Pátzcuaro. Sin embargo, estos dos lagos se encuentran en un estado de deterioro muy avanzado, el lago de Cuitzeo esta catalogado como hipereutrófico por lo que su recuperación será difícil y costosa, mientras que el lago de Pátzcuaro se encuentra en un avanzado proceso de deterioro (Berry, 2011).

Dentro de éste contexto, el lago de Zirahuén es relevante ya que ha sido ampliamente reconocido por ser de los más jóvenes, profundos y transparentes de México; es uno de los sistemas lénticos de mayor importancia biológica y cultural del Estado de Michoacán, donde se asienta población mestiza y purépecha. Se ubica en el municipio de Salvador Escalante, uno de los municipios del Estado donde más se ha extendido el cultivo comercial de aguacate. Su estado de conservación aún permite que su recuperación sea viable en un corto plazo bajo un esquema de desarrollo sustentable en toda la cuenca, así como acciones concretas en el cuerpo de agua y sus afluentes.

Hasta hace pocos años, estudios ecológicos mostraban que no había deterioro importante en el lago de Zirahuén, se consideraba como un cuerpo de agua oligotrófico, hasta el momento insensible a la eutrofización antrópica (Bernal-Brooks y MacCrimmon, 2000). Sin embargo Bernal-Brooks y colaboradores (2016) mencionan que el lago de Zirahuén, en la última década ha mostrado un progreso hacia la eutrofización, atribuida a las diversas actividades humanas dentro de la cuenca, principalmente por el cambio de uso de suelo de vocación forestal y la descarga de aguas servidas sin tratamiento (Davies *et al.* 2005). A este proceso de degradación ambiental se suman e interactúan problemas sociales como los conflictos por la tierra y la pobreza, ya que se encuentra dentro de las regiones más pobres del país. Las actividades socioeconómicas que generan el sustento de la mayor parte de la población, se relaciona con las actividades primarias, dentro del rubro turístico, y como jornaleros en huertas. Los usos del lago son muy diversos: para actividades recreativas de los habitantes de la cuenca y del turismo, para riego, como receptor desechos, es una importante fuente de agua para uso intradomiciliario (Ortíz-Paniagua *et al.*, 2017; Moreno-Calles *et al.*, 2013), y en algunos asentamientos como Copándaro extraen

agua del lago directamente para consumo humano (Hernández-Morales, 2016)

Moreno-Calles *et al.* (2013) realizaron un diagnóstico ambiental de la cuenca en colaboración con las comunidades, identificaron las prioridades de la población, así como las diversas problemáticas relacionadas con el bosque, el agua y la tenencia de la tierra. La población de la cuenca del lago de Zirahuén está compuesta por la comunidad ejidal, la comunidad indígena y los propietarios privados que en su mayoría no viven dentro de la región. Las comunidades ejidales utilizan sus parcelas principalmente para el cultivo de productos de subsistencia como maíz, papa, frijol y trigo. Algunos cuentan con riego pero en su mayoría es cultivo de temporal, la mayor parte de las semillas que utilizan son criollas, otros insumos son algunos fertilizantes, herbicidas y maquinaria para las labores de cultivo. La comunidad indígena utiliza bajos insumos químicos y cultiva principalmente maíz con semillas criollas y maquinaria agrícola para barbechar, así como otras prácticas culturales.

Tanto la comunidad ejidal como la indígena mencionan tener problemas de plagas y bajo rendimiento agrícola en sus parcelas, esto lo asocian con el incremento de la erosión, lo cual es acertado ya que se ha comprobado que la erosión causa pérdida de fertilidad y potencial ecológico de los suelos para sostener actividades productivas (Bravo *et al.*, 2009). Estos grupos sociales aseguran que debido a la baja productividad y el poco apoyo por parte del gobierno para la agricultura, se han visto forzados a vender sus tierras, lo que ha provocado conflictos entre las comunidades. Los conflictos de tenencia de la tierra y derechos de propiedad también se han asociado a la pérdida de bosques y apropiación de fuentes de agua como ríos y manantiales, a los cuáles, los pobladores aseguran cada vez tienen menos acceso (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

En cuanto al bosque, Moreno-Calles *et al.* (2013) mencionan que los pobladores consideran que la pérdida de masa forestal es uno de los problemas más relevantes, y que esto es consecuencia de la tala no regulada, incendios, presencia de plagas, y cambio de uso del suelo para la implementación de la agricultura comercial por parte de los propietarios privados. La cuenca del Lago de Zirahuén presenta una de las mayores tasas de incendios forestales del estado de Michoacán (Pérez-Calix, 1996), y éstos están asociados también a la posterior erosión de suelos. Para los comuneros,

en algunos casos los incendios son causados premeditadamente como una estrategia para inducir el cambio de uso de suelo. La presencia de plagas en los bosques parece afectar principalmente a los árboles de pino, y aunque se ha tratado de controlar ha sido difícil seguir obteniendo los beneficios económicos por el aprovechamiento forestal, principalmente de madera y resina.

Estos autores identificaron también problemas asociados con el agua: modificación del ciclo hidrológico, escasez, disminución del acceso para consumo humano y contaminación. La modificación del ciclo hidrológico, como ya se mencionó anteriormente, es una de las consecuencias de la deforestación a nivel de cuenca, que al parecer, en la cuenca del lago de Zirahuén es uno de los principales problemas de los bosques. Pero también, ésta problemática parece relacionarse con las acciones de propietarios privados que cultivan aguacate, con el objetivo de mantener la irrigación constante que requieren sus huertas, ya que éste fruto consume una gran cantidad de agua. Son principalmente dos estrategias extractivas las que llevan a cabo, por un lado, la construcción de ollas de agua a partir de la desviación de corrientes temporales o permanentes. Otra estrategia es el bombeo de agua del lago que transportan en pipas hacia las huertas. A éstas acciones se asocia otra problemática: la escasez de agua para el consumo humano, ya que, por la venta de tierras a personas externas a la comunidad -propietarios privados- se ha limitado el acceso a algunos cuerpos de agua potable ya que quedan ubicados dentro de los predios que son ahora de propiedad privada. Por otro lado, los nacimientos de agua que habían sido utilizados por las poblaciones de la cuenca, aseguran que ya no son suficientes, y que esto es consecuencia de la desviación del recurso antes de llegar a su nacimiento.

En cuanto a la calidad del agua del lago de Zirahuén, diversos estudios han mostrado modificaciones relevantes durante la última década de los parámetros indicadores de calidad de agua. De Buen registró en 1942, que la transparencia del lago tenía un valor de 6.6 m. Seis años más tarde, Bernal Brooks (1988) reporta 6.0 m de transparencia. A partir de 1995, con el estudio de Santos-Melgoza que realiza el análisis de calidad de agua más completo que se tenía hasta el momento, desembocó un mayor interés por estudiar las características físicoquímicas del lago, debido a que reportó un incremento importante de nitrógeno y fósforo en el cuerpo de agua, así

como la presencia de coliformes fecales, lo cual ya indicaba que el LZ se encontraba en proceso de deterioro. Bernal-Brooks *et al.* (2016), mediante estudios de limitación nutrimental, concluye que en la última década el LZ ha mostrado un claro proceso de deterioro o eutrofización.

El deterioro de la calidad del agua del LZ, se relaciona con fuentes de contaminación tanto puntuales como difusas. En cuanto a la contaminación puntual, se sabe que el lago es receptor de las aguas negras de los poblados de la cuenca; y fue hasta el 2014 que entró en operación una planta de tratamiento de agua residual. Ésta planta es de tratamiento secundario y tiene capacidad para un volumen de 40 L/s (Comisión Estatal de Agua y Cuencas, sin fecha); se ubica en la parte media de la cuenca, en el arroyo la Palma el principal afluente del LZ, por lo que sólo trata los efluentes de Santa Clara del Cobre y Opopeo. Así que, a pesar de ser relevante el hecho de que ya se encuentre instalada una planta de tratamiento de aguas residuales, ésta es insuficiente debido a su capacidad y ubicación, ya que no alcanza a cubrir la necesidad de limpieza de los desechos de la mayor parte de los asentamientos humanos, sumados a éstos, los desechos que generan los visitantes turísticos, ya que el turismo es una actividad económica relevante dentro de la cuenca.

En cuanto a las fuentes de contaminación difusa, la literatura menciona que éstas están estrechamente relacionadas con las actividades dentro de la cuenca y por lo tanto con el uso del suelo. De ésta manera, la remoción de bosque o deforestación es la principal actividad que genera contaminación difusa hacia los cuerpos de agua, debido a que incrementa la cantidad de azolve que desemboca en los cuerpos de agua. Los usos o coberturas que sustituyen al bosque, también generan particulares fuentes de contaminación no puntual a partir de los escurrimientos que se producen por la ausencia de cobertura forestal, como son, los escurrimientos agrícolas, urbanos y pecuarios; y como se describió anteriormente, las principales actividades económicas dentro de la cuenca, que dan uso al suelo, son: agricultura y turismo; sumados al uso del suelo para asentamientos humanos.

Por otro lado, las comunidades ejidales e indígenas aseguran que la contaminación del lago está relacionada con problemas de salud en la población, particularmente en los años en que se observa en el lago un mantillo verde en la

superficie, concretamente asocian el uso del agua del lago con el incremento de enfermedades intestinales y hepatitis. Esta inquietud impulsó en el 2013, a los pobladores de la cuenca, particularmente de Zirahuén y Copándaro a comunicar su preocupación a las autoridades municipales, estatales y al sector académico una evaluación del lago con la finalidad de conocer el factor que podría estar ocasionando éstos problemas de salud.

Al respecto, Gómez-Tagle *et al.* (2013) realizaron un diagnóstico en el que encontraron como principal componente del fitoplancton a *Microcystis* sp., una microalga tóxica con potencial para producir padecimientos intestinales, hepáticos e inflamación de piel y mucosas en el ser humano, así como la presencia de coliformes que es un indicador de contaminación fecal. Para 2015 Hernández-Morales *et al.* (2016) monitorearon la distribución espacial de *Microcystis* sp., en el lago y determinaron la relación de éste organismo con la incidencia de enfermedades en los sitios de muestreo; encontraron relación espacial con padecimientos gastrointestinales y otitis, es decir, en los sitios de muestreo donde se encontró mayor abundancia de éste organismo las poblaciones presentaron mayor incidencia de los padecimientos mencionados. Al respecto, Pizzolon (1996) menciona que la composición del fitoplancton está relacionada con el tipo y modalidades de uso de la tierra en la cuenca hidrográfica, como la deforestación, que traen como resultado la eutrofización y por lo tanto, cambios cualitativos y cuantitativos en las comunidades de fitoplancton.

Es por eso que la presente investigación busca probar la relación en el tiempo entre los procesos de: deforestación, deterioro de la calidad de agua del lago de Zirahuén e incremento en la incidencia de padecimientos en la población que correspondan a los elementos presentes en el lago que puedan ser determinantes para la salud del ser humano. Lo anterior con la finalidad de generar herramientas científicas que sustenten la planeación de acciones más sustentables dentro de la cuenca.

## 1.2. Importancia y Justificación

En México los lagos son escasos, el estado de Michoacán posee tres lagos que son parte de los cuerpos de agua dulce más importantes del país: Pátzcuaro, Cuitzeo y Zirahuén. El lago de Pátzcuaro es emblemático para el estado de Michoacán debido a que la población purépecha que habita en la cuenca ha mantenido vivas muchas de sus costumbres, así como también por poseer diversas especies de flora y fauna endémicas del estado; también tiene gran relevancia por su extensión ya que es el tercer lago del país con mayor superficie. El lago de Cuitzeo posee poca profundidad pero es el segundo más extenso de México (Bernal-Brooks, 1998); se localiza entre los estados de Guanajuato y Michoacán y es sumamente importante para el ecosistema de ambos estados, particularmente porque forma parte de una red de reservas para aves migratorias (Villaseñor, 2010).

Por su parte, el lago de Zirahuén es de los más profundos y jóvenes del país, lo caracteriza su transparencia y belleza no sólo del lago sino también de los densos bosques que lo rodean (Ortiz-Paniagua y Beatriz-Rendón, 2010). Biológicamente es único ya que posee propiedades de lago tropical pero dentro de una altitud elevada e inmerso en bosque templado (Martínez-Almeida y Tavera, 2005); es reservorio de diversas especies endémicas de la zona lacustre de Michoacán y forma parte de la región purépecha. El LZ a diferencia de Pátzcuaro y Cuitzeo, se encuentra en un mejor estado de conservación. Pátzcuaro ha bajado su nivel casi a la mitad de lo que poseía hace más de una década y su estado de salud es eutrófico. Cuitzeo ha bajado tanto su nivel de agua que en la época de secas reduce significativamente su extensión, y su estado de salud indica hipereutrofía, por lo que su recuperación ya será difícil y costosa (Hernández-Morales *et al.*, 2016).

En la CLZ se han llevado a cabo sistemáticamente actividades extractivas como la tala de bosques nativos, y otras actividades no extractivas en torno al lago como el turismo. El cambio de cobertura/uso del suelo dentro de la cuenca ha sido uno de los principales factores de perturbación a los ecosistemas; los cambios de vegetación nativa han sido principalmente hacia asentamientos humanos y de manera particularmente relevante en los últimos años, hacia la expansión de cultivo intensivo de aguacate. Sin embargo, el lago de Zirahuén se consideró mesotrófico o saludable



hasta hace poco más de una década. Algunos autores como Bernal-Brooks y colaboradores (2016) mencionan que de manera reciente el lago comenzó a mostrar signos de deterioro, por lo que se considera urgente actuar para evitar que avance ésta condición, y esto sólo es posible actuando a nivel de cuenca.

Las actividades y usos del suelo dentro de una cuenca son las que definen en gran medida el estado de salud de los cuerpos de agua, ya que la cuenca es la unidad física básica en la regulación del ciclo hidrológico (Maass, 2003). La cuenca es un área que delimita la superficie en donde la lluvia y el agua superficial drenan hacia el colector, como puede ser un lago (Gaspari *et al.*, 2009). Lo que sucede cuando el agua se transporta sobre la tierra hacia el cuerpo receptor, determina en gran medida su calidad hídrica. La mayoría de los problemas de los cuerpos de agua como agua turbia, malezas acuáticas, espuma verde, muerte de peces por falta de oxígeno, entre otros, son reflejo de los diferentes usos en la cuenca. Por lo tanto, la restauración y el manejo de un lago se traduce a trabajar tanto con el cuerpo de agua como con su cuenca promoviendo actividades sustentables (Smith, 2003).

Se conoce que los cuerpos de agua deteriorados son una de las principales fuentes de transmisión de enfermedad gastrointestinales, particularmente en los países en vías de desarrollo y especialmente en el medio rural; debido a que los cuerpos de agua son fuente directa de agua para uso doméstico y consumo (Fewtrell *et al.*, 2005), como es el caso de las localidades que se encuentran en la CLZ (Hernández-Morales *et al.*, 2016; Moreno-Calles *et al.*, 2013). Existe una gran preocupación por el LZ por parte de la población que habita en la cuenca debido a que observan cambios en el agua como su coloración y transparencia, y asocian éstos cambios al incremento de padecimientos gástricos y hepáticos en la región; por lo que en el año 2013 diversos representantes de algunas de las localidades de la cuenca solicitaron a las autoridades pertinentes de la ciudad de Morelia que investigaran la causa de los cambios que percibían en el lago, y el componente en el agua que podría estar causando dichos padecimientos; al respecto la universidad estatal (UMSNH) realizó una evaluación de calidad de agua del lago, que confirmó la condición del lago de Zirahuén en proceso de deterioro por el elevado y atípico contenido de nutrientes y de *Microcystis* sp., una microalga tóxica que caracteriza a los cuerpos de agua en

proceso de eutrofia (Gómez-Tagle *et al.*, 2013). Más adelante, Hernández-Morales *et al.* (2016), dan a conocer un estudio en el que reportan una relación espacial entre determinadas enfermedades y la abundancia de *Microcystis* sp., en las localidades rivereñas donde el lago presentó mayor abundancia de *Microcystis* sp., resultó mayor la presencia de padecimientos intestinales y de inflamación de oído (otitis).

Sin embargo, no se han realizado investigaciones científicas que aborden las posibles causas del deterioro del lago, o los factores que se relacionan a esta condición. Por lo que es necesario analizar la problemática de la calidad de agua del LZ dentro del contexto del sistema de cuenca, y abordarlo como un problema ambiental que por definición contiene elementos de las poblaciones humanas y de los ecosistemas, así como las interacciones más relevantes para responder a las preguntas de investigación. Es por eso que la presente investigación busca probar la relación en el tiempo entre los procesos de: deforestación, deterioro de la calidad de agua del lago de Zirahuén e incremento en la incidencia de padecimientos en la población que correspondan a los elementos presentes en el lago que son determinantes para la salud del ser humano. A través de la comprensión de la relación entre éstos elementos se podrá sustentar una solución a nivel de cuenca.

La relevancia del presente estudio no se limita al ámbito local o regional, ya que el deterioro de los cuerpos de agua es un problema mundial, bajo diferentes contextos e inmersos en las particularidades de la región en que se localizan (Gleick, 1993), pero en los que es posible encontrar similitudes y patrones que ayuden a encontrar vías de análisis de las diversas problemáticas, así como de solución. Otro elemento del presente estudio que es de relevancia nacional y mundial es que en la cuenca del lago de Zirahuén se genera una parte importante de la producción de aguacate del estado de Michoacán, uno de los cultivos más emblemáticos y económicamente significativo para el país (De la Tejera *et al.*, 2012; Garibay Bocco, 2011); el cultivo de éste fruto se está expandiendo hacia otras regiones del país donde antes no se cultivaba, incluso hacia otros países como Chile y Colombia. Sin embargo, se conoce poco sobre las implicaciones ambientales y sociales a las que se asocia el cultivo de éste fruto bajo el modelo de producción agrícola intensiva.

### 1.3. Universo de la Investigación

El universo de la investigación hace referencia a un fragmento de la realidad susceptible de estudiarse, contiene elementos de análisis dentro de una dimensión temporal y espacial. Algunos autores señalan el término universo de investigación como población (Hernández *et al.*, 2014), otros autores determinan al universo como todo elemento integrado a una determinada área donde se lleva a cabo la investigación, incluyendo así personas, objetos, sistemas, procesos y elemento abióticos como el aire, agua y suelo (Carrasco, 2009; García, 2006); bajo éste enfoque es necesario realizar una adecuada delimitación del universo que integre las unidades de análisis pertinentes, los elementos elegidos dependerá de las preguntas de investigación que guíen el estudio (García, 2006.). En la presente investigación el universo de estudio se ajusta a éste último enfoque, debido a que se aborda una problemática ambiental que por definición, incluye diversos elementos de las poblaciones humanas y de los ecosistemas, así como de las interacciones y procesos que se generan entre éstos.

El espacio que comprende nuestro universo de estudio es la cuenca del lago de Zirahuén, en el estado de Michoacán, México. Ésta cuenca se ubica en el centro-occidente de México sobre el Eje Neovolcánico Transversal, donde predominan bosques templados, lagos y humedales (Ortiz-Paniagua y Rendón-López, 2010). La vegetación nativa de la cuenca consiste en pastizales, vegetación riparia, y cuatro tipos de bosque: bosques de Pino (*Pinus* spp.), bosque de Encino (*Quercus* spp.), bosque de Oyamel (*Abies religiosa*) y bosque mesófilo de montaña. Los bosques de pino y encino constituyen los tipos de vegetación nativa dominantes en el paisaje, éstos bosques se entremezclan en diferente grado para producir bosques de tipo mixto, donde el pino domina en zonas con mayor elevación, mientras que el encino se presenta en zonas más bajas, con suelos más pobres y topografía más agreste. Los bosques de oyamel se presentan en las áreas frías y húmedas por encima de 2800 msnm, los bosques mesófilos de montaña se encuentran en áreas más bajas y húmedas, generalmente en las cañadas (Moreno-Calles *et al.*, 2013). Las características de la fauna de la CLZ es bastante próxima a la cuenca de Cuitzeo y Pátzcuaro. Cuenta con especies endémicas pertenecientes a diversos grupos de aves,

peces y mamíferos. Una de las especies endémicas particularmente conocida de toda la región lacustre de Michoacán es el pescado blanco, así como otras especies de peces de la familia *godeidae*. En cuanto a los bosques de la región, también son hábitat de una gran variedad de especies como es el venado cola blanca, armadillos y otros mamíferos característicos de bosques templados.

La cuenca del lago de Zirahuén es endorreica, es decir, el agua pluvial permanece dentro de la cuenca en sus diversos cuerpos de agua, ya sea ríos, lagos, lagunas, manantiales, entre otros. Dentro de la cuenca se encuentran dos cuerpos de agua lénticos: el lago de Zirahuén con una extensión de 939.1 hectáreas (ha) y la laguna el Retajo con extensión de 61.4 ha, siendo así el LZ el más destacado por su extensión, que conlleva una gran riqueza biológica, paisajística, relevancia económica y cultural. El cauce principal que suministra agua al LZ es el arroyo la Palma o el Silencio que se origina en la parte oriental de la cuenca y que colecta los escurrimientos superficiales de la mayor parte de la cuenca a través de sus vertientes de drenaje, otros arroyos y escurrimientos que llegan al lago (Ávila, 2014; Ortiz-Paniagua y Rendón-López, 2010).

La topografía que delimita la cuenca del lago de Zirahuén colinda al norte con la cuenca del lago de Pátzcuaro. Las dos principales elevaciones que se identifican en la cuenca son el cerro de San Miguel con 2980 msnm, ubicado al oriente del lago, y el cerro Burro con 3280 msnm al noreste. Con base en su topografía el relieve del terreno se compone de 17.1% de sierras, 28% de terrenos planos o con poca inclinación, 51% de lomeríos y 3.9% del espejo de agua (Chacón *et al.*, 2010). El LZ se encuentra a 2075 msnm y pertenece a la región hidrológica número 18 denominada río Balsas. El clima que predomina es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación anual de 1182.6 mm (Correa *et al.*, 2003)

El LZ es de gran importancia hidrobiológica a nivel estatal y nacional ya que es reconocido como uno de los lagos más jóvenes, profundos y transparentes de México. Es el más conservado de los lagos que forman la región lacustre de Michoacán, sin embargo, en la última década ha comenzado a presentar signos alarmantes de deterioro (Bernal-Brooks *et al.*, 2016). Su importancia local radica en que es la principal fuente de abastecimiento de agua para la región, es el sustento económico para

pescadores, agricultores y la población que dedicada al turismo ya que el lago constituye uno de los principales atractivos (Ortiz-Paniagua y Rendón-López, 2010); el lago también regula el clima regional, el ciclo hidrológico y de diversos nutrientes (Pineda-Reyes *et al.* 2015)

En este ambiente de gran riqueza biológica e hidrológica se asentaron en la época prehispánica grupos indígenas Purépechas, que florecieron gracias a las condiciones biofísicas de la cuenca, sus formas de organización social y estrategias de uso y manejo integral de los recursos naturales (Ávila, 2014). Los Purépechas es uno de los grupos sociales más importantes del posclásico mesoamericano, alcanzaron una gran extensión en la zona lacustre de lo que hoy es Michoacán, extendiendo su dominio hacia el occidente de México: Guanajuato, Querétaro, partes de Jalisco y Guerrero. La gran extensión que alcanzó el imperio tarasco le permitió un mejor aprovechamiento de los recursos naturales sin provocar un deterioro ecológico importante. Para su alimentación aprovecharon la gran diversidad de los ecosistemas existentes, sus estrategias productivas se basaron en el cultivo de maíz, frijol y calabaza; así como en el aprovechamiento de plantas, leña y madera provenientes de los bosques. Además, el uso de los recursos estaba determinado entonces por su cosmovisión indígena mesoamericana, donde el territorio era concebido como una matriz de suelo-agua-bosque, considerado como un patrimonio colectivo que no podía fragmentarse ni destruirse; y las decisiones sobre su uso se basaban en la organización social regida por usos y costumbres bajo una compleja estructura de cargos (Ávila 2014; Garibay y Bocco, 2011).

En la actualidad, los pueblos purépechas habitan en cuatro zonas del estado de Michoacán ubicadas en el eje neovolcánico transversal, dentro de una altitud entre los 1,600 y 2,600 msnm. El total de su territorio se extiende a lo largo de 6,000 km<sup>2</sup>, lo que representa el 10% del área total del estado, superficie bastante mermada si se considera su extensión en la época prehispánica. En la cuenca del LZ se ubica uno de los remanentes de población purépecha, en donde coexisten y comparten el territorio con la comunidad mestiza y actores externos a la región. Las localidades indígenas se caracterizan por tener un asentamiento de tipo compacto, con algunos poblados o localidades periféricas formadas por unas cuantas viviendas. La población mestiza

vive principalmente en los centros urbanos que rodean el área purépecha y la cabecera municipal que son Salvador Escalante y Pátzcuaro (Ávila et al., 2014). Casi la totalidad de la cuenca pertenece a Salvador Escalante, ya que de un total de 32 asentamientos humanos, 26 pertenecen a éste municipio, mientras que sólo 6 al municipio de Pátzcuaro (Ortiz-Paniagua y Rendón-López, 2010).

Las actividades productivas de la región están ligadas a los diferentes grupos de población, que son, la comunidad ejidal, comunidad indígena y la unión de pescadores (Moreno-Calles *et al.*, 2013). Tanto la comunidad ejidal como la indígena desarrollan actividades de agricultura de temporal, que al igual que la pesca son principalmente para autoconsumo ya que estas actividades fueron perdiendo importancia económica por medio de diversos procesos, que en el caso de la agricultura desembocó en la quiebra de la economía campesina (Garibay y Bocco, 2011).

Hasta antes de los años cuarenta, la dinámica económica se concentraba principalmente en un mercado de alcance regional, donde se vinculaban las actividades domésticas de las familias y de los pueblos, los artesanos de madera, pescadores, ceramistas, tejedores de lana y algodón, herreros, agricultores, entre otros oficios, ofrecían sus mercancías. El primer proceso de cambio a ésta forma de comercio fue la construcción de la carretera panamericana con sus diversos ramales, y la pavimentación de las carreteras en las siguientes décadas, con lo que inició el desplazamiento de productos artesanales por productos industriales que llegaban de otras regiones, así comenzó la quiebra de muchos oficios artesanales y la economía campesina (Garibay y Bocco, 2011; Ávila, 2014).

Para los años setentas, con la revolución verde la economía campesina regional se fue en declive, y comenzó la forma de producción agrícola en monocultivos comerciales a gran escala, en éste contexto inició el cultivo de aguacate *Hass* en el estado de Michoacán, que a partir de la década de los ochenta transformaría el paisaje del estado, particularmente de la región purépecha donde se concentró su producción y con ello los cambios sociales y ambientales derivados de ésta actividad (Ávila, 2014; Garibay y Bocco, 2011). Anteriormente, en los años cincuenta, se sembraba aguacate de variedades criollas como un producto secundario para proporcionar sombra a otros

cultivos. A finales de la década de los sesenta se introdujo la variedad de aguacate Hass proveniente de California, ésta variedad fue apreciada por los mercados nacionales e internacionales por su condición de aguacate succulento y por la dureza de su cáscara que permitía resistir mejor su transporte. A partir de 1980 los frutales dominaron las zonas de cultivo en Michoacán definiendo así un perfil frutícola, donde el aguacate pronto comenzó a dominar en cuanto a superficie y valor comercial (De la Tejera *et al.*, 2012). Desde entonces Michoacán se perfiló como el primer productor de aguacate en el mundo de la que una gran parte se exportaría, lo que exige a los productores un elevado uso de agroquímicos para mantener el cultivo intensivo, así como cumplir con las exigencias internacionales de calidad e inocuidad (De la Tejera *et al.*, 2012; Thiébaud, 2011).

En 1997 cuatro municipios del estado obtuvieron certificación para exportar aguacate a Estados Unidos, ya que cumplieron con las normas fitosanitarias respecto a la plaga del barrenador de hueso que había sido la principal barrera no arancelaria que impedía la comercialización a ese país. Así Michoacán comenzó a exportar aguacate a Estados Unidos que en unos años se convertiría en el principal importador de aguacate michoacano. Entre los municipios exportadores de aguacate se ubicó desde el inicio Salvador Escalante, que abarca la mayor parte de la cuenca del lago de Zirahuén. En los siguientes años iría en incremento la demanda de éste fruto, y se agregarían unos cuantos municipios más a la exportación de aguacate (De la Tejera *et al.*, 2012; Garibay y Bocco, 2011).

Actualmente la producción de aguacate se ha concentrado en diez municipios que es donde se genera el mayor volumen de producción, y se menciona que particularmente en algunos municipios se ha profundizado la expansión de este cultivo entre los que se encuentra Salvador Escalante, esto ha significado mayor concentración espacial del cultivo, y por lo tanto también los efectos ambientales y sociales que se derivan de ésta actividad (De la Tejera *et al.*, 2012).

Las huertas comerciales de aguacate es uno de los principales usos que los propietarios privados le dan a su territorio, éstos actores en su gran mayoría son externos a la comunidad de la cuenca y utilizan fuerza de trabajo asalariado proveniente de las diversas localidades de la región (Argueta y Castilleja, 2008). Bajo

el mismo esquema, desde hace aproximadamente veinte años se desarrolló el turismo en la región, donde los propietarios privados emplean a la población de la cuenca que a la par también desarrolla actividades comerciales vinculadas al turismo, principalmente la venta de artesanías. Estas actividades turísticas se llevan a cabo en los tres muelles de la cuenca, de los cuales dos pertenecen a propietarios privados y uno a la comunidad ejidal, pequeños propietarios de Zirahuén, y en menor medida integrantes de la comunidad indígena (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Tanto el turismo como el cultivo de aguacate son actividades que han transformado en las últimas décadas la estructura productiva de la región (Sandoval-Hernández, 2006), y con ello la cobertura vegetal, el uso del suelo y las relaciones entre actores. A pesar de la alta demanda del turismo, y del éxito del sector aguacatero en la CLZ que ha convertido a ésta actividad en un pilar económico del estado de Michoacán, la población que habita la cuenca sigue siendo de las más pobres del estado (Ávila, 2014; Villanueva y Zepeda 2016). Esta ambigüedad es considerada consecuencia de la concentración del cultivo en una minoría territorial, así como los beneficios en un número reducido de productores externos a la región; en cambio, las problemáticas que se derivan de éstas actividades se concentran dentro de la cuenca (Dela Tejera *et al.*; 2012). Las principales problemáticas que se presentan en la cuenca del lago de Zirahuén son: pobreza, deterioro del bosque, el suelo, de los cuerpos de agua, y pugnas por la tierra (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Particularmente los problemas que se detectan en la cuenca del LZ asociados a la especialización económica en el cultivo de huertas de aguacate, son: 1) la degradación ambiental debido a la deforestación asociada a la expansión de las huertas, el intensivo del uso del suelo y recursos hídricos; 2) el acaparamiento de tierras por las elevadas ganancias del cultivo de aguacate; 3) el riesgo económico ante cambios en el entorno externo (Ortiz-Paniagua *et al.* 2010).

En la esfera ambiental, existen diversos problemas que se derivan de monocultivos comerciales a gran escala que se basan en las relevantes diferencias en la práctica con los cultivos tradicionales. Tradicionalmente los cultivos son de temporal, se basan en el policultivo y descanso de la tierra en barbecho por uno o más años tras haber sido empleado para producir varios años consecutivos, permitiendo así que la



tierra se recupere (Bravo *et al.*, 2012); el uso de insumos agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas es muy reducido. La siembra es con semillas no modificadas, lo que permite la conservación de las diferentes variedades de cultivos (Astier *et al.*, 2010). En cambio, los cultivos intensivos requieren de la aplicación frecuente de agroquímicos, lo que puede impactar de manera negativa a los cuerpos de agua, y alterar los ciclos de diversos nutrientes como el nitrógeno (Wauchope, 1978; Rose *et al.*, 1991). También se hace uso de maquinaria, que con el tiempo compacta el suelo reduciendo así su calidad; el tipo de semillas que se utilizan se homogenizan por lo que paulatinamente se pierde la variedad genética de los cultivos, y con ello su resistencia a plagas y enfermedades (Astier *et al.*, 2010).

Por otro lado, las actividades productivas, la dinámica social y económica están estrechamente vinculadas al tipo de tenencia de la tierra y a su proceso histórico de conformación (Nava, 2010). Actualmente la población ejidal e indígena de la cuenca argumentan títulos de propiedad falsos por parte de actores externos a la comunidad que pretenden cambiar el uso del suelo (Moreno-Calles *et al.*, 2013). El cultivo de aguacate ha provocado conflictos al interior de las comunidades debido a que ha acelerado el proceso de privatización de la tierra, y creado una brecha cada vez más distante entre los poseedores de la tierra y quienes se limitan a ser jornaleros de las huertas aguacateras (Garibay y Bocco, 2011); esto ha desembocado en pugnas por la tierra entre ejidatarios, comuneros y los propietarios privados (Ávila, 2014; Nava, 2010).

Actualmente se han unido la comunidad ejidal y la indígena en una visión de lucha conjunta en defensa de sus tierras y por los cuerpos de agua, principalmente el lago de Zirahuén (Moreno-Calles *et al.* 2013); en la cuenca existe una larga trayectoria de lucha por la defensa de sus tierras comunales y sus recursos naturales, para comprender ésta lucha es necesario conocer los antecedentes históricos que vienen desde la época de la colonia.

Durante la Colonia la población indígena fue afectada por epidemias y enfermedades, a la población remanente los españoles les concedieron títulos virreinales sobre tierras en las partes más altas y agrestes de la cuenca, con el fin de

tener disponibilidad de mano de obra para iniciar con su estrategia colonizadora (Ávila, 2014).

Las Leyes de Colonización implantadas desde 1824 por el Congreso de la Nación y aplicadas desde 1827 por sucesivos decretos del Gobierno del Estado de Michoacán, despojaron a las comunidades de lo que llamaron "tierras baldías". Su parcelación y enajenación por compraventa pretendió sustraerle a la comunidad su base material, para así impulsar la disolución de las estructuras intracomunales e integrar a sus miembros individualmente en la nación mexicana. Esta estrategia llega a sus límites cuando el gobierno federal de Benito Juárez (1861-1872) aplica la Ley de Desamortización de 1856, también conocida como Ley Lerdo, lo distintivo de esta iniciativa gubernamental consiste en que, en lugar de intentar arrebatar paulatinamente a la comunidad su base material empezando por sus tierras baldías, directamente deroga su base jurídica. La desamortización, confirmada en la Constitución de 1857, disuelve las estructuras corporativas negándoles su personalidad jurídica. Desde entonces, las así llamadas "extinguidas comunidades" pierden su capacidad de pleito legal. El único recurso que les queda a los comuneros es obstruir mediante una resistencia pasiva el proceso de parcelación y enajenación de las propiedades comunales, proceso que ya no se limita a los terrenos baldíos, sino que incluye todas las tierras de titularidad comunal (Ávila, 2014; Nava, 2010).

Cuando Porfirio Díaz subió al poder en 1876 se precipitó la puesta en práctica de las desamortizaciones. En esta situación, muchas comunidades acceden a transferir estas tierras a determinados comuneros a título individual, para impedir que sean declaradas tierras deslindables. Sin embargo, la mayor parte de las tierras comunales se tienen que vender a gente de fuera de la comunidad para generar ingresos suficientes que financien el proceso de deslinde, parcelación y titulación individual de las tierras, puesto que todos estos gastos corren a cargo de la ex-comunidad.

Durante la Revolución Mexicana (1910-1917) la reforma agraria se convierte en el principal motor de la expansión del Estado en la región purépecha. La reforma agraria se implanta a partir de 1918 bajo una modalidad elegida por el Gobierno del Estado que sienta las bases para la futura política agraria aplicada a la región

purépecha. Se hizo reparto agrario en propiedades en las que existan suficientes tierras a repartir, sin que ello afecte la propiedad de caudillos leales a la revolución, pero sustituyendo la demanda de restitución de tierras comunales por un decreto de dotación de tierras ejidales (Ávila, 2014).

Como siguiente paso para la liberalización y privatización de tierras comunales, en 1992 se realizó una reforma constitucional que restableció las bases jurídicas para el sometimiento de la tierra al poder del capital y la generación de relaciones capitalistas en el campo: la reforma al Artículo 27º de la Constitución Mexicana mediante la cual se incorporó el suelo ejidal al desarrollo urbano legal. Así se permitió la venta de suelo ejidal y comunal para, supuestamente, combatir las urbanizaciones ilegales ya que antes de esto la Ley Agraria prohibía la enajenación de tierras ejidales y su urbanización. Esta liberalización condujo a la misma situación anterior a la reforma agraria: la concentración de la tierra en manos de pocos y un campo sin campesinos (Bachmann-Fuentes, 2014).

Actualmente, los comuneros de la CLZ han tenido problemas por la apropiación y privatización de sus tierras por gente externa, la existencia de escrituras de compra-venta en terrenos comunales que se encuentran en litigio es algo que preocupa mucho a los comuneros de Zirahuén, porque es a través de la mercantilización ilegal de tierras, es como pueden perder su lucha agraria histórica por el reconocimiento de sus tierras ancestrales que cuentan con títulos virreinales (Nava, 2010).

Esto muestra que las raíces históricas del conflicto son pre y post revolucionarias, donde el factor común es la prevaricación, la violación o ignorancia deliberada de la ley y de los derechos de un grupo social, para favorecer intereses de actores privados. Los actores locales como campesinos e indígenas, a través de sus usos y costumbres y formas de organización social y política se han movilizado para la defensa de su territorio y en particular para evitar el despojo de sus bosques, aguas y suelos. Sus planos de acción colectiva y movilización social han ido desde las escalas nacional y regional hasta locales (Ávila, 2014).

Como se mencionó anteriormente, en la presente investigación se aborda una problemática ambiental: el cambio de cobertura/uso del suelo en la CLZ, y su relación con la calidad de agua del lago y la salud de la población de la cuenca. Por lo tanto, el

fragmento de realidad que se propone estudiar involucra elementos de la población humana que habita en la cuenca, del bosque y del LZ, así como los procesos que los relacionan. Los resultados obtenidos al cumplir con los objetivos planteados, serán de gran relevancia para la población de la cuenca debido a que pueden ser de utilidad para realizar una planeación sustentable que ayude a resolver parte de la problemática socioambiental de la cuenca.

#### **1.4. Objetivos**

##### **Objetivo General**

Realizar un diagnóstico ambiental sobre el deterioro de la calidad de agua del Lago de Zirahuén, por medio del análisis de la relación en el tiempo entre los procesos de disminución de la calidad de agua del LZ, cambio de cobertura/uso del suelo dentro de la cuenca, y prevalencia de enfermedades de origen hídrico en la población.

##### **Objetivos específicos**

1. Recopilar información científica sobre la evaluación de parámetros de calidad de agua del lago de Zirahuén y sistematizar una base de datos.
2. Identificar por medio de literatura especializada, los parámetros que son factores de riesgo para la salud de la población que hace uso del LZ.
3. Realizar un análisis estadístico con los parámetros de calidad de agua para conocer si hay cambios significativos en el tiempo.
4. Realizar dos mapas de cobertura/uso del suelo de la cuenca, uno para 1995 y otro para el 2015.
5. Localizar y cuantificar los cambios de cobertura/uso del suelo entre 1995 y 2015.
6. Obtener información cuantitativa oficial (secretaría de salud pública) sobre las enfermedades que padece la población de la cuenca del lago de Zirahuén entre 1995 y 2015.
7. Elegir las enfermedades que se puedan relacionar, en base a la literatura especializada, con los parámetros de calidad de agua del LZ que se hayan identificado

como factores de riesgo para la salud de la población que hace uso del recurso hídrico, y sistematizar una base de datos.

8. Realizar un análisis estadístico con los padecimientos seleccionados en el objetivo anterior, para conocer si hay cambios significativos en el tiempo.

9. Analizar las implicaciones ambientales y sociales de los resultados para desarrollo de la cuenca.

### **1.5. Preguntas de investigación**

Se sabe que el estado de Michoacán presenta una de las tasas de deforestación más elevadas de México (CEF, 2007), y debido a que también es donde se ha expandido en mayor medida el cultivo comercial de aguacate, se presume que las altas tasas de deforestación en Michoacán es consecuencia de la expansión de éste cultivo (CEF, 2007; Garibay y Bocco, 2011; Moreno-Calles *et al.*, 2013). Este cambio de cobertura/uso del suelo (CCUS) es de gran relevancia para los recursos hídricos del estado, ya que el bosque nos provee de los servicios hidrológicos de cantidad y calidad de agua. Otros estudios sugieren que el proceso de CCUS no ocurre de la misma forma en todas las regiones aguacateras (Barsimantov y Navia, 2012; De la Tejera *et al.*, 2012); por lo que se menciona por varios autores la necesidad de realizar estudios regionales sobre el CCUS en relación con la expansión de huertas de aguacate, así como sus consecuencias ecológicas y sociales (Barsimantov *et al.*, 2012; De la Tejera *et al.*, 2012; Garibay y Bocco, 2011).

Por otro lado, la población que habita en la cuenca así como estudios realizados en la CLZ (Moreno-Calles *et al.*, 2013; Gómez-Tagle *et al.*, 2013; Hernández-Morales *et al.*, 2016), mencionan que existen problemáticas en cuanto al bosque, el lago y la salud de la población, y suponen que estas están relacionadas entre sí. Sin embargo, no existe evidencia científica que lo demuestre, lo cual es una herramienta indispensable para incidir en la solución de éstas problemáticas.

Así que, a partir de la información generada hasta el momento por diversas investigaciones, las inquietudes de la población, y los vacíos de información existentes,

las preguntas planteadas en el presente estudio que serán guía durante el proceso de investigación, son las siguientes:

1. ¿Existe disminución de la calidad de agua del LZ? ¿Qué parámetros indican ésta condición?
2. ¿Cómo ha ocurrido el proceso de cambio de cobertura/uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén entre 1995 y el 2015?
3. ¿Existe una tendencia significativa en el tiempo al incremento de la prevalencia enfermedades de origen hídrico en la población?
4. El proceso de CCUS ¿tiene coincidencia en el tiempo con al deterioro de la calidad del agua del LZ?

## **1.6. Hipótesis**

### **Hipótesis General**

Lo que esperamos encontrar en la presente investigación es que:

En la cuenca del lago de Zirahuén existe un proceso de sustitución de cobertura boscosa por cultivos en huertas, y esto ha llevado a un proceso de disminución de la calidad de agua del lago, así como al incremento de la prevalencia de enfermedades de origen hídrico en la población que habita en la cuenca.

Es decir, se espera encontrar una relación espacial y temporal de tres procesos: deforestación, disminución de la calidad de agua de lago de Zirahuén y el incremento de padecimientos de origen hídrico en la población que habita en la cuenca.

### **Hipótesis específicas**

1. Se espera encontrar como principal proceso de CCUS la sustitución de superficie boscosa por huertas.
2. Se espera observar una tendencia significativa en el tiempo de disminución de la calidad de agua del LZ, así como de incremento de la prevalencia de enfermedades de origen hídrico en la población

### 1.7. Método y Metodología

El método, según Bunge (1960), es un procedimiento regular y explícito para lograr algo, un proceso operativo necesario para obtener un resultado determinado. Frente a estas definiciones se llega a lo que es el método científico, que es un método de investigación usado para la producción de conocimiento en las ciencias. El método científico tiene como objetivo comprender ciertos fenómenos y poder predecir otros, éste ejercicio se realiza a través de la formulación de preguntas con base en la observación de la realidad y las teorías ya existentes. El método científico tiene una serie de etapas que han de seguirse para así tener certeza que los resultados son de índole científica, éstas son: a) definición del problema, b) formulación de hipótesis, c) recopilación y análisis de datos, d) confirmación o rechazo de hipótesis, e) resultados, f) conclusiones (Hernández *et al.*, 2014)

Una investigación científica puede tener cuatro alcances, primero es el alcance exploratorio, que se realiza cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado. El segundo, es el estudio de alcance descriptivo, que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. El tercero, es el estudio de alcance correlacional, que asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. El cuarto, es el estudio de alcance explicativo, este pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian. La definición del alcance de una investigación depende básicamente del estado de conocimiento del tema de investigación mostrado en la revisión de la literatura, y también de la perspectiva que se pretenda dar al estudio (Hernández *et al.*, 2014). El alcance de la presente investigación es correlacional-explicativo, debido a que ya existe abundante literatura sobre la descripción de la cuenca del lago de Zirahuén en diversos aspectos, así como estudios específicos, como son de algunos grupos de fauna, aspectos culturales, étnicos y sociales, hidrología, entre otros. Así que a partir de la información generada en ésta investigación y la ya existente, se pretendió buscar correlaciones y posibles explicaciones de los fenómenos abordados.

Para llevar a cabo el método científico, también es necesario un diseño de investigación, que constituye una estrategia que se desarrolla para obtener la

información que se requiere. De manera general son dos los principales tipos de diseños en los que se puede clasificar a una investigación, el primero es el *diseño experimental*, es aquel en el que el investigador manipula de manera intencional por lo menos una variable independiente (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos). El segundo, el *diseño no experimental*, es aquel estudio que se realiza sin la manipulación de variables, sólo recurre a la observación sistemática de los fenómenos tal como se presentan en la realidad, para después analizarlos. El diseño de tipo no experimental se divide en el *transeccionales o transversales*, que se refiere a investigaciones que recopilan datos en un momento único; y *longitudinales o evolutivos*, que son aquellos estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución de un fenómeno, sus causas y efectos (Hernández *et al.*, 2014). El tipo de diseño elegido en esta investigación fue no experimental – evolutivo. No experimental debido a que no se manipularon las variables; y evolutivo porque los datos que se recopilaron abarcan una línea de tiempo momento (1995-2015).

Para sistematizar y organizar la investigación, así como para visualizar la problemática y definir las rutas de análisis utilice la teoría de los sistemas complejos de García, R. (2006). Ésta teoría constituye tanto un marco conceptual como una metodología de investigación o trabajo interdisciplinario para abordar el estudio de sistemas ambientales. Como metodología integradora del conocimiento de diversas disciplinas para comprender un problema ambiental, aporta una estrategia sistemática para definir el universo de investigación, así como las rutas específicas que relacionan a las actividades humanas con el deterioro del medio ambiente; esto se logra a lo largo del desarrollo de la investigación, mediante un mecanismo básico de desarrollo cognoscitivo que implica la retroalimentación reiterada de información generada por disciplinas especializadas que se involucran dentro del sistema, y la visión generalista de la problemática. Por lo que es un trabajo sistémico en torno a la dinámica entre los procesos de diferenciación (especialización) e integración (visión generalista) que tiene como meta un resultado de investigación interdisciplinario que hace inteligible la evolución de un sistema complejo (García, 2006).



Para analizar de manera más localizada las actividades humanas de apropiación, que se encuentren en relación con cambios en la calidad de agua del lago de Zirahuén, utilizo el enfoque de *metabolismo social* (Toledo, 2008), que al igual que la teoría de sistemas complejos, se sustenta en el paradigma del Pensamiento Complejo.

### **1.8. Marco teórico**

El marco teórico hace referencia al conjunto de ideas, conceptos y teorías pertinentes para llevar a cabo el proceso de investigación. Es la teoría que ha de guiar el estudio, ya que establece las coordenadas básicas a partir de las cuales se investiga en una disciplina determinada (Tamayo, 2003). Un marco teórico es una forma de entender e interpretar la realidad a través de una serie de conceptos que funcionan como supuestos teóricos y posibilitan el proceso de investigación. Algunos marcos teóricos conectan con metodologías cuantitativas, mientras que otros tienen una mayor afinidad con metodologías cualitativas (Hernández *et al.*, 2014).

Partiendo del hecho de que el problema objeto de la presente investigación es un problemática ambiental en un espacio específico, que pretende vincular la salud de un ecosistema acuático con la salud humana e investigar las posibles causas o el origen del problema, utilizamos los siguientes enfoques y disciplinas a partir de los cuales se dio forma a la investigación. Para comenzar, se adoptó como forma de pensamiento el paradigma de la complejidad, que avoca a una visión globalizadora del objeto de análisis, considerando la especificidad de cada una de sus partes. Alude a la capacidad de interconectar distintas dimensiones de lo real, por lo que desemboca en un enfoque interdisciplinario (Morin, 1994).

En base a la forma de Pensamiento de la complejidad, se adoptaron definiciones específicas de cuenca, región, salud y desarrollo para guiar la investigación; así como la Teoría de Sistemas Complejos (TSC) y el Metabolismo Social (MS), ambos derivados del paradigma de la complejidad para abordar específicamente los problemas ambientales (García, 2006). La TSC permitió observar el problema de estudio en forma ordenada desde la perspectiva integradora, aportó los elementos conceptuales, así como un método replicable en el análisis de un

territorio complejo. Fue guía para articular la información generada desde cada disciplina o especialidad, que fueron las siguientes: hidrología, demografía, epidemiología y ciencias del suelo. Por su parte, el metabolismo social permitió enfocar, en base a los resultados, los flujos entre el sistema social y ambiental en base al fenómeno de apropiación.

Se adoptaron también dos enfoques que surgen del paradigma de la integración del conocimiento: Ecosalud (EcoHealth) como principio articulador entre la salud humana y la del medio ambiente o los ecosistemas, ya que los integra como parte de un mismo proceso (Betancourt et al. 2015); y el Desarrollo Sustentable como meta o aspiración a la que se pretende llegar, por lo que los resultados derivados de la presente investigación es con el objetivo de que sea de utilidad para acercarse a ésta meta. Tanto el enfoque de ecosalud como el desarrollo sustentable parten de la necesidad de abordar los problemas de desarrollo como problemas complejos y transdisciplinarios, con el objetivo de que las actividades humanas causen el menor impacto posible en el medio ambiente y de esto se derive una mejoría en la calidad de vida de las poblaciones humanas. Surgen a partir una misma idea, y luego se bifurcan, esta idea se puede resumir en la siguiente frase de *Wilcox B. (2004): La salud puede ser vista como un criterio global para juzgar la sostenibilidad humana.*

Finalmente, se utilizó el enfoque de cuenca que desde sus inicios se fundamentó en la idea de concebir las cuencas como 'unidades naturales' para el desarrollo y manejo de los recursos. Este enfoque legitima a través del concepto de cuenca una unidad para el manejo racional de los recursos y para la solución de los problemas que surgen de dichos manejos.

### **1.9. Variables**

- Superficie en hectáreas (ha) de los diferentes usos/coberturas dentro de la cuenca
- Valores de parámetros químicos, físicos y biológicos, que son indicadores de calidad de agua
- Dependiente: prevalencia de enfermedades / Independiente: parámetros de calidad de agua.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO PARA EL ESTUDIO REGIONAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN**

En este capítulo se describen los paradigmas y enfoques en que se encuentra sustentada la presente investigación, en base a éstos se definen los conceptos fundamentales que engloban la problemática de estudio.

### **2.1. Pensamiento Complejo**

El deterioro de la calidad de agua del LZ es la problemática que se aborda en la presente investigación; se analiza dentro del contexto socioambiental del espacio en que se encuentra el lago que es la cuenca, por lo tanto, la calidad de agua del LZ se plantea como un problema ambiental, lo que implica la integración del sistema natural y social. Se explora el cambio de cobertura/uso del suelo como un proceso social y económico que modifica la calidad de agua del lago, y cómo resultado, posibles efectos negativos en la salud de la población de la cuenca que hace uso del recurso hídrico. Por lo tanto, esta investigación implica la interacción entre diversos elementos sociales, económicos y biológicos que de manera convencional no se reúnen en un mismo análisis.

La tendencia dominante de la ciencia contemporánea promueve la especialización y parcelación del conocimiento, lo cual ha conducido en la práctica a la investigación científica dentro de campos inconexos. Este enfoque, dentro de las ciencias sociales ha privilegiado una tendencia a crear abstracciones sin contexto espacial ni conciencia del carácter físico y biológico de los fenómenos humanos, y dentro de las ciencias naturales, ha dado lugar a investigaciones sectoriales en total desconexión con los fenómenos humanos como entes sociales, sin conciencia de la historia y cultura (Toledo *et al.*, 2009). Prueba de lo anterior son los diversos estudios que se han realizado en el LZ sobre la calidad de agua, que han estado enfocados primordialmente a la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos, pero no en relación a otros elementos fuera del sistema del lago.

Sin embargo, desde por lo menos la mitad del siglo XX ha surgido la necesidad de trascender esta objetividad fragmentaria. En diversos campos o dominios del conocimiento se han presentado problemas a resolver que han dirigido a la búsqueda de explicaciones multidimensionales o integrativas, y por lo tanto, a la creación de nuevos enfoques. Esto ha desembocado en la construcción de nuevas propuestas epistemológicas y metodológicas alejadas de los análisis reduccionistas y del enfoque analítico-parcelario (Betancourt *et al.*, 2015; Toledo *et al.*, 2009).

Esta revolución conceptual señala que lo esencial es encontrar el equilibrio entre los dos extremos: ni la vaga totalidad subjetiva, ni la objetividad fragmentaria y precisa investigada por la ciencia contemporánea. Encontrar el punto intermedio, consideran los precursores de éste nuevo paradigma, es la única forma de aproximarse a todas las dimensiones de la experiencia humana. De ésta forma fue como surgió el paradigma de la complejidad, del que se deriva el pensamiento complejo donde emergen diversos enfoques en función de los problemas que se pretenden abordar.

La complejidad hace referencia a un paradigma que se puede concebir como método o cosmovisión, su etimología nos muestra su significado “lo que está tejido en conjunto” (Alarcón, 2015). El pensamiento complejo ha sido construido por diversos autores desde distintas disciplinas, es una forma de pensamiento que actúa como una estrategia que tiene una visión globalizadora de los fenómenos considerando al mismo tiempo la especificidad de las partes. Alude a la capacidad de interconectar distintas dimensiones de lo real, ante la presencia de hechos u objetos multidimensionales, interactivos y con componentes aleatorios, donde el sujeto se ve obligado a desarrollar una estrategia de análisis que no sea reductiva ni totalizante, sino reflexiva. Por lo que se trata de pensar de otra manera los problemas de investigación, bajo un enfoque transdisciplinario y totalizador (García, 2006).

Dentro de éste contexto, se han desarrollado otras formas de hacer investigación, han surgido nuevas áreas de conocimiento y otras se han fusionado surgiendo así nuevas disciplinas. Entre los enfoques que se derivan de la complejidad se encuentran la Teoría de Sistemas Complejos (TSC) y el enfoque del Metabolismo Social (MS). Los sistemas complejos que propone Rolando García (1994) constituyen un marco conceptual y metodológico que busca la integración de las ciencias de la naturaleza

con las ciencias sociales y humanas para abordar los problemas ambientales, ya que considera que la relación entre la naturaleza y el hombre es uno de los principales problemas de investigación, debido a la crisis ambiental y socioeconómica a la que nos enfrentamos a nivel global, pero particularmente en los países subdesarrollados como México.

El argumento fundamental del que parte el análisis de sistemas complejos, es reconocer que existen problemáticas donde confluyen múltiples procesos que pueden involucrar al medio físico-biológico, la tecnología, elementos demográficos, organización social, sistema económico, entre otros; y que sólo pueden comprenderse desde sus propiedades emergentes, es decir, aquellas que son el producto del conjunto de las relaciones entre las partes.

Éste enfoque propone, que para analizar los problemas ambientales como sistemas complejos, sea a través de la construcción del conocimiento por medio de la dialéctica de un proceso de diferenciación e integración, es decir, de la visión general de la problemática a la particularidad, de manera reiterativa hasta lograr la comprensión del sistema. Por medio de este análisis, el estudio disciplinario comienza cuando se han identificado elementos del sistema que caen dentro del dominio de disciplinas particulares y es relevante para la problemática general, por lo tanto, las aportaciones disciplinarias deben tener sentido para el análisis sistémico. Por lo tanto, para lograr un análisis desde éste enfoque es necesario analizar información desde diferentes áreas de conocimiento e integrarlas hasta formar puentes que lleguen a la interdisciplinariedad, para lograr construir una verdadera interpretación de los problemas ambientales dentro de un diagnóstico integrado.

Por otro lado, el MS visualiza de manera más específica la relación del hombre y la naturaleza es el, se centra en el fenómeno de apropiación de la naturaleza, y se define como un proceso complejo que expone múltiples niveles e interrelaciones de análisis entre ambos elementos. Es un marco conceptual construido por la necesidad de analizar de manera congruente las relaciones entre los procesos naturales y los procesos sociales, desde una perspectiva holística o integradora. Es un instrumento propuesto para comprender la compleja realidad actual que tiene como punto de

partida la identificación de aquellos problemas ambientales más críticos o de interés social (Toledo, 2008).

De ésta manera, a través del enfoque general de sistemas complejos, la contaminación de los recursos hídricos se ubica dentro de una problemática ambiental, donde la disminución de la calidad de agua se observa como resultado de lo que ocurre en el sistema de cuenca, tomando en cuenta que la cuenca es un sistema abierto que interacciona con el exterior. La contaminación del agua enfocada desde el metabolismo social, también es resultado de una relación insostenible del hombre con la naturaleza, que parte desde el momento de la apropiación de recursos. Por medio del análisis de metabolismo social es posible identificar los flujos entre los elementos del sistema natural y social, que sean pertinentes para responder a las preguntas de investigación.

Desde el enfoque de la complejidad, no sólo surgen nuevas formas de análisis, sino también de definir conceptos. De ésta manera, para lograr congruencia en la presente investigación, se consideran conceptos clave desde la complejidad, como es el concepto de cuenca, región, salud y desarrollo. Donde la cuenca es concebida como un sistema complejo socio-ambiental, el análisis regional va más allá de los elementos exclusivamente económicos; la salud humana está integrada a la salud del medio ambiente, y el desarrollo de una región está en función de todos los elementos y relaciones que la conforman, y que se encuentran en interacción con el exterior.

## **2.2. Conceptos desde la complejidad**

### **2.2.1. Cuenca**

La cuenca es un sistema de captación y concentración de aguas superficiales en el que interactúan recursos naturales y asentamientos humanos, dentro de un complejo de relaciones donde los recursos hídricos aparecen como factor determinante. Por lo tanto, la estructura de la cuenca se define por la interacción entre el sistema social y el sistema natural, donde el medio natural o ambiental es el soporte de las actividades de los sistemas sociales, ya que es fuente de energía y recursos naturales así como receptor de residuos. De la interacción entre estos dos sistemas

surgen un conjunto de relaciones complejas entre los subsistemas que los conforman, como son, el biofísico, el social y económico (Mass, 2003).

El sistema ambiental de la cuenca es el espacio geográfico delimitado naturalmente, con características físicas y biológicas similares que la integran como una unidad, en la que todos los elementos que la forman son interdependientes. Vista desde un enfoque complejo, la cuenca es el resultado de una dinámica constante de interacciones locales y globales, que es constantemente modificada por su interacción con sistema social que la habita, así como por factores y fuerzas externas a la cuenca (Mokondoko *et al.*, 2016).

El sistema social que integra la cuenca comprende una amplia variedad de interacciones definidas por factores económicos, relaciones interpersonales, intereses familiares o intereses nacionales. Algunos de estos aspectos se codifican formalmente en estructuras legales, políticas, educativas e institucionales, como un conjunto de normas de conducta, creencias, y valores morales que comparten los diferentes miembros del sistema social.

Así que la cuenca también se puede observar como un conjunto de interrelaciones entre elementos, estructuras y funciones, en la cual tienen lugar un conjunto complejo de procesos que relacionan al sistema social y ambiental. El enfoque sistémico ofrece un marco conceptual dentro del cual los contenidos de las ciencias físicas, biológicas y sociales pueden integrarse de manera lógica, para llegar a un mejor conocimiento de la estructura y función de la cuenca hidrográfica en términos de definir sus elementos y las relaciones entre ellos.

Este enfoque es particularmente relevante cuando se trata de abordar el análisis de un problema derivado de la interacción entre el sistema social y el ambiental, ya que la definición de los elementos y procesos que estructuran la problemática ambiental, se ubicará en la intersección entre los dos sistemas. Además se debe tener en cuenta, que todos los recursos que posee el medio ambiente, son interdependientes y han de ser considerados en su conjunto, nunca uno independiente del otro, es decir, considerar el medio natural en su carácter global (García-Charria, 2013).

### 2.2.2. Región

Finalizando el siglo XX los problemas regionales comenzaron a cobrar gran relevancia, ya que los problemas económicos, sociales, demográficos y ecológicos se encuentran ubicados en espacios específicos, y la función cognitiva de la categoría de región es la de establecer la singularidad dentro de la globalidad (Mateo-Rodríguez y Bollo-Manet, 2016). Los problemas regionales han existido desde siempre pero varían con el tiempo, según Andrés *et al.* (2013) en el siglo XXI los principales problemas regionales son: demográficos, agotamiento de los recursos naturales, escasez de alimento y agua, problemas de salud, pobreza, desigualdad y cambio climático.

El concepto de Región en las ciencias es una base para el establecimiento del método regional como un paradigma. Por lo tanto, es necesario establecer el enfoque bajo el cual se abarcará el concepto de región para llevar a cabo la investigación. La concepción de Región según las escuelas convencionales, está caracterizada por la abstracción de toda consideración histórica social, con lo cual se pretenden postular conceptos y leyes universales a partir de la abstracción de la particularidad dentro de esta visión se encuentran la región funcional, la nodal, polarizada y región plan.

Por otro lado, existe el abordaje sistémico del concepto de Región que es considerado por muchos estudiosos, ya que resuelve varios problemas clásicos de las regiones como la dualidad entre lo social y lo ambiental (Rodríguez-Mateo y Bollo-Manet, 2016; Velasco y Andrés, 2003). De igual manera, el análisis regional se puede hacer desde un enfoque determinista o reduccionista o desde el enfoque complejo o sistémico (Rodríguez-Mateo y Bollo-Manet, 2016; Velasco y Andrés, 2003). El enfoque determinista significa apegarse al aspecto puramente mercantil, por lo tanto, el determinismo tiene como prioridad las mercancías y todo lo que esto implica: costos, precios y ganancias, así la economía se convierte en un fin en sí misma. Para la visión compleja, la economía es un elemento importante del análisis de la región, es un medio cuya función será propiciar el desarrollo, facilitando la creación de la equidad, justicia y sostenibilidad del sistema ecológico de las regiones. Para éste enfoque, son igualmente importantes todos los sistemas que integran una región, como son: el medio ambiente, la población, cultura, entre otros. Por lo tanto, para el enfoque complejo los componentes económicos de una región son un medio para lograr el



bienestar humano, pero de ninguna manera es el fin en sí mismo (Andrés *et al.* 2008; Velasco y Andrés, 2003).

La ciencia regional surgió en los años cincuenta, impulsada principalmente por el economista estadounidense Walter Isard (1919-2010) (Velasco y Andrés, 2003). Surge como respuesta a la necesidad de comprender los impactos regionales de los procesos nacionales e internacionales de cambio económico y social. Desde sus inicios, éste nuevo campo de conocimiento emerge de un enfoque multidisciplinario, abarcando el estudio de diversos fenómenos demográficos, económicos, sociales, institucionales, y más recientemente ambientales y tecnológicos. La finalidad en la que convergen éstas investigaciones sería mejorar el bienestar y la calidad de vida de las personas, por lo que la problemática regional requiere de su entendimiento, pero sobre todo de soluciones (Andrés *et. al.*, 2013)

El objeto de estudio de la ciencia regional, se centra en las propiedades e interacciones de las diversas esferas de análisis que convergen dentro de un ámbito espacial definido. En el que la diferenciación de las áreas es considerada por la distinción de fenómenos heterogéneos versus homogéneos, en una porción determinada del planeta (Andrés *et al.*, 2004; Mateo-Rodríguez y Bollo-Manet, 2016). La región es una categoría interdisciplinar (Mateo-Rodríguez y Bollo-Manet, 2016), por lo que su estudio requiere una visión totalizadora para su análisis, adoptando el principio de que el espacio y la actividad humana se influyen directa o indirectamente entre sí. Por lo tanto, la ciencia regional se puede definir como una “ciencia híbrida”, pues sirve de puente o comunicador científico entre diversas áreas del conocimiento, como son la Geografía, Economía, Sociología, Demografía y Ecología, (Velasco y Andrés, 2003).

El estudio de la cuestión regional como problemática, también tiene relevancia práctica, ya que puede vincular el ámbito científico con las políticas públicas (Delgadillo-Macías *et al.* 2001). Es útil como instrumento de gobernabilidad y planeación, por lo que se ha consolidado a través de los conceptos de desarrollo y planificación (Mateo-Rodríguez y Bollo-Manet, 2016). Así que los conocimientos adquiridos por medio de esta disciplina, se pueden poner en práctica para promover el desarrollo de las regiones, a través de la planeación basada en el conocimiento,

promoviendo políticas públicas con bases científicas, y otorgando valor a las especificidades de cada región (Boisier, 1999).

### **2.2.3. Salud**

Pensar en las interacciones múltiples entre el ser humano, sociedad, salud y medio ambiente, nos lleva al pensamiento complejo. Por lo que a partir de la década de los noventa se han publicado varios ensayos teóricos referentes a la salud humana, que se sustentan de manera explícita o implícita, en la teoría de los sistemas (Betacourt *et al.* 2016). Estos nuevos abordajes, se han desarrollado sobre temas elementales como son el ser humano como un todo, integral, embebido en una sociedad y su medio ambiente (Najmanovich y Lennie, 2011); hasta la globalidad de la salud, los ecosistemas que interactúan y conforman el planeta. Desde esta mirada, la salud no puede ser una cuestión meramente individual, sino que está siempre en la intersección entre el ser humano, su sociedad y su entorno, en una relación compleja y abierta (Betacourt *et al.*, 2016; Najmanovich y Lennie, 2011). A la par del análisis teórico, muchos investigadores han trabajado en el campo de la salud y el ambiente abordando su objeto de estudio de manera integral, incorporando diversas categorías que permitan entender la compleja relación existente entre ambiente y salud. Resultado de lo anterior, ha sido el surgimiento de nuevos abordajes teórico metodológicos que se han ido consolidando, como son: el enfoque de la salud ambiental, medicina de la conservación y ecosalud, que en otras palabras, son enfoques ecosistémicos de la salud humana y el ambiente (Betacourt *et al.* 2016; Caballero, 2008).

De esta manera, la salud actualmente se valora como un proceso dinámico, extendido más allá del ámbito biológico hacia lo social y psicológico. En el que existe un entramado de factores que influyen y determinan el estado de salud de las poblaciones. La relación y dinámica entre estos factores son la causa de las grandes e innegables diferencias en salud entre regiones, países y clases sociales. Por ejemplo, la esperanza de vida de un niño difiere enormemente en función de donde haya nacido, en Japón o Suecia puede esperar vivir más de 80 años, en Brasil 72, India 63 y en el continente Africano menos de 50. De igual forma, las principales causas

de muerte cambian según la ubicación geográfica. En los países desarrollados existe un predominio de las enfermedades crónicas. Del otro lado del mundo son las enfermedades infecciosas y las relacionadas con la sanidad y el medio ambiente las que causan altas tasas de mortalidad, principalmente en niños menores de cinco años (Fewtrell *et al.*, 2005). Esta tendencia ha disminuido en algunos sitios, en otros no ha cambiado nada a pesar de los avances científicos y tecnológicos (Molina-Salazar *et al.*, 1991).

En varias regiones que pertenecen a naciones no desarrolladas, las condiciones de sanidad y vivienda los expone a graves problemas de salud muchos de ellos relacionados con el medio ambiente (Agudelo, 1999). Además enfrentan el incremento de los desastres naturales como son, inundaciones, propagación de enfermedades infecciosas en nuevas zonas geográficas, reaparición de enfermedades que se asumía ya erradicadas, consumo de agua de mala calidad y alimentos contaminados. Muchos de éstos desastres han sido consecuencia de la alteración antropogenica del ambiente, que sumándose con la pobreza en que se encuentran la mayoría de estas poblaciones, reducen exponencialmente las posibilidades de mejorar sus condiciones de vida (Aguirre *et al.*, 2002)

¿Cómo lograr una población saludable? Según Marc Lalonde (1981) (Agudelo, 1999) existen cuatro factores principales que determinan nuestra salud: factores genéticos, factores relacionados con nuestro comportamiento o estilo de vida, aquellos relacionados con el sistema sanitario, y factores ambientales. Los últimos tres tipos de factores están directamente relacionados con el nivel de ingreso, es por eso que las malas condiciones de salud están estrechamente relacionadas con la pobreza. Sin embargo no es una relación determinística, ni unidireccional.

Tradicionalmente se argumentaba que al elevar el PNB *per cápita* de un país lo harían también los niveles de salud de la población, sin embargo actualmente existe evidencia de otros factores que pueden tener relevancia (Riojas-Rodríguez *et al.*, 2013). En 1990 la Fundación Rockefeller (Molina-Salazar *et al.*, 1991) llevó a cabo una investigación con el propósito de ver las condiciones que permitirían elevar los niveles de salud de las poblaciones, sin tener que esperar a una fuerte elevación de los niveles del PNB *per cápita*. En sus conclusiones afirman que el crecimiento económico no es

el determinante para que pueda elevarse el nivel de salud de la población. De la misma manera, otro estudio realizado por Molina-Salazar *et al.* (1991) hacen notar que en países como Estado Unidos el elevado PNB *per cápita* no se ha traducido en la reducción de la mortalidad infantil, uno de los principales indicadores de salud, así como tampoco en los países latinoamericanos de mayores ingresos. En sus conclusiones mencionan que estos resultados se pueden explicar por medio de otros factores que influyen en mejorar la salud de la población, como son: amplia cobertura en servicios de salud, acceso a recursos y ambiente de buena calidad como el aire y agua potable, y prioridad de gasto en salud en acciones preventivas.

Por otro lado, estudios recientes (Molina-Salazar *et al.* 1991; Plata, 2002) demuestran que esta relación también es en sentido inverso, es decir, el nivel de salud tiene efectos sobre el crecimiento económico. Parte de la lógica es, que la salud, al igual que la educación es una forma de capital humano, así que pueden influir en la productividad. Otra manera de analizar esta relación es por medio de los indicadores de la esperanza de vida y la mortalidad infantil. En el caso de la esperanza de vida se relaciona con el crecimiento económico de la siguiente manera: 1) hay una mayor tasa de rendimiento del capital humano lo que produce mayor inversión en el capital humano. 2) mayor acumulación de experiencia produce trabajadores más productivos 3) disminuye la fertilidad lo que aumenta la inversión en capital humano 4) mayor ahorro, por lo tanto mayor acumulación de capital 5) disminuye la tasa de depreciación del capital humano lo que produce mayor acumulación de capital humano (Plata, 2002).

#### **2.2.4. Desarrollo**

El desarrollo en el contexto de la sociedad humana, tiene diversas connotaciones. Su significado puede hacer referencia a diversos procesos de la sociedad, así como tener distintas concepciones según el contexto o la etapa histórica (Delgadillo Macías *et al.*, 2001; Leff, 2007). De manera general la meta del desarrollo es alcanzar el bienestar de la sociedad, pero para otorgarle al desarrollo un significado más específico, se le anexan diversos apelativos que se pueden dividir en dos grupos según a lo que hace referencia (Boisier, 1999):

a) Los que indican hacia dónde va dirigido, que puede referirse a un espacio específico

como son el desarrollo local, regional, nacional; o a un determinado sector de la sociedad como es el desarrollo institucional.

b) Los que hacen referencia al medio con que piensa alcanzarse el bienestar; como son, el desarrollo económico, desarrollo humano, y el sustentable.

En el transcurso de la historia el desarrollo ha tenido diversas connotaciones (Boisier, 1999) y explicaciones del porqué algunas regiones se desarrollan y otras no, según los parámetros con que se evalúe (Leff, 2007; Velasco y Andrés, 2003). La palabra desarrollo aparece de manera dominante en el siglo XX, cuando surgieron nuevas definiciones de la organización mundial de los países. En ésta nueva organización mundial se clasificó a los países en tres mundos: las naciones industrializadas libres, naciones comunistas industrializadas y naciones pobres no industrializadas, que se consideró constituían el primer, segundo y tercer mundo respectivamente. Después de la desaparición del segundo, el primer y tercer mundo (norte y sur) continúan para articular un régimen de representación geopolítica (Leff, 2007).

El concepto de desarrollo cobró fuerza cuando Harry Truman, el presidente de Estados Unidos en 1949, dio indicaciones para la creación de programas de apoyo para el desarrollo de los países menos prósperos, esto suponía que había una meta ya definida que alcanzar, y esta meta sería trazada y supervisada por el Banco Mundial (BM) y el Fondo Monetario Internacional (FMI), organizaciones técnicas de apoyo a las Naciones Unidas (Velasco y Andrés, 2003). De esta manera, es como la teoría del desarrollo mantuvo una estrecha correspondencia con la denominada economía ortodoxa y con la economía de la pobreza. Dentro de la economía ortodoxa, J.M. Keynes (1893-1946) supuso que la sociedad progresaría si en su economía el Estado ocupaba un lugar destacado. Mientras que en la denominada economía de la pobreza, cuyos representantes más connotados han sido A. Hirschman (1975) y G. Myrdall (1964), consideraban conveniente que los países ricos debían ayudar a los países pobres en su combate contra la pobreza, debido, entre otras causas, a que dicha escuela considera que existe pobreza porque el ingreso es bajo, el ingreso es bajo debido a la escasez de inversión, no hay inversión porque no existe ahorro, y no existe ahorro porque el ingreso es bajo, proceso que denomina "el círculo vicioso de la

pobreza" (Herrerías, 2008).

De esta manera, el concepto desarrollo sugiere la propiedad de las sociedades modernas de crecer, principalmente en lo económico, y sería entonces necesario modificarse para alcanzar su estado perfecto, el cual tiene como parámetro las sociedades anglosajonas. Sin embargo, estas aseveraciones no han encontrado comprobación en los denominados países subdesarrollados, el tercer mundo, en vías de desarrollo o emergentes, que es como se ha denominado a los países latinoamericanos, los cuales aún transitan en busca de su propia especificidad. Así que la búsqueda del desarrollo de los países latinoamericanos ha estado marcada por diversas ideologías y eventos históricos (Leff, 2007; Velasco y Andrés, 2013), que se pueden resumir de la siguiente manera, según lo describen Aguirre *et al.* (2010), Herrerías (2008) y Velasco y Andrés (2003).

Después de la segunda guerra mundial surgió una gran depresión económica que se propuso resolver por medio de la aplicación de una estrategia de industrialización, porque el desarrollo fue sinónimo de industrialización, que en América Latina permeó por medio de políticas sugeridas por la Comisión Económica para América Latina. Con el tiempo se hizo notorio que a pesar de los esfuerzos de industrialización no mejoraba la situación socioeconómica para todas las regiones, entonces sugirieron diversas explicaciones de lo que llamaron subdesarrollo, que coincidían en la existencia de una gran cantidad de recursos sin utilizarse como la principal explicación, y que sólo la acción deliberada del Estado puede cambiar esta situación. Así, diversos gobiernos latinoamericanos impulsaron un fuerte equipamiento en infraestructura, que facilitara la movilización y aprovechamiento de los recursos, y un creciente flujo de inversiones hacia la industria, obtenidos por excedentes proporcionados por las exportaciones, la inversión extranjera directa, el endeudamiento externo, y el abaratamiento de los productos agrícolas.

Para finales de los sesentas se propuso que el equilibrio regional podría lograrse a través de la creación de nuevos polos en las regiones subdesarrolladas. Entonces el desarrollo, fue sinónimo de polo de crecimiento. Sin embargo, los desequilibrios no lograron reducirse sustancialmente, así que se buscaron otras propuestas. La izquierda asimiló el concepto de desarrollo a la eliminación de la dependencia y las

desigualdades sociales y regionales, adquiridas en la relación de los países latinoamericanos con los países desarrollados. Para éstos, el desarrollo fue sinónimo de una socialización de la economía, que sugiere la eliminación de la propiedad privada de las diversas actividades productivas. A inicios de los ochentas, incrementó la crítica de la derecha la cual consideró que la excesiva conducción de la economía por parte de los gobiernos latinoamericanos, había ahogado la iniciativa privada y ocasionado un exceso de protección, lo cual, según ésta visión, dirigía hacia el subdesarrollo. Así, los organismos y la banca internacional, así como las industrias transnacionales de los países latinoamericanos promovieron el neoliberalismo, ideología que se concentra en parámetros macroeconómicos, busca elevar la competitividad, la productividad, el ahorro y la inversión a costa de la reducción de los salarios y de la estructura gubernamental apoyándose en la libre empresa. Entonces, el desarrollo fue sinónimo del crecimiento de la economía a través de la expansión del mercado, y la ampliación de la participación de los agentes privados en la misma; regresando así al concepto de desarrollo como sinónimo de crecimiento económico, y con la consideración de los recursos naturales como ilimitados.

A mediados de la década de los noventa, la globalización se hizo presente a través de esfuerzos por integrar a América Latina al contexto internacional en una posición de competitividad. El desarrollo regional se ha entendido en este discurso, como el crecimiento económico derivado de una mayor integración y participación de las empresas y regiones de cada país en el proceso exportador. En México destacan en este proceso la firma de 36 Tratados de Libre Comercio con diversos países hasta el año 2002. La puesta en práctica del paradigma globalizador en América Latina ha impulsado el desarrollo del comercio exterior y la modernización tecnológica, pero también acentuado los desequilibrios y desigualdades sociales y económicas en las regiones, acelerando de manera particular la emigración internacional de las regiones pobres hacia las regiones donde se concentra la inversión. En otros casos ha acelerado la destrucción de las culturas tradicionales y de la biodiversidad de las regiones (Leff, 2007).

El paradigma de la complejidad considera el concepto de desarrollo sólo un componente de la problemática regional. Señala que las sociedades o las regiones

más que evolucionar, se adaptan a los cambios provocados por la interacción de los sistemas socio-regionales y sus elementos; es decir, el desarrollo se concibe como una búsqueda progresiva del equilibrio (García, 2006).

## **2.3. Integración de paradigmas**

### **2.3.1. Desarrollo Sustentable y Ecosalud**

Actualmente, los cambios ambientales y el deterioro ecológico causados por el ser humano se pueden percibir en cualquier lugar del mundo y representan una amenaza para la salud de todos los seres vivos, y para el sostenimiento de las sociedades humanas en su forma actual. Por lo que ya desde hace varias décadas se ha reconocido la necesidad de actuar para cambiar la dirección de los procesos de deterioro del medio ambiente. Para esto es necesario comprender dichos procesos, como es el de la salud con sus conexiones e interdependencias con los ecosistemas, los sistemas económicos, políticos y sociales. Estos vínculos permanentes de la salud humana definen las determinantes sociales y ambientales, que por definición son complejos, y por lo tanto, su comprensión requiere articular múltiples cuerpos de conocimientos, y saberes de la gente a partir de sus experiencias y culturas (Alarcon, 2015). Así, que la ciencia tiene el relevante compromiso de generar información que ayude a orientar las acciones y decisiones políticas para dirigir a todas las regiones del mundo hacia una mejor salud colectiva en ambientes más sanos y sostenibles; para esto es necesario abordar los problemas de desarrollo como problemas complejos y transdisciplinarios, lo que conlleva a la promoción de enfoques integradores, como es Ecosalud y el Desarrollo Sustentable (Betacourt *et al.* 2016; Wilcox *et al.*, 2004).

Ecosalud inició en 1996 como un programa llevado a cabo por parte del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC), con el propósito de apoyar a la investigación para el desarrollo en una nueva forma de entender y mejorar la salud humana, donde las condiciones de salud colectiva son comprendidas como consecuencia de las complejas interacciones entre factores sociales y ecológicos cambiantes. El programa se enfocó a la generación de nuevos conocimientos y prácticas para lograr una mejor gestión de las dinámicas sociales,



ambientales y de salud de los ecosistemas, por lo tanto se trata de un enfoque de prevención primaria de la salud. Ecosalud surge del encuentro de avances conceptuales complementarios que emergieron en las últimas décadas del siglo XX, en materia de salud, medio ambiente, y desarrollo sostenible, que han sido reflejados en distintos debates científicos y políticos internacionales (Wilcox *et al.*, 2004). Algunos de los documentos y compromisos generados de éstos encuentros, que son base conceptual tanto para el surgimiento de Ecosalud como del Desarrollo sustentable, son: a) La Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud (1986), b) El Informe Brundtland (1987) y Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992), c) Carta de la Transdisciplinariedad (1994) (Betacourt *et al.* 2016).

La Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud que fue emitida en 1986 durante la Primera Conferencia Internacional para la Promoción de la Salud, por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Bajo el objetivo de “Salud para todos en el año 2000”. La carta nace como respuesta a la necesidad de impulsar un nuevo acercamiento a los problemas de salud como parte indisoluble del desarrollo, resaltando la importancia de adoptar un enfoque integral y sistémico en la promoción de salud (World Health Organization 1986). En el Informe Brundtland (1987) y Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992), se señala el impacto que las actividades humanas han tenido sobre el medio ambiente y las modificaciones que han tenido éstos sobre el bienestar y la salud. El informe Brundtland, presenta por primera vez el concepto de desarrollo sostenible, definido como aquel que *satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades* (World Commission on Environment and Development 1987).

La Cumbre de la Tierra de 1992 produce dos documentos de gran relevancia sobre las interrelaciones entre salud humana y el desarrollo sostenible: la Declaración de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo, y la Agenda 21, que juntos buscan promover el desarrollo sostenible proponiendo un plan de acción. Por su parte, la carta de la Transdisciplinariedad (1994) dio impulso a estudios transdisciplinarios como un campo de actividad académica (Hadorn *et al.* 2008). Propone una visión integradora para guiar el pensamiento y llegar a un enfoque transdisciplinario, que se contraponga al mundo actual donde están divorciados lo secular y lo espiritual, lo

científico y lo humanístico, aboga por una racionalidad abierta que abarque no las distintas ciencias, cultura, naciones, y temporalidades.

Dentro de éste contexto se construye el campo de estudio Ecosalud, que busca un cambio de paradigma en la interrelación del ser humano con su entorno bajo diversas corrientes pero con el mismo objetivo, que es abordar el problema de la salud dentro de un enfoque integrador, bajo una perspectiva de investigación para el desarrollo a través de la integración de ideas, métodos y habilidades disciplinarias con saberes locales para el cambio. Algunas corrientes dentro de Ecosalud centran su análisis en la salud de los ecosistemas, otros estudios dan prioridad a los aspectos ecológicos y biológicos en detrimento de las dimensiones sociales, otros buscan transformar relaciones de poder político y económico como un paso necesario hacia un mundo más sano y sostenible.

Desde sus inicios se ha promovido la equidad social y de género, la inclusión y la transdisciplinariedad, llamados ahora los “tres pilares” para el diseño de las investigaciones bajo este enfoque. Los primeros proyectos y aproximaciones al enfoque de Ecosalud en la región de Latinoamérica fueron desarrollados a fines de la década del noventa, bajo la premisa de analizar e intervenir sobre determinados agentes de perturbación del ecosistema, a través de una estrategia de gestión integrada del ambiente y de la salud. Se jerarquizaron como campos de estudio lo relacionado con la minería, la urbanización descontrolada y la intensificación agrícola. En su proceso de evolución conceptual, se hicieron explícitos tres principios: a) el pensamiento sistémico, que se ha reconocido como una característica fundamental del enfoque b) el desarrollo sostenible, como principio articulador que vincula salud y ambiente, c) priorización de la investigación para la acción y en las políticas públicas (Betacourt *et al.* 2016).

### **2.3.2. Metabolismo Social y Teoría de Sistemas Complejos**

Tanto el metabolismo social como la teoría de sistema complejos se derivan del paradigma de la complejidad. Ambos enfoques buscan la integración de elementos sociales y ambientales para la comprender las problemáticas de desarrollo que se presentan en espacios específicos. La principal diferencia radica en la forma que

dirigen el análisis, el MS se avoca a la interacción de los recursos naturales y el hombre por medio del fenómeno de apropiación de éste último. La TSC se centra en tejer una serie de relaciones relevantes para el problema de investigación, a partir de información cuantitativa y cualitativa generada de diversas áreas del conocimiento, pero bajo una visión sistémica y totalizadora.

Según Toledo (2008) el metabolismo entre la naturaleza y la sociedad contiene dos dimensiones o esferas: una material, visible o tangible y otra inmaterial, invisible o intangible. La dimensión material está representada por procesos identificables y cuantificables que en su conjunto opera como el *contenido*. La parte inmaterial o invisible es la esfera *contenedora*, que se puede describir como un almacén para los procesos materiales del metabolismo; esta esfera se refiere a determinadas relaciones sociales condicionadas por diversos tipos de instituciones, formas de conocimientos, cosmovisiones, reglas, normas, gobierno, formas de propiedad, entre otros. Tanto el contenido como la dimensión contenedora conforman la *estructura* del metabolismo social por lo que se define como la unidad-totalidad.

El metabolismo social comienza cuando los seres humanos socialmente agrupados se apropian de materiales y energía de la naturaleza, las cuales se definen como *entradas*, y finaliza cuando depositan sus desechos, emanaciones o residuos en los espacios naturales a lo que se denomina *salida*. Entre estos dos fenómenos ocurren procesos dentro del sistema social en los cuales las energías y materiales apropiados circulan, se transforman y terminan consumiéndose, los cuáles se definen como *flujos interiores*. Por lo tanto, el proceso metabólico se encuentra constituido por cinco fenómenos que son teórica y prácticamente distinguibles: *la apropiación, la transformación, la circulación, el consumo y la excreción*.

El acto de apropiación es la forma primaria de intercambio entre la sociedad humana y la naturaleza. Donde la sociedad se nutre de materiales, energías, agua y servicios que los seres humanos requieren como individuos biológicos y como conjunto social para mantenerse y reproducirse.

El proceso de transformación implica todos aquellos cambios producidos sobre los productos extraídos de la naturaleza, los cuáles ya no son consumidos en su forma original. Incluye desde la transformación más básica como la preparación de

alimentos, hasta formas más elaboradas transformación de la materia, también incluye todos los insumos responsables de la transformación del medio ambiente, para su uso. Con el tiempo, ésta actividad se ha hecho más compleja, en el sentido del uso más intensivo de energía y menos intensivo en trabajo para la fabricación de productos cada vez más elaborados, pasando, por ejemplo de las artesanías a la manufactura.

El proceso de circulación aparece en el momento en que las unidades de apropiación dejan de consumir todo lo que producen y de producir todo lo que consumen. Con ello se inaugura el fenómeno de intercambio. Los elementos extraídos de la naturaleza comienzan a circular, transformados o no. La magnitud de este proceso ha ido evolucionando desde el intercambio no mercantil ni monetario hasta el intercambio mediado por el dinero, la propiedad privada y los mercados. También se han incrementado los volúmenes de lo que circula y las distancias que recorren antes de ser consumidos. El resultado ha sido una intrincada red de intercambios, donde ya casi no es visible la relación directa y casi inmediata entre apropiación y consumo.

En el proceso metabólico de consumo se ve envuelta toda la sociedad, independientemente de su posición en la cadena metabólica; en la actualidad éste proceso en subordina en gran medida a los demás procesos metabólicos.

El proceso de excreción, es el acto por el cual la sociedad humana arroja materiales y energía hacia la naturaleza, como pueden ser: basura, gases, calor, sustancias, entre otros. Se involucra toda la sociedad y todos los procesos metabólicos. Aquí lo importante es la calidad y cantidad de los residuos, es decir, si son reciclables o no por la naturaleza y si sobrepasa o no la capacidad natural de reciclaje.

La finalidad del análisis del MS, es dilucidar cómo la dimensión contenedora y el contenido afectan los procesos, y cómo se generan transformaciones a lo largo del tiempo y cuáles son las reglas que operan durante tales transformaciones. Es decir, el funcionamiento de toda la *estructura* en el espacio y el tiempo.

La teoría de sistemas complejos fue desarrollada por el físico argentino Rolando García (1919-2012) a partir de la construcción de modelos capaces de explicar los cambios hechos por el hombre en los sistemas agrícolas, que se habían apartado de los sistemas tradicionales. Perseguía éste objetivo como parte del programa “La

sequía y el hombre”, que formaba parte de las investigaciones que dirigía estando a cargo de la Secretaría General del Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP), establecido por acuerdo entre la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU). Para entonces ya contaba con una importante trayectoria como filósofo y epistemólogo.

El proyecto “La sequía y el hombre”, constituyó el punto de partida de varias décadas de investigaciones realizadas en distintos países, en las cuáles fue desarrollando la teoría de sistemas complejos en conjunto con una metodología de análisis, donde aplicaba el pensamiento complejo para la solución de problemas ambientales. García, R. desarrolló gran parte de éstas ideas junto con Jean Piaget (1896-1980), así surgieron algunas publicaciones en conjunto, como “El conocimiento en construcción: de las formulaciones de Jean Piaget a la Teoría de los Sistemas Complejos (2000)”, donde articulan el desarrollo de la epistemología genética con la metodología de los sistemas complejos, desarrollada a partir del trabajo de campo. Así que uno de los grandes aportes de R. García es que lleva la teoría del pensamiento complejo a la construcción de una metodología de trabajo, aplicable a situaciones concretas que se pueden considerar complejas.

El estudio de un sistema complejo está orientado por un marco conceptual y metodológico en donde se concede particular importancia a las interacciones entre fenómenos que pertenecen a dominios diferentes, como pueden ser, el medio físico, estructura socioeconómica, agroproducción etc. Evita los dos extremos: especialización absoluta y la generalidad excesiva, por lo tanto, este tipo de investigación consiste en la integración activa de entre la generalidad y la particularidad, mediante un proceso de diferenciación e integración. Por medio de éste análisis, el estudio disciplinario comienza cuando se han identificado elementos del sistema que caen dentro del dominio de disciplinas particulares y es relevante para la problemática en general; lo que lleva consigo una perspectiva diferente de aquella que tendría si se hubiera iniciado desde la disciplina en cuestión. Las aportaciones disciplinarias no sólo deben tener sentido para la disciplina de la cual provienen sino que, en un análisis sistémico, deben satisfacer los siguientes puntos (García, 2000):

1. Sus resultados deben ser pertinentes para la definición del sistema complejo.

2. Deben reconocer para cuáles preguntas no tienen respuesta sus posibilidades teóricas y metodológicas.

3. Deben poder replantear estas preguntas para examinar la posibilidad de encontrar resultados junto con las otras disciplinas.

El sistema complejo hace referencia a un modelo teórico construido con datos empíricos, un modelo que permite formular explicaciones causales de los fenómenos que son objeto de estudio. El conjunto de las relaciones involucradas constituye la explicación del funcionamiento del sistema. Para definir un problema de estudio como complejo, debe considerarse que, un sistema complejo está compuesto por elementos individuales que interactúan entre sí, lo que hace surgir propiedades colectivas no evidentes, es decir fenómenos emergentes, estos fenómenos. Esto ha llevado a la expresión de que en los sistemas complejos el todo es mayor a la suma de las partes, la cual ha sido utilizada para identificar o definir un sistema complejo, que son sistemas abiertos, es decir, carecen de límites bien definidos ya que realizan intercambios con el medio externo, por lo tanto no son estáticos, como tampoco poseen estructura rígida.

Para analizar un fenómeno complejo se debe tener en cuenta los siguientes principios (García, 2006): a) El estudio de un sistema complejo requiere un análisis de la historia de los procesos que condujeron al tipo de organización o estructura que presenta en un momento dado, b) Existe disposición de sus elementos por niveles de organización con dinámicas propias pero interactuantes entre sí, c) la evolución de un sistema complejo no procede por desarrollos continuos sino por reorganizaciones sucesivas, por lo que debe considerarse la historia de las estructuraciones, el tipo de transformaciones y su relación con las propiedades sistémicas, d) Las reorganizaciones del sistema ocurren en concomitancia con los grandes o macro procesos económicos, políticos y sociales, por un juego de interacciones que finalmente configuran las condiciones de contorno, e) Al análisis sistémico se integran diversos estudios disciplinarios que corresponden a aquellos recortes de la realidad compleja.

## 2.4. Caracterización de un Sistema Complejo

Es necesario aclarar que no todos los problemas del medio ambiente son *complejos*, así como tampoco requieren de investigaciones interdisciplinarias. Los problemas ambientales que se abordan como un sistema complejo son unidades de análisis indivisibles porque funcionan como una totalidad en la medida que:

1. Los elementos que lo comprenden son heterogéneos, por lo tanto se abordan por dominios teóricos de distintas áreas del conocimiento, disciplinas y especialidades.
2. Estos elementos heterogéneos se definen entre sí; esto es, cada uno tiene un carácter que le pertenece, en tanto los otros elementos lo definen, lo se denomina “interdefinibilidad de sus funciones”.
3. Se disponen en niveles de organización con dinámicas propias, por lo tanto niveles de análisis distintos.
4. Estos niveles de organización interactúan entre sí, por lo que se conciben como sistemas abiertos.
5. Su desarrollo es por reorganizaciones sucesivas no lineales.

Según R. García, durante el proceso de investigación es fundamental la construcción del sistema (universo de estudio) a partir del análisis histórico de los fenómenos y así definir sus límites, elementos y estructura. Esto consiste en tomar un recorte de la realidad para estudiarlo, tomar una entidad que se pueda separar conceptualmente del resto del sistema de acuerdo con ciertos criterios definidos en base a las preguntas de investigación. Los componentes analíticos básicos del sistema complejo, son:

1. Límites y condiciones de contorno.
2. Elementos y subsistemas.
3. Funciones y estructura.
4. Niveles de procesos y escalas espaciales y temporales.
5. Estructura y funcionamiento del sistema.

El objetivo primordial de la metodología de análisis de sistemas complejos es realizar un diagnóstico del sistema ambiental, para enseguida construir un plan de acción que incida en la solución de la problemática. Entendiéndose el diagnóstico

como la construcción de la evolución de sus principales procesos que determinan el funcionamiento del sistema. El diagnóstico debe incluir las siguientes fases:

1. Pregunta(s) conductora(s), como parte del reconocimiento general de los diferentes problemas que se presentan dentro de la problemática general.
2. Análisis de estudios realizados anteriormente, sobre diversos aspectos de dicha problemática. En éstos análisis debe ponerse especial atención en aquella información que permita preparar el camino para reconstruir la historia de las situaciones y fenómenos
3. En base a lo anterior, identificación de elementos y relaciones
4. Planteo de hipótesis de trabajo que permitirían explicar el comportamiento del sistema
5. Identificación de la problemática a investigar en cada subsistema, para verificar o refutar la hipótesis sobre sus funciones dentro del sistema. Planificación de trabajos sobre temas especializados que requieren estudios en profundidad. Investigaciones disciplinarias de los problemas referidos en el contexto de las relaciones entre los dominios de los subsistemas establecidos.
6. Primera integración de resultados, lo cual en ocasiones conduce a redefinir el sistema formulado, entonces ocurrirá de nuevo la fase de diferenciación y enseguida integración. Hasta llegar a una explicación coherente que dé cuenta de todos los hechos observados y responda a las preguntas que han ido surgiendo en el proceso.

Por lo tanto, el punto de partida del análisis es la pregunta básica de investigación o preguntas específicas, a las que se denomina “preguntas conductoras”, éstas serán las que orienten el estudio y los componentes del sistema, es decir, los elementos, límites, y sus interrelaciones tanto internas como externas. El primer objetivo es definir los límites del sistema, que incluye aspectos físicos, biológicos, sociales económicos y políticos; consiste en establecer las fronteras físicas o geográficas, temporales, es decir, la porción de la historia que se considera relevante analizar, y de procesos o fenómenos. Lo que queda fuera de los límites se tomará en cuenta para la explicación del sistema definido, que siempre será de manera cualitativa, dentro del sistema podrá haber elementos cuantitativos y cualitativos. A estos elementos externos con los que interactúa el sistema definido, se denomina



condiciones de contorno, que es todo aquello que interactúa con el sistema y que es relevante para la pregunta de investigación.

Los elementos o subsistemas son aquellos componentes del sistema que también poseen en su conjunto características emergentes y que se determinan mutuamente. Los elementos que incluya el sistema deben ser aquellos en los que se detectan las relaciones más significativas para la pregunta investigación, éstas relaciones o interacciones determinaran la estructura de todo el sistema de estudio. Así, que la estructura está determinada por el conjunto de relaciones entre los elementos, un gran número de propiedades del sistema quedan determinadas por su estructura y no por sus elementos, pero las propiedades de los elementos determinan las relaciones entre ellos. Las relaciones o interacciones entre los subsistemas en su conjunto construyen los procesos de la porción de realidad que estamos analizando, y son la parte central del estudio de los sistemas complejos. Los procesos describen los cambios de los sistemas y no son observables, pero son inferidos sobre el registro de observables que son datos empíricos y describen los estados o condiciones de los sistemas en determinado momento, hasta llegar a hechos, que son observables ya interpretados. La significación de un observable es espacial y temporalmente local, mientras los hechos están relacionados en un contexto más amplio.

Existen diferentes niveles de procesos y por lo tanto de niveles de estudio, los de primer nivel constituyen procesos con efecto local sobre el medio físico o sobre la sociedad que lo habita y lo explota. Los proceso de segundo nivel corresponden a procesos nacionales, y los de tercer nivel se refiere a metaprocesos o procesos globales que son más generales pero están determinados por los procesos de primer nivel. La construcción del conocimiento es a través de la dialéctica entre lo general, lo subjetivo y cualitativo y los particular, específico y cuantitativo. Es una constante de diferenciaciones e integraciones para ir construyendo el sistema así como su diagnóstico (García, 2000; García 2006).

## **2.7. La cuenca del lago de Zirahuén como un sistema complejo**

La problemática que se aborda en la presente investigación es de índole ambiental y como tal, aborda la interacción entre los seres humanos y su entorno

natural. La naturaleza de los problemas ambientales es compleja, ya que se refieren a fenómenos derivados de la interacción del hombre con su entorno, son heterogéneos y existe mutua dependencia de los elementos que interactúan, así como entre los procesos sociales, económicos, políticos y ecológicos. El estudio de los problemas ambientales tiene como objetivo el análisis y la detección de los mecanismos de deterioro físico y social de los espacios. Por lo que su análisis exige marcos conceptuales que hagan énfasis en el abordaje integral de los fenómenos (García, 2000), por lo que se considera que para abordar los problemas ambientales es necesario lograr una verdadera articulación de las diversas disciplinas involucradas, y obtener un estudio integral de la problemática.

En la siguiente tabla se desglosa el problema de estudio concebido como un sistema; se definen los elementos de análisis, los límites que definen la problemática, y las preguntas que guían la investigación.

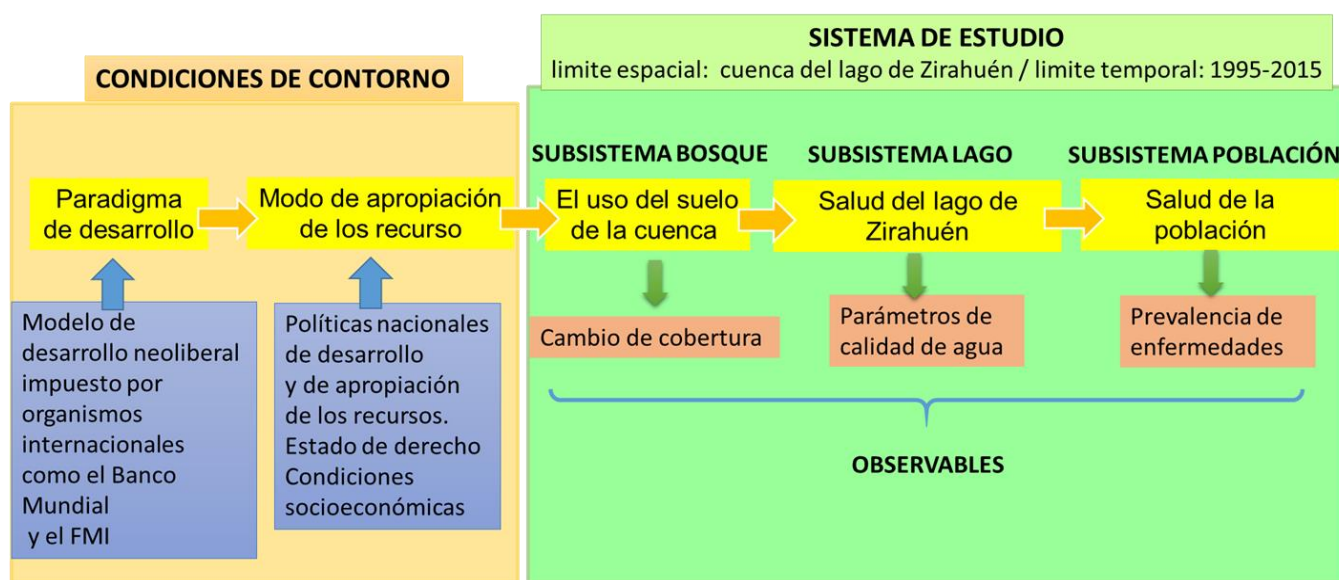
**Tabla 1. Caracterización del problema de estudio como un sistema complejo**

| <b>Sistema de estudio:</b> Problemática ambiental en relación con la calidad de agua del lago de Zirahuén                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Preguntas conductoras de la investigación:</b> ¿Existe disminución de la calidad de agua del LZ? ¿Qué parámetros indican ésta condición? ¿Cómo ha ocurrido el proceso de cambio de cobertura/uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén entre 1995 y el 2015? El proceso de CCUS ¿tiene coincidencia en el tiempo con el deterioro de la calidad del agua del LZ? ¿Existe una tendencia significativa en el tiempo al incremento de la prevalencia enfermedades de origen hídrico en la población? |                                                                                                                                                                               |
| <b>Límites</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Geográfico: la cuenca del lago de Zirahuén<br>Temporal: la construcción de los procesos de estudio será entre los años de 1995 al 2015                                        |
| <b>Elementos o subsistemas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Bosque<br>Lago de Zirahuén<br>Población humana                                                                                                                                |
| <b>Observables</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Matriz de cambio de cobertura/uso del suelo<br>Datos de calidad de agua<br>Prevalencia de enfermedades en la población humana                                                 |
| <b>Procesos de análisis en el tiempo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Cambio de cobertura/uso del suelo<br>Cambio en la calidad del agua del lago<br>Incremento de enfermedades relacionadas con la calidad de agua del lago en la población humana |
| <b>Condiciones de contorno</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Organismos Internacionales, políticas y programas nacionales que inciden en el uso del suelo a nivel regional en México                                                       |

Fuente: elaboración propia en base a la metodología de sistema complejos

La siguiente figura es una representación esquemática del universo de estudio de la presente investigación. Se encuentra definida en base al marco conceptual de la teoría de sistemas complejos, ya que el tema de análisis consiste en una problemática ambiental en la que interactúan diversos elementos e interacciones entre el medio ambiente y las actividades humanas. Las flechas de color naranja que enlazan a los recuadros amarillos, indican que determinan al contenido del siguiente recuadro. Es decir, el paradigma imperante de desarrollo determina el modo de apropiación de los recursos, y estas características aunque no se integran dentro del sistema de estudio son relevantes para comprender la problemática, integran lo que se define como “condiciones de contorno”. De la misma forma, el modo de apropiación de los recursos determina en gran parte el uso del suelo de la cuenca del lago de Zirahuén y así sucesivamente mediante los procesos específicos que relacionan a cada subsistema dentro del sistema de estudio.

**Figura 1. UNIVERSO DE LA INVESTIGACIÓN**



**Fuente: elaboración propia en base a la metodología de sistema complejos**

Enseguida se muestran las diferentes fases de la investigación que ya están definidas, que es hasta la identificación de la problemática a estudiar en cada subsistema para verificar o refutar las hipótesis. La siguiente fase es la integración de los resultados para formular la explicación de lo observado, así como diagnosticar la problemática de estudio de manera coherente, hasta donde nuestros resultados no lo permitan.

**FASES DE DIAGNOSTICO DEL SISTEMA:**  
**Problemática ambiental sobre la disminución de la calidad de agua del lago de Zirahuén**

**1. Preguntas conductoras de la investigación**

¿Existe disminución de la calidad de agua del LZ? ¿Qué parámetros indican ésta condición?

¿Cómo ha ocurrido el proceso de cambio de cobertura/uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén entre 1995 y el 2015?

El proceso de CCUS ¿tiene coincidencia en el tiempo con al deterioro de la calidad del agua del LZ?

¿Existe una tendencia significativa en el tiempo al incremento de la prevalencia enfermedades de origen hídrico en la población?

**2. Análisis de estudio sobre diversas temáticas**

Las diversas temáticas analizadas fueron desde lo general a lo particular. Los temas más relevantes incluyeron: Información generada sobre la cuenca del lago de Zirahuén, Salud humana desde enfoques integradores, estudios que relacionan la calidad de agua de los cuerpos hídricos y la salud humana, estudios integradores bajo el enfoque de cuenca sobre el uso del suelo, calidad de agua de cuerpos hídricos y salud humana, cambios de uso de suelo en el estado de Michoacán y CCUS que incluyeran alguna porción de la cuenca del lago de Zirahuén.

**3. Identificación de elementos (subsistemas) y relaciones (estructura)**

Dentro del sistema se identificaron tres subsistemas o elementos: el bosque, el lago de Zirahuén y la población que habita en la cuenca, así como las relaciones e interacciones entre ellos que le darán estructura al sistema, para comprender la problemática del deterioro de la calidad de agua del LZ. La investigación pretende en primer lugar corroborar el proceso de deterioro de la calidad del agua del lago en el tiempo, identificar los parámetros que evidencian esta condición del lago ya que éstos son los que indicaran las posibles causas de su deterioro, también revelarán los

elementos presentes en el cuerpo de agua que son factores potenciales de enfermedad para el hombre.

Subsistema Bosque: la relación entre la cobertura/uso del suelo y los parámetros de calidad de agua se encuentra en los escurrimientos que drenan de toda la cuenca hacia el lago de Zirahuén., así que según el uso que se le otorgue al suelo dentro de la cuenca serán las características de los escurrimientos que lleguen al lago. Por lo tanto, el elemento que se puede cuantificar por medio de un enfoque y metodología disciplinar, es el cambio de cobertura/uso del suelo en el tiempo, lo que corresponde según la metodología de sistemas complejos al observable.

Subsistema Lago: la relación entre los parámetros de calidad de agua y la salud de las personas, se encuentra en que dentro de estos parámetros algunos son factores potenciales de enfermedad. En la cuenca se conoce que las poblaciones rivereñas como Copándaro y Agua verde, utilizan el agua directamente del lago para uso doméstico, así como también para recreación (Moreno-Calles *et al.*, 2013) y el resto de las localidades utilizan el lago principalmente para recreación, ya que el agua para uso doméstico la extraen en su mayoría del ríos y arroyos que forman parte de la red de drenaje natural de la cuenca, así como de manantiales. Por lo que dentro de éste subsistema lo que se cuantifica son los parámetros de calidad de agua, por lo tanto son los observables.

Subsistema población: El observable o cuantificable dentro de éste subsistema es la prevalencia de enfermedades de la población que habita en la cuenca, que se puedan relacionar, según la bibliografía, con los elementos que se encuentren en el lago que representen un riesgo para la salud

#### **4. Planteo de hipótesis de trabajo que permita explicar el comportamiento del sistema**

Lo que esperamos encontrar en la presente investigación es que:  
En la cuenca del lago de Zirahuén existe un proceso de cambio de cobertura boscosa por cultivos en huertas, y esto ha llevado a un proceso de deterioro de la calidad del agua del lago, así como al incremento de prevalencia de enfermedades en las poblaciones dentro de la cuenca relacionadas con el uso del recurso hídrico del lago.

Es decir, se espera encontrar una relación espacial y temporal de tres procesos: deforestación, deterioro de la calidad de agua de lago de Zirahuén y el incremento de padecimientos en la población que habita en la cuenca en relación con el uso del lago.

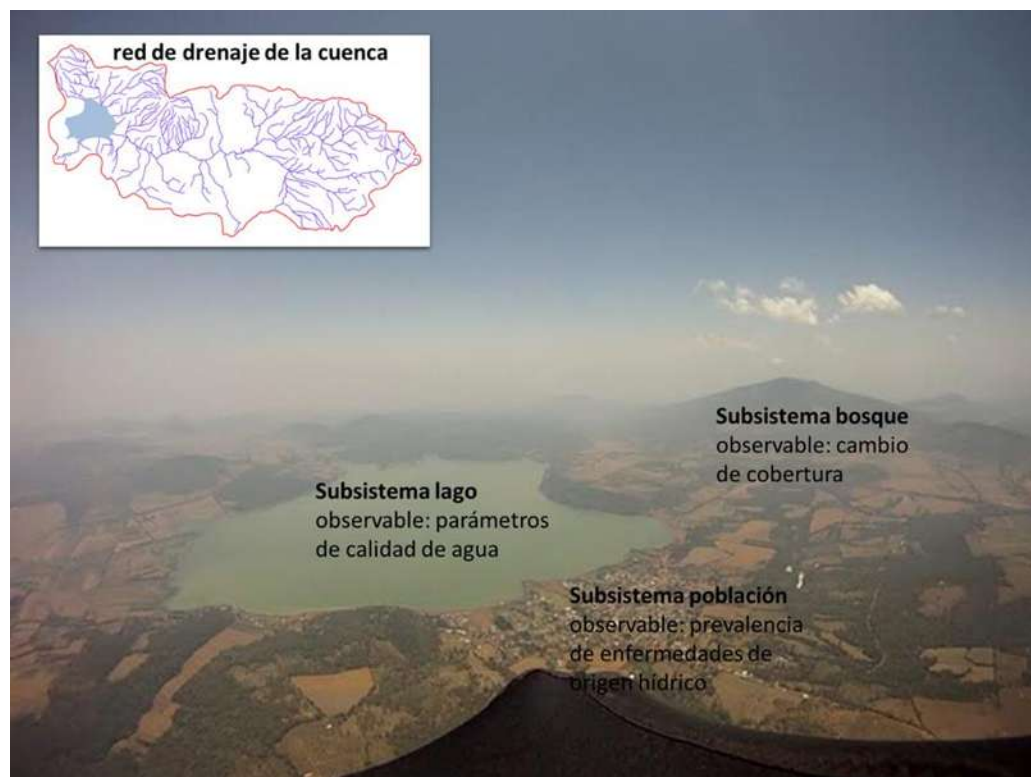
## **5. Identificación de la problemática a estudiar en cada subsistema para verificar o refutar la hipótesis**

Subsistema bosque. En éste subsistema la problemática a estudiar en el cambio de uso del suelo entre el año 1995 y el 2015, y explorar las posibles causas.

Subsistema lago. Analizar al cambio de la calidad del agua del lago en el tiempo, por medio de la obtención, sistematización y análisis de parámetros indicadores de calidad de agua

Subsistema población. Analizar la evolución de enfermedades de origen hídrico en la población de la cuenca, entre 1995 y 2015.

**Imagen 1. Fotografía aérea de la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente: Marco Magaña 2013**

## Resumen del capítulo

En éste segundo capítulo se describieron los paradigmas y enfoques con que se aborda el problema de investigación. El capítulo comienza desde la visión más general o globalizadora hasta desembocar específicamente en el problema de estudio.

El Pensamiento Complejo es el paradigma del que se derivan los enfoques y metodologías del metabolismo social y teoría de sistemas complejos, que se avocan al análisis y comprensión específica de problemas ambientales. La principal diferencia entre estos enfoques radica en la forma en que dirigen el análisis, el MS se avoca a la interacción de los recursos naturales y el hombre por medio del fenómeno de apropiación de éste último. La TSC se centra en tejer una serie de relaciones relevantes para el problema de investigación, a partir de información cuantitativa y cualitativa generada de diversas áreas del conocimiento pero bajo una visión sistémica y totalizadora.

También desde el enfoque de la complejidad se definen conceptos fundamentales para el problema de investigación, éstos son, la cuenca, región, salud y desarrollo. De ésta manera la cuenca es concebida como un sistema complejo socio-ambiental, el análisis regional va más allá de los elementos exclusivamente económicos; la salud humana está integrada a la salud del medio ambiente articulada a su vez por el enfoque de una salud o ecosalud, y el desarrollo de una región está en función de todos los elementos y relaciones que la conforman, y que se encuentran en interacción con el exterior. Se habla de la integración de los paradigmas de desarrollo sustentable y ecosalud bajo la premisa de Wilcox (2004) *la salud, ya sea de un ecosistema o de una población humana, puede ser vista como un criterio global para juzgar la sostenibilidad.*

En el último apartado se caracteriza el problema de estudio como un sistema complejo, se desglosan sus límites, elementos y estructura según ésta metodología, y esquematiza como el universo de la investigación.



### **CAPITULO III. CONTEXTO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN**

El LZ se encuentra embebido e integrado al sistema natural de cuenca, así como también al sistema social, cultural y económico de los asentamientos humanos que se localizan dentro del mismo espacio. En el capítulo anterior se describe el enfoque de análisis del problema de estudio, en donde se hace evidente la función del sistema socioeconómico como sostén de la articulación de las relaciones productivas, el medio ambiente y el posible deterioro de la salud de la población en la cuenca del LZ. Así que debido a su gran relevancia, éste capítulo se focaliza exclusivamente en la descripción de la zona de estudio a partir de sus elementos culturales y socio-económicos. Es un análisis sobre la estructura social y económica de la CLZ, sus actores y relaciones.

#### **3.1. Sistema socioeconómico mundial**

El capitalismo se ha instaurado como el modelo socioeconómico a nivel mundial. Desde los años setenta el sistema se ha expandido de forma que es difícil encontrar sociedades totalmente al margen del mismo. La expansión del capitalismo tiene características propias para cada región y para cada nación, las cuáles se expresan en sus rasgos económicos, ideológicos, políticos, sociales y ambientales (Leff, 2006).

Entre las características generales del capitalismo, se incluye la globalización económica, de la que deriva el fenómeno económico conocido como monopolización, donde la empresa crece bajo un modelo de acumulación. Más adelante aparece otro tipo de empresa: la transnacional, que es símbolo del desarrollo del sistema capitalista actual, y que se inserta en la nueva lógica de reestructuración donde los países denominados del tercer mundo no sólo aportan materias primas y alimentos a los países industrializados, si no que ahora, con la transnacionalización del capital, los capitales metropolitanos buscarán producir en los mismos países tercermundistas, de acuerdo a los bajos costos de los medios de producción o de trabajo que existen en

éstos países. Por lo que los complejos trasnacionales son considerados los agentes número uno del proceso globalizante (Bachmann-Fuentes, 2014).

El capitalismo global, va acompañado de la Ideología neoliberal, que implica la reducción de la intervención estatal, el libre mercado, y para el caso de los países subdesarrollados, reformas estructurales conforme las directrices de los organismos hegemónicos como el Banco Mundial y el FMI. Estas políticas se direccionan para permitir la operación de las empresas transnacionales, como la agroindustria en los países subdesarrollados, en los que se llevan a cabo reformas que forman parte de la reestructuración de la economía mundial en función de las necesidades de acumulación de capital financiero y de las empresas transnacionales con sede en los países desarrollados. El modelo neoliberal se impone en los países de tercer mundo entre los que se incluye México, a partir de la exigencia de los bancos y las instituciones financieras del pago de las deudas contraídas por éstos países, por medio de la aplicación de políticas económicas que denominaron programa de ajuste estructural, que más adelante serían los cimientos de la globalización (Bachmann-Fuentes, 2014).

### **3.2. Estructura social y económica de la cuenca del lago de Zirahuén: sus actores y relaciones**

La región de la cuenca de Zirahuén se sitúa en dos municipios, Salvador Escalante que tiene un total de 40 localidades, y Pátzcuaro con un total de 65. Dentro de la cuenca se ubican un total de 32 localidades, de las cuales 26 pertenecen al municipio de Salvador Escalante donde se distribuye el 91% del total de población de la cuenca, y el 9% restante de la población se ubica dentro de 6 localidades que pertenecen al municipio de Pátzcuaro (INEGI 2010). La población de la cuenca se concentra en algunas localidades, lo cual corresponde con la tendencia estatal y nacional. Casi el 80% de la población se ubica en cuatro localidades: Santa Clara del cobre, Opopeo, y Zirahuén que pertenecen a Salvador Escalante; y del municipio de Pátzcuaro la localidad de Santa Juana. La población en la cuenca del lago de Zirahuén muestra un comportamiento creciente del 2010 al 2015, aumentado a razón de 3.6% en promedio, principalmente en las localidades urbanas (Ortiz-Paniagua, 2017).

Los asentamientos de la cuenca son rurales, con excepción de Santa Clara y Opopeo que son los principales centros urbanos de la cuenca. En la mayoría de éstas localidades rurales se aprecia una distribución dispersa, las cuales tienen menor acceso a servicios públicos básicos como agua, luz, drenaje, vialidades e infraestructura, por lo tanto, la dispersión de los asentamientos tiene implicaciones en la marginación de las localidades.

Actualmente las vías de comunicación que conectan a las localidades de la cuenca incluyen caminos rurales, terracerías y carretera pavimentada. Destaca la autopista Morelia-Pátzcuaro-Uruapan, y la carretera federal Pátzcuaro-Uruapan. El 65% de los poblados de la cuenca tiene acceso a una vía rápida de comunicación por carretera pavimentada, las poblaciones restantes cuentan con brechas y caminos rurales (Ortiz-Paniagua y Rendón-López, 2010). Sin embargo, estos caminos están carentes de una adecuación a las verdaderas necesidades de la población que habita en la cuenca, ya que la mayoría de los pobladores no cuenta con transporte propio; las principales formas de desplazamiento son a pie, que corresponde a la tradición caminera de los pobladores purépechas, a caballo, bicicleta o motocicleta, debido principalmente a su bajo costo. Hasta ahora ninguna autoridad ha reparado en construir caminos que permitan su seguro desplazamiento, siendo incluso pavimentados de manera burda algunos de los caminos antiguos que eran utilizados para desplazarse principalmente caminando (Amézcuca y Sánchez, 2015).

Las actividades productivas, el uso de los recursos y formas de organización social se encuentra asociados a los diferentes grupos de población que coexisten dentro de la cuenca, que básicamente son: la población indígena, población mestiza y empresarios foráneos. La población que habita en la cuenca se conforma por las comunidades indígenas, y la población mestiza que se encuentra organizada como ejidos. En todas las comunidades coexiste la población mestiza e indígena, pero en diferente proporción, y en algunas localidades también se ubican actores foráneos como empresarios del sector agrícola y del turismo (Ávila, 2014; Ortiz-Paniagua, 2010).

### 3.2.1. Actores locales

Las comunidades y ejidos constituyen grupos de población histórica y culturalmente distintos, con mecanismos de regulación internos diferenciados así como de *estatus* jurídico. Dentro de la historia agraria de nuestro país, los ejidos generalmente fueron conformados por peones de las haciendas en donde trabajaban a través de la dotación de tierras que les fueron asignadas en tiempos posrevolucionarios; su *estatus* jurídico que fue modificado de manera definitiva en 1992, permitió la venta legal de tierras para propiedad privada. En cambio, la comunidad indígena posee una historia de lucha y defensa de sus tierra comunales fundada en la legitimidad por la antigüedad de sus títulos primordiales, durante la conquista; lucha por medio de la cual pretenden mantener sus mecanismos de organización interna que les permita mantener la organización local que se traduce en un manejo de los recursos propia, congruente con sus usos y costumbres (Ávila, 2014; Zárate, 1998).

Por lo tanto, la entrada paulatina de los actores foráneos a la cuenca, que fungen principalmente como empresarios agrarios y del sector turístico, ha sido primordialmente por la privatización de tierras ejidales (Nava, 2010). Estos actores se han expandido dentro de la cuenca particularmente en los últimos veinte años, ante la alta demanda del mercado externo del sector turístico y de los productos de las huertas comerciales de la cuenca, principalmente el aguacate. Por lo que las actividades productivas de éstos empresarios han generado un importante cambio de uso del suelo en la región para el establecimiento de huertas y asentamientos turísticos (De la Tejera *et al.*, 2012).

La población indígena que habita en la cuenca pertenece al grupo étnico Purépecha. Las comunidades purépechas existentes son los remanentes de la cultura mesoamericana que habitó antes de la conquista de los españoles, y que ahora están representadas por 79 localidades dentro de 12 municipios del estado de Michoacán. Dentro de los municipios donde se localizan comunidades Purépechas se encuentran Pátzcuaro y Salvador Escalante. De las 26 localidades de Salvador Escalante que se ubican dentro de la cuenca, 5 son denominadas indígenas, con menos del 40% de población hablante de su lengua, éstas localidades son: Zirahuén, Iramuco, Santa

Clara del Cobre, Opopeo, Cungo. De las 6 localidades del municipio de Pátzcuaro dentro de la cuenca, dos de ellas son indígenas: Estación de Ajuno (Santa Isabel Ajuno) y Santa Juana, con menos del 40% de población hablante de lengua indígena (Ávila, 2014).

Anteriormente, las comunidades purépechas en la cuenca del lago de Zirahuén se encontraban asentadas principalmente en la región lacustre, pero a partir de la llegada de los españoles gran parte de la población indígena se asentó en las zonas más altas y agrestes de la cuenca. Las alianzas pactadas entre los españoles y purépechas permitieron una transición menos violenta, a diferencia de lo que ocurrió en otras partes de Mesoamérica; los españoles se adjudicaron las mejores tierras y concedieron títulos virreinales a los pueblos indígenas, con el fin de tener disponibilidad de mano de obra para iniciar con su estrategia colonizadora. Desde entonces, a pesar de las transformaciones sociales y políticas por las que ha atravesado el país, los purépechas aún conservan su forma de organización comunal, que es uno de los elementos que los diferencia del resto de la sociedad. Otros elementos distintivos de la cultura purépecha son, su lengua, usos y costumbres, y el sincretismo religioso que fusiona elementos del catolicismo con su cosmovisión indígena prehispánica (Castilleja, 2003).

### **3.2.1.1. Formas de organización indígena: las voces de la comunidad**

En las comunidades indígenas aún se detectan formas de organización centenarias aunque también han ocurrido cambios sustanciales, principalmente por la influencia de factores y actores externos que interactúan con éstas comunidades (Amezcuza y Sánchez, 2015).

En cuanto a su organización, la costumbre que mejor se conserva es el sistema de cargos, y enseguida las reuniones de asamblea; en ellas se exponen los asuntos de orden cotidiano como la responsabilidad, práctica de ritos y fiestas anuales, hasta temas específicos o de emergencia que requiere una participación y decisión colectiva. La estructura y función del sistema de cargos es visible en todos los pueblos indígenas; su característica principal es el fuerte vínculo eclesiástico, ya que se encarga de garantizar la organización y celebración de los ritos del calendario religioso católico

(Dosil, 2014). En términos generales, todos los pueblos, ranchos, ejidos y comunidades, cuentan con la designación de cargueros, responsables de organizar las fiestas principales y dar mantenimiento y soporte a la vida religiosa cotidiana. En cuanto a las reuniones de asamblea, se conservan con un espectro muy amplio de práctica, desde su correcto manejo, hasta las que experimentan un fuerte proceso de desintegración, mal manejo, falta de representatividad real, ausencia de rendición de cuentas y ausencia de un archivo que funge como memoria histórica documental que da cuenta de los trabajos y discusiones de las comunidades y los ejidos (Fabián y Rosas, 2007; Guevara y Verduzco, 2018).

Otra característica que tienen en común la estructura de cargos y las asambleas, es su carácter de trabajo no remunerado, pero la responsabilidad implica en muchos casos, el apoyo económico o en especie para cumplir cabalmente con las obligaciones, así como el reconocimiento que brinda la honorabilidad, el respeto y el prestigio social. Existe la expectativa de que todos los comuneros ejerzan cuando menos alguna de éstas responsabilidades en su vida; y de la experiencia que acumulen éstos comuneros, y con ello el reconocimiento y respeto de la comunidad, se forma otra institución de gran relevancia en el funcionamiento y toma de decisiones de la comunidad, el Consejo de Ancianos, institución compuesta por todas las personas que hubieran pasado por los distintos cargos tanto religiosos como político-administrativos (Castilleja, 2003).

El papel del abuelo en la estructura familiar tradicional juega un papel fundamental ya que es éste quien posee la experiencia del servicio a su comunidad, a su familia, barrio y a Dios, manifestado en la misma tierra que ha trabajado durante toda su vida. La voz del anciano hasta hace poco era símbolo de autoridad, pues era el encargado de transmitir y resguardar la tradición y los recursos comunes, siendo el consejero de las autoridades. Sin embargo, dicha institución ha ido perdiendo vigencia paulatinamente, a tal grado que en algunas comunidades ya no es reconocido como autoridad al considerar obsoletos sus conocimientos ante una realidad cada vez más cambiante y dinámica. De igual manera, la adquisición del respeto y honorabilidad, por ostentar diversas responsabilidades dentro de las asambleas y estructura de cargos, es cada vez menos importante debido al cambio de las costumbres. Sin embargo, los

ancianos de las comunidades aún son reconocidos como las personas que mejor conocen el territorio de cada comunidad (Amezcuca y Sánchez, 2015; Castilleja, 2003).

Tradicionalmente, los asuntos relacionados con la tierra están enlazados con el papel del varón en la comunidad. Generalmente la tierra y los derechos sobre ésta son heredados a los hijos varones quienes deciden para qué se destinará. La participación de la mujer en las comunidades Purépechas, tradicionalmente está relacionada principalmente con el ámbito doméstico, es la que se encarga de la educación y cuidado de los niños reproduciendo los valores culturales del grupo étnico. Trabaja en conjunto con el hombre en la manutención del hogar, la mujer es la encargada de transformar el maíz, leña, hongos, entre otras materias primas que el hombre proporciona en su diario transcurrir en el cerro y parcela. Las mujeres también participan en las labores agrícolas ayudando en los trabajos de siembra, deshierbe y cosecha. En las últimas décadas, la mujer también funge como responsable directa de las actividades agrícolas, como consecuencia de la ausencia del hombre principalmente por la migración (Ávila, 2014; Amezcuca y Sánchez, 2015).

Por otro lado, debido a que la mujer es la principal encargada de administrar y sostener el espacio doméstico, la escasez de algún recurso como agua o leña que afectan directamente a la unidad familiar, situación que se acentuado en las últimas décadas, ha estimulado la salida de las mujeres del ámbito doméstico a la escena pública, participando activamente en la defensa de los bienes comunes como el bosque, agua y tierras agrícolas, como ha ocurrido en la comunidad de Zirahuén (Garza-Bueno *et al.*, 2014).

Las mujeres han ganado paulatinamente espacios de representación al interior de sus comunidades, quienes reconocen su labor e incluso han propuesto que sean ellas quienes se encarguen de las brigadas de vigilancia o la tesorería de la representación comunal, al considerarlas más honestas y comprometidas. Bajo éste escenario, también es reconocida su capacidad de adaptación en situaciones desfavorables, al introducir estrategias socioculturales para enfrentar y reducir sus impactos, como son: la construcción de terrazas, la plantación de árboles, el manejo de plantas y semillas silvestres para su reproducción; y así es como han mantenido y asegurado por años, el acceso a los recursos naturales como fuente de alimentación

tanto para sus familias como para sus animales (Romo, 2011). Éste reconocimiento no es sólo dentro de las comunidades, algunos programas de gobierno como la CONAFOR han mencionado que la mujer desempeña una importante función en la seguridad alimentaria, en la estabilidad y en el desarrollo de las zonas rurales de México, siendo quienes promueven y transmiten la necesidad de preservación y cuidado del bosque y fauna existentes en las comunidades (Ávila, 2014).

De esta manera, la migración, la escasez y lucha por los recursos naturales, así como el reconocimiento de la labor de las mujeres, son algunos de los fenómenos que han desencadenado que las mujeres asuman nuevos roles dentro de la estructura organizativa y el manejo de los recursos de su comunidad (Garza-Bueno *et al.*, 2014).

### **3.2.1.2. Actividades productivas**

Las comunidades rurales indígenas y mestizas están ligadas directamente al aprovechamiento de sus recursos naturales, como es el uso de los recursos maderables y no maderables del bosque, pesca y agricultura de temporal principalmente de maíz, frijol, papa, trigo y cebada. Para éstos sectores de la población, las actividades primarias no representan importantes ganancias pero son básicos para su subsistencia; complementan sus ingresos con la fabricación y venta de artesanías, trabajo asalariado como jornaleros en huertas comerciales o en asentamientos turísticos, migración temporal, y comercio relacionado con el turismo que es particularmente relevante para algunas localidades, como Zirahuén, Cerrito Colorado, Colonia Lázaro Cárdenas, Cuitzitan, Santa Clara del Cobre, Cungo y Cuirindicho (Ortiz-Paniagua, 2010).

El aprovechamiento del bosque por parte de la población local, incluye el uso de recursos maderables como pino, encino y oyamel, principalmente para la fabricación de artesanías, en algunos caso muebles, y como leña. El aprovechamiento de productos no maderables, se divide entre los que tienen un valor de uso y los que se comercializan proporcionando un recurso monetario a quienes lo venden. En el primer grupo se encuentra la recolección de hongos, quelites, leñas de árboles secos y plantas medicinales que son utilizados para satisfacer necesidades principalmente domésticas.



Entre los productos no maderables que se comercializan está la tierra de encino para jardinería, que es vendida en los centros urbanos más cercanos y la resina. En la actualidad se cuenta con 10 resineros reconocidos que laboran en un sector del bosque; dentro de la comunidad indígena el derecho a resinar se establece en ser comunero registrado en el padrón o hijo de comunero que participe activamente en plantones y mítines realizados en Morelia en defensa del lago y las tierras comunales. Además de resinar los árboles que poseen cierto diámetro, el resinero es encargado de vigilar el bosque (Ávila, 2014; Zárate, 2011).

La producción artesanal es una actividad particularmente relevante para la localidad de Santa Clara que se especializa en las artesanías de cobre, en donde existen alrededor de 200 talleres. Cada taller, por lo general, cuenta con seis artesanos. La mayoría son hombres, en años recientes se ha venido incrementando la participación de la mujer dentro de esta labor. Tradicionalmente los niños colaboran desde los seis años ayudando con el fuelle, también se puede apreciar que algunos artesanos, a pesar de su avanzada edad, aún participan activamente en la producción. La mayoría de los talleres tienen una estructura familiar en donde se van transmitiendo las técnicas de generación en generación a través de la oralidad y la práctica (Instituto Municipal de la Mujer de Salvador Escalante, 2015).

### **3.2.2. Actores Externos**

Tanto el turismo como el cultivo de aguacate son actividades que han transformado en las últimas décadas la estructura productiva de la región (Sandoval-Hernández, 2006), y con ello la cobertura vegetal, el uso del suelo y las relaciones entre actores. A pesar de la alta demanda del turismo, y del éxito del sector aguacatero en la cuenca del lago de Zirahuén que ha convertido a ésta actividad en un pilar económico del estado de Michoacán, la población que habita la cuenca sigue siendo de las más pobres del estado (Ávila, 2014; Villanueva y Zepeda 2016). Esta ambigüedad es considerada consecuencia de la concentración del cultivo en una minoría territorial, así como los beneficios en un número reducido de productores externos a la región (De la Tejera *et al.*, 2012).

Tanto el turismo como las huertas de aguacate son actividades que requieren fuerza de trabajo eventual para diferentes tipos de labores: desde el trabajo jornalero agrícola en plantaciones de aguacate, la atención y prestación de servicios al cliente en los locales comerciales; sin embargo, al ser eventuales no permiten al trabajador acumular riqueza, ni lograr una mejora en sus condiciones de vida. Quedando además, resquicios operativos por donde los dueños o patrones pueden evadir sus responsabilidades fiscales y abusar de la situación vulnerable de sus trabajadores (Ávila, 2014).

En cambio, las problemáticas que se derivan de éstas actividades se concentran dentro de la cuenca (Dela Tejera *et al.*; 2012). Las principales problemáticas que se presentan en la cuenca del lago de Zirahuén son: pobreza, deterioro del bosque, el suelo, de los cuerpos de agua, y pugnas por la tierra (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Las huertas comerciales de aguacate es uno de los principales usos que los propietarios privados le dan a su territorio, éstos actores en su gran mayoría son externos a la comunidad de la cuenca y utilizan fuerza de trabajo asalariado proveniente de las diversas localidades de la región (Argueta y Castilleja, 2008). Bajo el mismo esquema, desde hace aproximadamente veinte años se desarrolló el turismo en la región, donde los propietarios privados emplean a la población de la cuenca que a la par también desarrolla actividades comerciales vinculadas al turismo, principalmente la venta de artesanías. Estas actividades turísticas se llevan a cabo en los tres muelles de la cuenca, de los cuales dos pertenecen a propietarios privados y uno a la comunidad ejidal, pequeños propietarios de Zirahuén, y en menor medida integrantes de la comunidad indígena (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Dosil (2014) menciona que en el caso específico de Michoacán, el turismo representa una importante amenaza para las comunidades indígenas y la conservación de los recursos naturales, ya que el referente indígena es continuamente utilizado para atraer el turismo y su carta de presentación suele ser “ecoturismo”. Sin embargo, en la realidad bloquea el acceso a lo indígena pues lo vacía de todo contenido que pueda entorpecer el uso mercantil del término, y atrae el capital que se apropia de las tierras comunales y reduce la cultura popular a mero espectáculo. En la

gran mayoría de los casos, la comunidad no dirige éstas actividades y tampoco existe una planeación que permita reducir el impacto al medio ambiente.

En el caso de la cuenca de Zirahuén, la actividad turística se encuentra protagonizada por propietarios privados provenientes principalmente de la ciudad de Morelia. Los principales inversionistas datan desde los años setenta y pertenecen a la familia Arreola, de la cual sus miembros han sido caciques de la comunidad hasta la fecha; han hecho uso de su poder político y recursos económicos para apropiarse de grandes extensiones de tierra, han incidido de manera importante en la divisiones de la comunidad, y más recientemente se han asociados con inversionistas extranjeros para extender sus asentamientos turísticos (Zarate, 1998).

Las historias de despojo para el establecimiento de huertas son una constante desde los años ochenta. Al igual que los propietarios de asentamientos turísticos, los dueños de las huertas de aguacates no son nativos de la comunidad, esto ha representado muchos problemas para la comunidad como la apropiación ilegal de tierras, inseguridad, deterioro del medio ambiente; incluso en algunos casos, se encuentran armados y entre sus árboles de aguacate tienen sembradíos ilegales. Ponen a cuidar y a trabajar sus tierras a gente de la comunidad, sus trabajadores han tenido muchos problemas de salud porque tienen que fumigar tres horas diarias y después de hacerlo no deben de tomar ningún alimento o tener contacto con otras personas por los químicos tan tóxicos que manejan. Pero no toman las medidas adecuadas, de manera que se enferman y los corren de su trabajo, que en lo sucesivo ocupará algún otro comunero que correrá el mismo riesgo en su salud (Ávila, 2014).

### **3.2.3. Grupos de interés y conflictos**

Las actividades productivas que predominan en cada comunidad, se encuentran en relación directa con la diversidad de recursos naturales que poseen, así como de los tipos de tenencia de la tierra que predominan, ya que éstos facilitan o limitan el acceso a los recursos naturales por parte de los diversos sectores de la población (Alemán, 2010). La economía de algunas comunidades se caracteriza por estar basada en el capital natural, que se resume en la biomasa que poseen como comunidad, como es el caso de Zirahuén y San Miguel Charahuén; otras comunidades como la Colonia Comunal Emiliano Zapata basan su economía principalmente en el

trabajo asalariado, otras como Santa Clara del Cobre, su principal actividad económica es la fabricación y venta de artesanías. Estas actividades productivas se relacionan con determinados grupos de interés, que generalmente tienen un acceso desigual a los recursos naturales, así como distintas concepciones sobre los mismos (Alemán, 2010; Zárate, 1998).

Alemán (2010) sostiene que la diversidad de grupos de interés que coexisten en una comunidad define el nivel de conflicto de la misma. Para argumentar su hipótesis, hace una comparación entre dos comunidades: Zirahuén y San Miguel Charahuén. Zirahuén es una comunidad con una localización estratégica, ya que se encuentra a la orilla del lago, lo que la hace también poseedora de extensas tierras aptas para cultivo además de tener acceso al bosque; tiene los tres tipos de propiedad que existen en el nivel nacional: comunal, ejidal, y privada. La combinación de los tres tipos de propiedad con los recursos naturales que posee, produce siete grupos de interés, que son: comuneros, ejidatarios, pescadores, artesanos, resineros, dos grupos de interés externos a la comunidad que son los propietarios privados de huertas comerciales principalmente de aguacate y los empresarios de centros turísticos, y los asalariados dentro de éstos dos sectores. La localidad de Zirahuén también es conocida por los conflictos que han emergido de ella principalmente desde el arribo de capital externo a la comunidad, que ha desplazado a la gente local en el control de sus recursos naturales como el algo, el paisaje y la tierra. Estos conflictos han llevado a la formación de organizaciones principalmente por parte de los comuneros, en las que encabezan una lucha agraria, por el control y conservación de sus recursos, e incluso se han enlazado otras organizaciones a nivel nacional.

Por otro lado, San Miguel Charahuén tiene pocas actividades económicas, las principales son, agricultura de temporal, elaboración de artesanías y trabajo asalariado. Los tipos de propiedad que imperan en ésta localidad son la ejidal y la privada; los recursos naturales con que cuenta son el bosque y la tierra. Se distinguen cuatro grupos de interés los artesanos y ejidatarios como los grupos de interés locales; externos a la comunidad son los compradores de madera y los agricultores con propiedad privada. De estos grupos de interés, los ejidatarios dan muestras de una

acción colectiva, principalmente para proteger los recursos naturales, sin embargo el nivel de conflicto no ha sido una condición emergente.

Lo que éste autor concluye es que el nivel de conflicto en una comunidad es una variable dependiente del número de recursos naturales y de tipos de tenencia de la tierra, ya que una alta diversidad de éstos generan mayor número de grupos con sus propios intereses, que en muchos casos son opuestos. Por lo tanto, el elevado nivel de conflicto en la localidad de Zirahuén, obedece a la diversidad de los grupos de interés que coexisten.

Los conflictos generados por contraposición de interés también están presentes dentro de las comunidades, particularmente en Zirahuén por ser una comunidad política perenne. Guevara y Verduzco (2018), a través de un estudio etnográfico muestran los conflictos intracomunales de Zirahuén que fueron protagonizados por dos de sus líderes: Marcos Paz Calvillo dirigente de la comunidad agraria de Zirahuén de 1980 a 2010, y Fermín Casias secretario del comisariado de bienes comunales en 1991. Sus conflictos desembocaron en la división de la comunidad, y la expulsión de uno de los grupos de la Unión de Comuneros Emiliano Zapata (UCEZ), la organización indígena-campesina más importante del estado de Michoacán entre 1980 y 2010.

#### **3.2.3.1. Los recursos naturales: confrontación de visiones**

La comunidad indígena es el grupo que originalmente se asentó en la cuenca; espacio que desde la época de la colonia ha sido invadido por otros grupos poblacionales con diversos intereses, principalmente económicos (Dosil, 2014; Zarate, 1998). Los Españoles, y después empresarios han buscado beneficiarse económicamente de las riquezas de la región, ésta visión se contrapone a la lógica de la comunidad indígena, en la que el medio ambiente en que habitan representa su hogar y parte integral de su cultura, por lo que conservarlo es al mismo tiempo conservar su identidad. Por medio de su estructura familiar y comunal transmiten los valores y técnicas específicas para el cuidado de los bosques, el agua y la fauna (Ituarte, 2007). Su organización social basada en un sistema de cargos también favorecen la existencia de valores de cooperación y confianza, lo cual, aunado a su conocimiento ancestral sobre el medio ambiente y la visión compartida sobre su

importancia, fortalecen su capital social para la conservación de los recursos naturales (Merino, 2004).

Las comunidades y ejidos han sido poseedores de grandes áreas forestales, son también los colectivos que más han aportado en la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, han sido fuertemente impactados cultural y económicamente por las sociedades urbanas y el mercado, lo que ha ocasionado de manera paulatina su empobrecimiento y la pérdida de mecanismos tradicionales de control social sobre los recursos naturales (Amézcuca y Sánchez, 2015; Ávila, 2014). Esto ha ocurrido en favor de negociaciones comerciales e institucionales que favorecen proyectos ajenos a sus intereses, como son los inmobiliarios y turísticos, en los márgenes del lago de Zirahuén, así como el asentamiento de huertas de aguacate en diversas zonas de la cuenca; estas actividades productivas han provocado conflictos tanto entre la población local y los propietarios privados como intracomunitarios (Nava, 2010). Sin embargo, para muchas comunidades, aún prevalece la valoración social de los recursos que rebasa el interés económico; y muchos de éstos recursos, como los bosques, representan principalmente para los sectores más vulnerables de las comunidades, una fuente de recursos para satisfacer las necesidades familiares al aportar alimentos, energía, materiales de construcción y modestos ingresos económicos (Amezcuca y Sánchez, 2015).

En cuanto al Estado, la introducción de compañías extranjeras al país en el último tercio del siglo XIX, establece la primera pauta importante en cuanto a las formas de concebir el bosque; continuando por las leyes de privatización de tierras comunales y de terrenos denominados como “baldíos”, y la construcción de vías ferroviarias por intermediación de compañías extranjeras, son claves imprescindibles para entender el momento en el que el bosque fue considerado por el Estado un recurso estratégico en el desarrollo industrial, y por tanto, se convirtió en un bien mercantil (Dosil, 2014).

Si bien a lo largo de la colonia se gestaron cambios importantes en la configuración del grupo purépecha, hasta el momento las políticas desarrolladas por el grupo hegemónico no habían interferido tan tajantemente en la dinámica de la localidad, permitiéndole hasta cierto punto la administración de su territorio. En cambio, el ingreso de estas compañías, con una lógica distinta, viene a cambiar los modos de

encarar la realidad provocando una crisis que habría de redefinir la vida de las comunidades indígenas y llevaría a un proceso de lucha social (Dosil y Fuentes, 2014; Nava, 2010).

Así, que a pesar de que las comunidades indígenas habitan el territorio en una lógica de uso y conservación de los recursos naturales sustentado en un amplio conocimiento de los mismos, para el sector gubernamental del país las zonas forestales de ejidos y comunidades indígenas que son "áreas de uso común", han sido consideradas un riesgo para la conservación de los bosques, pues se le ha asociado a condiciones de acceso abierto sin ninguna regulación ni control. Basado en este supuesto, el Instituto Nacional de Ecología generó un mapa nacional de "riesgos de deforestación", el cual asocia de forma mecánica la marginación y la propiedad social de la tierra como variables relacionadas con el deterioro forestal; sin apoyarse en una comprensión amplia de las dinámicas relacionadas con el proceso de deterioro forestal. Una de las consecuencias de este tipo de interpretaciones es que se responsabiliza a los ejidos y comunidades pobres de la degradación forestal, justificando medidas de política ambiental que busquen evitar que las comunidades puedan ejercer sus derechos de uso y manejo sobre los bosques (Merino y Ortiz, 2013).

Varias investigaciones sobre la política forestal mexicana (Merino, 2004; Merino y Ortiz, 2013), han mostrado cómo estas interpretaciones no han tomado en cuenta la historia de las políticas de conservación forestal en el país, soslayando que, al limitar los derechos de control de las comunidades agrarias sobre sus bosques, así como ignorar el papel que han tenido en la conservación de los recursos naturales, las políticas y programas que se han aplicado en muchos casos han generado más incentivos contrarios al manejo efectivo de los recursos.

Prueba de lo anterior es la "evaluación social regional" realizada por Ávila (2014) en relación con algunos programas gubernamentales dentro de la cuenca por parte de la CONAFOR, a través de la cual identificaron diversas problemáticas. Una de ellas es que existe una elevada tendencia a la concentración de la información y la toma de decisiones; por ejemplo, la decisión de las zonas para restaurar, generalmente depende fundamentalmente de la evaluación que hacen en campo el asesor técnico y

el personal de la CONAFOR. En ocasiones, en la toma de decisiones se involucran las mesas directivas de los núcleos agrarios, sin embargo, ya que la gran mayoría de estos programas funcionan bajo una lógica monetaria, al haber incentivos económicos de por medio se genera, en muchos casos falta de transparencia, que en la mayoría de las ocasiones genera conflictos al interior de dichas comunidades.

En varios casos, la población indígena señala que han propuesto terrenos aptos para restauración, en base al profundo conocimiento de su territorio, las plantas y los suelos; sin embargo les ha sido negado el apoyo por tener mayor cobertura forestal que la exigida por el programa, que es menos del 30%; y por su grado de deterioro tampoco pueden entrar al esquema de pago por servicios ambientales, por lo que quedan excluidos de los apoyos de la CONAFOR. Así que, dada la estrechez de los criterios técnicos definidos, muchos predios forestales solo ven dos caminos: protegen por su cuenta esos terrenos o terminan devastándolos para ahora sí tener apoyo, o introducen cultivos agrícolas más redituables aunque eso implique mayor impacto ambiental negativo al territorio. De ésta manera, en muchos casos se genera un efecto adverso a la protección y conservación de los recursos.

Otra problemática que señala Ávila (2014), es el involucramiento de las comunidades en las actividades de restauración motivada principalmente por la entrega de incentivos económicos. Anterior a este programa, la población participaba en las labores de reforestación sin recibir apoyo económico, a través de la participación en faenas comunitarias, pero ahora con los incentivos económicos aunada a la pobreza en que se han visto envueltas éstas comunidades, el sentido de ésta labor ha cambiado. En algunas comunidades el incentivo económico ha sido un factor de discordia entre la población, pues de éste han emergido conflictos por el control de los recursos del programa, que han llegado a niveles de ruptura entre grupos.

Otras problemáticas que encontraron en relación a éstos programas, es la introducción de plantas no adecuadas a los ecosistemas forestales de la región; y que la posibilidad de restaurar los bosques y reconvertir tierras agrícolas a uso forestal parece alejarse ante las presiones que ejerce el mercado, ya que el costo de oportunidad de la tierra es mayor en cultivos comerciales.



También advierten una cuestión de discriminación étnica, particularmente en la comunidad de Zirahuén, donde las políticas y programas públicos han favorecido a los grupos económicos dominantes que son mestizos y urbanos, como los dueños de las huertas de aguacate, los propietarios privados y los especuladores inmobiliarios y turísticos. De hecho los comuneros prácticamente no participan en éstos programas, y éstos señalan que los funcionarios de la CONAFOR no atienden sus solicitudes e iniciativas para el cuidado del bosque, que durante 2012 y 2013 solicitaron de forma presencial y por teléfono, audiencia con el gerente estatal, sin recibir respuesta.

En general, en el caso de la cuenca del lago de Zirahuén los apoyos para la comunidad indígena han sido muy pocos, a pesar de que cuentan con una superficie forestal importante y con áreas sujetas de restauración; ésto es particularmente importante si se considera la enorme presión que tiene por los cambios de uso de suelo forestal, principalmente para la avanzada de proyectos inmobiliarios y turísticos o huertas de aguacate (Ávila, 2014).

### **3.2.3.2. Conflictos agrarios**

Actualmente la población ejidal e indígena de la cuenca argumentan títulos de propiedad falsos por parte de actores externos a la comunidad que pretenden cambiar el uso del suelo (Moreno-Calles *et al.*, 2013). El cultivo de aguacate y los asentamientos turísticos han provocado conflictos al interior de las comunidades debido a que han acelerado el proceso de privatización de la tierra, y creado una brecha cada vez más distante entre los poseedores de la tierra y quienes se limitan a ser jornaleros de las huertas aguacateras (Garibay y Bocco, 2011); esto ha desembocado en pugnas por la tierra entre ejidatarios, comuneros y los propietarios privados (Ávila, 2014; Nava, 2010).

En la cuenca existe una larga trayectoria de lucha por la defensa de sus tierras comunales y sus recursos naturales. Las Leyes de Colonización implantadas desde 1824 por el Congreso de la Nación y aplicadas desde 1827 por sucesivos decretos del Gobierno del Estado de Michoacán, despojaron a las comunidades de lo que llamaron "tierras baldías". Su parcelación y enajenación por compraventa pretendió sustraerle a la comunidad su base material, para así impulsar la disolución de las estructuras

intracomunales e integrar a sus miembros individualmente en la nación mexicana. Esta estrategia llega a sus límites cuando el gobierno federal de Benito Juárez (1861-1872) aplica la Ley de Desamortización de 1856, también conocida como Ley Lerdo, lo distintivo de esta iniciativa gubernamental consiste en que, en lugar de intentar arrebatar paulatinamente a la comunidad su base material empezando por sus tierras baldías, directamente deroga su base jurídica.

La desamortización, confirmada en la Constitución de 1857, disuelve las estructuras corporativas negándoles su personalidad jurídica. Desde entonces, las así llamadas "extinguidas comunidades" pierden su capacidad de pleito legal. El único recurso que les queda a los comuneros es obstruir mediante una resistencia pasiva el proceso de parcelación y enajenación de las propiedades comunales, proceso que ya no se limita a los terrenos baldíos, sino que incluye todas las tierras de titularidad comunal (Ávila, 2014; Nava, 2010).

Cuando Porfirio Díaz subió al poder en 1876 se precipitó la puesta en práctica de las desamortizaciones. En esta situación, muchas comunidades acceden a transferir estas tierras a determinados comuneros a título individual, para impedir que sean declaradas tierras deslindables. Sin embargo, la mayor parte de las tierras comunales se tienen que vender a gente de fuera de la comunidad para generar ingresos suficientes que financien el proceso de deslinde, parcelación y titulación individual de las tierras, puesto que todos estos gastos corren a cargo de la ex-comunidad.

Como siguiente paso para la liberalización y privatización de tierras comunales, en 1992 se realizó una reforma constitucional que restableció las bases jurídicas para el sometimiento de la tierra al poder del capital y la generación de relaciones capitalistas en el campo: la reforma al Artículo 27º de la Constitución Mexicana mediante la cual se incorporó el suelo ejidal al desarrollo urbano legal. Así se permitió la venta de suelo ejidal y comunal para, supuestamente, combatir las urbanizaciones ilegales ya que antes de esto la Ley Agraria prohibía la enajenación de tierras ejidales y su urbanización. Esta liberalización condujo a la misma situación anterior a la reforma agraria: la concentración de la tierra en manos de pocos y un campo sin campesinos (Bachmann-Fuentes, 2014).

### **3.2.3.3. Crimen organizado**

Ávila (2014) menciona que en las localidades de la cuenca se vive inseguridad ligada a la presencia del crimen organizado, hace especial mención en la relación de éstos grupos delictivos con el bosque y su aprovechamiento. El papel del crimen organizado, principalmente en territorios indígenas y campesinos, ha sido brindar protección para realizar la tala ilegal de bosques; violentar los acuerdos sociales para apropiarse de recursos comunes, como los manantiales y cuerpos de agua; provocar incendios forestales para lograr cambios de uso de suelo; garantizar la introducción de cultivos comerciales como el aguacate en las zonas deforestadas intencionalmente, conocidas como narco-huertas, en las que en ocasiones también siembran cultivos ilegales; blindar espacios forestales para la realización de actividades ilícitas como narco-laboratorios; y exigir el pago de cuotas a los integrantes de las comunidades que quieren hacer aprovechamiento del bosque.

Como resultado, el uso de los recursos del bosque por parte de los locales se ha hecho poco redituable, aunado al riesgo que conlleva. Los bosques se han vuelto cada más inseguros y peligrosos, los caminos tradicionales y veredas creadas desde hace cientos de años entre los montes, terrenos de siembra y zonas de pastoreo para la recolección de leña, resina y madera de pino y encino entre otros recursos, ya no pueden ser aprovechados; lo que contribuye aún más al empobrecimiento de éstas comunidades ya que, precisamente en las que se encuentran las condiciones más precarias, algunos de éstos recursos son básicos para su subsistencia. Otro grupo de la población que se vulnerabiliza de manera particular por éste clima de violencia, son las mujeres, ya casi no acceden al bosque sino es acompañadas, y si esto no es posible, prefieren comprar la leña y otros insumos que antes obtenían directamente del bosque (Amézcua y Sánchez, 2015).

Este contexto de inseguridad es un riesgo que impacta negativamente en la visión de largo plazo de las comunidades, lo cual disminuye sus expectativas sobre los beneficios potenciales que podrían obtener de las reforestaciones y con ello, su interés por mantener y conservar los bosques. Ávila (2014) mencionan que algunas comunidades han afrontado estas circunstancias mediante la organización interna, la

gestión y diversificación de sus actividades para poder proteger sus bosques, sin embargo es un problema que si no se resuelve, puede ser incontenible.

#### **3.2.3.4. Educación: espacio de interculturalidad**

Michoacán es uno de los estados de la república que tiene mayor rezago en bienestar social, en desarrollo económico y educativo; estos factores permean a las localidades de la cuenca, principalmente a las rurales, sobre todo si se encuentran alejadas de las cabeceras municipales (Amézcuca y Sánchez, 2015).

La cuenca es una región culturalmente diversa, compuesta por indígenas y mestizos. Dosil y Fuentes (2014) mencionan que la interculturalidad es reconocida como un escenario de fuertes tensiones y de acción política. Los indígenas han sido responsables de los movimientos sociales más importantes dentro de la cuenca, acorde con lo que ha ocurrido en todo el continente donde las principales iniciativas de resistencia política han sido protagonizadas por comunidades indígenas. Dentro de éste contexto, la educación juega un papel protagónico, ya que los proyectos pedagógicos también son políticos; el aula es un espacio donde se pueden catalizar o neutralizar las trasformaciones sociales; la política educativa puede promover determinados ideales o principios.

Actualmente, un lugar común para los educadores y los proyectos pedagógicos del país es el reconocimiento de la diversidad cultural que existe en algunas regiones, y con ello, la diversidad en el aula que requiere del fomento a la convivencia dentro de las diferencias. Sin embargo, en la práctica existen muchas incongruencias que se pueden observar a lo largo de la historia del país (Dosil y Fuentes, 2014).

Desde la Revolución, la política gubernamental ha consistido en fomentar el mestizaje de la población, en la idea promulgada por José Vasconcelos sobre la identidad de México en el mestizo, y por lo tanto, el futuro de los indígenas sería necesariamente su progresiva disolución (Urías Horcasitas, 2007). Así que la política educativa se puso al servicio de este proyecto que se ha mantenido hasta nuestros días, con cambios sustanciales en las estrategias de intervención. Estos cambios han obedecido a la inesperada resistencia de las comunidades indígenas, y a la necesidad de ocultar estas intenciones bajo discursos cada vez más sutiles y elaborados, debido

principalmente a las críticas generadas por intelectuales que han reclamado el reconocimiento de la naturaleza multicultural de México (Bonfil Batalla, 2006). Este discurso crítico permeó en ciertos sectores progresistas de la sociedad, que incorporó la causa indígena a la lucha por la democracia.

Así, que a partir de la intención de velar el objetivo político de disolver a las comunidades indígenas, se derivaron iniciativas gubernamentales claramente contradictorias; tal es el caso de la enmienda al artículo cuarto de la Constitución en 1992, donde se reconoció por primera vez en la historia el carácter pluricultural de la nación mexicana. Paralelamente se impuso una reforma al artículo 27 que permitió la privatización y la enajenación de las tierras indígenas, lo cual ha implicado un duro golpe a los pueblos indígenas, en los que la organización comunal da sentido a sus culturas y formas de vida (Dosil y Fuentes, 2014).

Consecuencia de lo anterior, en décadas recientes diversas comunidades indígenas han tomado conciencia de la importancia de contar con escuelas que respondan a sus demandas reales. Por lo general, estas escuelas son creadas por los indígenas con recursos propios. En algunos casos, son registradas de manera oficial, sin embargo, esto supone su incorporación al sistema educativo oficial, lo que conlleva a una negociación con las autoridades sobre la selección de profesores y del equipo directivo, que en la práctica, lleva a la pérdida de su carácter original reivindicativo. Tal ha sucedido, por ejemplo, con la Escuela Técnica de Secundaria “Efrén Capiz” de Zirahuén, construida en 2003 por los indígenas a fuerza de trabajo colectivo desde una posición educativa radical, sustentada en los planteamientos de la pedagogía crítica. En la actualidad, esta escuela sirve de bastión a las autoridades para neutralizar cualquier tipo de acción rebelde dentro de la comunidad de Zirahuén, ya que posee una larga trayectoria de lucha en defensa de sus tierras (Dosil y Fuentes, 2014).

Cuando estas escuelas logran mantener su autonomía, actúan como importantes motores de transformación social, de defensa de las tradiciones y de resistencia ante la continua opresión a la que se ven sometidos los indígenas. Para lograr tal educación es necesario, salvo algunas excepciones, que los profesores sean originarios de la comunidad, que estén familiarizados con los problemas que deben afrontar los pueblos indígenas y que dominen su lengua o al menos estén

familiarizados. Un ejemplo de éste tipo de escuelas son los Caracoles, término empleado por los neozapatistas, que son una amplia red de espacios educativos donde se desarrolla la pedagogía crítica, se apropian de la realidad indígena y la conecta con el mundo (Ramírez Castañeda, 2006).

### **3.2.4. Problemáticas específicas de la región**

Durante el siglo XX, en México surgieron transformaciones sociales y económicas de gran relevancia, como el cambio demográfico, la revolución verde, la urbanización, industrialización, e integración del país a la economía global; estos cambios conllevaron a una mayor presión sobre los espacios naturales y rurales que se convirtieron en los medios de aprovisionamiento de materias primas, alimentos y servicios ambientales. La relación de dominio de la ciudad sobre el campo, se exacerbó y conllevó al deterioro social y ambiental de los territorios indígenas y campesinos. En particular, los bosques fueron afectados por la explotación de usos maderables y no maderables, así como por los cambios de uso del suelo de forestal a agrícola, pecuario y urbano (Dosil, 2014).

Las comunidades rurales e indígenas de México enfrentan problemas que llevan décadas, como la crisis del campo, la migración a Estados Unidos, la violencia asociada al crimen organizado, tala ilegal, el cambio del uso del suelo, la especulación turística, escasez de agua, educación excluyente, discriminación por gran parte de la población mexicana etc. Su historia ha estado marcada por la opresión y pobreza (Dosil, 2014; Garza-Bueno et al., 2014).

En la región de la cuenca de Zirahuén, la población local experimenta problemas asociados al deterioro socioambiental como consecuencia principalmente de cambios políticos y económicos en el país que han facilitado la entrada de actores externos a la región. Los actores externos se han expandido dentro de la cuenca y en muchos casos también apropiado del territorio comunitario, despojando así a los pobladores locales de su capital natural y al mismo tiempo, generando daños al medio ambiente (Zárate, 1998). Los principales problemas que presentan éstas localidades se encuentran asociados a la pobreza, migración, conflictos por la tierra, alcoholismo, violencia, deterioro de bosques y los cuerpos de agua.

Respecto a la marginación, en resultados integrados a nivel municipal, el grado de marginación en el municipio de Salvador Escalante es medio y en el municipio de Pátzcuaro es bajo (CONAPO, 2012); sin embargo, cuando se analizan los indicadores de marginación en las localidades dentro de la cuenca, todas las localidades de ambos municipios presentan un grado de marginación alto. El índice de rezago social (CONEVAL, 2011) indica valores medios para la mayoría de las localidades, pero Santa Clara del Cobre presenta un grado de rezago social bajo. Destacan las condiciones de alta marginalidad y muy alta marginalidad que predominan en las localidades indígenas, esto significa que la condición étnica está asociada con altos grados de marginación social (Ávila, 2014).

Michoacán se encuentra entre los estados de mayor migración, debido al desempleo, salarios muy reducidos, el incipiente desarrollo de la pequeña propiedad. En la región se experimenta una migración estimada en 1.5% de la población, la cual coincide con la proporción para el estado de Michoacán (Ortiz-Paniagua, 2010).

Este fenómeno social, ligado a otras problemáticas como la pobreza y falta de empleo, han modificado sistemáticamente los usos y costumbres tradicionales. Nuevos hábitos importados por las generaciones más jóvenes que han viajado o que viven en las grandes urbes del país o de los Estados Unidos. Cuando regresan a su comunidad, traen consigo también la presión de la vida cotidiana moderna limitando así la estructura del proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional de las familias y comunidades indígenas. Los mayores dicen que los más jóvenes ya no quieren seguir las viejas tradiciones, como hablar su idioma y participar activamente en los oficios tradicionales; esta tendencia se ve reflejada en estudio recientes que indican una reducción en la población joven que habla su idioma nativo (Amézcua y Sánchez 2015).

Otro problema que persiste en las localidades de la cuenca, y que se vienen incubando de manera particular en las comunidades purépechas es el alcoholismo. Tradicionalmente el alcohol ha sido parte importante en la dinámica de la convivencia comunitaria, sin embargo, actualmente es un problema de salud serio que afecta considerablemente a la población juvenil y adulta con capacidad productiva, que al engancharse a este consumo genera mayor pobreza en las familias, violencia,

deserción escolar, entre otros (Instituto Municipal de la Mujer Salvador Escalante, 2015)

Amézcuca y Sánchez (2015), asocian éste problema de salud como parte de la pérdida de identidad en algunas comunidades, pobreza y un tejido social cada vez más vulnerable; todo esto aunado a la falta de regulación en la propaganda de las bebidas alcohólicas en los medios masivos de comunicación como la televisión y anuncios impresos, por parte de las grandes empresas cerveceras que se disputan el mercado. El documento menciona que en algunas comunidades existe consciencia de que esta problemática, que ha crecido en los últimos diez años, representa un alto riesgo social y de salud, por lo que se han formado grupos organizados de familias, profesionistas, estudiantes y trabajadores purépechas, con la finalidad de trabajar para revertir esta lacerante circunstancia que se vive en la mayoría de los pueblos purépechas.

Otro estudio de diagnóstico, realizado por el instituto municipal de la mujer de Salvador Escalante (2015), dio a conocer los principales problemas que enfrentan las diferentes localidades del municipio. Encontraron, que de manera general, en cuanto a su relevancia, primero se ubican los problemas relacionados con cuestiones económicas y la falta de empleo; en segundo lugar se encuentra la violencia en la que se incluye la violencia psicológica, económica, física y sexual hacia las mujeres, siendo la psicológica la más predominante; y enseguida, en cuanto a su relevancia, se encuentra el problema de la drogadicción y el alcoholismo.

De manera particular, se observan diferencias entre las localidades que integran la cuenca. En Zirahuén, Chiapa, y Casas Blancas el alcoholismo es el principal problema. En Zirahuén el segundo problema que cobra mayor relevancia es el desempleo y por lo tanto problemas económicos, siendo la violencia y drogadicción los que se consideraron menos relevantes. En la localidad de Chapa, la violencia hacia la mujer se posiciona después del alcoholismo. En la localidad de Casas Blancas la violencia hacia las mujeres también sigue en importancia del alcoholismo, y con menor auge se encuentran los problemas económicos.

El desempleo y problemas económicos son los que predominan en la mayoría de las localidades, como Santa Clara del Cobre, Opopeo, la cantera, Agua Verde, Copándaro. En Santa Clara, la drogadicción es el segundo problema de mayor



relevancia seguido del alcoholismo. En Opopeo, la violencia hacia la mujer cobra también gran relevancia, seguido por la drogadicción y el alcoholismo. Opuesto a la localidad anterior en la Cantera, la violencia no es un problema que tenga mucha relevancia. En san Gregorio la violencia es el principal problema, seguida del alcoholismo y los problemas económicos.

Cabe mencionar, que el hecho de que se ubiquen en primer lugar los problemas económicos y la falta de empleo en la gran mayoría de las comunidades, concuerda con las altas tasa de migración, ya que la búsqueda de empleo y de ingreso económico es la principal razón que empuja a la población a migrar a los centros urbanos más cercanos del Estado o a los Estados Unidos.

### **3.2.5. Enlaces de la región con el exterior**

#### **3.2.5.1. Gobierno**

A partir del reparto agrario de la época post-revolucionaria, se construyeron cargos administrativos jerárquicamente vinculados a instituciones gubernamentales externas, para que manejaran las esferas diferenciadas de responsabilidad jurídica y social en las localidades. Surgió entonces una institución local de enlace entre los beneficiados de la dotación o restitución de tierras con el Estado, que consiste en un cargo exógeno introducido en la comunidad, producto de la reforma agraria, éstos son los Comisariados de Bienes Ejidales o Comunales que se integran por una Mesa Directiva que incluye un Presidente o Comisario, un Secretario y un Tesorero, así como un comité de vigilancia. La elección de esta figura es a través de una asamblea de ejidatarios o comuneros, según sea el caso, quienes eligen por mayoría a la persona afín a sus intereses, por un periodo de tres años (Fabián y Rosas; 2007; Guevara y Verduzco, 2018).

Por otro lado, la división territorial en municipios, genera a nivel comunal el puesto de jefe de tenencia, cargo de elección bianual que requiere del reconocimiento por parte del presidente municipal y que depende directamente de éste. Sólo en aquellas comunidades que son a la vez cabeceras municipales, en vez del jefe de tenencia se elige junto con las demás comunidades que conforman el municipio, al presidente municipal, al síndico, y al cabildo de regidores. El jefe de tenencia es un

interlocutor hacia fuera, es decir, hacia los organismos de gobierno y otras instituciones externas; son un enlace con el gobierno municipal y otras estructuras estatales y federales, para gestionar recursos públicos y aplicar proyectos en sus localidades. Sin embargo, la toma de decisiones se encuentra en esta en la organización por comunidad, barrio y núcleo familiar, que en muchas ocasiones entran en conflicto de intereses con el Estado, por lo que son fuente de tensión y conflicto con las jefaturas de tenencia (Ávila, 2014).

De acuerdo con Dietz (1999), la imposición de éstos cargos administrativos jerárquicamente vinculados a instituciones gubernamentales externas, es la principal modificación inducida por el Estado-nación mexicano en el seno de la comunidad purépecha; ya que de ésta manera, algunos cargos locales dependen de la estructura administrativa municipal, y otros de las autoridades agrarias superiores, y en caso de que en la comunidad exista un ejido, se duplican las autoridades agrarias locales; y así es como se mantiene su control por parte del Estado. Menciona también, que el cargo de jefe de tenencia en la mayoría de las comunidades genera conflictos y divisiones internas; esto debido principalmente a que su posición asimétrica de dependencia unidireccional de la cabecera municipal, lo convierte en un intermediario político y económico entre la localidad a la pertenece como jefe de tenencia, y la elite económica regional o subregional que reside en la cabecera municipal, que generalmente es una ciudad mestiza a la que busca beneficiar y proteger sus interés.

Al igual que en la elección del jefe de tenencia, que necesita ser confirmada por el presidente municipal, la elección del representante comunal sólo es válida si un delegado de la máxima institución agraria está presente y la confirma. Ello a menudo es fuente de tensiones entre la comunidad y la institución federal agraria, que en ocasiones anulan la elección si no le conviene el candidato que resultó electo. Actualmente, por su vinculación a los asuntos de tierras y bosques, el representante es considerado el cargo más importante en todas las comunidades (Aleman, 2010; Ávila, 2014).

### **3.2.5.2. Organizaciones de lucha social**

La prolongación estratégica de los conflictos, necesaria para los intereses de las instituciones gubernamentales y propietarios privados (Ávila, 2014; Zárate, 1998), también ha tenido el efecto inverso: la cohesión social (Dosil, 2014). Aunque los conflictos de tierra generan divisiones internas como las señaladas entre comuneros y ejidatarios, estos conflictos también los cohesiona en torno a un interés común, particularmente a los afectados por la enajenación de sus tierras. La reivindicación de la titularidad comunal de las tierras articula las diferentes unidades domésticas en torno a instituciones locales comunes: las autoridades electas, la asamblea comunal, los encargados de negociar con los contrincantes con las instituciones externas. A lo largo de los conflictos agrarios, la comunidad dividida por la penetración estatal y por la diversificación interna, también se autogenera como institución corporativa (Ávila, 2014; Zárate, 2011)

Esta lucha histórica de la población local, particularmente la indígena, por su tierra y sus recursos, los ha llevado a enlazarse con movimientos estatales, nacionales e incluso internacionales. En el estado de Michoacán, la organización que aglutinó las principales demandas desde su creación en 1979, fue la Unión de Comuneros Emiliano Zapata (UCEZ), conformada por campesinos mestizos e indígenas, que inició con demandas agrarias y concluyó con reivindicaciones étnicas. Dentro de la cuenca, ésta organización tiene presencia en la localidad de Zirahuén y la Colonia Comunal Emiliano Zapata. Particularmente, esta organización reconoció la lucha de la comunidad de Zirahuén como una de las más importantes, ya que su conflicto ha sido con los caciques que simultáneamente son autoridades estatales, siendo los principales la familia Arreola que mediante la combinación del poder político e intereses empresariales, han contribuido a la pobreza e inestabilidad política de la localidad, y se ha extendido a toda la cuenca (Zárate, 1998).

Los comuneros han sabido vincular su lucha con diversos colectivos, como con los zapatistas, que en 2004 crearon en Zirahuén el primer Caracol con el nombre de “Erupción en rebeldía en el lago azul de Zirahuén”. En el 2006 se celebró en la comunidad el II Encuentro Nacional por la Defensa de la Tierra y el Territorio, al que asistieron representantes de doce pueblos indígenas, donde se presentó la

Declaración de Zirahuén como reconocimiento a su lucha por la defensa del lago y sus tierras (Nava, 2010).

Otras organizaciones de lucha social a las que se han adherido son, el Comité de Pueblos Purépechas por los Cinco Puntos, la organización Camino del Pueblo (Xanaru Ireteri), el Movimiento Indígena Revolucionario (MIR), el Frente Independiente de Comunidades Indígenas de Michoacán (FICIM), Organización Nación Purépecha (ONP). Muchas de estas organizaciones surgieron en un contexto de relativa apertura política, ya que en otros países de América Latina las agrupaciones de indígenas empezaron a ser escuchadas a favor de mejores condiciones de vida (Zárate, 1998).

A través de la organización por parte de la población local en las comunidades de la cuenca, particularmente la comunidad de Zirahuén, han logrado fortalecer la lucha por sus tierras y recursos naturales. Su resistencia ha conseguido entorpecer algunos proyectos de los actores externos, principalmente del sector turístico. En el caso de la comunidad indígena de Zirahuén, han logrado el reconocimiento de muchas de sus tierras y con esto mantener a salvo una porción de sus recursos comunales, ya que son de los más cotizados por los empresarios externos, por estar en las inmediaciones del lago de Zirahuén.

## **Resumen del capítulo**

La CLZ se encuentra constituida principalmente por el municipio de Salvador Escalante, y en menor medida por el de Pátzcuaro. Su población se conforma por comunidades indígenas y población mestiza organizada como ejidos, los cuales se definen como los actores locales. En algunas localidades también se ubican actores foráneos o externos a la región, que se insertan principalmente como empresarios del sector turístico y del cultivo comercial de aguacate; la entrada de éstos actores a la cuenca ha sido en gran medida mediante la privatización de tierras ejidales, proceso que se vio favorecido con la reforma al artículo 27 de la Constitución, como parte de la inserción de México al capitalismo global.

A pesar de la demanda del turismo y éxito del sector aguacatero, la población que habita en la cuenca es de las más pobres del estado. En las localidades con mayor población indígenas destacan condiciones de muy alta marginalidad lo que significa que la condición étnica está asociada con altos grados de marginación social. Además de la pobreza, otros problemas que afronta la población de la CLZ son, el deterioro del lago, pugnas por la tierra, altas tasas de migración, alcoholismo, y violencia debido principalmente a la presencia del crimen organizado, que es otro agente dentro de la cuenca que actúa como catalizador del deterioro de los recursos e incremento de la pobreza.

Las actividades productivas de los actores locales se encuentran dentro del sector primario, como es la pesca, agricultura de temporal a baja escala, aprovechamiento del bosque, complementan sus ingresos con otros empleos como son dentro del sector turístico, jornaleros en las huertas, la migración temporal, fabricación de artesanías y comercio relacionado con el turismo, estas últimas son particularmente importantes para algunas localidades como Santa Clara del Cobre y Zirahuén.

Existen tres tipos de tenencia de la tierra, comunal, ejidal y privado, que representan grupos diferentes de interés, lo que ha provocado en algunas localidades un alto nivel de conflicto como es el caso de Zirahuén, que ha encabezado dentro de la cuenca la lucha agraria, así como por el control y conservación de sus recursos naturales.

## **CAPITULO IV. METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE CAMBIO: USO DEL SUELO, CALIDAD DE AGUA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN Y LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA CUENCA, DENTRO DEL PERIODO 1995- 2005**

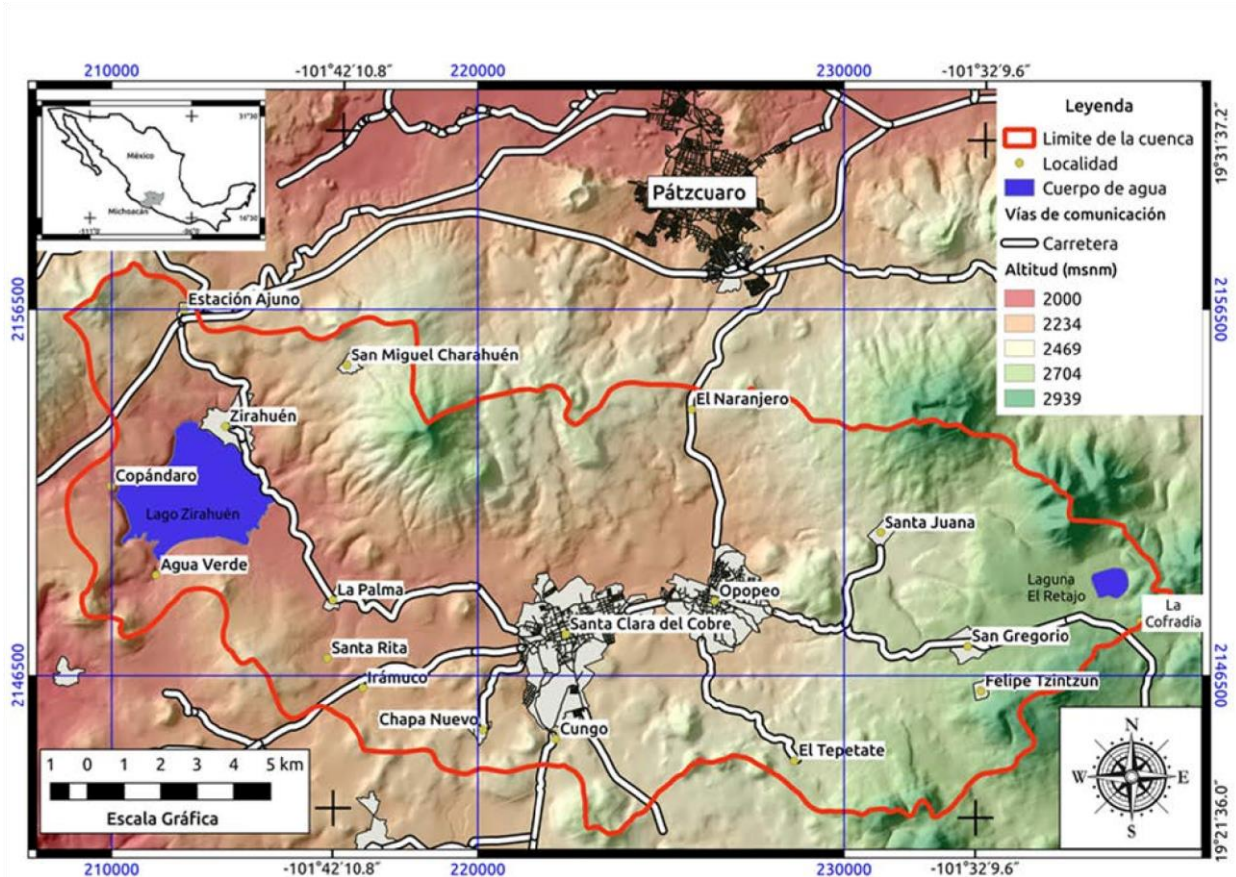
### **4.1. Área de estudio**

El área de estudio comprende la cuenca del lago de Zirahuén perteneciente a la Región Hidrográfica 18 (Río Balsas) con una superficie de 27 336,8 ha (CONAGUA, 2007). Se encuentra ubicada entre los 101° 46' 29" y los 101° 29' 6 " de longitud oeste y los 19° 21' 17 " y los 19° 29' 36" de latitud norte, abarcando porciones de los municipios de Salvador Escalante y Pátzcuaro en el estado de Michoacán de Ocampo. La altitud va de los 2060 m.s.n.m. en la parte baja en el espejo del lago a los 3270 m.s.n.m. en el Cerro Burro en el límite oriente.

Con el fin de evitar ambigüedad respecto a la extensión territorial y límites específicos del área de estudio. El límite de cuenca empleado en este trabajo corresponde al límite de la Comisión Nacional del Agua para la cartografía de aguas superficiales en escala 1:250 000, con clave de subcuenca RH18le (subcuenca hidrográfica L. de Zirahuén/cuenca R. Tepalcatepec – Infiernillo/ R.H. Balsas).

En la región de Zirahuén se encuentran 32 asentamientos humanos, de los cuales 26 en términos administrativos, pertenecen al municipio de Salvador Escalante y 6 al municipio de Pátzcuaro. Salvador Escalante es el principal municipio dentro de la cuenca hidrográfica del lago de Zirahuén (83% de la cuenca), seguido por Pátzcuaro (15.7%), y Tacámbaro (0.6%). La actividad base de la región es el sector primario, con especialización económica en las actividades agrícola, forestal y pesquera, que a la vez reportan la mayor importancia económica. La especialización económica se fundamenta en el aprovechamiento de los recursos naturales, lo que determina la vocación productiva y económica de la región. Otro rubro de relevancia dentro de las actividades económicas es el turismo y el comercio relacionado con ésta actividad, principalmente la venta de artesanías. El sector turístico cobra mayor relevancia para algunas localidades como: Zirahuén, Cerrito Colorado, Colonia Lázaro Cárdenas, Cuitzitan, Santa Clara del Cobre, Cungo y Cuirindicho (Ortiz-Paniagua *et al.*, 2010).

**Figura 2. Localización y delimitación de la cuenca del lago de Zirahuén en el Estado de Michoacán, México.**



**Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía digital 1:50000 de INEGI**

Dentro de la cuenca se encuentra el lago de Zirahuén, que es de gran importancia hidrobiológica ya que es reconocido como una de los lagos más jóvenes, profundos y transparentes de México, además de ser el hábitat de varias especies acuáticas endémicas. Su fauna, flora, y la presencia de asentamientos humanos prehispánicos en su cuenca lo identifican como un patrimonio nacional de valor ecológico, social, y cultural. La cuenca del lago de Zirahuén es endorreica, es decir, que el agua pluvial permanece dentro de la cuenca ya que no tienen salida hacia otra cuenca fluvial, hacia el mar, ni por infiltración hacia capas de aguas subterráneas. El suministro de agua que llega al lago de Zirahuén procede de tres fuentes principales:

la lluvia directa sobre el sistema, el cauce principal que es el arroyo la Palma o El Silencio, que se origina en la parte oriental de la cuenca y que colecta los escurrimientos superficiales de la mayor parte de la cuenca a través de sus vertientes de drenaje, y finalmente el agua que llega de la infiltración en brechas volcánicas y malpaíses. En menor grado existen otros arroyos y escurrimientos que llegan al lago de Zirahuén, en algunos casos se identifica un aporte de carácter temporal (Ortiz-Paniagua y Rendón-López, 2010).

La vegetación nativa de la Cuenca del Lago de Zirahuén puede dividirse en siete tipos de los cuales cuatro corresponden a bosques: a) bosques de Pino (*Pinus* spp.), b) bosque de Encino (*Quercus* spp.) c) bosque de Oyamel (*Abies religiosa*), d) bosque mesófilo de montaña, e) Bosque ripario, f) Pastizales, g) vegetación acuática. Los bosques de pino y encino constituyen los tipos de vegetación nativa dominantes en el paisaje, ubicándose en las laderas de los cerros. Estos bosques se entremezclan en diferente grado para producir bosques de tipo mixto, aunque el Pino logra presentarse a mayor elevación, mientras el encino se presenta en zonas con suelos más pobres y topografía más agreste. Los bosques de Oyamel, el mesófilo de montaña y ripario se ubican en áreas específicas de la cuenca. Los bosques de Oyamel se presentan en las áreas más frías y húmedas, por encima de 2800msnm. Los bosques mesófilos de montaña se encuentran en áreas más bajas y húmedas, generalmente en las cañadas (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

#### **4.2. Análisis de cambio de cobertura/uso del suelo (CCUS)**

Hacemos una precisión conceptual de cobertura y uso del suelo. El concepto de cobertura o cubierta del suelo se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno, que puede ser identificada visualmente en campo o a través de medios de percepción remota (Ramírez, 2001). Es la categorización física, ecológica o biológica de la superficie terrestre que da lugar a unidades específicas, como pueden ser: cobertura boscosa, cobertura de matorral, cobertura urbana, entre otros. El uso del suelo, en cambio, expresa el aprovechamiento, se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan o desarrollaron sobre una cobertura, ya sea de manera individual o colectiva, con la intención de obtener productos o



beneficios a partir de diferentes recursos (Anderson *et al.*, 1976). Algunas cubiertas llevan implícito un uso, como es el caso de cultivos/uso agrícola, pero no siempre hay una relación directa, como es el caso de la cobertura boscosa que puede tener uso silvícola, de conservación, recreación, entre otros y por lo tanto las implicaciones para la investigación también son distintas (Ramírez, 2001).

El cambio de cobertura vegetal y uso del suelo es un proceso de dimensión temporal y espacial, que está determinado por características ambientales como socioeconómicas. La medición de éste proceso se realiza mediante la comparación y el análisis de cartografía o mapas superpuestos de diferentes fechas (Bocco *et al.*, 2001). Estos mapas son generados con imágenes obtenidas por medio de diversas técnicas de percepción remota como son, reconocimiento por distanciometría laser, por información de radar satelital o sensores ópticos, y fotografía aérea. De cada técnica resultan imágenes que se diferencian principalmente por su resolución, y la resolución o escala de éstas determinarán, por tanto, la de los mapas que se generen a partir de ellas, y finalmente la interpretación resultante. Así, que las imágenes elegidas para determinado análisis o investigación, dependerá del grado de detalle que se requiere observar para cumplir con los objetivos planteados, así como de la disponibilidad de dichas imágenes. Algunas investigaciones parten desde el trabajo de percepción remota, otras de las imágenes y en algunos casos a partir de mapas ya interpretados. En la presente investigación se parte de la obtención de las imágenes para generar los mapas temáticos, uno para 1995 y otro para el 2015.

Actualmente las imágenes más utilizadas por su disponibilidad son las fotografías aéreas y las imágenes de satélite, de las cuáles la interpretación de las coberturas/usos de suelo se realiza por diferentes métodos. Las fotografías aéreas se generan por medio de vuelos bajos con una plataforma exclusiva para fotografía, el resultado son fotos con errores geométricos: distorsión radial y de relieve, que son corregidos de manera digital, después de éste proceso se denominan ortografías. La interpretación de las imágenes obtenidas por fotografía aérea, se realiza por medio de técnica manual, es decir, el delineamiento de las fronteras entre un tipo de cobertura y otra por medio del reconocimiento visual de cada polígono, a partir de sus características visibles y reconocibles de textura, tono, patrones y contexto.

Por otro lado, las imágenes de satélite, dependiendo de sus características de resolución se pueden interpretar por medio de dos métodos: el visual-manual, anteriormente descrito, y por el método automático. El método automático se basa en el reconocimiento de áreas de cobertura conocida, por medio de firmas espectrales, que abarca propiedades del espectro electromagnético tanto visibles para el ojo humano como aquellas que no lo son, se contrastan con el resto de la imagen y de ésta forma se corre el algoritmo usando estas zonas de referencia. Las imágenes de media o baja resolución, como son las de 30 a 100 metros por pixel y que son obtenidas por los sensores *landsat* y *MODIS*, se utilizan métodos automáticos; éstas imágenes son utilizadas para analizar zonas muy grandes como un país o un continente, o que requieren bajo grado de detalle en el reconocimiento de coberturas. Las imágenes de satélite de alta resolución, como son las obtenidas por los sensores *quickbird* y *worldview* que poseen menos de 2 metros de resolución por pixel, se pueden interpretar de manera manual o automática, en éste caso, la elección del método dependerá del nivel de detalle y precisión que requiera la interpretación en función de los objetivos de la investigación, así como del tiempo disponible ya que la interpretación por el método manual requiere de la inversión de muchas más horas de trabajo.

En esta investigación, se planteó el objetivo de Identificar y cuantificar espacialmente los principales procesos de cambio de cobertura/uso del suelo, se hipotetizó que el principal proceso será la deforestación para el establecimiento de huertas. Por lo tanto, nuestra interpretación requiere poder realizar una diferenciación refinada de la cobertura por árboles de huertas, cobertura por árboles de bosque, cultivos de temporal y otros. Para lograr esto es necesario tener insumos de alta resolución y procesarlos por medio de la metodología que nos permita observar con mayor detalle, por lo tanto elegimos el procesamiento manual. De acuerdo con Bocco *et al.* (2001), analizar el cambio de uso y cobertura del terreno partiendo de las imágenes obtenidas por percepción remota, implica tres pasos principales: a) detección e interpretación cartográfica y digital del cambio b) análisis de los patrones de cambio, c) análisis de las causas del cambio de uso del suelo. Adicionalmente se pueden utilizar modelos predictivos para generar escenarios sobre la posible evolución

futura de la deforestación. En ésta investigación, correspondiendo a los objetivos planteados, se cubren los tres primeros puntos.

La detección cartográfica es la generación de mapas temáticos para diferentes fechas, y posteriormente la superposición de la información cartográfica generada para realizar el análisis de cambio, y esto se hace desde una plataforma de sistemas de información geográfica (SIG). Hasta éste momento tenemos una representación cartográfica cualitativa para diferentes fechas que expresa el fenómeno espacial del cambio de la vegetación y uso del suelo, y por lo tanto, nos permite conocer la distribución en el espacio de los cambios. El análisis de los patrones de cambio, también se realiza sobre una plataforma de SIG, y consiste en la comparación de mapas de diferentes fechas, en el que se obtienen los tipos de cambio, su superficie y localización (Maass *et al.*, 2009). El resultado de éste proceso es información cuantitativa resumida en una matriz de cambio de cobertura/uso del suelo.

Finalmente, para el análisis de las causas de los cambios, las metodologías y variables de análisis son muy diversas, ya que son múltiples los factores que pueden propiciar éste proceso. De manera general, los factores que pueden propiciar el CUS se agrupan en los ambientales y socioeconómicos (Camacho-Sanabria *et al.*, 2017). Estos factores se pueden conocer por medio de la obtención información descriptiva a través de herramientas de investigación cualitativa como cuestionarios, entrevistas, observación directa y bibliografía. También es posible analizar las posibles causas por medio de variables cuantitativas, como pueden ser las demográficas y socioeconómicas (Bocco *et al.*, 2001).

#### **4.2.1. Detección e interpretación cartográfica y digital del cambio**

##### **4.2.1.1. Materiales**

Los insumos cartográficos utilizados para la generación de los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo del año 1995 y 2015 fueron: ortofotografías aéreas digitales y una imagen satelital. Para 1995 se emplearon ortofotografías digitales en blanco y negro en escala 1:20,000 con resolución de 2 m (E14A31 b, c, e, f y E14A32 a, b, d, e) (INEGI, 1997a, b). Dichas ortofotografías digitales fueron derivadas mediante

procesamiento digital de aerofotografías (INEGI, 2017) adquiridas durante los meses de febrero y marzo de 1995. Para la generación del mapa del año 2015, se empleó una imagen satelital de alta resolución a través de la extensión *OpenLayers plugin v 1.4.6* para QGIS v 2.14.3-Essen, correspondiente a una imagen *World View 2* del 25 de febrero de 2015, con resolución nominal en el nadir de 0,5 m.

**Tabla 2. Insumos para la elaboración de mapas de cobertura/uso de suelo.**

| INSUMO                                   | AÑO  | ESCALA   | RESOLUCIÓN ESPACIAL  | FUENTE                                |
|------------------------------------------|------|----------|----------------------|---------------------------------------|
| Ortofotografía digital en blanco y negro | 1995 | 1:20,000 | 2 metros por pixel   | INEGI                                 |
| Imágen de satélite Woldview              | 2015 | 1:10,000 | 0.5 metros por pixel | World View/openimage pluggin-QGIS 4.2 |

**Fuente: elaboración propia en base a las fuentes de información que se utilizaron para realizar los mapas de cobertura/uso del suelo**

#### **4.2.1.2. Métodos**

Ya obtenido el material digital para la elaboración de los mapas se dio inicio al procesamiento de las imágenes por medio de dos etapas: a) verificación de congruencia espacial y posibles desplazamientos, b) definición de variables o unidades de análisis.

**a) Verificación de congruencia espacial y posibles desplazamientos.** Éste proceso se llevó a cabo tanto para las ortofotografías digitales como la imagen satelital de alta resolución. Aún cuando la imagen satelital estaba georreferenciada, se realizó la corroboración de ubicación de la imagen empleando 97 puntos de control obtenidos directamente en campo mediante GPS (Garmin Map 60cx) con modo WAAS y 235 puntos de control obtenidos de información cartográfica digital en escala 1:50,000 de

las cartas E14A31 (Taretan) y E14A32 (Villa Escalante) en formatos vectorial (*shapefiles* para ESRI) y raster (TIF), (INEGI, 1999, 2014, 2015a, b) así como impresiones de alto contraste de las cartas topográficas (E14A31 y E14A32) (INEGI, 1999, 2014) disponibles en línea. Los puntos de control consistieron en rasgos fácilmente identificables tanto en la imagen satelital, en campo así como en cartografía 1:50,000 esta metodología ha sido empleada para realizar el preprocesamiento de este tipo de imágenes (Morales-Manilla *et al.*, 2012). La raíz del error medio cuadrático obtenido empleando un remuestreo bilineal fue de 1,6 m.

**b) Definición de variables o unidades de análisis.** Las variables corresponden a las distintas coberturas/usos del suelo que se encuentran distribuidas espacialmente dentro de la cuenca. Para esto se realizó una interpretación visual-manual de las imágenes y se empleó la técnica de digitalización de polígonos en pantalla con el software empleando los programas de SIG QGIS v 2.14.3, y de cartografía digital Cartlainx v 1.2 (Clark Labs, Inc.) empleando como imagen de fondo las ortofotografías digitales y la imagen satelital de alta resolución. La interpretación visual se realizó siguiendo los lineamientos de fotointerpretación por color, tono, textura de acuerdo con los criterios propuestos por Moncayo *et al.* (1970), además de patrones y contextos.

Se realizaron salidas de campo a la zona de estudio para realizar verificación de campo de los polígonos interpretados. Para ello se realizaron impresiones de los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo preliminares y se verificó la correcta asignación de las categorías para los distintos polígonos. En esta fase se observaron huertas jóvenes o recién sembradas que debido al reducido tamaño de las plantas, fueron identificadas como terrenos agropecuarios. En estos casos se realizó un levantamiento de los límites de las huertas empleando navegadores GPS en modo de seguimiento (*track*) (Garmin Map 60cx). La información de los límites obtenidos de esta forma fue incorporada a las capas vectoriales dentro del SIG. La verificación final se realizó seleccionando al azar 230 polígonos de las diferentes categorías. La fiabilidad de interpretación se evaluó entre 96 % y 100 %. Finalmente se definieron cinco variables o categorías para 1995 y seis para el 2015. Estas son: Bosque (Bs), Matorral (Ma), Agropecuario (Ag), Huerta (H), Cuerpo de agua (Ca) y Asentamientos humanos (Ash) para la primer fecha. Para el año 2015 se agregó la Agricultura protegida (Ap).

Su caracterización fue la siguiente, dentro de la categoría de Bosque se incluyeron superficies arboladas con presencia de especies nativas y correspondientes a las formaciones vegetales de bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque encino-pino y bosque mesófilo de montaña con ocurrencia espontánea o mediante reforestación y con cobertura mayor al 50%. Las superficies clasificadas como Matorral comprendió vegetación de porte bajo (<6 m) dispersa con coberturas entre 30 y 90%. La categoría Agropecuario agrupó cultivos de temporal y pastizales inducidos utilizados como agostaderos, mientras que la categoría Huerta comprendió terrenos con vegetación cultivada de especies de porte arbóreo, en la mayoría de los casos aguacate y en solo dos casos durazno. La categoría Agricultura protegida incluyó áreas con presencia de invernaderos y cultivos con algún sistema de protección como macrotúneles o acolchados plásticos. Los cuerpos de agua hacen referencia a los de agua superficial de tipo léntico (lagos y lagunas) naturales, por lo tanto no incluye ríos o manantiales. Dentro de la categoría de Asentamientos humanos se agruparon tanto los rurales como asentamientos urbanos.

#### **4.2.2. Análisis de los patrones de cambio**

Este proceso consiste en la superposición de mapas, por lo que es conocido también como cruce de mapas. Por medio de éste se genera el producto cartográfico con el que es posible identificar espacialmente los cambios de la vegetación y uso del suelo. Éste procedimiento consiste en la manipulación geométrica de las entidades geográficas para obtener un mapa que exprese la fusión de ambos productos (Rosete et al., 2008). Tras realizar la verificación final, las capas vectoriales fueron convertidas a formato raster y reproyectadas a proyección Universal Transversa de Mercator para zona 14 (norte) y utilizando datum WGS 84. Empleando herramientas SIG, se realizó una sobreposición de las capas de cobertura vegetal y uso del suelo para 1995 y 2105, y se generó una matriz de cambios a partir de la superficie de cada categoría y la coincidencia espacial entre las dos fechas. Las tasas de cambio en porcentaje se determinaron de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_c = (((S_2/S_1) - 1)/n) * 100$$

donde  $t_c$  corresponde a la tasa de cambio,  $S_1$  es la superficie cubierta por una determinada categoría de cobertura y uso del suelo en el tiempo 1,  $S_2$  es la superficie cubierta por la misma categoría de cobertura y uso del suelo en el tiempo 2 y  $n$  corresponde al número de años transcurridos entre las dos fechas.

#### **4.2.3. Análisis de las causas del cambio de cobertura/uso del suelo.**

Como se mencionó anteriormente, los factores que pueden propiciar el CCUS se agrupan en los ambientales y socioeconómicos (Camacho-Sanabria *et al.*, 2017), ambos tipos de factores interactúan para definir el paisaje de uso del suelo en cada región. Explorar las posibles causas del cambio de uso del suelo en un territorio determinado, nos ayuda a construir un modelo explicativo que sirva de herramienta para actuar sobre la región como un sistema, y así incidir sobre las problemáticas socioambientales, con la finalidad de dirigir la región hacia un desarrollo sustentable. Uno de los factores ambientales que se ha explorado como posible explicación al CCUS, es la altitud, debido a que ésta característica del terreno es fundamental cuando se busca sustituir bosque por la producción de monocultivo comercial, como son las huertas de aguacate en la cuenca del lago de Zirahuén, ya que éstos requieren condiciones específicas de humedad y temperatura, que están determinados por la altitud.

Por otro lado, comúnmente se busca encontrar relación del CCUS con variables demográficas y socioeconómicas, como densidad poblacional, población económicamente activa, entre otros. Sin embargo, son pocos los estudios que han encontrado alguna relación, particularmente para Michoacán, Bocco *et al.*, (2001) hace un estudio de cambio de cobertura/uso del suelo para todo el Estado en el que analiza diversas variables socioeconómicas, y no sólo no encontró alguna relación estadísticamente significativa sino que incluso obtuvo resultados contradictorios, por lo que concluye que éstos procesos en Michoacán, no pueden explicarse únicamente por variables socioeconómicas y demográficas. Por lo que recomienda realizar estos estudios a menor escala para tener mayor resolución, y por otro lado, explorar otras variables explicativas.

La hipótesis planteada en relación con el CCUS es que esperamos encontrar como principal proceso de cambio, la sustitución de superficie boscosa por huertas.

Una determinante de la forma de apropiación de los recursos y producción a partir de ellos puede ser el tipo de propiedad y dentro de éste la organización interna y el beneficio que se obtiene (Barsimantov-Navia, 2012). De ésta manera proponemos analizar la ubicación de los polígonos que presentaron cambio de cobertura/uso del suelo entre 1995 y el 2015 dentro de la cuenca, en relación con el tipo de propiedad, esperando encontrar elementos explicativos de los procesos de CCUS.

En México existen tres tipos básicos de propiedad: la propiedad social, la privada y la estatal, las cuáles poseen distintas normativas y estructura que definen las actividades que se llevan a cabo en su superficie, y por lo tanto, determinan los usos del terreno (Morett-Sánchez y Cosío-Ruíz, 2017). Se espera evidenciar que la tenencia de la tierra de tipo social es la que ha tenido menos cambios, principalmente hacia huertas. De esta manera, los mayores cambios de uso del suelo de bosque a huertas serían dentro de propiedad privada, ya que específicamente en la cuenca del lago de Zirahuén, los propietarios privados se han apropiado de la tierra principalmente como un medio de producción para adquirir el máximo de ingresos, ya que la mayoría no habita en ella, sino que son principalmente actores externos a la comunidad (Moreno-Calles *et al.*, 2013). En cambio, la forma de propiedad social tienen un sistema de regulación interno, ya que necesitan organizar sus actividades dentro de su espacio para que a partir de éste, puedan satisfacer las necesidades de todo el ejido o comunidad como son: necesidad de ingreso, vivienda, recreación, educación, entre otros (Morett-Sánchez y Cosío-Ruíz, 2017).

Para lograr un mejor contexto, enseguida se describen las características básicas de los tipos de propiedad en México descrito por Morett-Sánchez y Cosío-Ruíz, (2017). En el campo mexicano la tenencia de la tierra está conformada por las propiedades privadas individuales llamadas pequeña propiedad, los ejidos y las comunidades agrarias agrupados como propiedad social o núcleos agrarios. Los ejidos y comunidades constituyen modalidades de propiedad de la tierra exclusivas del país. También existen los terrenos baldíos que no poseen dueño formal, y la propiedad de la Nación. Para cada tipo de propiedad existe una estructura y normatividad, que determinan el uso del suelo. En la propiedad social, dentro de un mismo ejido, ninguno de sus miembros puede ser titular de derechos parcelarios sobre una extensión mayor



del 5 % de las tierras del núcleo, ni de más superficie que la correspondiente a la pequeña propiedad, en lo individual los ejidatarios no pueden ser dueños de bosques ni selvas.

Las diferencias que existen entre los ejidos y las comunidades agrarias, son que en estas últimas la ley no permite que las parcelas de labor sean tituladas de manera personal aunque se trabajen individualmente, y que los comuneros no pueden vender sus tierras; sin embargo, por acuerdo en asamblea de la mayoría de los miembros de una comunidad pueden mudarse al régimen ejidal y así acceder a parcelas individuales, que abre la posibilidad de posteriormente venderla si es aprobado por la asamblea. Todos los ejidatarios y comuneros tienen derecho a predios de cultivo y acceso a todos los bienes comunes del núcleo agrario, que puede ser destinado a diversos usos como cultivos, que generalmente son parcelas individuales, tierras de uso común, casi siempre bosques y selvas, parcelas con destino específico para la atención de necesidades de carácter comunitario, como la educación de los niños, actividades productivas de las mujeres, entre otros. También están las parcelas a favor del ejido, que son los lugares donde se localizan bienes de todo los ejidatarios, como son pozos, viveros, corrales, entre otros; y área para el asentamiento humano, donde cada ejidatario tiene derecho a un solar en propiedad privada para establecer su vivienda (Morett-Sánchez y Cosío-Ruíz, 2017).

#### **4.2.3.1. Altitud y tenencia de la tierra como variables explicativas**

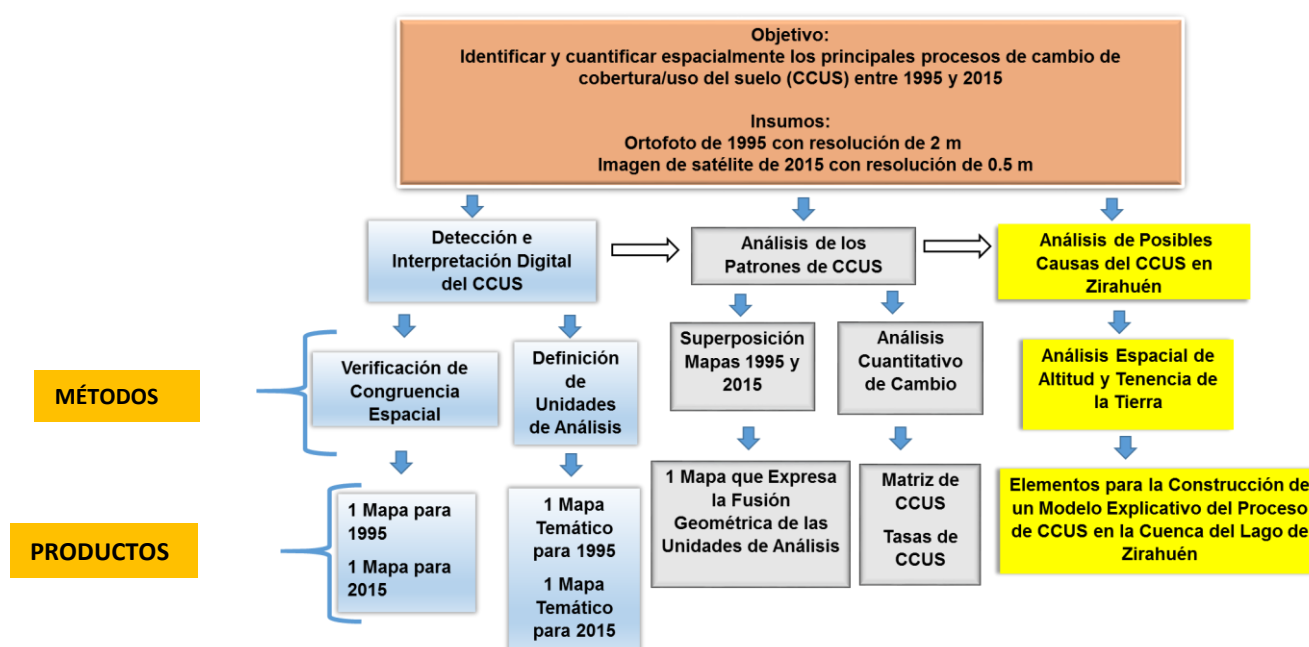
La información de elevación o altitud se obtuvo de un modelo digital de elevación, con resolución de 30 m, generado por INEGI (2017) y disponible gratuitamente en línea a través de la plataforma del Continuo de Elevaciones Mexicano version 3.0 (INEGI 2013). Se extrajo la información de altitud empleando mapas digitales vectoriales para los distintos usos del suelo, dentro del sistema de información geográfica QGIS versión 4.12.

Para el análisis espacial sobre la tenencia de la tierra se buscó información del Registro Agrario Nacional (RAN), en el que se obtuvieron los polígonos georeferenciados en formato cartográfico digital del portal para ejidos y comunidades indígenas, en su versión más actualizada de octubre del 2018. La información de los

núcleos agrarios en formato digital se contrasto cartográficamente con al de cambio de uso del suelo 1995-2015 dentro del sistema información geográfica QGIS.

En el siguiente diagrama de flujo su muestran las etapas que se llevaron a cabo para el análisis de cambio de cobertura/uso del suelo (CCUS) en la cuenca del lago de Zirahuén. En análisis consistió en tres etapas, cada etapa está representada por bloques del mismo color. Es necesario llevar a cabo la primera etapa para a partir de sus productos continuar con segunda etapa y luego la tercera, es decir son subsecuentes.

**Figura 3. Diagrama de flujo sobre la metodología que se llevó a cabo para el análisis de CCUS en la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la sistematización de los métodos utilizados para el análisis de CCUS, y los productos resultantes de cada etapa del proceso.

#### **4.3. Construcción de la línea de tiempo de calidad de agua del lago de Zirahuén (1995-2015) y análisis de tendencia en el tiempo**

La calidad del agua se refiere a sus características químicas, físicas y biológicas que indican la salud del ecosistema acuático. La calidad del agua se mide por medio de diversos parámetros que indican las posibles fuentes de contaminación, así como las consecuencias que se pueden desencadenar en el ecosistema y en la salud humana. La medición de éstos parámetros se hace por medio de dos tipos de análisis, los microbiológicos y los fisicoquímicos (Bravo-Inclan *et al.*, 2008).

Por medio de los análisis microbiológicos es posible detectar organismos, que en su mayoría son agentes de enfermedad para el ser humano, entre los que se pueden encontrar protozoarios, bacterias, microalgas y virus. Algunos de los organismos biológicos más utilizados como indicadores de calidad de agua son las bacterias coliformes, debido a que cumplen con las propiedades de indicador biológico, como son, no reproducirse en el agua por lo que su densidad tiene relación directa con el grado de contaminación fecal, poseen una alta sobrevivencia en el agua y están ausentes en aguas bacteriológicamente seguras. Otro de los parámetros más utilizados es la detección de microalgas cianofíceas o cianobacterias, debido a que es un indicador contundente de sobrecarga de nutrientes o eutroficación de un cuerpo de agua.

Los análisis físicos y químicos incluyen la detección de una gran diversidad de parámetros, como son transparencia, profundidad, alcalinidad, nitratos, nitritos, hierro, potencial de hidrógeno, turbidez, fósforo, oxígeno disuelto, clorofila *a* y *b*, metales pesados. A diferencia de la detección de parámetros biológicos, sólo algunos de éstos indicadores son un factor de riesgo directo para salud pública; más bien éstos parámetros son los que proporcionan las condiciones adecuadas para la generación o sobrevivencia de indicadores biológicos que sí representan un riesgo directo para salud humana.

#### **4.3.1. Materiales**

Información científica digital o impresa sobre la evaluación de la calidad del agua del lago de Zirahuén hasta el 2015. La información que se incluyó en la base de datos fue sólo aquella que se generó por medio de métodos estandarizados.

#### **4.3.2. Métodos**

Para obtener la información sobre los parámetros de calidad del agua del lago de Zirahuén, se realizó una búsqueda sistemática por internet y en bibliotecas universitarias de artículos, tesis y libros. También se recurrió a solicitar de manera personal ésta información a la Comisión Nacional de Agua (CNA), y a dos investigadores de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo con amplia trayectoria en estudios de calidad de agua en sistemas lénticos de Michoacán, el Dr. Fernando Bernal-Brooks y M.C. Rubén Morales Hernández. Se revisó toda información para corroborar que las metodologías utilizadas sean las mismas, y se excluyó a aquellos estudios donde no hubiera claridad de la obtención de los datos. Se realizó una base de datos con la información extraída de las investigaciones elegidas, y se analizó estadísticamente para conocer si existe una tendencia en el tiempo de los parámetros de calidad de agua.

#### **4.4. Construcción en la línea de tiempo 1995-2015 la prevalencia de enfermedades en la población de la cuenca, relacionadas con la calidad del agua del lago de Zirahuén, y análisis de tendencia**

En epidemiología, se denomina prevalencia a la proporción de individuos de un grupo o una población que presenta una característica o evento determinado, como puede ser una enfermedad. Por lo tanto, la prevalencia de una enfermedad cuantifica la proporción de personas dentro de una población que tienen determinado padecimiento. Es un parámetro fundamental ya que permite describir un fenómeno de salud, identificar la frecuencia poblacional del mismo y generar hipótesis.

#### **4.4.1. Materiales**

Información epidemiológica de la Secretaria de Salud Pública del Estado (SSP) de las localidades donde se encuentran centros de salud, entre los años de 1995 y 2015. Datos de los censos y conteos de población y vivienda del INEGI, realizados entre 1995 y 2015.

#### **4.4.2. Métodos**

Se gestionó la obtención de la información epidemiológica del Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE) de la Secretaria de Salud Pública del Estado (SSP), de los centros de salud de las comunidades de Salvador Escalante que se encuentran dentro de los límites de la cuenca. Una vez obtenidos los archivos, se revisaron los padecimientos registrados y se consultó en la literatura especializada para identificar aquellas enfermedades que se pudieran relacionar con los parámetros biológicos de calidad de agua presentes en el LZ., ya que éstos indicadores son los que son factores potenciales de enfermedad para el hombre. Una vez seleccionados los padecimientos, se extrajeron los datos y se sistematizó una base de información. Los datos se analizaron por métodos estadísticos para conocer si había cambios significativos en el tiempo en la prevalencia de los padecimientos seleccionados.

## **CAPITULO V. RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE CAMBIO: COBERTURA/USO DEL SUELO, CALIDAD DE AGUA Y SALUD**

### **5.1. Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo de 1995 y 2015**

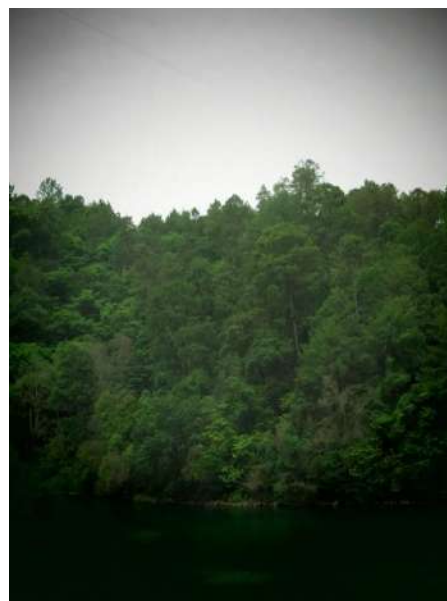
Se obtuvo un mapa para 1995 en el cuál se identificaron seis tipos de coberturas vegetal/uso del suelo, y otro para el 2015 con seis categorías. La leyenda para 1995 corresponde a: Bosque (Bs), Matorral (Ma), Agropecuario (Ag), Huerta (H), cuerpo de agua (Ca) y asentamientos humanos (Ash). Para el año 2015 se incorporó la categoría de Agricultura protegida (Ap). Como se mencionó en la metodología, estas categorías se diferenciaron por las propiedades de las imágenes de textura, tono y color según Moncayo (1970), así como de patrones y contextos.

Descripción de las coberturas/usos del suelo identificados:

#### **Bosque (Bs)**

Se incluyeron superficies arboladas con presencia de especies nativas y correspondientes a las formaciones vegetales de bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque encino-pino, bosque mesófilo de montaña y rivereños, con ocurrencia espontánea o mediante reforestación y con cobertura mayor al 50%.

**Imagen 2. Bosque rivereño de la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente: Fotografía propia, 2017**

### **Matorral (Ma)**

**Imagen 3. Matorral de la cuenca del lago de Zirahuén**

Comprende vegetación de porte bajo (<6 m) dispersa con coberturas entre 30% y 90%.



**Fuente: Fotografía propia, 2017**

### **Agropecuario (Ag)**

Cultivos de temporal y pastizales inducidos utilizados como agostaderos

**Imágenes 3 y 4. Terrenos de uso agropecuario dentro de la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente: Fotografía propia, 2017**

## **Huerta (H)**

Terrenos con vegetación cultivada de especies de porte arbóreo, en la mayoría de los casos aguacate y en solo dos casos durazno.

Imágenes 5 y 6. Huertas de aguacate en la cuenca del lago de Zirahuén.



Fuente: Fotografía propia, 2016

## **Cuerpo de agua (Ca)**

Comprendió los de agua superficial y formados de manera natural, de tipo léntico (lagos y lagunas), que son el lago de Zirahuén y la laguna El Retajo.

Imagen 7. Lago de Zirahuén, 2015



Fuente: Gómez-Tagle, 2015



### **Asentamientos humanos (Ash)**

Se agruparon tanto los asentamientos rurales como los urbanos.

### **Agricultura protegida (Ap).**

Áreas con presencia de invernaderos y cultivos con algún sistema de protección como macrotúneles o acolchados de plásticos.

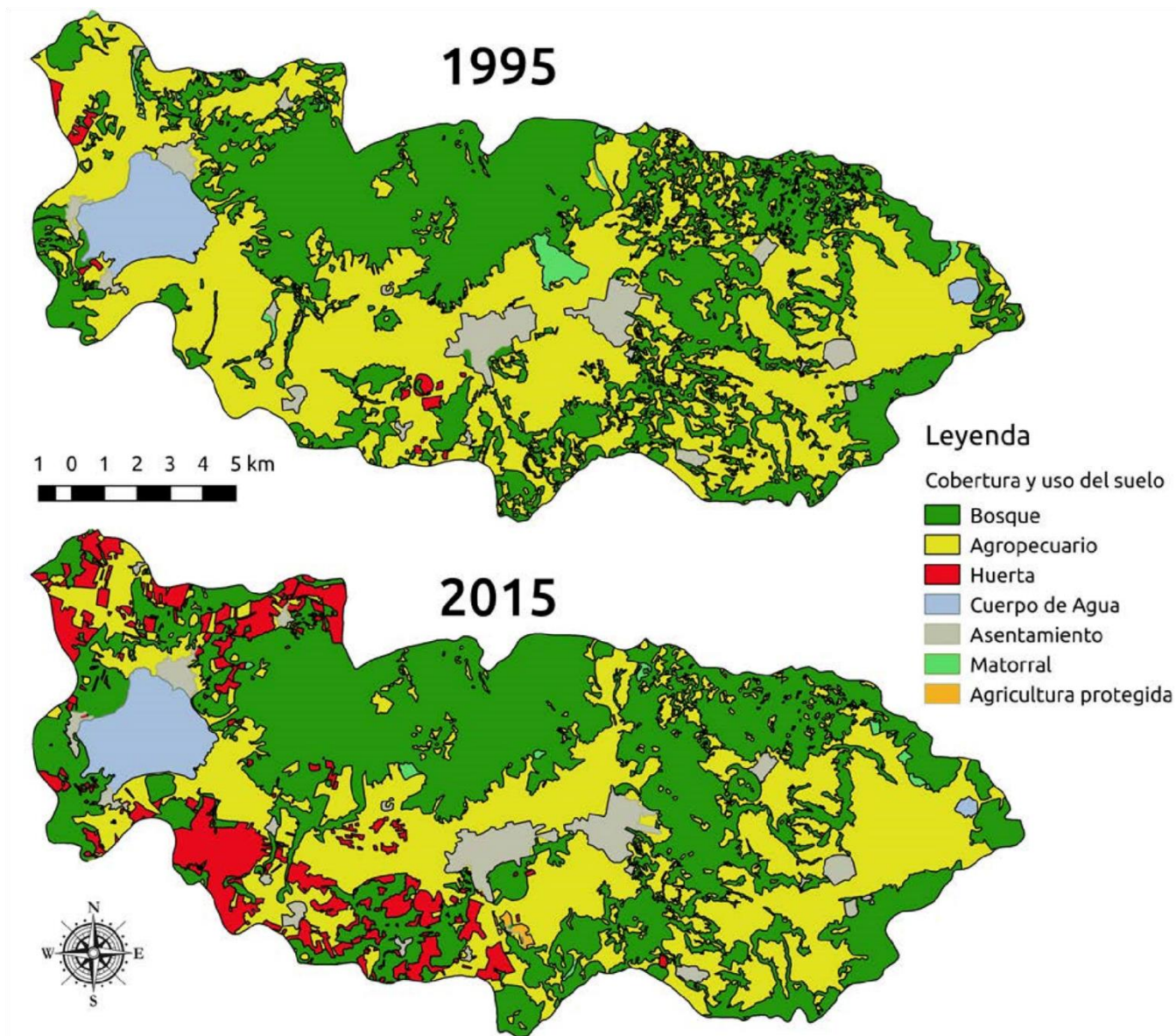
Por medio de los productos cartográficos obtenidos, es posible dar cuenta de la distribución espacial de los cambios (figura 4.). La zona de la cuenca que presentó mayor dinamismo fue la porción Noroeste, cerca de las localidades de Zirahuén, Estación Ajuno y San Miguel Charahuén; así como la porción sur, al oeste localidad de La Palma, las inmediaciones de Santa Rita e Irámuco, y los terrenos ubicados entre las localidades de Chapa (Chapa Nuevo) y Cungo. Los principales cambios que se observan de 1995 al 2015 son, el incremento del bosque, principalmente en los márgenes noroeste, oeste y sur del lago de Zirahuén, así como en la parte norte de la cuenca en las inmediaciones de la localidad de Santa Juana y al norte de La Cofradía donde el bosque se muestra con mayor fragmentación en 1995, que para el 2015 se observa cómo unidades más compactas y continuas. También se observa expansión de bosque al este, sur y sureste de la localidad de Opopeo. La expansión de huertas básicamente de aguacate, es otra diferencia que se observa de manera relevante entre las dos fechas, ésta diferencia se concentra en la región noroeste y suroeste de la cuenca, cerca del lago pero no en las inmediaciones. El incremento de mancha urbana se observa en Santa Clara y Opopeo. En el Sureste de la localidad de Santa Clara del Cobre se identificó un área utilizada para agricultura protegida, que según la observación en campo se pudo constatar que correspondía a cultivo de arándanos, frambuesa y fresa.

La expansión de bosque y huertas que se observa en el 2015 ocurrió principalmente sobre cobertura/uso de suelo que en 1995 era de uso agropecuario, que consiste en agricultura de temporal y cría de ganado a baja escala. La extensión

de la categoría cuerpo de agua, incluye a los de tipo lentico, que son el LZ y la laguna El Retajo; éste último redujo su extensión a un poco más de la mitad para el 2015, mientras que el LZ, conservó el 99.7 % de la superficie que abarcaba en 1995.

Por lo tanto, se observan los siguientes procesos de cambio: conversión agrícola, recuperación forestal, deforestación, urbanización y pérdida de cuerpo de agua.

**Figura 4. Mapas de cobertura vegetal y uso del suelo para 1995 y 2015 en la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de análisis espacial en una plataforma de SIG de una ortofotografía digital de INEGI para 1995, y una imagen digital de alta resolución para el 2015

## **5.2. Patrones de Cambio de Cobertura/Uso del Suelo (CCUS) de 1995 al 2015**

A partir del análisis de CCUS entre 1995 y 2015 se generó una matriz con el total de las superficies que integran los procesos de CCUS en la CLZ. Este análisis indica que el mayor cambio en la cobertura y uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén fue la reducción de la superficie dedicada a actividades agropecuarias, que se refiere a cultivos de temporal de granos básicos y pastoreo extensivo en las parcelas. Este tipo de uso se extendía en un total de 13797,1 ha en 1995 abarcando el 50,5% del total de la cuenca. Para el 2015 su extensión se redujo a 9988,6 ha, abarcando ahora el 36,54%. Los principales usos/cobertura que remplazaron las tierras de uso agropecuario son, el bosque que sustituyó 2392 ha que equivale al 8,75% del total perdido. El segundo uso/cobertura más relevante en sustituir las actividades agropecuarias son las huertas, que sustituyeron 1880,5 ha, lo que corresponde al 6,9 % del total del uso agropecuario desplazado. Otras coberturas que sustituyeron las actividades agropecuarias son: 93,4 ha (0,43%) hacia asentamientos humanos, 81,3 ha (0,3%) a matorral y 32,7 ha (0,12%) hacia agricultura protegida. El segundo mayor cambio es el incremento de la superficie de huertas principalmente dedicadas al cultivo del aguacate, en 1995 se extendían sobre un total de 137,8 ha que incrementó a 2270,2 ha para el 2015. Contrario a lo esperado, el análisis mostró que el mayor cambio ocurrió entre terrenos agropecuarios que pasaron a huertas, con 1880,5 ha, lo que corresponde al 6,88% del total de cambio a huertas. Mientras que solo 275,5 ha cambiaron de bosque a huertas, y el matorral aportó 5.2 ha.

Sobre la deforestación, se encontró que se perdieron 805 ha de bosque, que fueron reemplazadas por las categorías de uso agropecuario 504,0 ha, lo que corresponde al 1,84% del total de bosque perdido, seguido por huertas 275,7 ha, (1,01%), matorral 12,4 ha, (0,05%), agricultura protegida 9,6 ha, (0,04%), y asentamientos humanos el 1,8 ha. El balance de la categoría de bosque para la cuenca, indica que la superficie de bosque incrementó de 11131,8 ha (40,7%) en 1995 a 12886,3 ha (47,14%) en 2015, lo que corresponde a una ganancia neta de superficie forestal de 1754,5 ha que corresponde al 6,44 % de la superficie total de la cuenca. Los asentamientos humanos también incrementaron su superficie de 991,9 ha (3,6 %) en 1995 a 1086,7 ha (3,98%) en 2015, la matriz de transición indica que el mayor

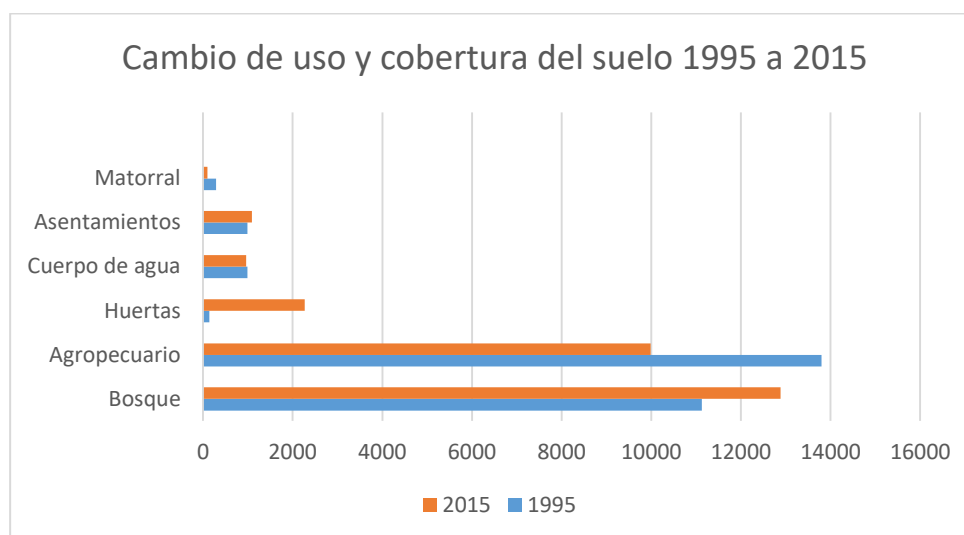
aporte de este cambio ocurrió a partir de terrenos agropecuarios 93,4 ha y el bosque 1,8 ha. La categoría de agricultura protegida, inexistente en 1995, alcanzó una superficie de 42,3 ha en 2015. Una vez más, los terrenos agropecuarios aportaron la mayor parte de la superficie en este cambio, con un total de 32,7 ha, mientras que el bosque perdió 9,6 ha para éste tipo de cultivo.

La superficie del lago de Zirahuén presenta una disminución de 2,6 ha para el 2015, ya que en 1995 el lago abarcaba una superficie de 939,1 ha, y para el 2015 la superficie que presenta es de 941,7 ha., por lo tanto conservó el 99.7% de su extensión. En cambio, la laguna El Retajo ubicada en la parte oriente de la cuenca, disminuyó su superficie casi a la mitad, ya que en 1995 esta laguna se extendía dentro de 61,4 ha, y para el 2015 abarcó sólo 30,6 ha.

A manera de síntesis, los cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca comprenden tanto ganancias como pérdidas para las distintas categorías, diferencias que se observan también de manera espacial, es decir, en algunas zonas de la cuenca aumento alguna categoría pero en otra disminuyó, otras categorías cambiaron de manera homogénea dentro de la cuenca; esto es relevante para comprender tanto las causas como los posibles efectos de los procesos de cambio de cobertura/uso del suelo.

Las categorías con pérdida fueron las de uso agropecuario, cuerpo de agua y matorral con pérdidas netas de 3808,5 ha, 27,8 ha y 187,7 ha respectivamente. Mientras que las categorías con incremento en superficie fueron huertas, bosque, asentamientos humanos y agricultura protegida, con incrementos en superficie de 2132,4 ha, 1754,4 ha 94,8 ha y 42,3 ha

**Grafica 1. Grafica comparativa de la superficie que abarca cada una de las coberturas identificadas para 1995 y 2015.**



**Fuente:** elaboración propia a partir de la superficie en hectáreas para cada una de las coberturas identificadas

**Tabla 3. Matriz de cambios de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2015 en la cuenca del lago de Zirahuén, datos proporcionales**

| 2015                        | 1995  |       |      |      |      |      |      | Área total 2015 |
|-----------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----------------|
|                             | Bs    | Ag    | H    | Ca   | Ash  | Ma   | Ap   |                 |
| Bosque (Bs)                 | 37.78 | 8.75  | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.53 | 0.00 | 47.14           |
| Agropecuario (Ag)           | 1.84  | 34.06 | 0.03 | 0.12 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 36.54           |
| Huerta (H)                  | 1.01  | 6.88  | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 8.30            |
| Cuerpo de agua (Ca)         | 0.00  | 0.02  | 0.00 | 3.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.52            |
| Asentamientos humanos (Ash) | 0.01  | 0.34  | 0.00 | 0.00 | 3.63 | 0.00 | 0.00 | 3.98            |
| Matorral (Ma)               | 0.05  | 0.30  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.36            |
| Agricultura protegida (Ap)  | 0.04  | 0.12  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15            |
| Área total 1995             | 40.7  | 50.5  | 0.5  | 3.6  | 3.6  | 1.1  | 0    | 100 %           |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la suma de la superficie en hectáreas que abarca cada polígonos para cada uso/cobertura del suelo, en ambos años (1995-2015)

**Tabla 4. Matriz de cambios de cobertura y uso del suelo entre 1995 y 2015 en la cuenca del lago de Zirahuén, datos en hectáreas (ha)**

|                             | <b>1995</b>     |                 |              |              |              |              |            |                        |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------------------|
| <b>2015</b>                 | Bs              | Ag              | H            | Ca           | Ash          | Ma           | Ap         | <b>Área total 2015</b> |
| Bosque (Bs)                 | 10,327.0        | 2,392.0         | 21.2         | 1.1          | 0.1          | 145.0        | 0.0        | 12,886.3               |
| Agropecuario (Ag)           | 504.0           | 9,311.9         | 7.7          | 33.4         | 0.6          | 131.0        | 0.0        | 9,988.6                |
| Huerta (H)                  | 275.7           | 1,880.5         | 108.9        | 0.0          | 0.0          | 5.2          | 0.0        | 2,270.2                |
| Cuerpo de agua (Ca)         | 1.3             | 5.4             | 0.0          | 956.3        | 0.0          | 0.0          | 0.0        | 963.0                  |
| Asentamientos humanos (Ash) | 1.8             | 93.4            | 0.0          | 0.0          | 991.3        | 0.2          | 0.0        | 1,086.7                |
| Matorral (Ma)               | 12.4            | 81.3            | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 6.0          | 0.0        | 99.7                   |
| Agricultura protegida (Ap)  | 9.6             | 32.7            | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0          | 0.0        | 42.3                   |
| <b>Área total 1995</b>      | <b>11,131.8</b> | <b>13,797.1</b> | <b>137.8</b> | <b>990.8</b> | <b>991.9</b> | <b>287.3</b> | <b>0.0</b> | <b>27,336.8</b>        |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la suma de la superficie en hectáreas que abarca cada polígonos para cada uso/cobertura del suelo, en ambos años (1995-2015)

En la siguiente tabla se muestra la superficie que abarca cada categoría de cobertura y uso del suelo para 1995 (en azul) y 2015 (en verde), en la siguiente columna se calcula el total del cambio entre las fechas, enseguida la tasa del cambio por año y por último la tasa relativa. Se destaca con cursivas cuando el cambio significa pérdida para esa cobertura.

**Tabla 5. Datos comparativos entre 1995 y 2015 de la superficie de las coberturas identificadas**

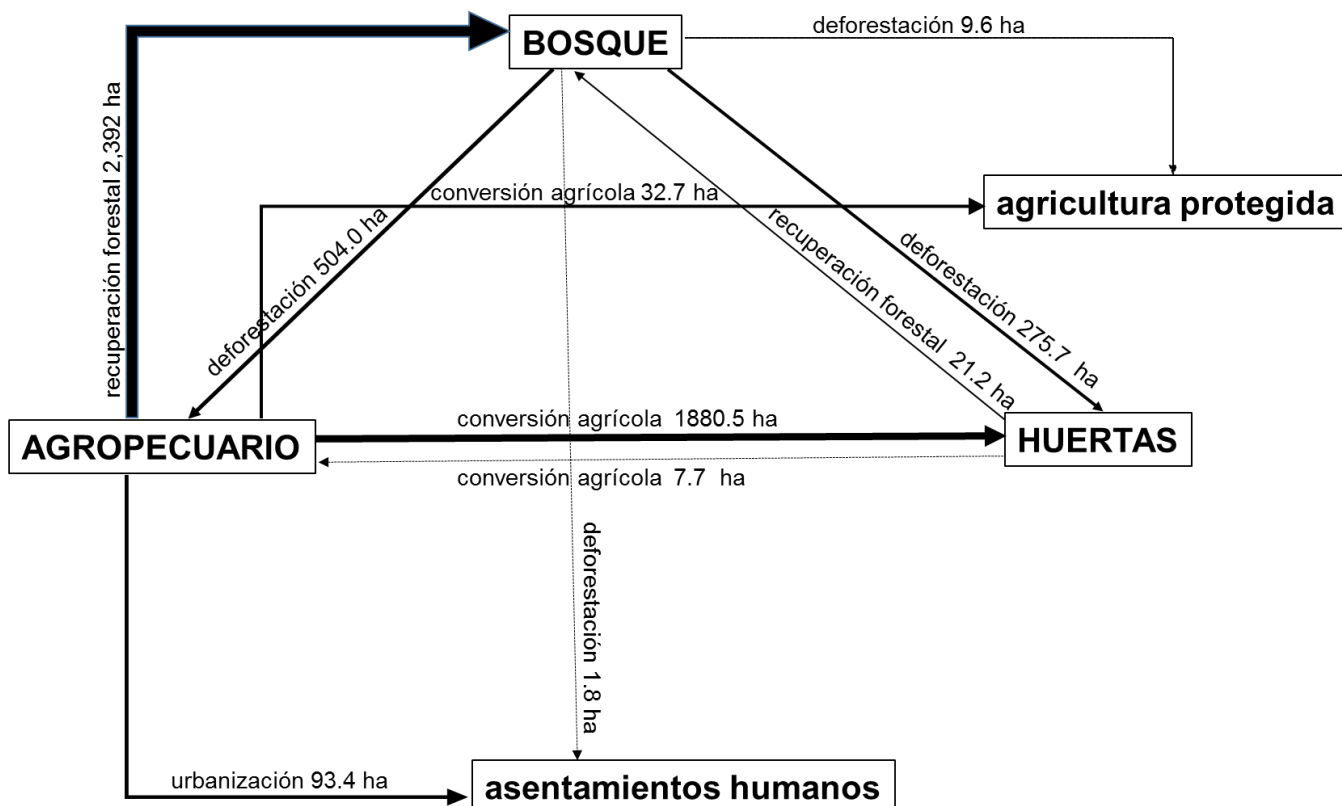
| Cobertura y uso del suelo          | Superficie 1995 (ha) | Superficie 2015 (ha) | Cambio neto (ha) | Tasa de cambio (ha/año) | Tasa de cambio relativa (%/año) |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
| <b>Bosque (Bs)</b>                 | 11131,8              | 12886,3              | 1754,5           | 87,7                    | 0,79                            |
| <b>Agropecuaria (Ag)</b>           | 13797,1              | 9988,6               | -3808,5          | -190,4                  | -1,4                            |
| <b>Huerta (H)</b>                  | 137,8                | 2270,2               | 2132,4           | 106,6                   | 77,4                            |
| <b>Cuerpo de agua (Ca)</b>         | 990,8                | 963,0                | -27,8            | -1,4                    | -0,14                           |
| <b>Asentamientos humanos (Ash)</b> | 991,9                | 1086,7               | 94,8             | 4,7                     | 0,48                            |
| <b>Matorral (Ma)</b>               | 287,3                | 99,7                 | -187,6           | -9,4                    | -3,3                            |
| <b>Agricultura protegida (Ap)</b>  | 0,0                  | 42,3                 | 42,3             | 2,1                     | ---                             |

**Fuente:** elaboración propia a partir de la matriz de cambios

En el siguiente diagrama de flujo se presentan los diferentes procesos de cambio de cobertura/uso del suelo que se dieron entre 1995 y el año 2015. Estos procesos corresponden, a la conversión agrícola, principalmente de agricultura de temporal a huertas, recuperación forestal también a partir principalmente de superficie de uso agropecuario, deforestación y urbanización. En éste diagrama se representa de manera visual la dimensión de los cambios: en los recuadros se encuentran las categorías de cobertura/uso del suelo que tuvieron mayor dinamismo entre 1995 y 2015. En las flechas se indica el proceso que llevo al cambio de cobertura/uso del suelo con su dimensión cuantitativa en hectáreas (ha). La dirección de las flechas indica hacia el uso/cobertura en que desembocó el proceso para el 2015, y el grosor de las flechas representa la relevancia del proceso debido al total de la superficie de dicho cambio. Siendo así, las flechas más gruesas indican los cambios más relevantes y las punteadas los cambios menos relevantes.



**Figura 5. Diagrama de flujo de los principales cambios de cobertura/uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén durante el periodo 1995-2015**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de las superficies obtenidas de la delimitación de los polígonos de cada cobertura/uso del suelo

### **5.3. Cambio de cobertura/uso del suelo en función de la altitud y el tipo de propiedad de la tierra**

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, los principales cambios de cobertura y uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén están asociados al desplazamiento de la agricultura de temporal, principalmente por la recuperación forestal (reforestación) y para el establecimiento de huertas de aguacate (conversión agrícola). Para comprender la distribución de las zonas de conversión agrícola, consideramos dos factores como se propuso en la metodología, por un lado, se debe tener en cuenta que la distribución del cultivo de aguacate está limitado por umbrales fisiológicos, es decir, requiere condiciones específicas de temperatura y humedad, y éstos están determinados por la altitud, por lo tanto la altitud es una limitante ambiental para el establecimiento de las huertas. Por otro lado, el tipo de tenencia de la tierra también determina los usos que se le otorgan al espacio, cada tipo de propiedad está sujeta a su propia normativa y estructura.

#### **Análisis de relieve (altitud)**

Se realizó la extracción de la información de altitud para los polígonos interpretados como huertas en la cartografía del 2015 en escala 1:20,000. Se empleó el Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución de 30 m generado por INEGI y disponible a través del sitio web de esta institución como continuo de elevaciones mexicano (CEM v 3.0).

En la cuenca se identificaron 207 polígonos correspondientes a huertas, básicamente de aguacate, con superficies que varían entre 0.01 ha hasta 547.60 ha. Estas huertas se ubican en altitudes que van desde los 2084 msnm hasta los 2689 msnm, con una altitud promedio de 2288 msnm. Los bosques están representados en la cartografía 2015 por 104 polígonos con superficies que van de 0.01 ha a 5 017.55 ha. Estos polígonos de bosque se encuentran entre el intervalo altitudinal de 2052 msnm y 3284 msnm.

Se compararon los intervalos altitudinales para las huertas y para el bosque por medio de un análisis estadístico con la prueba de *T de Student*, los resultados muestran la existencia de diferencia significativa entre la altitud media para bosques y huertas ( $t = -186.99$ ,  $df = 84395$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$ )

### Tenencia de la tierra

La información sobre la tenencia de la tierra se tomó del Registro Agrario Nacional (RAN) en su última actualización del día 22 de diciembre del 2018. La información disponible en dicha página es sobre dos tipos de núcleos agrarios: propiedad de comunidades indígenas y tierras ejidales. Se encontró que dentro de la cuenca, el 54% del total de la superficie es de propiedad social, distribuido de la siguiente forma: 46.79 % pertenece a la propiedad ejidal y el 7.25 % es propiedad de comunidades indígenas. El resto de la superficie de la cuenca pertenece a otros propietarios como los privados (propiedad privada) y la propiedad gubernamental ya sea de nivel federal, estatal o municipal.

En la siguiente tabla se indica el balance de los dos tipos de propiedad social dentro de la cuenca: ejidos y comunidades. En la segunda columna se encuentra el total de núcleos agrarios (o polígonos dentro del mapa) según el tipo de propiedad social, en la tercer columna el número total de hectáreas que ocupa dentro de la cuenca y finalmente el porcentaje que abarca cada tipo de propiedad social dentro del total de la superficie de la cuenca.

**Tabla 6. Ejidos y comunidades indígenas: número de polígonos, total de hectáreas y proporción dentro de la cuenca del lago de Zirahuén**

| Tipo de propiedad social  | # de núcleos | Área total en hectáreas | Superficie proporcional |
|---------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Ejidos                    | 32           | 12790.707               | 46.79%                  |
| Comunidades               | 3            | 1983.157                | 7.25 %                  |
| Total de propiedad social |              |                         | 54.0 %                  |

**Fuente: elaboración propia a partir de la información del RAN**

En el país hay 31,152 registros de núcleos agrarios, de los cuáles 1,883 se encuentran en el estado de Michoacán, 30 de éstos pertenecen al municipio de Pátzcuaro y 28 a Salvador Escalante. Dentro de la CLZ hay un total de 35 núcleos agrarios, de los cuáles 13 están asociados al municipio de Pátzcuaro 12 de ellos son ejidos y 1 comunidad indígena, que en total abarcan 3062.4 ha dentro de la cuenca. Para Salvador Escalante hay 20 núcleos agrarios, 2 son comunidades indígenas y 18 ejidos, en total abarcan 11502.9 ha dentro de la cuenca. En la cuenca también hay dos ejidos cuya afiliación administrativa se encuentra en otros municipios. Uno de ellos es el ejido de San Miguel Nocotzapó que pertenece al municipio de Erongaricuaró, que posee una extensión de 1,530.78 ha, de las cuales 44.017 ha están dentro de la cuenca. Otro es el ejido de Tupátaro con superficie de 657.72 ha en total y dentro de la cuenca 133.6 ha, con sede administrativa en Huiramba.

Se generó una matriz de cambios por tipo de tenencia de la tierra, en la que puede observar lo siguiente (tablas 6 y 7). Dentro del área que pertenece a las comunidades indígenas hay muy pocos cambios de uso/cobertura del suelo de 1995 al 2015. La cobertura/uso del suelo agropecuario presenta una pérdida de 10.5 ha, el bosque una ganancia de 6.7 ha y la extensión de huertas sólo ocupó 3.9 ha en éste tipo de tenencia de la tierra. La superficie perteneciente a los ejidos presentó cambios mucho más relevantes y con la misma tendencia de CCUS del total de la cuenca. El uso agropecuario mostró mayor pérdida de superficie, en 1995 abarcaba un total de 7,355 ha y para el 2015 se redujo a 5269.8 ha, las cuáles fueron sustituidas principalmente por bosque 1129 ha, huertas 1153.2 ha y matorral 30.1 ha. En el total de la superficie ejidal el bosque presentó ganancia de 981.7 ha, las huertas 1254.5 ha y los asentamientos humanos 37.5 ha.

**Tabla 7. Matriz de CCUS que ocurrió dentro de la propiedad de comunidades indígenas en el periodo de 1995 al 2015**

| COMUNIDAD INDÍGENA          | 2015 |      |     |        |     |     |                 |
|-----------------------------|------|------|-----|--------|-----|-----|-----------------|
| 1995                        | Ap   | Ag   | Ash | Bs     | H   | Ma  | Área total 1995 |
| Agricultura protegida (Ap)  | 0.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0    | 0.0 | 0.0 | 0.0             |
| Agropecuario (Ag)           | 0.0  | 84.4 | 0.0 | 14.4   | 3.9 | 0.0 | 102.6           |
| Asentamientos humanos (Ash) | 0.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0    | 0.0 | 0.0 | 0.0             |
| Bosque (Bs)                 | 0.0  | 7.8  | 0.0 | 1871.3 | 0.0 | 0.0 | 1879.1          |
| Huerta (H)                  | 0.0  | 0.0  | 0.0 | 0.0    | 0.0 | 0.0 | 0.0             |
| Matorral (Ma)               | 0.0  | 0.0  | 0.0 | 0.1    | 0.0 | 0.0 | 0.1             |
| Área total 2015             | 0.0  | 92.1 | 0.0 | 1885.8 | 3.9 | 0.0 | 1981.8          |

Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos del análisis espacial

**Tabla 8. Matriz de CCUS que ocurrió dentro de la propiedad ejidal en el periodo de 1995 al 2015**

| EJIDOS                      | 2015 |        |       |        |        |      |                 |
|-----------------------------|------|--------|-------|--------|--------|------|-----------------|
| 1995                        | Ap   | Ag     | Ash   | Bs     | H      | Ma   | Área total 1995 |
| Agricultura protegida (Ap)  | 0.0  | 0.0    | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0  | 0.0             |
| Agropecuario (Ag)           | 0.3  | 5006.4 | 35.9  | 1129.8 | 1153.2 | 30.1 | 7355.8          |
| Asentamientos humanos (Ash) | 0.0  | 0.3    | 260.6 | 0.0    | 0.0    | 0.0  | 260.9           |
| Bosque (Bs)                 | 0.0  | 148.7  | 1.6   | 4665.0 | 97.4   | 0.2  | 4913.0          |
| Huerta (H)                  | 0.0  | 0.2    | 0.0   | 0.8    | 6.1    | 0.0  | 7.1             |
| Matorral (Ma)               | 0.0  | 114.3  | 0.2   | 99.0   | 4.9    | 6.1  | 224.5           |
| Área total 2015             | 0.3  | 5269.8 | 298.4 | 5894.7 | 1261.6 | 36.4 | 12761.2         |

Fuente: elaboración propia en base a los datos obtenidos del análisis espacial

**Tablas 9 y 10. Cambios de cobertura/uso del suelo dentro de la propiedad social en la cuenca del lago de Zirahuén en el periodo de 1995 al 2015**

| Propiedad de comunidad indígena |                         |                         |                                      |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Cobertura y uso del suelo       | Superficie en 1995 (ha) | Superficie en 2015 (ha) | Cambio: diferencia entre 1995 y 2015 |
| Agricultura protegida (Ap)      | 0.0                     | 0.0                     | 0.0                                  |
| Agropecuario (Ag)               | 102.6                   | 92.1                    | - 10.5                               |
| Asentamientos humanos (Ash)     | 0.0                     | 0.0                     | 0.0                                  |
| Bosque (Bs)                     | 1879.1                  | 1885.8                  | 6.7                                  |
| Huerta (H)                      | 0.0                     | 3.9                     | 3.9                                  |
| Matorral (Ma)                   | 0.1                     | 0.0                     | - 0.1                                |

| Propiedad ejidal            |                         |                         |                                      |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Cobertura y uso del suelo   | Superficie en 1995 (ha) | Superficie en 2015 (ha) | Cambio: diferencia entre 1995 y 2015 |
| Agricultura protegida (Ap)  | 0.0                     | 0.3                     | 0.3                                  |
| Agropecuario (Ag)           | 7355.8                  | 5269.8                  | -2086                                |
| Asentamientos humanos (Ash) | 260.9                   | 298.4                   | 37.5                                 |
| Bosque (Bs)                 | 4913.0                  | 5894.7                  | 981.7                                |
| Huerta (H)                  | 7.1                     | 1261.6                  | 1254.5                               |
| Matorral (Ma)               | 224.5                   | 36.4                    | -187.1                               |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de los polígonos disponibles en la página del Registro Agrario Nacional (RAN)

En la siguiente se presentan los cambios de cobertura/uso del suelo, tanto ganancias como pérdidas (número negativos en cursivas) en el total de la cuenca y enseguida en cada tipo de propiedad. Es decir, es la información cuantitativa que nos permite dar cuenta del tipo de propiedad que más ha contribuido a los diversos cambios de cobertura/uso del suelo. La propiedad ejidal es la tenencia de la tierra que ha contribuido en mayor medida a los cambios, en la misma dirección que el total de la cuenca.

**Tabla 11. Ganancias y pérdidas de las diferentes coberturas/ usos del suelo en toda la cuenca y desglosado por tipo de tendencia de la tierra**

| Cobertura y uso del suelo   | Superficies de cambio en hectáreas (ha) |                       |        |                                                |                                        |
|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------|------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                             | Cuenca                                  | Comunidades indígenas | Ejidos | Propiedad social (comunidad indígena y ejidal) | "Otros" tipos de tenencia de la tierra |
| Agricultura protegida (Ap)  | 42,3                                    | 0.0                   | 0.3    | 0.3                                            | 42                                     |
| Agropecuario (Ag)           | -3808,5                                 | - 10.5                | -2086  | - 2096.5                                       | -1712                                  |
| Asentamientos humanos (Ash) | 94,8                                    | 0.0                   | 37.5   | 37.5                                           | 57.3                                   |
| Bosque (Bs)                 | 1754,5                                  | 6.7                   | 981.7  | 988.4                                          | 766.1                                  |
| Huerta (H)                  | 2132,4                                  | 3.9                   | 1254.5 | 1258.4                                         | 874                                    |
| Matorral (Ma)               | -187,6                                  | - 0.1                 | -187.1 | - 187.2                                        | -0.4                                   |

**Fuente: Elaboración propia a partir de los polígonos del RAN**

En la siguiente tabla se muestra la contribución de cada tipo de tenencia de la tierra al total de la superficie de la cuenca para los cambios de cobertura/uso del suelo más relevantes: pérdida de superficie para uso agropecuario, ganancia de cobertura boscosa y expansión de huertas. La propiedad de comunidades indígenas es la que abarca menos extensión dentro de la cuenca, 7.25 %, y también la que menos superficie aporta a los cambios de cobertura. En cambio, la propiedad ejidal que abarca el 46.79 % del total de la cuenca que se equipara a la superficie de "otros" tipos de tenencia que poseen el 46 %, muestra el mayor aporte a los CCUS: 54.82 % de la pérdida agropecuaria de la cuenca ocurre en propiedad ejidal, así como el 55.95 % de la recuperación del bosque, y sobre la expansión de huertas, el 58.83 % están en propiedad registrada como ejidal. Siendo así los ejidos el tipo de tenencia de la tierra que se muestra más dinámico y el que más superficie aporta principalmente para la expansión de las huertas. Las celdas sombreadas indican los principales procesos de cambio dentro del tipo de tenencia de la tierra que indica la columna, las cursivas indican pérdida.

**Tabla 12. Principales procesos de cambio dentro de la cuenca y por tipo de tenencia de la tierra**

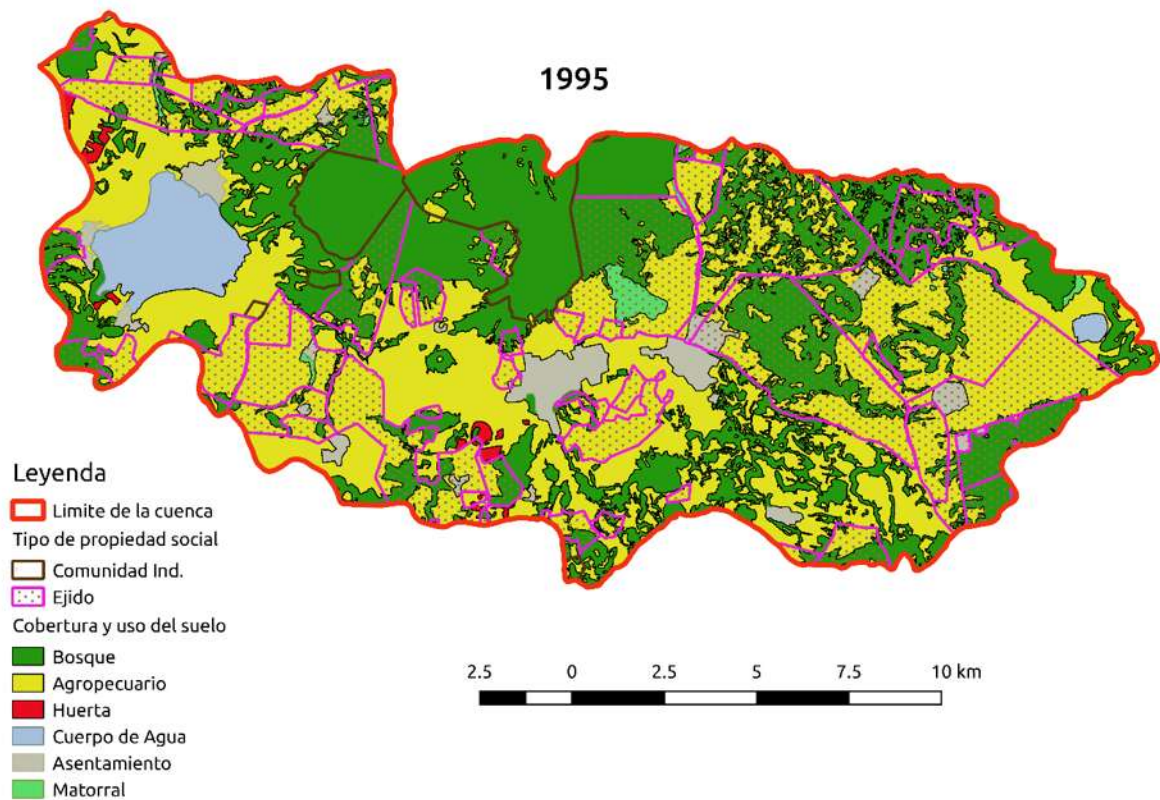
| <b>Cobertura y uso del suelo</b> | <b>COMUNITARIO<br/>7.25%</b> | <b>EJIDAL<br/>46.79 %</b> | <b>“otros” tipos de<br/>tenencia<br/>46%</b> |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| Agropecuario (Ag)                | 0.27 %                       | 54.82 %                   | 55.04 %                                      |
| Bosque (Bs)                      | 0.38 %                       | 55.95 %                   | 43.66 %                                      |
| Huerta (H)                       | 0.18 %                       | 58.83 %                   | 40.98 %                                      |

**Fuente: Elaboración propia**

En los siguientes mapas se aprecia de manera cualitativa los cambios de cobertura/uso del suelo en los diferentes polígonos de propiedad social, tanto la ejidal como la propiedad de comunidades indígenas, dentro de la cuenca del lago de Zirahuén durante el periodo de 1995 al 2015.

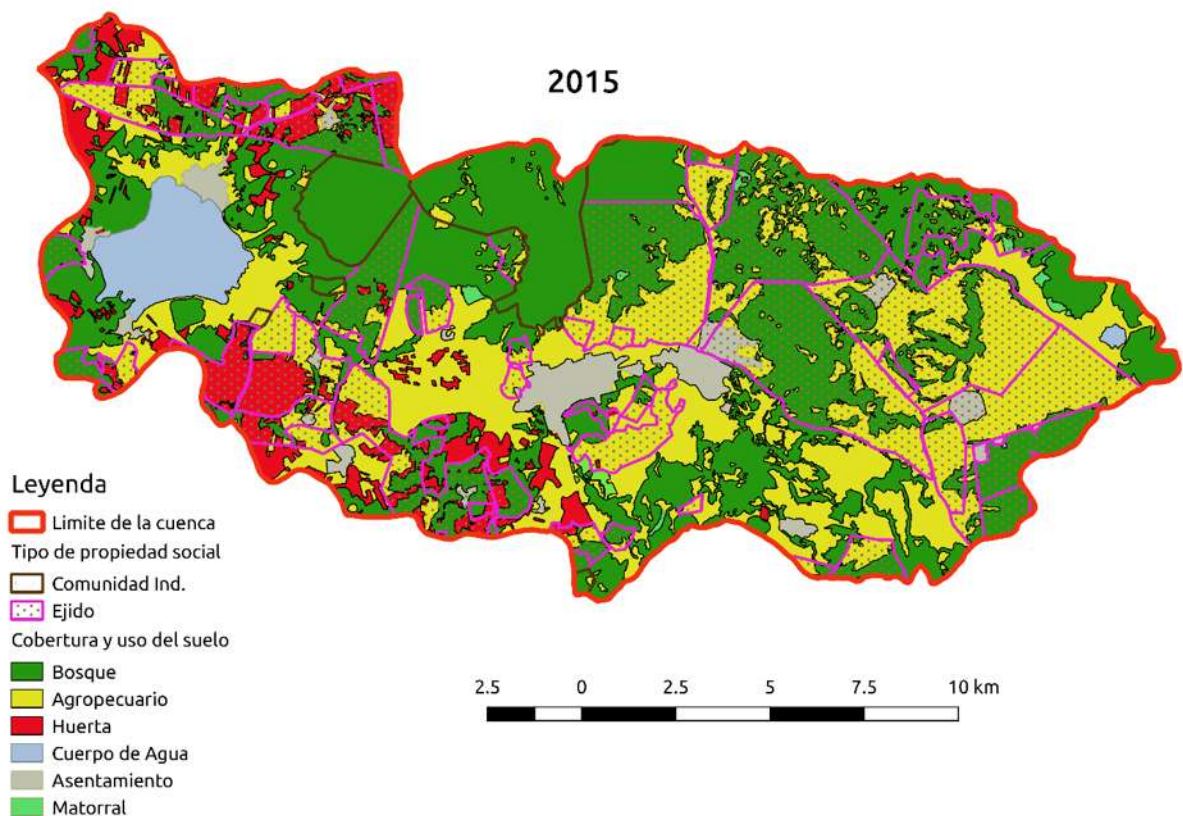


**Figura 6. Mapa de coberturas y usos del suelo dentro de los polígonos de propiedad ejidal y propiedad de comunidad indígena en 1995, en la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente: Elaboración propia a partir del análisis digital de ortofotografía de INEGI, y la sobreposición de los polígonos del Registro Nacional Agrario (RAN).**

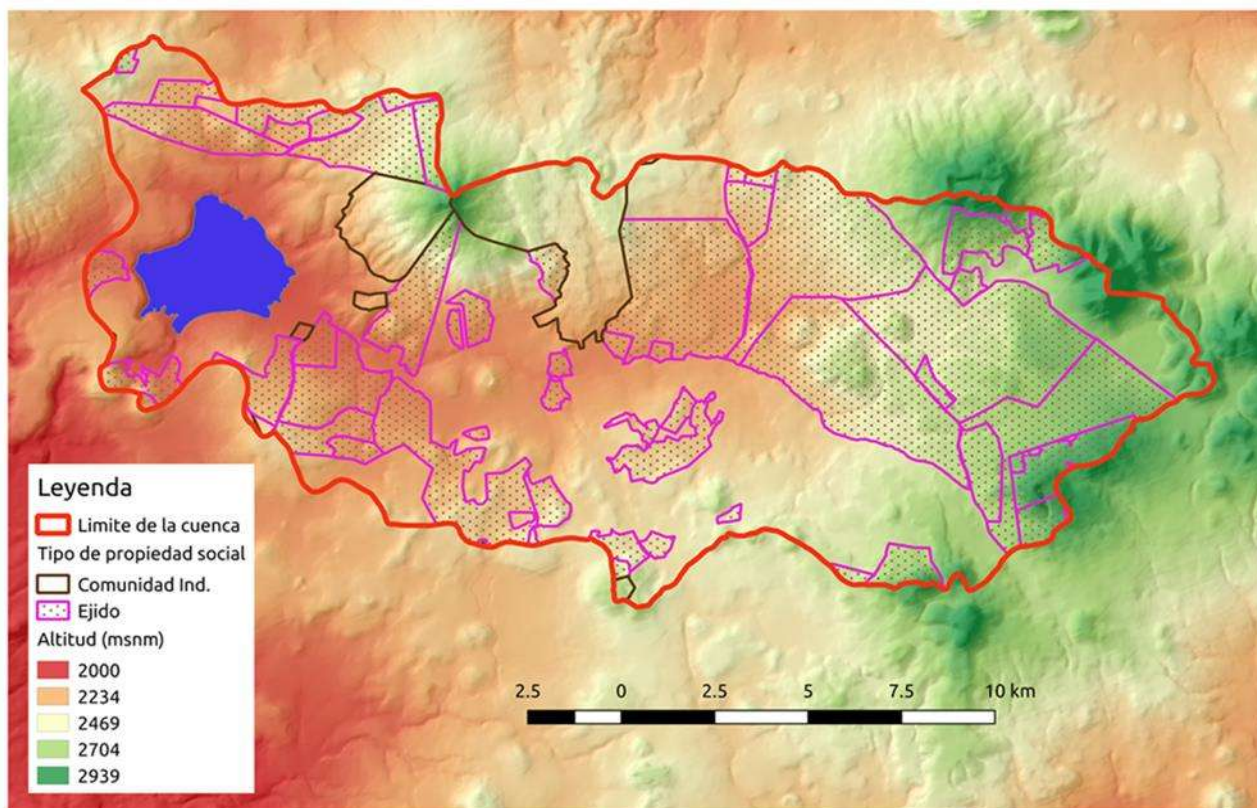
**Figura 7. Mapa de coberturas y usos del suelo dentro de los polígonos de propiedad ejidal y propiedad de comunidad indígena en 2015, en la cuenca del lago de Zirahuén**



**Fuente:** Elaboración propia a partir del análisis de una imagen digital de alta resolución y la sobreposición de los polígonos del Registro Nacional Agrario (RAN).

En el siguiente mapa se muestran los polígonos de propiedad ejidal delineados en morado, y de comunidad indígena delineados en café oscuro. Las tonalidades del suelo indican la elevación como se menciona en la leyenda; donde el color verde representa la mayor altitud y el rojo las partes más bajas de la cuenca.

**Figura 8. Mapa de los polígonos de propiedad social ubicados en el gradiente altitudinal de la superficie de la cuenca del lago de Zirahuén**



Elaboración propia a partir de modelos digitales de elevación (continuo de elevaciones mexicano versión 3.0, INEGI, 2018) procesamiento de sombreado digital de terreno y altitud empleando escala cromática.

#### **5.4. Línea de tiempo de calidad de agua del lago de Zirahuén y análisis de tendencia en el tiempo**

Se sistematizó una base de datos de un total de 19 investigaciones que incluyen tesis, artículos e información no publicada proporcionada de manera personal (Morales-Hernández, 2013, 2014, 2015). El primer reporte que se encontró fue de 1942 de De buen, que es una caracterización general del lago y da a conocer por primera vez su profundidad, de 46 metros, y su transparencia de 6.6 metros, caracterizándolo así como el lago más profundo y transparente del Estado. La información más reciente data del 2015, por Hernández-Morales que reporta mediciones mensuales de un total de 23 parámetros del año 2013, 2014 y 2015. Se corroboró que los datos de las diversas investigaciones incluidos en el análisis, hayan sido obtenidos por métodos estandarizados. Sobre los puntos de muestreo nos percatamos de su congruencia por medio de las coordenadas, y los que presentaran datos de manera estacional se hizo un promedio anual para así integrarlo a la base de datos. Aquellas investigaciones que reportaran datos por profundidad del lago, solamente se tomó en cuenta lo que se considera el nivel superficial -5 metros-, ya que es la zona en que las personas tienen mayor contacto durante las actividades recreativas, para consumo o uso doméstico. Para procesar los datos se homogeneizaron respecto a las unidades con que se reportan.

En el análisis estadístico se incluyeron valores de 27 parámetros que fueron generados de las investigaciones. Estos parámetros son: alcalinidad total, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, Fósforo, Fósforo orgánico, nitratos, nitritos, nitrógeno total, sólidos suspendidos, sólidos totales, transparencia, profundidad, conductividad, temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, ortofosfatos, dureza total, salinidad, clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *c*, calcio, coliformes totales, coliformes fecales, bacterias totales.

## Tendencia en el tiempo

Para conocer si existe una tendencia en el tiempo en cuanto a los parámetros de calidad de agua, se realizó un análisis de correlación por rangos de Mann-Kendall para cambios en el tiempo, en el ambiente estadístico R. Donde: *tau* = es el coeficiente de correlación por rangos, toma valores de 1 a -1. P= indica si hay significancia.

Los resultados que se encontraron indican que sí hay significancia de la tendencia en el tiempo de los siguientes parámetros físico-químicos: incremento significativo de fósforo, conductividad eléctrica, dureza total, nitratos; disminución significativa de la transparencia (Tabla 5). La clorofila *a*, las coliformes totales presentaron una tendencia positiva en el tiempo, y aunque no fue estadísticamente significativa es relevante su observación, debido a que son los parámetros biológicos de calidad de agua que son factores directos de enfermedad en el hombre.

En la siguiente tabla se muestran los valores de *tau* y P, de los parámetros que se encontraron significativos en el tiempo, las celdas sombreadas indican los valores de los parámetros que no fueron estadísticamente significativos pero sí mostraron una tendencia.

**Tabla 14. Valores de de *tau* y P de los parámetros que se encontraron significativos o relevantes en el tiempo**

| Parámetro               | Valor de <i>tau</i> | Valor de P   |
|-------------------------|---------------------|--------------|
| Fósforo                 | 0.511               | 0.049098 *   |
| Transparencia           | -0.587              | 0.0012764 ** |
| Conductividad eléctrica | 0.828               | 0.0014858 ** |
| Dureza total            | 0.674               | 0.0092069 ** |
| Nitratos                | 0.674               | 0.0092069 ** |
| Clorofila <i>a</i>      | 0.333               | 0.36752 NS   |
| Coliformes totales      | 0.8                 | 0.086411 NS  |

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado.



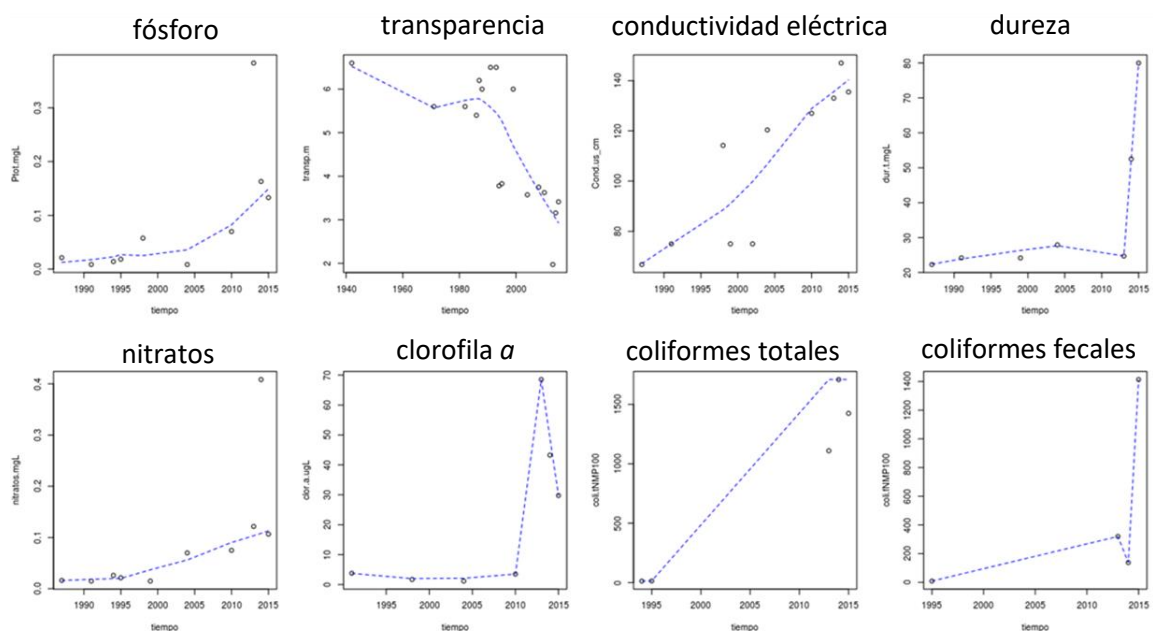
La disminución de la transparencia, el incremento de fósforo y nitrógeno, así como el aumento de los parámetros biológicos: coliformes y clorofila *a*, son indicadores de deterioro de salud del lago o fluctuación hacia la eutrofia, éstos últimos también son factores de riesgo de enfermedad para el ser humano.

Las coliformes son bacterias que provienen del tracto digestivo animal, se desechan de los organismos por medio de su materia fecal, y llegan a los cuerpos de agua por escurrimiento de tierras de uso pecuario, zonas urbanas o vertederos de aguas residuales (Santos-Melgoza, 1995). Las coliformes cumplen con las propiedades como indicador biológico, como son, no reproducirse en el agua por lo que su densidad tiene relación directa con el grado de contaminación fecal; poseen una alta sobrevivencia en el agua y están ausentes en aguas bacteriológicamente seguras. Las bacterias coliformes en su mayoría no son patógenas para el hombre, es decir, no producen enfermedad, sin embargo es uno de los indicadores biológicos de calidad de agua más utilizados, ya que indican contaminación fecal y por tanto, elevadas posibilidades de la presencia de organismos patógenos que la acompañan. Las patologías ligadas a éste tipo de contaminación básicamente son gastrointestinales, y la vía de contagio es exclusivamente por ingesta de agua, ya sea de manera directa o por consumo accidental durante actividades recreativas.

La clorofila *a* es un tipo de pigmento que contienen determinadas especies de microalgas por medio del cual realizan la fotosíntesis. Por lo tanto, es un indicador del incremento de actividad fitoplanctónica, clorofila *a* la contienen específicamente las microalgas denominadas cianofíceas o cianobacterias, y se caracterizan por desechar sustancias tóxicas en el agua (Chorus y Bartram, 1999). En el lago de Zirahuén se ha identificado específicamente la especie de cianobacteria *Mycrocystis* sp. (Morales-Hernández, 2013), los peligros a la salud debido al contacto con los componentes tóxicos de éste organismo son diversos, así como las vías de exposición, ya que puede ser por ingesta, por vía cutánea o aérea. Por lo tanto, los usos que se conoce se le dan al lago, son factores de riesgo: consumo directo, uso recreativo y uso doméstico. Las incidencias patológicas más reconocidas ligadas al desarrollo de enfermedades por exposición a *Microcystis*, son: enfermedades hepáticas, gastrointestinales, respiratorias por inflamación de las mucosas, e inflamaciones locales como son

inflamación de la mucosa ocular [conjuntivitis], inflamación local de la piel [dermatitis] e inflamación del oído [otitis].

**Gráficos 2. Parámetros de calidad de agua del lago de Zirahuén que resultaron estadísticamente significativos o con tendencia relevante**



**Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico en el programa R con los datos de calidad de agua**

En la siguiente tabla se muestran los parámetros que resultaron con diferencia estadísticamente significativa o tendencia relevante en los intervalos de tiempo. En la primer columna aparece el año en que se tomaron los datos en campo, enseguida la cita del trabajo. En la segunda columna aparecen los sitios en que fueron muestreados y las siguientes columnas corresponden los parámetros mencionados.





**Tabla 14. Estudios que generaron la información de los parámetros de calidad de agua del lago de Zirahuén que resultaron estadísticamente significativos o con tendencia relevante**

| Cita                       | Año de muestreo | Sitio(s) de muestreo                    | Transparencia | Conductividad eléctrica | Dureza total | Clorofila <i>a</i> | Fósforo | Nitratos | Coliformes totales | Coliformes fecales |
|----------------------------|-----------------|-----------------------------------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------------|---------|----------|--------------------|--------------------|
| De buen 1942               | 1942            | centro                                  | X             |                         |              |                    |         |          |                    |                    |
| De buen 1971               | 1971            | centro                                  | X             |                         |              |                    |         |          |                    |                    |
| Ordoñez <i>et al.</i> 1982 | 1982            | centro                                  | X             |                         |              |                    |         |          |                    |                    |
| Bernal-Brooks 1986         | 1986            | Copándaro                               |               |                         |              |                    |         |          |                    |                    |
| Bernal-Brooks 1987         | 1987            | Copándaro, centro, Zirahuén, agua verde |               | X                       | X            |                    | X       | X        |                    |                    |
| Chacón y Rosas-Monge 1998  | 1987            | centro                                  | X             |                         |              |                    | X       | X        |                    |                    |
| Bernal-Brooks 1988         | 1988            | centro                                  | X             |                         |              |                    |         |          |                    |                    |

| Cita                             | Año de muestreo | Sitio(s) de muestreo                                     | Transparencia | Conductividad eléctrica | Dureza total | Clorofila <i>a</i> | Fósforo | Nitratos | Coliformes totales | Coliformes fecales |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------------|---------|----------|--------------------|--------------------|
| Chacón 1992                      | 1991            | centro                                                   | X             |                         | X            | X                  |         |          |                    |                    |
| Chacón et al. 1993               | 1993            | centro                                                   | X             |                         |              |                    |         |          |                    |                    |
| Alvarado 1996                    | 1994            | centro                                                   | X             |                         |              |                    | X       | X        | X                  |                    |
| Santos-Melgosa 1996              | 1995            | Agua verde Tepamio<br>Copándaro<br>Embarcadero<br>centro | X             |                         |              | X                  | X       | X        | X                  | X                  |
| Rendón-López et al. 1998         | 1997            | centro                                                   | X             |                         |              |                    |         |          |                    |                    |
| Bernal-Brooks <i>et al.</i> 2000 | 1998            | centro                                                   |               | X                       |              | X                  | X       |          |                    |                    |
| Chacón <i>et al.</i> 1998        | 1999            | centro                                                   | X             | X                       | X            |                    |         | X        |                    |                    |

| Ruiz-Sevilla<br>2002                 | 2002               | centro                                                                 |               | X                              |                 |                    |         |          |                       |                       |
|--------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|---------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Cita                                 | Año de<br>muestreo | Sitio(s) de muestreo                                                   | Transparencia | Conductivi<br>dad<br>eléctrica | Dureza<br>total | Clorofila <i>a</i> | Fósforo | Nitratos | Coliformes<br>totales | Coliformes<br>fecales |
| Vergara de<br>Paz, 2005              | 2004               | Zirahuen, Agua Verde, la<br>Palma, Centro                              | X             | X                              | X               | X                  | X       | X        |                       |                       |
| Berry et al.<br>2011                 | 2008               | centro                                                                 | X             |                                |                 |                    |         |          |                       |                       |
| Mendoza et<br>al. 2015               | 2013               | Capitania del puerto,<br>Centro Copándaro<br>agua verde<br>embarcadero |               | X                              |                 |                    |         |          |                       | X                     |
| Hernández-<br>Morales et al.<br>2016 | 2013               | centro, embarcadero,<br>agua verde, copándaro,                         | X             | X                              | X               | X                  | X       | X        | X                     | X                     |
|                                      | 2014               |                                                                        | X             | X                              | X               | X                  | X       | X        | X                     | X                     |
|                                      | 2015               |                                                                        | X             | X                              | X               | X                  | X       | X        | X                     | X                     |

**Fuente: Elaboración propia a partir de la información extraída de las investigaciones que se mencionan en la tabla**

### **5.5. Línea de tiempo 1995-2015 prevalencia de enfermedades en la población de la cuenca, relacionadas con la calidad del agua del lago de Zirahuén, y análisis de tendencia**

Se obtuvo de la Secretaría de Salud Pública (SSP) los archivos de recopilación de datos del Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE) correspondiente al municipio 079 perteneciente a Salvador Escalante. Las localidades de la cuenca del lago de Zirahuén que se incluyeron en esta investigación, fueron aquellas donde se encontraron centros de salud, estas son: Zirahuén, Opopeo, Santa Clara del Cobre, Agua verde y San Gregorio.

**Tabla 15. Localidades de las que se obtuvo información de la secretaria salud pública. Se indican los centros de salud específicos y las instancias a las que pertenecen**

| <b>Localidad</b>      | <b>Clave del Centro de Salud</b> | <b>Instancia (clave)</b>       |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Santa Clara del Cobre | 5732<br>Centro de salud 1433     | IMSS Oportunidades (5) SSA (1) |
| Opopeo                | 5692                             | IMSS Oportunidades (5)         |
| Agua verde            | 5690                             | IMSS Oportunidades (5)         |
| Zirahuén              | 5689                             | IMSS Oportunidades (5)         |
| San Gregorio          | 1430                             | SSA (1)                        |

**Fuente: Elaboración propia. Centros de salud de donde se obtuvo información de la secretaria de salud pública**

Los registros de la base de datos otorgada por el SUIVE son quincenales a partir del año 1995 hasta el 2015. Se reportan un total de 130 diagnósticos divididos en grupos según el origen de adquisición de la enfermedad, es decir, si es de origen infeccioso, transmitida por vector, de transmisión sexual, de nacimiento,

padecimiento relacionado con la nutrición, o enfermedades no transmisibles. Estos grupos se dividen a su vez según la localización del padecimiento: gastrointestinales, respiratorias, neurológicas, entre otras.

Para el análisis de datos se eligieron aquellas enfermedades que podrían atribuirse al uso del agua del lago, ya sea para consumo, para actividades domésticas o recreativas, en base a las incidencias patológicas relacionadas con los parámetros o indicadores de calidad de agua que son factores de enfermedad, éstos parámetros son: coliformes y *Mycrocistis* sp. Así que de los diagnósticos registrados en las hojas de SUIVE que se incluyeron son: enfermedades respiratorias, enfermedades gastrointestinales, conjuntivitis, otitis, dermatitis, infecciones urinarias y hepatitis no infecciosa.

En la siguiente tabla se muestran los padecimientos registrados en diversos estudios en relación con los dos parámetros que se encuentran en el agua del LZ: coliformes y *Mycrocistis* sp, éstos parámetros muestran tendencia al incremento en el tiempo y son factores potenciales de enfermedad para el ser humano. La literatura menciona que cada padecimiento está asociado con determinados usos del agua, ya que estos usos determinan la vía de entrada al organismo. La presencia de coliformes en el agua está asociado al incremento de enfermedades gastrointestinales en la población humana para cualquier tipo de uso del agua. En cambio, *Mycrocistis* sp. está asociada a diversas enfermedades en función del uso del agua, estas son: gastroenteritis, dermatitis, infecciones urinarias, otitis, conjuntivitis, enfermedades respiratorias e inflamación del hígado. La diferencia entre los padecimientos asociados a cada parámetro de calidad de agua, es debido a que las coliformes solo entran al cuerpo por vía oral, en cambio *Mycrocistis* sp. es capaz de entrar al cuerpo por la piel al contacto con el agua, por vía aérea principalmente hacia los ojos y vías respiratorias, y por vía oral provocando gastroenteritis y daño hepático que generalmente se reporta como hepatitis no infecciosa o inflamación del hígado.

**Tabla 16. Enfermedades asociadas a la presencia de coliformes y *Microcystis* sp. en el agua en relación con los usos otorgados al recurso hídrico, según diversos autores.**

| Factor de enfermedad presente en el LZ | Usos del agua                                                                                         |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | Consumo                                                                                               | Doméstico                                                                                                                                                                                                    | Recreativo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Coliformes                             | Gastrointestinales (Gleick, 2012)                                                                     | Gastrointestinales (Gleick, 2012)                                                                                                                                                                            | Gastrointestinales (Gleick, 2012)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>Microcystis</i> sp.                 | -Gastrointestinales (Byrth, 1980; Tisdale, 1931; Lippy and Erb, 1976)<br>-Daño hepático (Byrth, 1980) | -Dermatitis (Moreno <i>et al.</i> , 2003)<br>-Gastroenteritis (Teixera, <i>et al.</i> , 1993 )<br>-Enfermedades respiratorias (Stewart <i>et al.</i> , 2002)<br>-Conjuntivitis (Moreno <i>et al.</i> , 2003) | -Dermatitis (Moreno <i>et al.</i> , 2003; Pilotto <i>et al.</i> , 1997)<br>-Infecciones urinarias<br>-Otitis (Pilotto <i>et al.</i> , 1997; Ruben)<br>-Conjuntivitis (Pilotto <i>et al.</i> , 1997)<br>-Gastroenteritis (Teixera <i>et al.</i> 1993; Tisdale, 1931; Pilotto <i>et al.</i> , 1997)<br>-Enfermedades respiratorias (Stewart <i>et al.</i> , 2002)<br>-Daño hepático (Byrth, 1980; Teixera, <i>et al.</i> 1993 Pilotto <i>et al.</i> , 1997) |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la literatura consultada sobre los problemas de salud relacionados con el contacto de Coliformes y *Microcystis* sp. por diferentes vías: aérea, cutánea e ingesta.

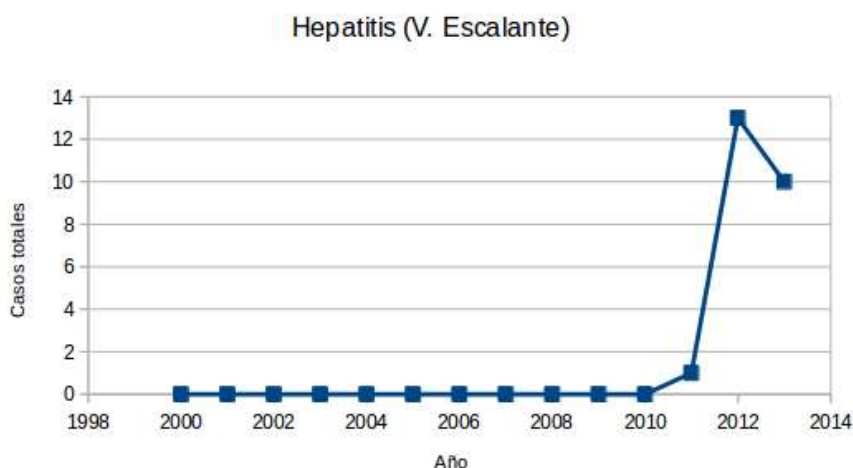
### Tendencia en el tiempo

Para conocer si existe una tendencia en el tiempo en los diagnósticos, se realizó un análisis de correlación por rangos de Mann-Kendall para cambios en el tiempo, en el ambiente estadístico R. Primero se obtuvo la prevalencia de cada padecimiento en cada localidad. En epidemiología, se denomina prevalencia a la proporción de individuos de un grupo o una población que presentan una característica o evento determinado en un momento o en un período determinado

Población estimada. Estos datos de población estimada fueron empleados para calcular la prevalencia de las distintas enfermedades. Para esto se obtuvieron los datos de población para cada localidad. Enseguida se estimaron para cada año empleando los datos de los censos de INEGI, de 1990 y 2000, así como los conteos de población y vivienda 1995, 2005 y 2015. Se interpoló la población para cada año utilizando un algoritmo de ajuste de tensión de tercer orden.

Los análisis no mostraron evidencia significativa para ningún padecimiento en ninguna localidad, sin embargo, al observar los datos del diagnóstico de hepatitis no infecciosa para Salvador Escalante, existe un pico para el 2012-2013; en éstas fechas fue cuando la población de la cuenca acudió a las autoridades debido a que observaban un mantillo verde en la superficie del lago, que por medio de un análisis científico se corroboró que correspondía a *Mycrocystis* sp. (Gómez-tagle *et al.* 2013) Así, que a pesar de no ser estadísticamente significativo debido a que no hay una tendencia, sí es relevante la observación ya que significa un pico epidemiológico que corresponde a un momento definido (Grafica 3)

**Gráfica 3. Número de casos de hepatitis en Salvador Escalante del año 2000 a 2013**



## **5.6. Integración e Interpretación de los resultados a partir de la teoría de sistemas complejos y el enfoque de metabolismo social.**

Los resultados de la presente investigación confirman que existe un proceso de deterioro de la calidad de agua del lago de Zirahuén, los parámetros que lo indican son el incremento de nitrógeno, fósforo y cianobacterias, los cuales, según la literatura, tienen relación directa con la contaminación difusa proveniente principalmente de los escurrimientos agrícolas de cultivos de modalidad intensiva.

Los resultados también mostraron, que el principal cambio de CCUS es la reconversión productiva de agricultura de temporal a cultivos comerciales intensivos. Por lo que, en la cuenca del lago de Zirahuén, la reconversión productiva es la forma de apropiación que genera el metabolismo social que produce el deterioro de la calidad de agua del lago de Zirahuén. A su vez, esta actividad productiva, que es realizada principalmente por actores externos a la cuenca, está determinada por el sistema socioeconómico global capitalista.

Dentro de éste contexto, la reconversión agrícola tradicional a la agroindustria es parte de la integración de México al contexto internacional neoliberal. Desde mediados de la década de los años ochenta, cuando el gobierno decidió liberalizar el comercio de los productos agrícolas y, por consiguiente, abrir el país a las importaciones de granos que hasta entonces habían estado estrictamente protegidos, comenzó el cambio de paradigma agrícola que ha modificado el perfil productivo del país, siendo el cultivo de forrajes y frutales principalmente para exportación, lo que ocupa la mayor parte de las tierras agrícolas (Morett-Sánchez., Cosío-Ruíz, 2017). Esto se ha traducido en el empobrecimiento rural y dependencia alimentaria de México; hechos que contradicen el discurso oficial sobre el proceso de reconversión productiva (Bachmann-Fuentes, 2014).

A partir de la absorción del modelo neoliberal, el fenómeno de reconversión productiva se ha considerado una alternativa para el desarrollo de la agricultura en algunos países de América Latina como México, donde la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) señala, que la reconversión es un fenómeno que busca aprovechar la aptitud potencial de las diversas zonas del país, a través de un uso óptimo del suelo para alcanzar una



producción capaz de competir exitosamente en la defensa del mercado local y así, lograr una incursión eficiente en los mercados externos (SAGARPA, 2004).

Menciona también, que el objetivo principal de la reconversión productiva es elevar la competitividad del sector agropecuario, con el fin de mejorar las condiciones de vida de la población. En resumen, según el discurso oficial, los objetivos específicos de la reconversión productiva son: promover el desarrollo del sector agropecuario en forma sostenible y rentable; incrementar la producción, la productividad y la competitividad agropecuaria sobre la base de las potencialidades productivas y ventajas comparativas de las regiones; optimizar las actividades de comercialización interna y externa de los principales productos agropecuarios y promover la seguridad alimentaria (Ortíz-Caldera *et al.*, 2016).

Sin embargo, la realidad socioeconómica del modelo capitalista global y neoliberal es, que observando en todos los niveles: global, nacional y local, las consecuencias son las mismas: acumulación de capital por una parte cada vez más reducida de la población a costa del empobrecimiento de la gran mayoría, deterioro del medio ambiente y sobreexplotación de los recursos naturales; que finalmente se derivan en problemas de salud para la población, ya sea por falta de alimento, exposición a un ambiente insalubre, entre otros. Por lo que, la salud, ya sea de un ecosistema o de una población humana, puede ser vista como un criterio global para juzgar la sostenibilidad humana (Wilcox, 2004).

**Figura 9. Diagrama del sistema socio-ambiental y su interacción con la reconversión productiva, la calidad de agua y salud de la población de la cuenca del lago de Zirahuén**

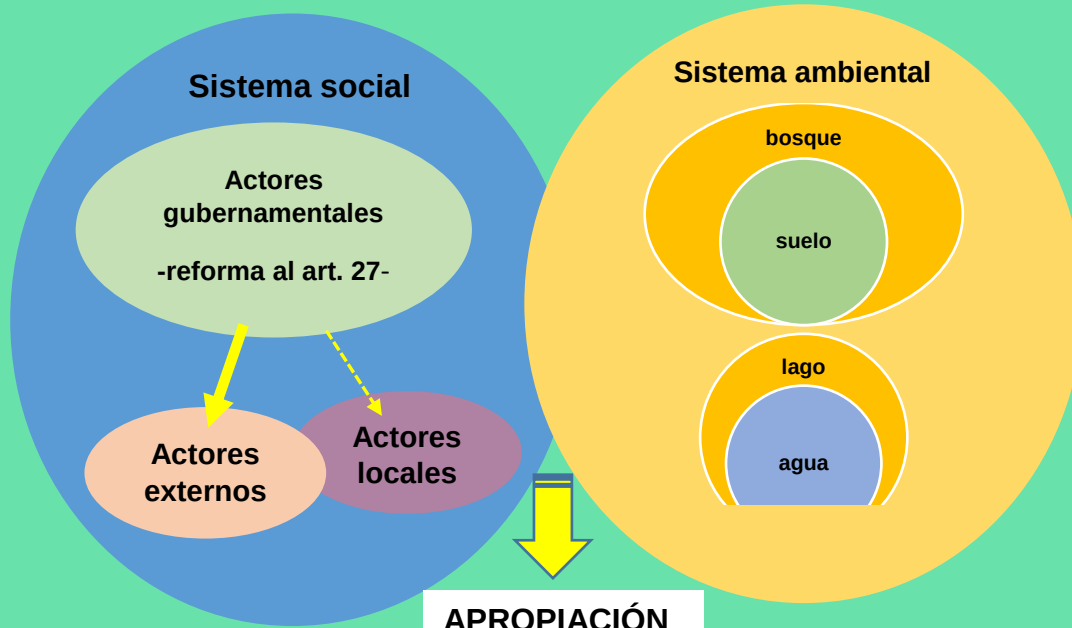
Se representa el sistema de la cuenca del lago de Zirahuén con los elementos y relaciones relevantes para la problemática de la calidad de agua del lago. Dentro del sistema social se encuentran los principales actores involucrados en la apropiación de los recursos. Los actores gubernamentales determinan lo que pueden hacer los actores locales (agricultores locales) y los externos (agroempresarios externos); el grosor de las flechas indica la proporción en que los

favorece, que en éste caso, los actores externos de la cuenca son los más favorecidos particularmente por la reforma al artículo 27 de la Constitución, que les permite apropiarse de tierras ejidales.

El tipo de apropiación determina el metabolismo que se genera, por lo tanto, cada actor desarrolla un metabolismo particular. Los agroempresarios externos se apropian del agua, el suelo y mano de obra para producir aguacates, para lo que transforman el suelo por medio del uso de maquinaria y agroquímicos; su producto, los aguacates, en su mayoría salen del sistema de la cuenca, así como la riqueza generada, sin embargo, la excreción que produce su metabolismo, que es principalmente la contaminación difusa, se queda dentro del sistema de la cuenca y es absorbida por los actores locales, ya que utilizan el agua del lago cotidianamente.

Fuera del sistema de la cuenca, se observan las condiciones de contorno que menciona R. García, que en este sistema complejo es el sistema socioeconómico nacional y global, que funcionan como fuerzan hacia la cuenca, que finalmente determinan lo que ocurre dentro de ella.

## Sistema Cuenca del lago de Zirahuén



## METABOLISMO SOCIAL

|                | AGROEMPRESARIOS EXTERNOS                                                                                                     | AGRICULTORES LOCALES                                       |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| APROPIACIÓN    | suelo<br>agua<br>mano de obra                                                                                                | suelo<br>agua<br><div>riesgo potencial para la salud</div> |
| TRANSFORMACIÓN | cambio de uso del suelo<br>insumos: agroquímicos<br>aguacates                                                                | granos básicos<br>agua para uso doméstico                  |
| CIRCULACIÓN    | mercado externo                                                                                                              | autoconsumo y mercado local                                |
| CONSUMO        | acumulación de riqueza                                                                                                       | satisfacción de sus necesidades                            |
| EXCRECIÓN      | erosión<br>escurrimientos agrícolas con agroquímicos<br>contaminación difusa<br><div>Nitrógeno / fósforo / microcystis</div> | residuos domésticos<br>contaminación puntual               |

Sistema socioeconómico mundial: Capitalismo global / Políticas neoliberales  
 Integración de México al capitalismo global neoliberal, como país subdesarrollado: libre mercado / reducción de la intervención estatal / reformas estructurales

## DISCUSIÓN

Esta investigación representa un diagnóstico sobre una fracción de la compleja problemática socio-ambiental que se vive en la cuenca del lago de Zirahuén. El problema específico que se abordó fue en torno al deterioro de la calidad de agua del lago de Zirahuén, que en la última década ha sido motivo de preocupación para los habitantes de la cuenca así como de empresarios del sector turístico y académicos. Por lo tanto, los resultados de la presente investigación son un relevante aporte para la comprensión del problema y así establecer posibles rutas de solución. El diagnóstico ambiental de ésta problemática se realizó bajo la metodología de sistemas complejos, por lo que ésta sección corresponde a la “fase de integración de resultados”, es decir, donde en base a los resultados se busca una explicación coherente que dé cuenta de todos los hechos observados, así como responder a las preguntas de investigación.

Uno de los resultados más relevantes es que la expansión de huertas entre 1995 y 2015, ha sido principalmente sobre parcelas que anteriormente eran de cultivos de temporal y no sobre superficie boscosa como se plantea en la hipótesis. Estadísticas del Consejo Estatal Forestal de Michoacán (CEF, 2007) y de otras entidades oficiales, informan que el cambio de uso del suelo que se observa en las zonas de bosque de pino-encino en Michoacán, se debe a la conversión del bosque a plantaciones de aguacate. Sin embargo, se reconoce que algunas de éstas cifras conllevan a la incertidumbre debido a que las metodologías de levantamiento de los inventarios o cuantificaciones no han sido claras, y en ocasiones reportan cifras contradictorias a causa de que la información sólo ofrece datos de algunas áreas y los resultados se generalizan para todo el Estado, y en muchas ocasiones no se reporta la localización exacta de las zonas analizadas (Morales-Manilla *et al.* 2012), lo que es indispensable para conocer su impacto sobre el medio ambiente.

Además, el paradigma de región como categoría de estudio, se basa precisamente en que la diferenciación de las áreas, a pesar de las homogeneidades que puedan presentar, son de gran relevancia para comprender las dinámicas

del territorio, ya que la función cognitiva de la categoría de región es la de establecer la singularidad en la superficie del globo terráqueo. El valor del conocimiento obtenido sobre las regiones viene dado por las posibilidades no sólo de comprender el territorio, sino también por el gran valor práctico (Rodríguez y Manet, 2016). Por lo que es necesario estudiar cómo ocurre un mismo fenómeno, en éste caso la expansión de huertas de aguacate, dentro de las particularidades del territorio de cada región.

Por otro lado, reportes académicos que cuantifican el cambio de cobertura/uso del suelo en Michoacán, han sido a escalas espaciales muy amplias, por lo que no se había incluido “huertas de aguacate” como unidad de análisis; en éstos estudios el cultivo de éste fruto se encuentra integrado dentro de otras categorías como “agricultura” de manera general (Gabribay y Bocco, 2011; Mas *et al.*, 2016). Con excepción del trabajo de Morales-Manilla y colaboradores (2012) que utilizan una escala de alta resolución con la que logran diferenciar las huertas de aguacate del resto de la agricultura. Su análisis lo realiza bajo límites administrativos en el que sólo incluye una porción de Salvador Escalante, por lo que no hay coincidencia espacial con la presente investigación, sin embargo es relevante su conclusión sobre la deforestación, en la que afirma que para cultivos de aguacate ha ocurrido de manera significativa apenas en los últimos años.

En otros reportes académicos, como el Moreno-Calles *et al.*, (2013) muestran que la percepción de la población de la cuenca es que se pierde una gran cantidad de bosque para el establecimiento de huertas, ya que asocian la pérdida de cobertura forestal y la expansión de huertas como el mismo problema. Sin embargo, Moreno-Calles y colaboradores reconocen que en realidad la extensión y la tasa de conversión de bosque a huerta se desconocen.

Sin embargo, éste resultado coincide con lo sugerido por De la Tejera *et al.* (2012), que analizan de manera indirecta la forma en que se ha transformado el paisaje de la franja aguacatera. Construyeron una serie de datos de 1980 al 2009 con estadísticas oficiales, para inferir de manera indirecta las pérdidas de superficie forestal para el establecimiento de huertas de aguacate. Encuentran que entre éstas fechas, Salvador Escalante prácticamente duplicó la superficie dedicada al cultivo

de este fruto, y que ésta expansión ocurrió de manera simultánea y en la misma proporción que la reducción de la superficie orientada a la producción de granos básicos, principalmente maíz. Por supuesto, haciendo la aclaración de que no saben si el desplazamiento ocurrió de manera directa. En el mismo año, Barsimantov y Navia (2012) publican una investigación donde reportan que en once comunidades del municipio de Ario de Rosales, cercano a la zona de estudio en Michoacán, las tasas de deforestación son iguales o mayores antes de que ocurriera la expansión acelerada de las huertas de aguacate, encontraron que las tasas de deforestación dependían más bien del manejo forestal de la comunidad.

La información derivada de éste estudio es un importante aporte sobre el cambio de uso / cobertura del suelo en relación con la producción de aguacate, uno de los principales cultivos comerciales de alto valor en México, tanto por su consumo interno, como por su exportación (Barsimantov y Navia, 2012). Es relevante el hecho de que ésta información se derivó bajo la perspectiva de cuenca, ya que de acuerdo con la revisión de literatura no se había empleado en relación con este cultivo que puede representar importantes Implicaciones hidrológicas para la región. Además, ésta unidad hidrográfica abarca 22 689,5 ha que corresponde al 46,4 % de la superficie total del municipio de Salvador Escalante (48 932,6 ha; SEDESOL, 2010), uno de los principales productores de éste fruto, y sin embargo, del que no existía información cartográfica y estadística detallada. Es el primero que se hace bajo perspectiva de cuenca, indispensable para comprender los efectos de CCUS sobre el recurso hídrico, y así definir su óptima gestión.

Aporta información en cuanto a la extensión real del cultivo dentro de la cuenca y su localización. Es precisamente la ubicación del cultivo lo que posibilita realizar un diagnóstico de las condiciones territoriales en las que se lleva a cabo, patrones de expansión, así como los posibles impactos sociales y ambientales. Sólo con información precisa se puede entender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje, así como influir en la toma decisiones que vayan dirigidas a la corrección de actividades no sustentables.

Los resultados sobre la tenencia de la tierra muestran que gran parte de las huertas están en territorio registrado como ejidal, sin embargo los beneficios

económicos no se ven reflejados en la población que habita en la cuenca (Villanueva y Zepeda, 2016), esto concuerda con lo que se menciona en la literatura sobre las tierras ejidales como una forma de llevar al territorio rural hacia la inversión privada (Bachmann-Fuentes, 2014). Se tiene registro que en la cuenca del lago de Zirahuén muchos ejidatarios han vendido sus tierras bajo presión o porque sus tierras ya no son productivas, así como también existen casos de escrituras apócrifas (Ávila, 2014). En cambio, en la reducida superficie que pertenece a las comunidades indígenas, no ocurrió expansión de cultivo de aguacate a pesar de que existen áreas con la altitud adecuada; al respecto, la literatura menciona que en el caso de la comunidad indígena de Zirahuén han utilizado mecanismos de regulación social para evitar la parcelación y venta de tierras, en donde por un lado, sólo los comuneros reconocidos legalmente y sus familiares los que tienen derechos de decisión, y la conservación y mantenimiento del bosque otorga derecho sobre la tierra y legítima la antigüedad de la posesión (Ávila, 2014; Nava, 2010). Por lo tanto, el tipo de propiedad o tenencia de la tierra en la cuenca del lago de Zirahuén puede estar determinando la forma del cambio de cobertura/uso del suelo, y las condiciones ambientales funcionan como limitantes fisiológicas solamente.

Por otro lado, la pérdida de superficie dedicada al cultivo de temporal y en su lugar, la expansión de huertas de cultivo intensivo de aguacate, abre diversas ventanas a la vulnerabilidad para la población que vive en la cuenca (De la tejera *et al.*, 2012). El cambio de paradigma agrícola ha traído diversas implicaciones sociales y ambientales, como el deterioro suelo y los ecosistemas, vulnerabilidad alimentaria, concentración de la tierra, entre otros. El hecho de que las pequeñas explotaciones agrícolas desaparezcan se pierde junto con ellas la biodiversidad de los cultivos, como el maíz; ya que los pequeños agricultores son los que conservan aquellas variedades localmente adaptadas y estables, es decir, las que por generaciones fueron domesticadas en las distintas circunstancias geográficas y climatológicas. Las grandes explotaciones introducen semillas genéticamente uniformes, modificadas genéticamente para un alto rendimiento, pero con muy poca capacidad de adaptación, por lo tanto cultivos más vulnerables, lo que conlleva a la necesidad de utilizar grandes insumos de agroquímicos como son fertilizantes,

insecticidas, pesticidas (Bachmann-Fuentes, 2014). Gran parte de éstos agroquímicos desembocan en los cuerpos de agua por contaminación difusa, ya que se conoce que aproximadamente el 30% de éstas sustancias se quedan en la vegetación, y el resto se dispersa vía aérea y por escarmiento a través del agua y el suelo (RAPAL, 2010).

Sobre las implicaciones socioeconómicas de la conversión agrícola que ha ocurrido en la cuenca del lago de Zirahuén, es relevante el hecho de que el PIB agropecuario de Michoacán es de los más importantes del país y su valor de producción real es muy significativo y esto se debe en gran parte a la expansión de éste cultivo (De la Tejera *et al.*, 2012). Sin embargo no ha contribuido de manera significativa en el combate a la pobreza en los municipios del Estado donde se cultiva este fruto. Así lo indicó Villanueva y Zepeda (2016), en un estudio comparativo entre los 14 municipios del estado donde, para el 2010, la producción de aguacate representaba al menos el 50% del total del valor de la producción agrícola, y aquellos municipios que no son productores de éste fruto. Estos autores encontraron que los indicadores de pobreza alimentaria, pobreza de capacidades y patrimonial disminuyen ligeramente más en la mayoría de los municipios aguacateros. Concluyendo que, ante la posición tan relevante de dicho producto en el mercado internacional y representar la principal actividad económica de éstos municipios, no ha contribuido de manera significativa en el combate a la pobreza en sus tres dimensiones.

Por otro lado, apostar por la expansión del aguacate en detrimento de la producción de granos como el maíz que es parte de la dieta básica de la mayoría de la población, vulnerabiliza su seguridad alimentaria por diversas vías. Por un lado ahora necesitan comprar lo que antes producían, y en muchas ocasiones sus ingresos no les permiten asegurarse de alimentos de buena calidad o en suficiente cantidad; por otro lado, ocurre la pérdida y/o estancamiento de muchas cadenas productivas de la región (Bachmann-Fuentes 2014; De la Tejera *et al.*, 2012). Estos fenómenos se extienden al resto de las zonas rurales de país, ya que a partir del cambio de paradigma de la agricultura tradicional por la agroindustria México pasó de ser una potencia alimentaria mundial a un país dependiente alimentario,



principalmente del mercado estadounidense, y esto también vulnerabiliza nuestra economía ya que dependemos en gran parte de sus parámetros y políticas (De la Tejera *et al.*, 2012).

Otro resultado generado a través de esta investigación y que es de gran relevancia, es que entre las fechas analizadas no sólo no se sustituyeron grandes masas boscosas por huertas, sino que, en el balance final se evidenció un incremento significativo de la superficie forestal. Este hecho se puede explicar porque al observar éstas zonas durante las salidas de verificación en campo, se encontró que los árboles estaban alineados con un patrón definido, y por lo tanto, son el resultado de actividades reforestación, ya sea por programas gubernamentales o por iniciativa de particulares, como se corroboró en el caso de los terrenos pertenecientes a distintas comunidades indígenas o ejidos en la cuenca, como la comunidad de Zirahuén o predios particulares (M. Vega com. pers. 2017) en las márgenes del lago. Durante la fase de verificación se pudo comprobar con los informantes clave que la mayoría de estas plantaciones habían sido establecidas entre 1992 y 1998 como parte de programas de reforestación de los tres órdenes de gobierno.

El resto de la recuperación forestal puede estar asociado al abandono de tierras como ha sido mencionado por Chazdon (2008) para diferentes partes del mundo. En el caso de este estudio, posiblemente asociado a la migración a norteamérica, tal como ha sido descrito en la cuenca de Cuitzeo, también en Michoacán (López *et al.*, 2006). Cabe mencionar, que a pesar de que las plantaciones son una buena iniciativa de restauración y conservación, éstas no proveen de la misma biodiversidad o servicios ambientales que los bosques naturales (Cavelier y Santos, 1999; Lamb *et al.*, 2005; Carnus *et al.*, 2006; Chazdon, 2008). Por lo que se considera importante dar prioridad a las actividades productivas sustentables, que permitan la conservación de los bosques originales en la mayor medida posible.

Además de la conversión agrícola de cultivos de temporal a huertas de cultivo comercial, se encontró otro tipo de conversión agrícola, la presencia de agricultura protegida en 2015. En la literatura se menciona, que existen diversos factores que

pueden propiciar el cambio de la forma de producción agrícola, hacia los invernaderos u otras formas de agricultura protegida (Camacho-Sanabria *et al.* 2017). Estos factores se circunscriben tanto en el ámbito socioeconómico como en el ambiental. La implementación de éstas tecnologías ofrece diversas ventajas, principalmente para el productor, como son: permite la intensificación de la producción, cultivar todo el año fuera de temporada, cumplir con normas de calidad para exportación, permiten la obtención de cultivos en zonas donde el clima no es el más apropiado, aumento de rendimiento por unidad de superficie, obtención de productos de alta calidad y presentación, mayor control de plagas y enfermedades.

En el caso de México, existe expansión de éste tipo de agricultura, debido en gran parte a las facilidades otorgadas por el gobierno para su construcción, ya que han considerado es una alternativa para coadyuvar en el desarrollo regional (Padilla *et al.*, 2012) En el caso específico de esta investigación, mediante la observación en campo se corrobora que los cultivos bajo estructuras protegidas en la zona de estudio, corresponden a diversas frutillas como son: zarzamora, fresa, frambuesa y arándanos. En los últimos años, la producción de frutillas en México ha crecido de manera importante. Por ejemplo en Michoacán, el cultivo de frambuesa pasó de 4366 ton producidas en 267 ha para 2014 a 8991 ton en 504 ha en el 2017 (SIAP, 2017). Esto es relevante, ya que debido a esta tendencia, este tipo de cultivo podría expandirse en la cuenca, debido en parte al elevado valor de éstos cultivos por superficie cosechada. La información de SIAP (2002) muestra que de los 295 cultivos registrados a nivel nacional las frutillas como la frambuesa tuvo la posición número 11, fresa la 28 y la zarzamora la 34. Es de esperarse que en evaluaciones de cambio de uso del suelo de fechas posteriores, en la zona de estudio, la superficie dedicada a éste tipo de cultivos incremente en forma importante.

Existe un proceso de deterioro del lago de Zirahuén, y esto representa un factor potencial de enfermedad para la población humana que utiliza el recurso hídrico con fines recreativos, consumo o uso intradomiciliario. Esto se concluye debido al cambio en el tiempo de valores de diversos parámetros de calidad de agua del lago. Estos cambios resultaron estadísticamente significativos tanto para variables físicas, químicas y biológicas, siendo éstas últimas las que se consideran

riesgos para la salud humana.

La transparencia del lago fue el factor físico que mostró una disminución estadísticamente significativa. Ésta es una propiedad de los cuerpos de agua que indica la cantidad de luz que puede penetrar en el ecosistema, y ésta a su vez, junto con la cantidad de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, determinan la producción primaria o fitoplancton dentro del ecosistema, así como de plantas acuáticas, ambos grupos son la base de la cadena trófica y por lo tanto determinarán la composición del resto del sistema acuático.

En cuanto a la química del lago, se mostró incremento significativo en varios parámetros: nitrógeno, fósforo, conductividad eléctrica y dureza total, que en conjunto determinan la sobrevivencia de algunas especies, dominancia de otras, y desaparición de algunos organismos vegetales y animales, que finalmente definen el estado de salud del cuerpo de agua. Es de gran relevancia el aumento significativo de fósforo y nitratos, ya que son indispensables para el crecimiento celular de todos los organismos, principalmente de los autótrofos como el fitoplancton ya que absorben estos nutrientes de manera directa del agua. Los nitratos son el resultado del nitrógeno en combinación con el amonio, que es la forma natural y más común de encontrarse en los sistemas acuáticos y es fácilmente absorbido por los organismos. El fósforo se integra al ecosistema de manera natural principalmente por el desgaste de las rocas (Vergara de Paz, 2005). Sin embargo, en zonas urbanas, agrícolas y pecuarias, se aporta una cantidad importante de fosfato soluble, y nitrógeno fácilmente absorbible por los organismos en los cuerpos de agua, por medio de desechos domésticos, escurrimiento de suelo que contiene abono, fertilizantes y pesticidas.

Nitrógeno, fósforo y transparencia del agua, determinan el nivel trófico en el que se encuentran los ecosistemas acuáticos: oligotrófico, mesotrófico o eutrófico, siendo los últimos los más ricos en éstos nutrientes y con menor disponibilidad de luz (Thronton *et al.*, 1990). Como consecuencia de las condiciones físicas y químicas que llevan a la eutrofización de un cuerpo de agua, se deriva el crecimiento exponencial de producción primaria o fitoplancton. La diversidad de fitoplancton disminuye drásticamente dando paso a la dominancia del grupo de las cianofíceas

o cianobacterias, ya que son el grupo de microalgas que se favorecen bajo éstas condiciones físico-químicas (Almaza *et al.*, 2016). Por tanto, el florecimiento masivo o blooms algales de cianofíceas, es el principal indicador biológico de eutrofización, y un riesgo para la salud humana ya que la mayoría de las especies de éste grupo son tóxicas (Chorus y Bartram, 1999). Estos florecimientos masivos son fácilmente detectables a simple vista por el cambio de coloración que provocan en el agua, así como un fuerte olor a materia orgánica. De manera científica, éste grupo de organismos se puede detectar por medio de la cuantificación de clorofila *a* en el agua (Pitois *et al.*, 2016). Los resultados de ésta investigación indican una clara tendencia al aumento de clorofila *a* en el lago de Zirahuén entre 1995 y el 2015, que a pesar de que no resulto estadísticamente significativo es de gran relevancia ya que ésta tendencia podría seguir en aumento. Además, en la literatura se menciona que aún a bajas concentraciones, la presencia constante de cianobacterias en el agua utilizada principalmente para consumo humano, puede ser causa de enfermedad crónica del hígado, incluso desarrollarse en cáncer (Almaza *et al.*, 2016)

Florecimientos algales y clorofila *a*. Como se mencionó anteriormente, la acumulación de nitrógeno y fósforo en el agua provocan un proceso de fertilización que derivan en el florecimiento algal, principalmente de cianofíceas en el caso de los cuerpos lacustres (Vergara de Paz, 2005). La identificación y cuantificación de éstos organismos se puede hacer por medio de la clorofila *a* presente en la columna de agua. Los diversos organismos que se encuentran en el fitoplancton son la base de la cadena alimenticia, por lo que se les denomina producción primaria. Estos organismos son diversos grupos de microalgas o algas microscópicas, pero visibles al ojo humano por la formación de grandes colonias que se encuentran flotando en la superficie del agua, particularmente cuando hay florecimientos o blooms masivos, así como partículas en la columna de agua (Chorus y Bartram, 1999). La presencia o ausencia de determinadas especies de microalgas en los diversos cuerpos de agua, corresponde a sus características físico-químicas y a las necesidades específicas de cada especie. Muchas especies de fitoplancton son cosmopolitas, como las cianofíceas, sin embargo, la dominancia de unas especies sobre otras,

está determinada por cambios relevantes en la fisicoquímica del agua (Sedan y Anrinolo, 2011).

Los diversos grupos de fitoplancton se distinguen por el tipo de pigmento o clorofila que domina en sus células. Pigmentos por medio de los cuales realizan la fotosíntesis además de que les otorgan coloraciones particulares a cada grupo. Las microalgas del grupo de las cianobacterias o cianofíceas se les denomina verdeazules, debido a la coloración que les otorga la clorofila a que contienen en sus células (Chorus y Bartram, 1999). Estas algas verde-azules son el grupo más común dentro del fitoplancton de los cuerpos lacustres, pero en baja proporción, cuando dominan dentro del fitoplancton es una indicación directa de aumento significativo de nitrógeno, fósforo, así como de la disminución de la transparencia del agua, y es de gran relevancia para el hombre por la toxicidad de la mayoría de las especies de éstas microalgas.

Otro indicador biológico que resultó con incremento estadísticamente significativo son las coliformes totales. Las coliformes son bacterias que provienen del tracto digestivo animal, se desechan de los organismos por medio de su materia fecal, y llegan a los cuerpos de agua por escurrimiento de tierras de uso pecuario, zonas urbanas o vertederos de aguas residuales (Santos-Melgoza, 1995). Las bacterias coliformes en su mayoría no son patógenas para el hombre, es decir, no producen enfermedad, sin embargo es uno de los indicadores biológicos de calidad de agua más utilizados, ya que indican contaminación fecal y por lo tanto elevadas posibilidades de la presencia de organismos patógenos que la acompañan. Éstos organismos pueden ser: otro tipo de bacterias, helmintos, virus y hongos, que en algunos casos pueden sobrevivir en el agua por largos periodos de tiempo e incluso reproducirse, esto dependiendo de las características físicoquímicas del agua y las especificidad de cada organismo patógeno. Las coliformes cumplen con las propiedades como indicador biológico, como son, no reproducirse en el agua por lo que su densidad tiene relación directa con el grado de contaminación fecal; poseen una alta supervivencia en el agua y están ausentes en aguas bacteriológicamente seguras.

La identificación, permanencia e incremento significativo de bacterias coliformes en el agua del lago de Zirahuén es un alarmante indicativo de contaminación fecal. Así como de modificaciones físicoquímicas del lago, ya que, de manera natural, la presencia de estos microorganismos es eliminada como principio regulador, resiliencia y capacidad de regeneración de los sistemas acuáticos, sin embargo, el aumento de la cantidad de vertidos en conjunto con cambios físicoquímicos impiden esta eliminación natural. Además de favorecer el crecimiento y supervivencia de otras especies patógenas como hongos, protozoos, algas, bacterias y virus (Santos Melgoza, 1995).

A pesar de que en el lago se encuentran dos determinantes para la salud humana: coliformes y *Microcystis* sp., no se mostraron valores significativos en el incremento en el tiempo de enfermedades en la población que se puedan relacionar con éstos organismos, ya sea por su ingesta, por contacto aéreo o cutáneo. Sin embargo, es relevante la coincidencia del aumento abrupto de clorofila *a*, nitrógeno, fósforo y diagnósticos de hepatitis en el 2013. Es decir, existe coincidencia temporal precisa del incremento abrupto de nutrientes y microalgas cianofíceas en el lago, específicamente *Microcystis* sp., y el aumento del número de diagnósticos de hepatitis en la población. Este punto de coincidencia ocurrió en el 2013, cuando se registró un *bloom* algal de *Microcystis* sp. La literatura menciona que la ingestión o contacto con ésta cianofícea tiene diversas sintomatologías, según su nivel de exposición y fase de evolutiva de la intoxicación en la que se encuentre el afectado (Chorus y Bartram, 1999). Debido a esto y a que son síntomas que pueden ser por muy diversas causas, su detección es difícil. Cuando la exposición a *Microcystis* sp. no es muy intensa en un determinado momento sino que es más bien constante, por largos periodos de tiempo, entonces es una intoxicación crónica lo cual, a lo largo del tiempo pueden producir cáncer de hígado, éstos casos se tienen registrados en algunas regiones de China (Sedan y Andrinolo, 2011). Cuando la exposición es momentánea o por cortos periodos de tiempo pero muy intensa, es una intoxicación aguda, la cual tiene tres fases con diferentes sintomatologías: 1a fase digestiva y entérica, 2a fase pulmonar, 3a fase de hepatotoxicidad, que se diagnostica como hepatitis. Estos casos se han detectado en diversas zonas

geográficas como Brasil, Australia, China y Sudáfrica (Rosso y Gianuzzi, 2011)

Diversos estudios han tratado de relacionar la exposición de *Microcystis* sp. con cambios epidemiológicos en la población humana, sin embargo, mencionan las dificultades de obtener datos contundentes de los centro de salud, debido a que no existen programas de reconocimiento de la evolución de síntomas como producto de intoxicación por *Microcystis* sp, tanto en casos crónicos como agudos (Chorus y Bartram, 1999). Por lo que coinciden en su recomendación de integrar programas en los centros de salud, para que el personal pueda diagnosticar y registrar los posibles casos de enfermedad que se asocien a la exposición a éstos organismos.

La información derivada de la presente investigación es un importante aporte para el entendimiento de la problemática regional de la cuenca del lago de Zirahuén, y así derivar soluciones en base al conocimiento. Esta información sumada al conjunto de investigaciones en la región, nos indican que el uso del suelo en la cuenca no está respondiendo a las necesidades de la población. Las condiciones ambientales, sociales y económicas en que se encuentra la cuenca del lago de Zirahuén, parecen responder a las “condiciones de contorno” que corresponden a un modelo de globalización. Sin embargo, como menciona la literatura, la inserción de la cuenca a la globalización no ha favorecido a la población que habita en la cuenca, ya que ha sido bajo el esquema de especialización agrícola bajo un modelo de desarrollo con carácter excluyente, provocando polarización económica y marginalidad social que ha determinado el enorme retraso rural e inhibición del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Ortiz-Paniagua *et al.* 2010)

Es necesario establecer una estrategia de desarrollo que aproveche de manera sustentable los recursos naturales y a la vez que promueva el bienestar de la población de la región. Ya que, como menciona De la Tejera y colaboradores (2012), a pesar de ser altamente rentable el cultivo de aguacate para los agroproductores, al no practicarse de manera sustentable, podría ocurrir un efecto *boomerang*, en el cual en un plazo no tan largo, este efecto puede ocasionar la decadencia de este tipo de cultivos que se podría comenzar a reflejar en baja productividad, inestabilidad en la rentabilidad de la producción, entre otros fenómenos.

## CONCLUSIONES

Para 1995 se identificaron cinco tipos de coberturas vegetal/uso del suelo: bosque, matorral, huerta, agropecuario, cuerpo de agua y asentamientos humanos. Para el año 2015 se incorporó la categoría de agricultura protegida. El mayor cambio en la cobertura y uso del suelo en la cuenca del lago de Zirahuén fue la reducción de la superficie dedicada a actividades agropecuarias, que se refiere a parcelas de cultivos temporales de granos básicos y pastoreo extensivo en las parcelas. Los principales usos/cobertura que remplazaron a las tierras de uso agropecuario son: el bosque y las huertas de cultivo intensivo. El principal cultivo dentro de las huertas es el aguacate, de manera ocasional se observaron algunas huertas avocadas a éste fruto, que también cultivaban otros como el durazno.

Por lo tanto, los principales procesos de cambio son: conversión agrícola de cultivo de temporal a cultivo comercial de aguacate en huertas; y recuperación forestal en superficies que anteriormente eran parcelas para cultivos temporales y pastoreo extensivo. En el mapa del 2015 se identificó una categoría de uso que en 1995 no existía, la agricultura protegida, que también se extendió principalmente sobre superficie que anteriormente era para uso agropecuario, dando paso a otro tipo de conversión agrícola. Los cambios de cobertura/uso del suelo se distribuyeron de manera diferencial dentro de la cuenca. La extensión de huertas se concentró en la parte noroeste y suroeste, dentro de un rango de altitud entre los 2086 msnm y 2689 msnm; se ubican cerca del lago pero no en las inmediaciones, alrededor de las poblaciones de Zirahuén, Copándaro, Agua verde, la Palma, Santa Rita, Irámuco, Chapa Nuevo, Cungo y Santa Clara. La recuperación forestal se observa de manera más homogénea en toda la cuenca, en un amplio rango de altitud que va de los 2056 msnm a los 3284.

El 54 % del total de la superficie de la cuenca es de propiedad social: 46.79 % pertenece a propiedad ejidal y el 7.25% es propiedad de comunidades indígenas. El resto de la superficie de la cuenca pertenece a otros propietarios como son



privados y gubernamentales. Casi el 60% de las huertas para el 2015 se ubican en propiedad registrada como ejidal, así como el 56% de la recuperación de bosque se encontró en éste tipo de territorio.

La cobertura dentro de la cuenca categorizada como cuerpos de agua, hace referencia sólo a los de tipo léntico por lo que incluye el lago de Zirahuén y la laguna El Retajo. De los cuáles, el lago de Zirahuén disminuyó en extensión pero conservó el 99.72% de su totalidad. Sin embargo la laguna el Retajo, ubicada al Este de la cuenca, redujo su extensión a la mitad (50.17%) en 20 años (1995-2015). La base de datos de indicadores de calidad de agua del lago incluyó un total de 27 parámetros físico-químicos y biológicos, de los cuales la transparencia, dureza, concentración de nitratos y fósforo, y la conductividad eléctrica, presentaron diferencia estadística en el tiempo, indicando deterioro del cuerpo de agua. La clorofila *a* y las coliformes presentaron tendencia al incremento, que aunque no fue estadísticamente significativo son de gran relevancia, ya que las coliformes indican contaminación fecal y la clorofila *a* la presencia de microalgas con alto potencial tóxico para el ser humano, por lo tanto, ambos son factores de riesgo para la salud humana.

Contrario a lo esperado, el proceso de deforestación no fue un factor de cambio relevante. Así como tampoco fue reemplazado el bosque por huertas como se hipotetizaba. La principal cobertura que sustituyó al poco bosque perdido fue el agropecuario, sin embargo en el balance total de la cuenca, resultó mucho mayor la recuperación forestal que la pérdida. Nuestros resultados indican que el incremento de superficie para huertas de aguacate en la cuenca no ha incentivado de manera significativa la deforestación hasta el año 2015, pero sí el desplazamiento de la agricultura de temporal.

La literatura menciona que uno de los servicios hidrológicos más importantes que nos proporcionan los bosques es el mantenimiento de agua de buena calidad, es decir, que cuando hay mayor cobertura boscosa dentro de una cuenca, mejor será la calidad de los recursos hídricos. Sin embargo, nuestros resultados no sustentan ésta hipótesis, ya que la recuperación forestal fue uno de los mayores cambios para el 2015 sin embargo, la calidad del agua del lago disminuyó de

manera relevante. Por otro lado, la conversión de parcelas de cultivo de temporal a huertas de aguacate fue el segundo proceso de cambio más importante dentro de la cuenca. Se conoce que el modo de producción agrícola en huertas comerciales es básicamente monocultivo intensivo por lo que utilizan una gran cantidad de insumos, a diferencia de los cultivos de temporal, como son los fertilizantes que se sabe están compuestos principalmente de nitrógeno y fósforo. La base de datos de calidad de agua en nuestro estudio muestra precisamente éstos dos elementos (N/P) con incremento estadísticamente significativo en la línea de tiempo de 1995 al 2015, mientras también incrementaba la superficie de las huertas. La literatura menciona que la contaminación difusa, que básicamente se refiere al uso del suelo, es el tipo de contaminación más relevante en determinar la calidad del agua de los cuerpos hídricos, y se menciona que dentro de éste tipo de contaminación la agricultura intensiva cobra gran relevancia. Así que la calidad del agua del lago de Zirahuén parece estar más determinada con el tipo de producción agrícola dentro de la cuenca, que con la cantidad de superficie boscosa, es decir, que el cambio de la forma de producción agrícola ha ocasionado el deterioro de la calidad del agua del lago de Zirahuén.

De lo anterior podemos concluir que, como lo han mostrado diversas investigaciones (Bruijnzeel, 2004), el bosque mantiene el equilibrio de los cuerpos hídricos dentro de una cuenca, incluyendo la calidad de agua, sin embargo, en base a nuestros resultados. La relación entre bosque y calidad de agua no es lineal, sino que pueden intervenir otros factores y características específicas de la zona de estudio, como son otros usos del suelo entre los cuáles el tipo de producción agrícola parece ser de gran relevancia.

Una de las zonas donde incrementó de manera significativa la cobertura boscosa fue en las inmediaciones del lago, esto es especialmente relevante debido a que la vegetación que rodea a un cuerpo de agua, denominada vegetación riparia, cumple la función de zona *buffer*, que consiste en retener una gran cantidad de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes como pesticidas y patógenos, de esta forma, la cantidad que llega al agua es mucho menor, teniendo así un efecto directo sobre la calidad de agua del cuerpo hídrico que rodean. Diversos estudios han

mostrado que cuando se remueve parte o la totalidad de ésta vegetación, la calidad del agua disminuye dramáticamente (IUFRO, 2017). Por lo que es fundamental conservar la vegetación que se encuentra en las inmediaciones del lago de Zirahuén.

A partir de la información otorgada por la Secretaría de Salud Pública (SSP), se identificaron diversos diagnósticos de patologías que se pueden relacionar con los elementos presentes en el agua del lago de Zirahuén que son causantes de enfermedad: coliformes totales y cianobacterias. No se encontró tendencia estadísticamente significativa, sin embargo existe una elevación abrupta en el tiempo del número de diagnósticos de hepatitis para el municipio de Salvador Escalante, lo cual puede tener relevancia epidemiológica.

## Recomendaciones

Se recomienda para futuras investigaciones realizar un *diagnóstico comunitario de salud*, basado en el enfoque y metodología de la *Medicina Social*, que se sustenta en métodos como la cartografía social, entrevistas y encuestas en grupos focales. Por medio de éste enfoque es posible reconstruir la historia del territorio y los cambios que puedan estar relacionados con la salud de la población. Es un proceso construido colectivamente que permite detectar la realidad desde adentro de la comunidad y que no se refleja en los datos oficiales (Iriart *et al.*, 2002). Para el caso de estudio de esta investigación, se podría explorar dentro de las familias, a los miembros que presentaron las diferentes fases del diagnóstico por exposición con toxinas de *Microcystis*, y la relación con el contacto o consumo de agua del lago.

También se recomienda abordar la temática de la calidad de agua del LZ y la salud de la población bajo la perspectiva de los servicios ambientales, una valoración económica puede ser una herramienta de gestión ambiental.

## Propuesta

La propuesta que se plantea básicamente es mejorar las condiciones ambientales de la cuenca y la calidad de vida de la población. Para lograr esto se plantean tres objetivos, para las cuales se propone acciones específicas que se describen a continuación.

### Objetivo 1.

Establecer zonas específicas para la conservación de los recursos naturales de la cuenca, para así mantener un ecosistema saludable.

#### Acciones:

Levar a cabo la gestión de áreas de protección voluntaria. A nivel estatal, la ley de equilibrio ecológico y protección al ambiente del estado de Michoacán, otorga la posibilidad de declarar áreas de protección de los recursos naturales, por medio de

dos tipos de reservas: la reserva patrimonial y las áreas de protección voluntarias. Estas zonas de reserva, a diferencia de las áreas de protección federales, son iniciativas que principalmente vienen desde abajo, no como decreto por parte de las secretarías hacia la población. Entonces las autoridades llegan a un diálogo con los pobladores de la región, lo cual incrementa la probabilidad de que se cumpla con los objetivos de conservación. Además de que los pobladores se comprometen, se involucran, y mejoran su calidad de vida.

Proteger de manera especial la vegetación de la zona riparia ya que, como se ha mencionado anteriormente, funciona como barrera para la entrada de agentes contaminantes al lago.

## **Objetivo 2.**

Controlar y disminuir la entrada de nutrientes al LZ

### **Acciones**

Levar a cabo el ordenamiento del territorio, donde las prácticas sean dirigidas, primordialmente, a disminuir las entradas de nutrientes clave al cuerpo de agua. Se recomienda establecer un programa de vigilancia y monitoreo de la calidad de agua, específicamente de los parámetros detonantes de florecimientos algales, así como de las posibles concentraciones de las cianotoxinas en el cuerpo de agua.

Instalar una red de plantas de tratamiento de agua, es necesario ubicar diversas plantas de tratamiento terciario, ya que son las que remueven los nutrientes, en puntos clave, como son en el cauce principal, y microplantas de tratamiento donde haya descargas.

Transición a cultivos orgánicos. Ya que este tipo de agricultura busca la manera de mantener la explotación agrícola con un mínimo de daños al medio ambiente. Sus objetivos son la conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo, por lo tanto el uso de agroquímicos es bastante reducido.

Sobre el uso de agroquímicos se considera necesario que se actualicen las normas nacionales de su uso y que se reglamente su uso, por lo menos dentro del Michoacán.

### **Objetivo 3.**

Incrementar la seguridad alimentaria y la calidad de vida de la población

#### **Acciones**

Generar industria de transformación. Es decir, seguir produciendo aguacate de manera más sustentable, pero no mantenerse sólo como productores primarios, sino que la región sea capaz de transformar éstos cultivos en productos que tengan un valor añadido. Actividades agropecuarias que aseguren la seguridad alimentaria regional. Esto se puede lograr mediante incentivos económicos por parte de las autoridades, así como prácticas que mejoren las condiciones del suelo, ya que varios agricultores mencionan que éste es uno de los factores que también influyeron para dejar de cultivar granos básicos.

Fomentar el policultivo, que incluya los granos básicos para el autoconsumo y el cultivo de aguacate a menor escala. También desarrollar turismo incluyente donde los proyectos sean manejados por las poblaciones de la cuenca en coordinación con las autoridades municipales y estatales.

## Referencias bibliográficas

- AGUDELO, C.A. 1999. "Desarrollo y salud". En: *Revista de salud Pública de Colombia*. Vol. 1(1):17-29 pp. Bogotá, Colombia.
- AGUILAR, I.A., PÉREZ-ESPEJO, R.H. 2007. "La contaminación Agrícola del Agua en México: Retos y Perspectivas". En: *Revista Problemas de Desarrollo*. Vol. 39 (153) 205-207 pp.
- AGUILERA-KLINK, F., PÉREZ-MORIANA, E., & SÁNCHEZ-GARCIA, J. 2000. "The social construction of scarcity. The case of water in Tenerife (Canary Islands)". En: *Ecological Economics*. Vol. 34(2): 233-245.
- AGUIRRE, A.A., OSTFELD, R.S., TABOR, G.M., HOUSE, C., PEARL, M.C. 2002. "Conservation medicine, ecological health in practice". Oxford University press. 398 p.
- AHEARN, D.S., SHEIBLEY, R.W., DAHLGREN, R.A., ANDERSON, M., JOHNSON, J., TATE, K.W. 2005. "Land use and land cover influence on water quality in the Last free-flowing river draining the wetern Sierra Nevada, California". En: *Journal of hidrology*, 234-247 pp.
- ALEMÁN, M.S. 2010. "El involucramiento de ejidatarios y científicos en la investigación y manejo de la cuenca de Zirahuén, Michoacán". En: *Espejo de los dioses: estudios sobre ambiente y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén*. Ortiz-Paniagua y Rendón-López (compiladores). 358 p
- AI RADIF, A. 1999. "Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises". En: *Desalination Journal*. Vol. 124(4):1-7
- ALARCÓN, C.P.E. 2015. Otras epistemologías. "Conocimientos y saberes locales desde el pensamiento complejo". Tesis doctoral. 201 p.
- ALATORRE, R. R. 2002. Memorias de XII Curso nacional de control biológico en México. Hermosillo, Sonora. 95-105 pp.
- ALFARO, M., & SALAZAR, F. 2005. "Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile". En: *Agricultura Técnica*. Vol. 65(3): 330-340 pp.
- ALMAZA, V., PARRA, O., BICUDO, C. E DE M. 2016. "Ocurens of Blooms of *Microcystis aeruginosa* in Central Chilean Urban Lake". En: *Revista Chilena de Historia Natural*. Vol. 89(8): 14-19 pp.

- ALTIERI, M., & NICHOLLS, C. 2010. "Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo". En: *Revista de Economía Crítica*. Vol. 10(2): 62-74.
- ALVARADO V. R. 1996. "Análisis espacio-temporal del fitoplancton en el lago de Zirahuén, Michoacán, México". Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 106 p.
- AMÉZCUA, L.J., y SÁNCHEZ, D.G. 2015. "Pueblos indígenas de México en el siglo XXI, Purépechas". Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos indígenas (CADI), Vol. 3. 177 pp.
- AMIRI, B. J. NAKANE, K. 2008. "Entire Catchment and Buffer Zone Approaches to Modeling Linkage Between River Water Quality and Land Cover, a Case Study of Yamaguchi Prefecture, Japan". En: *China. Geography Sciences Journal*. Vol. 18(1): 085–092 pp.
- ANDRÉS, E., TORRES, J.C., MALDONADO, C. P., NÉSTOR, S.J. 2013. "Un maravilloso recorrido con la ciencia regional". En: *Biblioteca Virtual Eumed-net*. 109 p.
- ARGUETA, A. Y CASTILLEJA, A. 2008. "El agua entre los purépechas de Michoacán". En: *Cultura y representaciones sociales*.
- ASTIER, M., BARRERA-BASSOLS, N., ODENTHAL, J., RAMIREZ, M. I., OROZCO, Q., MIJANGOS CORTÉS, J. O. 2010. "Participatory identification and mapping of maize diversity in the Pátzcuaro-Zirahuen Basins, Michoacán, Mexico". En: *Journal of Maps*. Vol. 6(1): 1-6.
- ÁVILA, G. P. 2014. "Evaluación social regional. Sistema de microcuencas prioritarias Pátzcuaro-Zirahuén". En: *Proyecto de bosques y cambio climático*. SEMARNAT-UNAM. 276 p.
- ÁVILA, R.R. 1982. "Notas de fotogrametría y fotointerpretación". México, D.F. En: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP).
- BACHMANN-FUENTES, I. 2014. "La inseguridad alimentaria y la tragedia del campo en México: consecuencias de las políticas agrícolas neoliberales". En: *Espacio Regional*. Vol. 1 (11): 89-108 pp.
- BARSIMANTOV, J., NAVIA, J.A. 2012. "Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops?". En: *Journal of Applied Geography*. Vol. 32(2): 844-853.
- BASSOLS B., Á. 1993. "Geografía Económica de México. Teoría, fenómenos Generales, Análisis Regional". Editorial Trillas, México, D.F.
- BATES, B., KUNDZEWICZ, Z., & WU, S. 2008. "Climate change and water". En: *Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat*.



- BERNAL BROOKS, F. W., MACCRIMMON, H. R. 2000. "Lake Zirahuen (Mexico): a pristine natural reservoir visually insensitive to expected cultural eutrophication". En: Munawar, M. et al. (Ed.), *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope*, (10-18). Leiden: Backhuys Publishers.
- BERNAL BROOKS, F.W. 1988. "Limnology of lake Zirahuen relative to cultural impact". Msc thesis, University, Canadá.
- BERNAL-BROOKS, F. 1998. "The lakes of Michoacan (Mexico): A brief history and alternative point of view". En: *Freshwater Forum*. Vol. 10: 20-34 pp.
- BERNAL-BROOKS, F. W., CHÁVEZ, J. J. S., INCLÁN, L. B., MORALES, R. H., CANO, A. K. M., LIND, O. T., DÁVALOS-LIND, L. 2016. "The algal growth-limiting nutrient of lakes located at Mexico's Mesa Central". En: *Journal of Limnology*. Vol. 75(s1), 169-178 pp.
- BERRY, J. P. 2011. "Bioaccumulation of microcystins by fish associated with a persistent cyanobacterial Bloom in lago de Pátzcuaro (Michoacán, México)". En: *Journal of Environmental toxicology and chemistry*. Vol. 30 (7): 1621-1628 pp.
- BETANCOURT O., MERTENS F., PARRA M. 2015. "Enfoques ecosistemicos en salud y ambiente". Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Editorial AbyaYala. 268 p.
- BOCCO, G., MENDOZA, M., MASERA, O. R. 2001. "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación". En: *Investigaciones Geográficas (UNAM)*. Vol. (44): 18-36 pp.
- BOISIER S., 1999. "Desarrollo ¿De qué estamos hablando?". Documento de la cámara de comercio de Manizales, Colombia. 28 p.
- BOLSTAD, P., WAYNE, T.S. 1997. "Cumulative impacts of land use on water quality in a southern Appalachian Watershed". En: *Journal of the American water resources association*. Vol. 33 (3): 519-530 pp.
- BRAVO ESPINOSA, M., MENDOZA CANTÚ, M. E., MEDINA OROZCO, L. E. 2009. "Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México". En: *Investigaciones Geográficas UNAM*. Vol.68:73-84.
- BRAVO-ESPINOSA, M., PRAT, C., MEDINA-OROZCO, L., SERRATO-BARAJAS, B. 2012. "Variación de la tensión de humedad bajo el sistema tradicional de año y vez en un suelo de charanda, cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán". En: *Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo* M. Bravo, G. Barrera, M.E. Mendoza, J.T. Sáñez, F. Bahena, R.Sánchez (Eds) *Michoacán* . Morelia: CIGA-UNAM, INIFAP.

- BRAY, D.B., E.A. ELLIS. N. ARMIJO-CANTO, BECK, C.T. 2004. "The institutional drivers of sustainable landscapes: a case study of the Mayan Zone in Quintana Roo, México". En: *Land Use Policy*. Vol. 21: 333-346 pp.
- BRUIJNZEEL, L. A. 2004. "Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?". En: *Journal of agriculture, ecosystems & environment*. Vol. 104(1): 185-228 pp
- BUNGE, M. 1960. "La ciencia. Su método y su filosofía". Editorial Siglo XX.
- CABALLERO, L. 2008. "La búsqueda del comienzo, el pensamiento complejo en biología". IFUNAM, 234p
- CASTILLEJA, Aída *et al* (2003), "La comunidad y la costumbre en la región purépecha" en Saúl Millán y Julieta Valle, *coord.*, *La comunidad sin límites: estructura social y organización comunitaria en las regiones indígenas de México*, Tomo III, INAH, México, 2003, pp. 17-107
- CAMACHO-SANABRIA R., CAMACHO-SANABRIA J.M., BALDERAS-PLATA M.A., SÁNCHEZLÓPEZ M. 2017. "Cambios de cobertura y uso del suelo: estudio de caso Progreso Hidalgo, Estado de México". En: *Revista Madera y Bosques*. 23(3): 39-60.
- CARPENTER, S. R., LUDWIG, D., & BROCK, W. A. 1999. "Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change". En: *Journal of Ecological applications*. Vol. 9(3): 751-771 pp.
- CARRASCO, S. 2009. "Metodología de investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación". Editorial: San Marcos. Lima. 236 p.
- CEF (CONSEJO ESTATAL FORESTAL DE MICHOACAN). 2007. Informe de resultados del foro-taller.
- CHACÓN-TORRES, A. 1991. "El lago de Zirahuén, reconocimiento ambiental de una cuenca michoacana" No. Folleto 14230.
- CHACÓN-TORRES, A., ROSAS-MONGE, C. 1998. "Water quality characteristics of high altitude oligotrophic mexican lake". En: *Aquatic ecosystem health and management*. 134-237 pp.
- CHAPMAN, D. V. 1996. "Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring". En: *World Health Organization*.
- CHÁVEZ LEÓN, G., TAPIA VARGAS, L. M., BRAVO ESPINOZA, M., SÁENZ REYES, J., MUÑOZ FLORES, H. J., VIDALES FERNÁNDEZ, I., LARIOS GUZMÁN, A., RENTERÍA ÁNIMA J., VILLASEÑOR RAMÍREZ F., SÁNCHEZ PEREZ J DE LA L., ALCÁNTAR ROCILLO J.J., MENDOZA CANTÚ, M. 2012. "Impacto de cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate". Mexico, D.F, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Libro Técnico No. 13.

- CHAZDON, R. L. 2008. "Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands". En: *Science*. Vol. 320(5882): 1458-1460 pp.
- CHORUS, I., BARTRAM, J., 1999. "Toxic cianobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring y management". En: *WHO*.
- CISNEROS, J. M., GRAU, J. B., ANTÓN, J. M., DE PRADA, J. D., DEGIOANNI, A. J., CANTERO, A., & ESPAÑA, T. S. D. I. A. 2010. "Evaluación multicriterio de alternativas de ordenamiento territorial utilizando modelos hidrológicos y de erosión para una cuenca representativa del sur de Córdoba". En: *Valoración de servicios ecosistémicos*, 552-579 pp.
- CNA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2011. "Agenda del Agua 2030". En: Secretaría de Medio (http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-11Cuadernillo- Agenda-del-Agua2030Final.pdf)
- Comisión Estatal de Agua y Cuencas (CEAC). Sin fecha. Información página web Cuenca Zirahuén: <http://ceac.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/lagozirahuen.pdf>
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). 2007. "Regiones Hidrológicas, escala 1:250 000. República Mexicana". México, D.F. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/qeo/rh250kqw.zip>
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2012. Índice demarginación por localidad. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_Marginacion\\_por\\_Localidad\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010)
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2011. Comunicado de prensa no. 012. [http://www.coneval.org.mx/Informes/COMUNICADOS\\_DE\\_PRENSA/COMUNICADO\\_012\\_indice\\_de\\_rezago\\_social\\_2010.pdf](http://www.coneval.org.mx/Informes/COMUNICADOS_DE_PRENSA/COMUNICADO_012_indice_de_rezago_social_2010.pdf).
- CONSEJO CONSULTIVO DEL AGUA A.C. 2018. "Situación de la problemática del agua". En: (<http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/diagnosticos-del-agua>)
- CORREA P.G, VARGAS F, BRAVO T.J.S.L, FIGUEROA Z.M.S, SÁNCHEZ D.G, ANTARAMIAN H.E, MADRIGAL S.X, ARÉVALO J.A.G, VARGAS U.G, ESPINOZA G.J.M, RIEDER E., MARETT G.F.J. 2003. "Atlas Geográfico del Estado de Michoacán". Editorial Eddissa. S.A. de C.V. México, 29-55 pp.
- DAVIES, SARAH J, METCALFE, S. E., BERNAL-BROOKS, F., CHACÓN-TORRES, A., FARMER, J. G., MACKENZIE, A B., & NEWTON, A. J. 2005. "Lake sediments record sensitivity of two hydrologically closed upland lakes in Mexico to human impact". En: *Ambio*. Vol. 34: 470–475.

- DE BUEN, F. 1942. "Los lagos Michoacanos. Características generales del lago de Zirahuén". México, DF. 22 pp.
- DE BUEN, F. 1971. "Variaciones físicas y químicas de las aguas del lago de Pátzcuaro, Investigaciones de la estación limnológica de Pátzcuaro". 25 pp
- DE LA TEJERA, B., SANTOS, Á., SANTAMARÍA, H., GÓMEZ, T., OLIVARES, C. 2012. "El oro verde en Michoacán: ¿un crecimiento sin fronteras? Acercamiento a la problemática y retos del sector aguacatero para el Estado y la sociedad". En: *Economía y Sociedad*. Vol. 17(29): 15-39.
- DELGADILLO MACÍAS, J., TORRES TORRES, F., GASCA ZAMORA, J. 2001. "El desarrollo regional de México en el vértice de dos milenios". Universidad Autónoma de México. 84p.
- DOSIL, J. 2014. "Rescatados por la tradición". En: EN-CLAVES del pensamiento. No. 16: 123-142 pp.
- DOSIL, M.F.J. y Fuentes, S.M.J. 2014. "Diversidad Cultural, Interculturalidad y educación indígena en México". En: RIDHyC. No 1:13-19. 7 p
- DIETZ, Gunther (1999), La comunidad purépecha es nuestra fuerza. Etnicidad, cultura y región en un movimiento indígena en Michoacán, México, Ediciones Abya-Yala, Quito.
- FABIÁN, M.E. Y ROSAS, M.E. 2007. Evaluación de la transversalidad de las políticas públicas para el desarrollo de los pueblos indígenas de Michoacán, 2004-2005. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos indígenas (CADI). 201 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Roma.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2001. Forest Resources Assessment 2000 Main Report, FAO forestry paper 140, Roma.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). 2011. "State of the World's Forests".
- FAOSTAT. 2017. "Crops, production quantity. Recuperado: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FEWTRELL, L., KAUFMANN, R.B., KAY, D., ENANORIA, W., HALLER, L., COLFORD, J. 2005. "Water, sanitation and hygiene interventions to reduce diarrhea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis". En: *Lancet Infection diseases*. Vol 5: 42-52 pp.
- FISHER B, TURNER RK, MORLING P .2009. "Defining and classifying ecosystem services for decision making". En: *Ecological Economics*. Vol. 68:643-653

- GARCÍA, R. 2000. "El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos". Editorial Gedisa. Barcelona.
- GARCÍA, R. 2006. *Sistemas Complejos*. Editorial Gedisa, Barcelona. 196 p.
- GARIBAY, C., BOCCO, G. 2011. "Cambios de uso de suelo en la meseta purépecha (1976-2005)". México, DF: INE-Semarnat y CIGA-UNAM.
- Guevara, S.B.G., y Verduzco, M.F.J. 2018. "La producción de líderes políticos situados en dos comunidades políticas mexicanas". En: *EUTOPIA*. No. 13: 53-70 pp.
- Garza-Bueno, L.E., Rodríguez-Santiago, M.A., Gómez-García, L. 2014. El fondo Regional de la Mujer de la región lacustre de Pátzcuaro-Zirahuén. Retos y desafíos en su transformación dispersora de crédito. En: *Ra Ximha*. Universidad Autónoma Indígena de México. Vol. 10, 7:83-100 pp.
- GASPARI, F. J., SENISTERRA, G. E., DELGADO, M. I., RODRÍGUEZ VAGARÍA, A. M., & BESTEIRO, S. I. 2009. "Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas". 321 p.
- GLEICK, P. H. 1993. "Water in crisis: a guide to the worlds fresh water resources".
- GÓMEZ-TAGLE, A., MADRIGAL G.X., ISRADE A.I., HERNÁNDEZ M.R., ORTEGA M.M. DEL R., ALVARADO V.R. 2013. "Reporte Técnico de proyecto Diagnóstico Rápido del Lago de Zirahuén (Agosto-2013)". Morelia: Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- HERNÁNDEZ, S. R., C. FERNÁNDEZ C., Y P. BAPTISTA L. 2014. Metodología de la investigación. 6ª edición. Mc Graw Hill. México, D.F. 613 p.
- HERNÁNDEZ-MORALES, R., ROJO-SOTO, G. J., RÍOS, M. S. A., ORTEGA-MURILLO, M. DEL R., GÓMEZ-TAGLE, C.A. 2016. "Incidencia de cuadros patológicos asociados al género *Microcystis* en el lago de Zirahuén". En: *Biológicas, Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Vol. 18(2): 40-50.
- HERRERÍAS, A. 2008. "Historia del pensamiento económico". Editorial Limusa. 508 p.
- HOUGHTON, R.A., J.L. HACKLER AND K. T. LAWRENCE. 1999. "The U.S. carbon budget: contribution from land-use change". In: *Science*. Vol. 285(5427): 574-578.
- HUNTER, P. R. 2003. "Climate change and waterborne and vector-borne disease". En: *Journal of applied microbiology*. Vol. (94): 37-46.
- INEGI. 1997a. Ortofotografía aéreas digitales, Carta E14A31, Taretan, escala 1:20,000 E14A31b, E14A31c, E14A31e, E14A31f.

- INEGI. 1997b. Ortofotografía aéreas digitales, Carta E14A32, Villa Escalante, escala 1:20,000 E14A32a, E14A32b, E14A32d, E14A32e.
- INEGI. 2010. *Censo de Población y vivienda 2010*, México.
- INEGI.2013a. Censo de población y vivienda 1990. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/1990/default.html>
- INEGI. 2013b. Censo de población y vivienda 2010. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/default.html>
- INEGI. 2014. Carta topográfica digital 1:50,000. E14A33 (Villa Escalante); Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825206246> acceso 20 nov 2017.
- INEGI. 2015a. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50,000 serie III. E14A31 (Taretan); Recuperado de
- INEGI. 2015b. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50,000 serie III. E14A32 (Villa Escalante); Recuperado de
- INEGI.1999.Carta topográfica digital 1:50,000. E14A31 (Taretan); <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825638672> acceso 20 nov 2017.
- INEGI.2017. Ortofoto digital, Aspectos teóricos/metodológicos. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ortofoto/descripcion.aspx>
- Instituto Municipal de la Mujer. 2015. “Diagnóstico de la situación de violencia hacia las mujeres en el municipio de Salvador Escalante”. Ayuntamiento de Salvador Escalante 2012-2015. 40 p
- ISRADE-ALCANTARA, L., CHACÓN-TORRES, A., SEGURA, V., RENDÓN, M.B., VILLARROEL, M., ROSAS-MONGE, C. 2010. “Invertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua del lago de Zirahuén, Michoacán” En: *Espejo de los dioses: estudios sobre ambiente y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén*. Ortiz-Paniagua y Rendón-López (compiladores). 358 p.
- ITUARTE, C. 2007. “Conocimientos tradicionales de la biodiversidad y derechos de los pueblos indígenas”, Instituto Nacional de Ecología.
- JIMÉNEZ CISNEROS, B. E. 2007. “Información y calidad del agua en México”. En: *Trayectorias*, 9(24).
- LAMB, D., ERSKINE, P. D., PARROTTA, J. A. 2005. “Restoration of degraded tropical forest landscapes”. En: *Science*, 310(5754).
- LAMBERT W., SOMMER U. 1997. “Limnoecology: The ecology of lakes and streams”. Ed. Oxford University Press. New York. 382 p.

- LAMBIN, E.F. 1997. "Modelling and monitoring land-cover change process in tropical regions". En: *Progress in Physical Geography*. Vol. 21(3): 375-393.
- LEFF, E. 2007. "Ecología y capital. Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable". Editorial Siglo XXI. 437 pp.
- LITTLE, C., LARA, A., MCPHEE, J., URRUTIA, R. 2009. "Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile". En: *Journal of Hydrology*. Vol. 374(1): 162-170.
- LÓPEZ, E., BOCCO, G., MENDOZA, M., VELÁZQUEZ, A., AGUIRRE-RIVERA, J. R. 2006. "Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico". En: *Agricultural Systems*. Vol. 90(1): 62-78.
- MAASS, J.M. 2003. "Principios generales sobre manejo de ecosistemas". En: Ó. Sánchez, E. Vega-Peña, E. Peters y O. Monroy-Vilchis. En: *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. INE, U. S. Fish & Wildlife Service, Ford Foundation., México, D. F. 117-136 pp.
- MANSON, R. H. 2004. "Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México". En: *Madera y Bosques*. Vol. 10(1): 3-20.
- MARTÍNEZ-ALMEIDA, V., TAVERA, R. 2005. "A hydrobiological study to interpret the presence of demids in Lake Zirahuén, México." En: *Limnological Journal*. Vol. 35, 61-69.
- MAS, J.F., RODRÍGUEZ, L.R., GONZÁLEZ, R. 2016. "Monitoreo de la cubierta del suelo y la deforestación en el Estado de Michoacán: un análisis de cambios mediante sensores remotos a escala regional". Informe final de proyecto, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México.
- MATEO-RODRIGUEZ, J.M., BOLLO-MANET, M. 2016. "La región como categoría geográfica". CIGA-UNAM. 106 pp.
- MATTIKALLI, N.M., RICHARDS, K.S. 1996. "Estimations of surface water quality changes in response to land use change: application of the export coefficient model using remote sensing and geographical information system". En: *Journal of environmental management*. Vol. 48, 263-282 pp.

- MENDOZA, R., SILVA, R., JIMÉNEZ, A., RODRÍGUEZ, K., SOL, A. 2015. "Lake Zirahuén, Michoacán, México: An approach to sustainable water resource management based on the chemical and bacterial assessment of its water body". En: *Journal of Sustainable Chemistry and Pharmacy*.
- MERINO, L. 2004. "Conservación o deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en el uso de los bosques en México" Secretaría del Medio Ambiente 223
- MERINO, L. 2013. "Encuentros y desencuentros. Las comunidades forestales y las políticas públicas en tiempos de transición". México: Miguel Ángel Porrua, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MOKONDOKO, P., MANSON, R. H. PÉREZ-MAQUEO. 2016. "Assessing the service of water quality regulation by quantifying the effects of land use on water quality and public health in central Veracruz, México". En: *Journal of Ecosystem Services*. Vol. 22, 161-173 pp.
- MOLINA-SALAZAR, E.R., ROMERO-VELÁZQUEZ, R., TREJO-RODRÍGUEZ, J.A. 1991. "Desarrollo económico y salud". Instituto Nacional de Salud Pública, México, vol. 33(3).
- MONCAYO, R. F., ESTRADA, F. E., PÉREZ, R.C. 1970. "Manual para el uso de fotografías aéreas en dasonomía". En: *Dirección General del Inventario Nacional Forestal*. México, D.F.
- MORALES-MANILLA, L. M., Cuevas, G. 2012. "Inventario 2011 y evaluación del impacto ambiental forestal del cultivo del aguacate en el estado de Michoacán". Informe Ejecutivo. Morelia: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.
- MORALES-MANILLA, L.M, REYES GONZÁLEZ, A., CUEVAS GARCÍA, G., ONCHI RAMUCO, M. 2012. "Inventario 2011 del cultivo del aguacate y evaluación del impacto ambiental forestal en el estado de Michoacán". Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM – COFUPRO.
- MORENO-CALLES, A.I., VALLEJO, M., MORA, F. 2013. "Informe de la problemática de la cuenca del lago de Zirahuén". En: Researchgate, CIECO.UNAM. México. 50 p.
- MORETT-SÁNCHEZ, J.C. Y COSÍO-RUIZ. 2017. "Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México". Universidad Autónoma de Chapingo. 14:125-152 pp
- MORÍN, E. 2004. "Introducción al pensamiento complejo". Barcelona, España. Editorial Gedisa
- MORÍN, E. Y PAKMAN, M. 1994. "Introducción al pensamiento complejo". Barcelona, España. Editorial Gedisa.
- NAJMANOVICH, D. Y LENNIE, V. 2011. "Pasos hacia un pensamiento complejo en salud".



- NAVA, H.E. 2010. "Prevaricación y paraíso. Las coordenadas históricas del conflicto social en Zirahuén, 1915-1980". En: *Espejo de los dioses: estudios sobre ambiente y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén*. Ortiz-Paniagua C.F. y Rendón-López M.B. coordinadores. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 358 p.
- NIXON, S. W. 1995. "Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns". En: *Ophelia*. Vol. 41(1): 199-219 pp.
- NOVOTNY, V. 1994. "Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution". En: *Van Nostrand-Reinhold Publishers*.
- NOVOTNY, V. 2003. "Water quality: diffuse pollution and watershed management". John Wiley & Sons.
- ONGLEY, E. D. 1996. "Control of water pollution from agriculture" (No. 55). En: *Food & Agriculture Org*.
- ORDOÑEZ, P., 1982. "Características limnológicas y clasificación trófica del lago de Zirahuén, Mich". En: *Proceedings of the 3rd National Congress on enviromental and sanitary engineering*, 22-24 pp.
- ORTIZ-CALDERA, H., MONTES-TORRES, M.L., JIMÉNEZ-GONZÁLES, A. 2016. La reconversión productiva ¿desarrollo o retroceso?. En: *Educate con ciencia*. Vol. 10 (11) 25 p.
- ORTIZ-PANIAGUA, C.F., GARCÍA, J.O., SANTA-CRUZ, I. 2010. "Caracterización socioeconómica e integración regional de la cuenca del lago de Zirahuén". En: *Espejo de los dioses: estudios sobre ambiente y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén*, Ortiz-Paniagua y Rendón-López (compiladores). 358 p.
- Ortiz-Paniagua, C. 2017. Agricultura de exportación de Aguacate y turismo en Michoacán. Una perspectiva desde los servicios ecosistémicos". En: *El Periplo Sustentable*. Universidad Autónoma del Estado de México. No. 33: 452-485 pp.
- PÉREZ-CALIX, E. 1996. "Flora y vegetación de la Cuenca del lago Zirahuén, Michoacán, México. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes", Fasc. Comp, 1–76.
- PÉREZ-ESPEJO, R. 2008. "Contaminación agrícola y políticas públicas en México". En: *XI Jornadas de Economía Crítica*. 23 pp.
- PINEDA-REYES A, HERNÁNDEZ-MORALES R, ORTEGA-MURILLO M.R, LARA LÓPEZ M.A, MARTÍNEZ-MARTÍNEZ M. 2015. "Caracterización fisicoquímica del lago de Zirahuén durante un florecimiento de cianoprocariontes". En: *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. Vol. 6 (12): 1787-1792.

- PITOIS, F., VEZIE, C., THRAVAL, I., BAURES, E. 2016. "Improving microcystin monitoring relevance in recreative waters: A regional case-study (Brittany, Western France, Europe)". En: *International Journal of Hygiene and Environmental Health* Vol. 219: 288-293.
- PITOIS, S., JACKSON, M. H., WOOD, B. J. 2001. "Sources of the eutrophication problems associated with toxic algae: an overview". En: *Journal of Environmental Health*. Vol. 64(5): 25-32 pp.
- PIZZOLON, L. 1996. "Importancia de las cianobacterias como factor toxicidad en las aguas continentales". En: *Interciencia*. Vol. 21(6): 239-245.
- PLATA, P. 2002. "Los vínculos entre crecimiento económico y la salud". En: *Revista Perspectivas*. 47-77pp.
- PORRAS I. 2003. "Valorando los servicios ambientales de protección de cuencas: consideraciones metodológicas". En: *Foro Regional Sistemas de Pago por Servicios Ambientales en Cuencas Hidrográficas.*, 9 al 12 de junio 2003.
- PRUSS-USTUN, A. 2008. "Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health". En: *World Health Organization*
- RAMÍREZ C. E. 2006. La educación indígena en México. México: UNAM.
- RAPAL. 2010. "Contaminación y Eutrofización del agua". Uruguay.35 pp
- RIOJAS-RODRÍGUEZ H., SCHILMANN A., LÓPEZ-CARRILLO L., FINKELMAN J. 2013. "La Salud Ambiental en México". En: *Revista Mexicana de Salud Pública*. Vol. 55(6): 638-649.
- RÍOS, M.J., MENDOZA, R.R., SILVA, C.R., SIMUTA, C.R. 2018. "Elementos para la gestión del agua en la cuenca del lago de Zirahuén". En: *Terra Latinoamericana*. 36: 431-439.
- ROSE, S. C., HARRIS, G. L., ARMSTRONG, A. C., WILLIAMS, J. R., HOWSE, K. R., TRANTER, N. 1991. "The leaching of agrochemicals under different agricultural land uses and its effect on water quality". En: *Sediment and stream water quality in a changing environment: Trends and Explanation, Proceedings of the Vienna Symposium, IAHS Publication.*, 203, 249-257.
- ROSSO, L., GIANNUZZI, L. 2011. "Factores ambientales y antropogénicos que afectan la formación de floraciones de cianobacterias y cianotoxinas". En: *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. Departamento de salud ambiental, Ministerio de salud Buenos Aires, Argentina 157 p
- RUIZ SEVILLA, G. 2002. "Caracterización morfométrica del lago de Zirahuén mediante SIG". Tesis de maestría en conservación y manejo de los recursos naturales. Facultad de biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- SANDOVAL-HERNÁNDEZ, R. 2006. "El turismo como dinamizador de las actividades económicas para el desarrollo en el municipio de Salvador Escalante, Michoacán". Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- SANTOS-MELGOZA, R. 1995. "Estudio bacteriológico del Lago de Zirahuén". Tesis de licenciatura. Facultad de biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 61 p
- SCHINDLER, D. W. 2012. "The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. Proceedings of the Royal Society". En: *Biological Sciences*. Vol. 279(1746): 4322-4333 pp.
- SEDAN, D., ANDRINOLO, D. 2011. "Cianobacterias y cianotoxinas. Efectos en la salud humana. Casos informados y primeros acercamientos al estudio epidemiológico". En: *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. Departamento de salud ambiental, Ministerio de salud Buenos Aires, Argentina 157 p.
- SEMARNAT 2015. Informe de la situación del medio ambiente en México. Cap. 6- Agua.
- SIAP-SAGARPA. 2016. "Avance de Siembras y Cosechas Resumen nacional por cultivo". Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Recuperado de [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx)
- SIRIWARDENA, L., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. (2006). "The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia". En: *Journal of Hydrology*. Vol. 326(1): 199-214.
- SMITH, V. H. 2003. "Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem". En: *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 10(2): 126-139 pp.
- SMITH, V. H., & SCHINDLER, D. W. 2009. "Eutrophication science: where do we go from here?". En: *Trends in ecology & evolution*. Vol. 24(4): 201-207 pp.
- SOPHOCLEOUS, M. 2000. "From safe yield to sustainable development of water resources—the Kansas experience". En: *Journal of Hydrology*. Vol. 235(1-2): 27-43 pp.
- SWYNGEDOUW, E. 2009. "The political economy and political ecology of the hydro-social cycle". En: *Journal of Contemporary Water Research & Education*. Vol. 142(1): 56-60 pp.
- TAMAYO T TAMAYO, M. 2003. El proceso de la investigación científica. Editorial Limusa-Noriega. México D.F.
- THIÉBAUT, V. 2011. "Evolución del paisaje aguacatero en Michoacán: procesos socioeconómicos y medioambientales". En: *Revista de Estudios Sociales*. Vol. 13(10): 235-253 pp.

- THORNTON K.W., KIMMEL B.L. & PAYNE F.E., 1990. "Reservoir Limnology, Ecological Perspectives". A Wiley-Interscience Publication. 246 p.
- TINKER, P. B. 1997. "The environmental implications of intensified land use in developing countries". Philosophical Transactions of the Royal Society of London. En: *Biological Sciences*. Vol. 352(1356): 1023-1033 pp.
- TOLEDO, V. M. 2008. Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. En: *Revista Iberoamericana de economía ecológica*. Vol. 7:1-26.
- TOLEDO, V.M., ALARCÓN-CHÁIRES, P., BARÓN, L. 2009. Revisualizar lo rural desde una perspectiva multidisciplinaria. En: *Revista de la universidad Bolivariana*. Vol 8 (22) 328-345 p.
- URÍAS H. B. 2007. "Historias secretas del racismo en México (1920-1950)". México: Tusquets.
- VADEBONCOEUR, Y., JEPPESEN, E., ZANDEN, M. J. V., SCHIERUP, H. H., CHRISTOFFERSEN, K., & LODGE, D. M. 2003. "From Greenland to green lakes: cultural eutrophication and the loss of benthic pathways in lakes". En: *Limnology and oceanography*. Vol. 48(4): 1408-1418.
- VÁZQUEZ, G Y M. E. FAVILA. 1998. "Water quality characteristics of a high altitude oligotrophic mexican lake." En: *Aquatic Ecosystem Health y Management. Special Issue Mexican Waters: Ecology Health ad Management. The official journal of the Aquatic Ecosystem Health and Management Society*. 237-243 pp.
- VELASCO, M., ANDRÉS, E., TORRES, J.C., MALDONADO, P. 2008. "La teoría de la complejidad y el caos en la ciencia regional". Instituto tecnológico de Oaxaca. 345 p.
- VELASCO, M., y ANDRÉS, E. 2003. "Ciencia regional, principios de economía y desarrollo". Instituto tecnológico de Oaxaca. 371 pp.
- VERGARA DE PAZ, Y., RENDÓN-LÓPEZ, M.B. 2010. "Evaluación de la dinámica de nutrientes del lago de Zirahuén". En: *Espejo de los dioses: estudios sobre ambiente y desarrollo en la cuenca del lago de Zirahuén*, Ortiz-Paniagua y Rendón-López (compiladores). 358 p.
- VISSMAN, W., HAMMER, M. J., PEREZ, E. M., & CHADIK, P. A. 1998. "Water supply and pollution control".
- VILLANUEVA, L., T., Y ZEPEDA, A.J. 2016. "La producción de aguacate en el Estado de Michoacán y sus efectos en los índices de pobreza, el cambio del uso de suelo y la migración". En: *Revista Mexicana sobre el desarrollo local*. UMSNH. México.
- VILLASEÑOR, G. L.E. 2010. "La avifauna de la cuenca de Zirahuén, Michoacán". En: *Espejo de los dioses*. Ortiz-Paniagua, C.F. y Rendón-López, M.B., Coordinadores. 357 pp.

- VITOUSEK, P.M., MOONEY, H.A., LUBCHENCO, J., MELILLO, J.M. 1997. "Human Domination of Earth's ecosystems". En: *Science*, 277(5325): 494-499.
- VOLLENWEIDER, R. A. 1970. "Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication". En:OECD.
- WAINSTEIN, M., 1994. "Complejidad e Incertidumbre".<https://www.mentalsys.com/Martin.htm>
- WANG, B. 2006. "Cultural eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) plume: History and perspective". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 69(3-4):471-477.
- WAUCHOPE, R. D. 1978. "The pesticide content of surface water draining from agricultural fields. A review". En: *Journal of Environmental quality*. Vol. 7(4): 459-472.
- WILCOX, B. 2004. "EcoHealth: A transdisciplinary Imperative for a Sustainable Future". En: *EcoHealth*. Vo.11: 3-5 pp.
- XU, F. L., TAO, S., DAWSON, R. W., LI, P. G., & CAO, J. 2001. "Lake ecosystem health assessment: indicators and methods". En: *Water Research*. Vol. 35(13): 3157-3167 pp.
- ZARATE, M. 1998. "En busca de la comunidad: identidades recreadas y organización campesina en Michoacán". El Colegio de Michoacán A.C.
- ZÁRATE,M.2011."La Unión de Comuneros Emiliano Zapata (UCEZ), sus acciones y percepciones (1998-1993). En: *Relaciones*. 79 p
- WILCOX, B. 2004. "EcoHealth: A transdisciplinary Imperative for a Sustainable Future". En: *EcoHealth*. Vo.11: 3-5 pp.