



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN INGENIERÍA

Aplicación de indicadores de sustentabilidad para la evaluación del manejo del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Mich.

IQ. EDITH ROSALBA SALCEDO SÁNCHEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA
SISTEMAS**

DIRIGIDA POR: M. EN C. MARÍA ANTONIETA GÓMEZ



CAMPUS MORELOS, MÉXICO

2005.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), pilar de la Educación Superior en México.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y a la Fundación Gonzalo Río Arronte, en particular al Programa para la recuperación Ambiental de la cuenca del lago de Pátzcuaro.

A la directora de esta tesis, M. C. María Antonieta Gómez Balandra por su apoyo y colaboración en la misma, por su amistad y confianza.

A mis sinodales Dr. Nahum García Villanueva, M. C. Jorge Hidalgo Toledo, M. I. Arturo Fuentes Zenon por su paciencia y comentarios.

A la Dra. Jaquelin Lafragua por su asesoriamiento en la elaboración del presente trabajo.

Al M. I. José Alfredo González Verdugo, por sus valiosos comentarios y apoyo en la elaboración de la presente tesis, y aun mejor por su amistad y confianza.

A mis compañeros y amigos a la Dra. Joselina Espinosa, al M. I. Mauricio Escalante, Lic. Francisco Villavicencio, T. C. Sheila Flores Castro, Dra. Gabriela Mantilla Morales y al Ing. Luis Fernando Sánchez Castañeda por su ayuda y críticas constructivas que ayudaron significativamente a la mejora de este trabajo.

A mi madre Rebeca Sánchez de Salcedo (†) y familia por su apoyo incondicional.

Finalmente, no menos importante les agradezco a todas las personas que de alguna forma participaron directamente en la elaboración de este trabajo.

CONTENIDO

Introducción

Antecedentes

Objetivo

Área de estudio

- Aspectos físicos
- Ubicación geográfica
- Clima
- Hidrología
- Orografía
- Geología
- Vegetación
- Uso del suelo
- Aspectos sociales
- Historia
- Demografía
- Consumo doméstico y fuentes de abastecimiento de agua por municipio
- Vivienda y cobertura de servicios
- Aspectos económicos
- Actividades productivas
- Producción agropecuaria
- Producción forestal
- Pesca
- Artesanías
- Participación Económica
- Empleo
- Aspectos institucionales
- Investigaciones y otros estudios

Indicadores y Marco de referencia PER

- Indicadores
- Modelo Presión-Estado Respuesta (PER)

Metodología

- Identificación de la problemática general de la región
- Selección de indicadores para aplicación del modelo PER
- Descripción y monitoreo de indicadores
- Integración de resultados
- Cálculo del índice de sustentabilidad

Resultados

- Identificación de la problemática general de la región
- Selección de indicadores para aplicación del modelo PER
- Descripción y monitoreo de indicadores
- Integración de resultados
- Establecimiento de valores de referencia para cada uno de los indicadores.
- Cálculo del índice de sustentabilidad
- Cálculo de índices para cada indicador a partir de los valores de referencia o umbrales
- Análisis de los resultados por indicador
- Medición y cuantificación del Índice de Sustentabilidad (IDS)
- Escenarios del Índice de sustentabilidad con ponderación diferencial a cada sistema
- Igual importancia en todos los sistemas
- Mayor importancia al sistema ambiental
- Mayor importancia al sistema social
- Mayor importancia al sistema económico

Conclusiones y recomendaciones

Referencias

| | | |
|--|---|-----|
| 1. Introducción..... | → | 11 |
| 2. Antecedentes | → | 41 |
| 3. Objetivo | → | 71 |
| 4. Área de estudio..... | → | 81 |
| 4.1.→ Aspectos físicos | → | 81 |
| 4.1.1.→ Ubicación geográfica | → | 81 |
| 4.1.2.→ Clima..... | → | 101 |
| 4.1.3.→ Hidrología..... | → | 111 |
| 4.1.4.→ Orografía..... | → | 111 |
| 4.1.5.→ Geología..... | → | 121 |
| 4.1.6.→ Vegetación | → | 121 |
| 4.1.7.→ Uso del suelo..... | → | 131 |
| 4.2.→ Aspectos sociales | → | 151 |
| 4.2.1.→ Historia | → | 151 |
| 4.2.2.→ Demografía..... | → | 161 |
| 4.2.3.→ Consumo doméstico y fuentes de abastecimiento de agua por municipio..... | → | 171 |
| 4.2.4.→ Vivienda y cobertura de servicios | → | 181 |
| 4.3.→ Aspectos económicos | → | 201 |
| 4.3.1.→ Actividades productivas..... | → | 201 |
| 4.3.1.1.→ Producción agropecuaria | → | 201 |
| 4.3.1.2.→ Producción forestal | → | 211 |
| 4.3.1.3.→ Pesca..... | → | 221 |
| 4.3.1.4.→ Artesanías..... | → | 241 |
| 4.3.2.→ Participación Económica..... | → | 251 |
| 4.3.3.→ Empleo | → | 251 |
| 4.4.→ Aspectos institucionales | → | 281 |
| 4.5.→ Investigaciones y otros estudios | → | 301 |
| 5. Indicadores y Marco de referencia PER..... | → | 311 |
| 5.1.→ Indicadores..... | → | 311 |
| 5.2.→ Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER)..... | → | 321 |
| 6. Metodología..... | → | 361 |
| 6.1.→ Identificación de la problemática general de la región | → | 361 |
| 6.2.→ Selección de indicadores para aplicación del modelo PER | → | 361 |
| 6.3.→ Descripción y monitoreo de indicadores..... | → | 371 |
| 6.4.→ Integración de resultados..... | → | 371 |
| 6.5.→ Cálculo del índice de sustentabilidad | → | 381 |
| 7. Resultados | → | 411 |
| 7.1.→ Identificación de la problemática general de la región | → | 411 |
| 7.2.→ Selección de indicadores para aplicación del modelo PER | → | 421 |
| 7.3.→ Descripción y monitoreo de indicadores | → | 441 |
| 7.4.→ Integración de resultados..... | → | 661 |
| 7.4.1.→ Establecimiento de valores de referencia para cada uno de los indicadores..... | → | 671 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 7.5.→ | Cálculo del índice de sustentabilidad.....→..... | 68¶ |
| 7.5.1.→ | Cálculo de índices para cada indicador a partir de los valores de referencia o umbrales.....→..... | 68¶ |
| 7.6.→ | Análisis de los resultados por indicador.....→..... | 71¶ |
| 7.6.1.→ | Medición y cuantificación del Índice de Sustentabilidad (IDS).....→..... | 78¶ |
| 7.7.→ | Escenarios del Índice de sustentabilidad con ponderación diferencial a cada sistema.....→..... | 77¶ |
| 7.7.1.→ | Igual importancia en todos los sistemas.....→..... | 77¶ |
| 7.7.2.→ | Mayor importancia al sistema ambiental.....→..... | 79¶ |
| 7.7.3.→ | Mayor importancia al sistema social.....→..... | 80¶ |
| 7.7.4.→ | Mayor importancia al sistema económico.....→..... | 80¶ |
| 8. | Conclusiones y recomendaciones.....→..... | 82¶ |
| 9. | Referencias.....→..... | 86¶ |

¶

RESUMEN

La problemática del agua requiere de una evaluación con un enfoque integrado y participativo; en el que se reconozca el conocimiento de los distintos sistemas, en forma simultánea.

El aprovechamiento sustentable del recurso agua en una cuenca es un proceso que involucra la integración de factores económicos, sociales y ambientales; de tal manera que las actividades de producción de bienes y servicios deben preservar la diversidad, respetar la integridad funcional de los ecosistemas, minimizando su vulnerabilidad y haciendo compatibles los tiempos de recarga naturales con los de extracción requeridos por el sistema económico.

La cuenca del lago de Pátzcuaro enfrenta una problemática que amenaza la calidad de vida de la población y la integridad de sus recursos naturales. . La razón principal se debe a las actividades económicas, que no se han visto acompañadas de estrategias para un desarrollo sustentable.

La evaluación de la sustentabilidad del manejo del agua plantea fortalecer y potenciar las conexiones e interacciones existentes entre los sistemas económico, social y ambiental.

Se identificaron los principales actores en la problemática del recurso en la cuenca, estos fueron esencialmente la deforestación, pérdida de suelo, deterioro de la calidad del agua, disminución del agua subterránea, escasez de recursos económicos, deterioro de la salud pública y pobreza.

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación del manejo del agua, para esto se identificaron los principales actores en la problemática del recurso. Se propusieron indicadores estratégicos que permitieran proveer una base numérica e identificar los problemas del agua en la cuenca, y así calcular el impacto de las actividades y evaluar el desempeño de las políticas aplicando el marco de referencia Presión Estado Respuesta (PER).

Otro aspecto importante fue el cálculo del índice de sustentabilidad para los cuatro municipios ribereños de la cuenca, que se basó en la teoría de decisiones de atributos múltiples.

Como resultado del análisis se generó una batería de diecinueve indicadores, siete de presión, seis de estado y seis de respuesta.

Con este análisis y conforme a los criterios planteados, la cuenca del lago de Pátzcuaro, se muestra con valores que la ubican con sustentabilidad media y baja. Los municipios menos favorecidos son Pátzcuaro y Tzintzuntzan. El mejor desempeño se observó en el sistema social y el sistema más rezagado en la evaluación fue el económico.

1. INTRODUCCIÓN

El agua está indisolublemente ligada a la vida y al desarrollo de las civilizaciones. Es un recurso multifuncional y escaso cuya demanda es creciente y su uso puede plantear conflictos interinstitucionales, intersectoriales e intergeneracionales.

El crecimiento de la población y el deterioro ambiental a gran escala aumentará la inestabilidad relacionada con el agua. Esta crisis del agua puede afectar la gobernabilidad de un sistema. La historia a través de los años muestra que la escasez de agua contribuye a la inestabilidad política y a conflictos locales, regionales e interestatales.

La problemática del agua requiere de una evaluación con un enfoque integrado y participativo centrado en la cuenca; en el que se reconozca el conocimiento de los distintos sistemas, en forma simultánea.

El aprovechamiento sustentable del recurso agua en una cuenca es un proceso que involucra la integración de factores económicos, sociales y ambientales; de tal manera que las actividades de producción de bienes y servicios deben preservar la diversidad, respetar la integridad funcional de los ecosistemas, minimizando su vulnerabilidad y haciendo compatibles los tiempos de recarga naturales con los de extracción requeridos por el sistema económico.

La evaluación de la sustentabilidad del manejo del agua plantea fortalecer y potenciar las conexiones e interacciones existentes entre los sistemas económico, social y ambiental.

Para evaluar el manejo del agua en el ámbito del desarrollo sustentable, se recomienda utilizar el método Presión-Estado-Respuesta (PER) propuesto originalmente por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). El método PER se apoya en la formulación de un grupo de indicadores seleccionados ex profeso.

El método establece qué *actividades humanas que ejercen presiones* sobre el medio ambiente, las cuales pueden *inducir cambios en el estado del medio ambiente*. La *sociedad entonces responde* a las alteraciones en las presiones o estado con políticas económicas y medioambientales. Los programas deben ser oportunos para prevenir, reducir, mitigar presiones o daños al medio ambiente.

Con el fin de aplicar de manera integral esta metodología en una cuenca mexicana, se seleccionó la cuenca del lago de Pátzcuaro. Una de las primeras actividades para este trabajo, fué el analizar el marco físico y socioeconómico y los aspectos institucionales de los cuatro municipios ribereños de la cuenca para comprender los cambios generados por efecto de las actividades antropogénicas a través del tiempo. Otro aspecto fue el análisis de la evolución de los usos del agua, tipo de fuente de abastecimiento y su distribución municipal. Al respecto se encontró la siguiente problemática:

Los recursos naturales de la cuenca del lago de Pátzcuaro han estado bajo presión antropogénica en los últimos 40 años y actualmente se percibe un estado avanzado de deterioro. La razón principal se debe principalmente a las actividades económicas, que no se han visto acompañadas de estrategias para un desarrollo sustentable.

La cuenca enfrenta una problemática que amenaza la calidad de vida de la población y la integridad de sus recursos naturales: refleja desde la deforestación aparejada con el incremento de la erosión y pérdida de los suelos hasta el escaso o nulo tratamiento de las aguas residuales que drenan hacia el lago y que deterioran el ambiente acuático.

Estos procesos se desencadenan debido principalmente a la deforestación de grandes extensiones de bosques mixtos y de coníferas que son objeto de una tala immoderada; y también al cada vez mayor uso de suelo para actividades agrícolas o ganaderas. La deforestación, contribuye al proceso de erosión (Semarnat, 1999).

El escurrimiento en la región ha disminuido durante los últimos 16 años, afectando los niveles del lago. En el Lago de Pátzcuaro, el balance del agua es controlado básicamente por la lluvia, la evaporación y la infiltración procedente del área de captación. Las tasas de evaporación del espejo de agua son por lo general más altas que las entradas por precipitación sobre el mismo vaso. De manera que la única contribución hidráulica neta es la que se deriva de la cuenca mediante escurrimiento y la captación de la infiltración, cerca de 62.9 millones de metros cúbicos de agua son transferidos anualmente al lago mediante infiltración. Se estima que la tasa de infiltración de la cuenca se ha reducido entre 8 y 12 puntos como consecuencia de la deforestación de la cuenca (Semarnat, 1999).

También los procesos de erosión en la cuenca han afectado al lago, al incrementarse la turbidez. Las pendientes altas y abruptas del terreno aceleran la tasa de pérdida de suelo de la cuenca, con el consecuente aumento en la sedimentación (Semarnat, 2002).

Por último, aunado a lo anterior, la utilización de agroquímicos en agricultura y el flujo de aguas negras de las poblaciones que más han crecido, son los responsables de la contaminación del lago.

Por lo anterior se puede señalar que en el lago se manifiestan los efectos de los procesos realizados en la cuenca, haciendo que exista una estrecha articulación en cada uno de los subsistemas geográficos (o subcuencas), de tal forma que todas las modificaciones a través del uso de los recursos repercuten sobre la estabilidad del sistema regional en su conjunto. Por lo que, la cuenca constituye un sistema natural de alta fragilidad eco-geográfica un hecho que resulta de enorme importancia en términos de su manejo.

A partir de la información disponible y caracterización de la problemática de la cuenca, como parte central de este trabajo, se propusieron los indicadores estratégicos que permitieran proveer una base numérica para conocer los problemas del agua en la cuenca, y así calcular el impacto de las actividades y evaluar el desempeño de las políticas aplicando el marco de referencia Presión Estado Respuesta con estos indicadores (capítulo 6).

Otro aspecto importante para el presente trabajo fue calcular un índice de sustentabilidad propuesto el manejo del agua para los cuatro municipios ribereños de la cuenca, que se basa en la teoría de decisiones de atributos múltiples, utilizada por Saldívar (2000) y Barrera (2004). Por la importancia de esta información; se consideró conveniente proponer escenarios para destacar el sistema de mayor peso en la evaluación del índice.

Los resultados de los indicadores e índice conducen a priorizar los aspectos de mayor impacto a la cuenca, por lo que pueden utilizarse para orientar los esfuerzos hacia su recuperación ambiental.

2. ANTECEDENTES

El desarrollo sustentable y el uso de indicadores, en un nivel internacional y nacional, ha sido propuesto por muchas instituciones que pretenden guiar cambios en las políticas y en la toma de decisiones.

En 1972 durante la Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo, Suecia, se mencionaron por primera vez, las preocupaciones de la comunidad internacional en torno a los problemas ecológicos y del desarrollo (INE, 2000).

No fue hasta 1976, durante la Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos, conocida como *Hábitat* celebrada en Vancouver, Canadá, que se consideró la necesidad de mejorar la calidad de vida a través de la provisión de vivienda adecuada para la población y el desarrollo sustentable de los asentamientos humanos (INE, 2001).

En 1987, la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptó por unanimidad el documento *Nuestro futuro común* o Informe Brundtland, que constituye el acuerdo más amplio entre científicos y políticos del planeta, que sintetiza los desafíos globales en materia ambiental en el concepto de desarrollo sustentable, en el cual se definió como “aquel que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras” (INE, 2001).

En 1992, durante el Programa de Acción para el Desarrollo Sustentable o *Agenda 21*, suscrito durante la *Cumbre de la Tierra* en Río de Janeiro, México se comprometió a adoptar medidas nacionales y globales en materia de sustentabilidad, como también acciones orientadas a la generación de indicadores a través de los cuales se puedan medir y evaluar las políticas y estrategias de desarrollo sustentable (WFUNA, 2002).

Conforme al capítulo 40 de la Agenda 21, “los indicadores de desarrollo sustentable proporcionan bases sólidas para la toma de decisiones en todos los niveles y contribuyen a autorregular la sustentabilidad de los sistemas integrados del ambiente y el desarrollo”. Estos indicadores constituyen un punto de referencia para la evaluación del bienestar y de la sustentabilidad de un país (WFUNA, 2002)

En 1995 la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de Naciones Unidas aprobó el Programa de Trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sustentable 1995-2000. México comenzó su participación de manera informal desde el arranque de la convocatoria, y se integró hasta 1997, durante el tercer taller celebrado en Costa Rica, en esta reunión 22 países participaron en la prueba piloto para desarrollar indicadores (INE, 2000).

El Instituto Nacional de Ecología (INE) desarrolló desde 1995 un grupo de indicadores ambientales bajo los criterios metodológicos emitidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico que se conocen como el enfoque metodológico de Presión – Estado - Respuesta .

En 1997 el INE dió a conocer el documento *Avances en el Desarrollo de Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental en México* en el cual se presentan indicadores para los temas de calidad del aire, residuos peligrosos, residuos sólidos municipales, vida silvestre, áreas naturales protegidas, cambio climático y disminución del ozono estratosférico.

En 2000 se publicó el libro *Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000*, el cual constituye la continuación del esfuerzo anteriormente descrito por el INE; la presentación de la información mantiene el enfoque Presión Estado Respuesta, en los temas de sectores productivos como agua, bosques y pesca y realiza la conexión con otros ámbitos sectoriales no ambientales, en el trabajo se considera el enfoque de sustentabilidad que debe acompañar a aquellos sectores que tienen directa o indirecta relación con lo ambiental.

Otro esfuerzo en el desarrollo de indicadores a escala nacional se ve reflejado en la publicación realizada en 2001 por la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES, 2001), basados en el esquema Presión-Estado-Respuesta utilizado por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y el Environmental Sustainability Index construido por el World Economic Forum (CESPEDES, 2001).

Los indicadores son importantes para el manejo de los recursos ambientales ya que pueden orientar la formulación de políticas al proporcionar una valiosa información acerca del estado actual de los recursos a evaluar y de la intensidad y la dirección de los posibles cambios, subrayando además, los temas primarios. A nivel regional estos indicadores pueden ser aplicados para la planeación, monitoreo y manejo de proyectos, particularmente, la elaboración de indicadores ambientales o líneas base de información, implica conocer los resultados de los programas y estrategias actuales o en proceso de instrumentación del desempeño ambiental.

Los indicadores no constituyen un criterio automático del desempeño ambiental. son sólo una herramienta de evaluación, que debe complementarse con información cualitativa y científica para evitar errores de interpretación, deben ser divulgados e interpretados en el contexto adecuado, tomando en consideración las características ecológicas, geográficas, sociales económicas y estructurales de los países o regiones bajo evaluación. No existe un medio de armonización único; si se comparan los indicadores a nivel internacional o nacional , el resultado de la evaluación dependerá del denominador escogido así como de las definiciones nacionales y de los métodos de medición elegidos.

En 1997 se publicó el documento “Pátzcuaro, el lago que queremos”, que pertenece al proyecto de la SEMARNAP en conjunto con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con objeto de evaluar en varias microregiones en el cumplimiento de la Agenda 21 y fincar las bases para el desarrollo de un programa integral (gobierno, sectores productivos, sector académico y la sociedad civil) con el fin de impulsar las acciones requeridas para restaurar ecológicamente una cuenca (PNUD, 1997).

En el trabajo anterior del Programa de Naciones Unidas, se identificaron tres microcuencas de un total de once, entre ellas la microcuenca del lago de Pátzcuaro. La metodología empleada evaluaba la situación ambiental, social y económica con el fin de medir el avance del desarrollo sostenible; a partir de indicadores estadísticos de percepción pública, en dicho trabajo solo se realizó una evaluación cualitativa como apoyo a la gestión ambiental de los cuatro municipios (PNUD, 1997).

3. OBJETIVO

Objetivo general:

Evaluar el manejo del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro mediante indicadores de sustentabilidad.

Objetivos específicos:

Identificar los principales actores en la problemática del agua.

Generar un grupo de indicadores capaces de comunicar y simplificar los principales fenómenos que afectan el manejo del agua.

Aplicar el modelo PER desarrollado por Statistics Canada, adaptado por Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1993), para generar los indicadores de sustentabilidad.

Calcular el índice de sustentabilidad para cada uno de los municipios ribereños del lago.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Aspectos físicos

4.1.1. Ubicación geográfica

La cuenca del Lago de Pátzcuaro se localiza en la parte central del estado de Michoacán, en la región hidrológica No. 12 Lerma-Chapala-Santiago, geográficamente se ubica entre los paralelos 19° 20' y 19° 45' latitud Norte, y entre los meridianos 101° 20' y 101° 50' longitud Oeste a una altitud de 2240 msnm y tiene una superficie de 934.67 km² (figura 1).

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio



Fuente: SIGA-Patzcuaro, 2003.

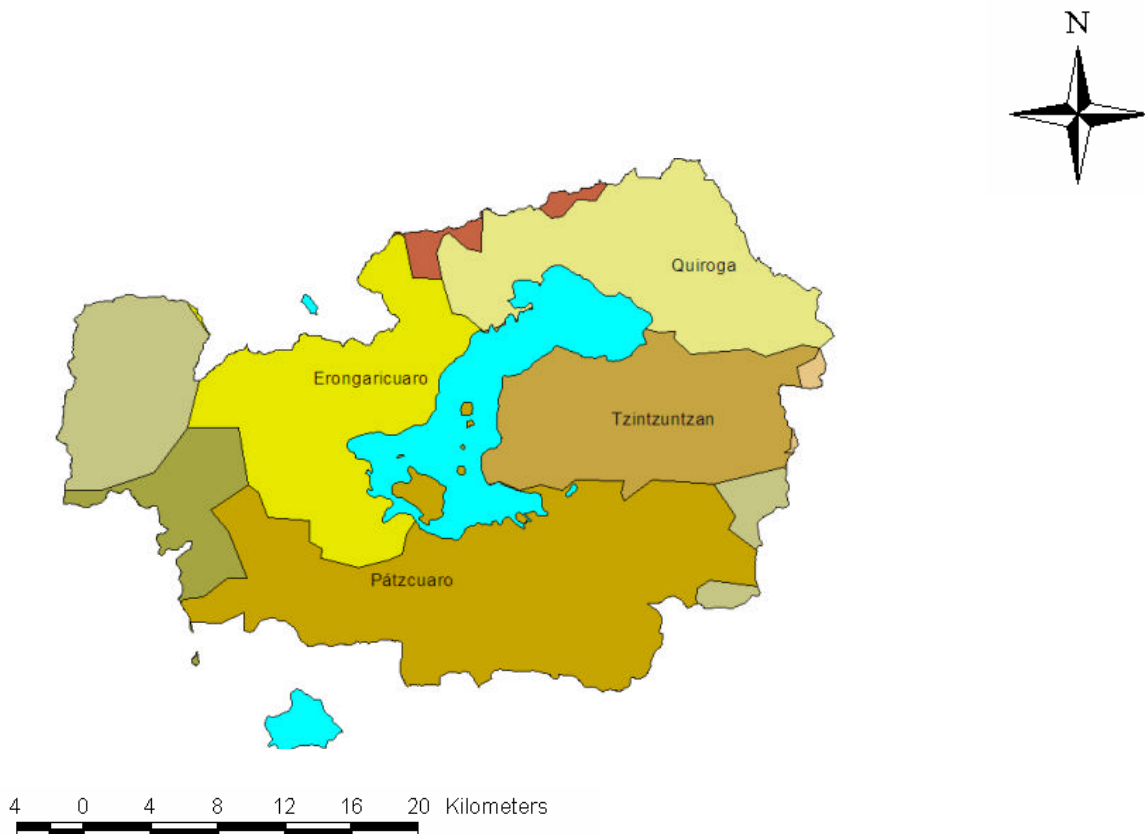
El área de la cuenca comprende principalmente los cuatro municipios ribereños Pátzcuaro, Erongarícuaro, Quiroga y Tzintzuntzan, y una pequeña superficie de los municipios de Coeneo, Huriamba, Lagunillas y Salvador Escalante. Incluye hacia la periferia también las localidades de San Isidro y Emiliano Zapata en el municipio de Nahuatzen, así como San Francisco del municipio de Tingambato (tabla 1). Sin embargo para los propósitos de este estudio se consideran únicamente los cuatro municipios ribereños señalados en la figura 2.

Tabla 1. Principales comunidades que integran la cuenca de lago de Pátzcuaro

| Municipios | Principales localidades |
|---------------|--|
| Erongarícuaro | Erongarícuaro, Arócutín, Col. Revolución, Jarácuaro, Lázaro Cárdenas, Napízaro, Oponguio, Puácuaro, Nocutzepo, Tócuaro, Úricho, Yótatiro, La Zarzamora, Zintziro, San Francisco Úrico, Charahuen |
| Nahuatzen | Emiliano Zapata, San Isidro |
| Pátzcuaro | Pátzcuaro, Buenavista, Cuanajo, San Miguel Charahuén, Santa |

| Municipios | Principales localidades |
|--------------|--|
| | Isabel Ajuno, Chapultepec, Huecorio, Santa María Huiramangaro (San Juan Tumbio), Urandén, Janitzio, Manzanillal, El Refugio, San Bartolo Pareo, Santa Ana Chapitiro, San Pedro Pareo, Santa Juana, La Tinaja, Las Trojes, Tzentzenguaro, Urandén de Morelos, El Zapote, Tzurúmutaio, San Gregorio, La Cadena, El Aguacate, La Noria, La Cantera, Yunuen, Tecuela |
| Quiroga | Quiroga, Chupícuaro, Santa Fe de la Laguna, Icuacato, Tziróndaro, San Jerónimo Purenchéngaro, Sanambo, Caríngaro, Atzimbo, Tziradangatzio, El Sauz. |
| Tingambato | San Francisco |
| Tzintzuntzan | Tzintzuntzan, Los Corrales, Cucuchucho, Ihuatzio, La Pacanda, Tarerio, Coenembo, Los Corrales, Las Cuevas, La Vinata, Chupio, Ihuatzio, El Jagüey, La Quesería, Tziranga, La Noria, Sanabria, Santa Cruz, El Tecolote, El Tigre, Ucanástacua, El Pozo, San Rafael, Tzocurio, La Granada, San Isidro, Las Camelinas, Patambicho. |

Figura 2. Delimitación de la cuenca de lago de Pátzcuaro



4.1.2. Clima

En la zona se definen dos tipos de clima de acuerdo con la época del año, de noviembre a mayo se tiene un clima seco y de junio a octubre se presenta un clima húmedo.

El clima en la zona conforme a la clasificación de Thornthwaite es $B_2 W B'_2$, es decir moderadamente húmedo con leve deficiencia de agua en invierno, templado frío con concentración baja de calor en verano (Izurieta, 2002).

Dentro del área de estudio se ubican las estaciones climatológicas Pátzcuaro y Santa Fe de la Laguna ubicada en el municipio de Quiroga. La temperatura máxima registrada en la estación Pátzcuaro es de 32.97 °C y 35.58 °C en la estación Santa Fe, la temperatura mínima registrada es de 0.66 °C y -0.32 °C respectivamente ambas corresponden al mes de enero, estos valores se refieren a un período de 30 años (ver tabla 2).

Tabla 2. Datos de clima de las estaciones Pátzcuaro y Santa Fe

| Parámetro | Pátzcuaro | San Fe |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| Temperatura media anual | 14.82 °C | 15.18 °C |
| Temperatura máxima media anual | 32.97 °C | 35.58 °C |
| Temperatura mínima media anual | °C | -0.32 °C |
| Precipitación media anual | 750.93 mm | 737.62 mm |

Fuente: Sistema Meteorológico Nacional y Gerencia Estatal de Michoacán de la CNA. Análisis de un período de 30 años.

Para el análisis de la información se elaboraron promedios mensuales de precipitación y temperatura de las estaciones Pátzcuaro (tabla 3) y Santa Fe (tabla 4) durante un período de años para la primera de 1970 a 1999 y 1964 a 1997 para la segunda.

Tabla 3. Promedios mensuales de precipitación y temperatura en la estación Pátzcuaro

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Temp. (°C) | 10.19 | 11.67 | 13.63 | 16.01 | 17.46 | 18.48 | 17.03 | 17.00 | 16.62 | 15.23 | 13.01 | 11.44 |
| Precip. (mm) | 23.20 | 4.47 | 4.82 | 8.70 | 36.46 | 151.23 | 207.68 | 205.08 | 161.58 | 69.30 | 12.92 | 13.40 |

Fuente: Información tomada del Sistema Meteorológico Nacional y Gerencia Estatal de Michoacán de la CNA.

Tabla 4. Promedios mensuales de precipitación y temperatura en la estación Santa Fe

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Temp. (°C) | 11.83 | 12.56 | 14.24 | 16.17 | 17.71 | 17.66 | 16.51 | 16.81 | 16.70 | 15.43 | 13.96 | 12.52 |
| Precip. (mm) | 24.09 | 6.34 | 5.95 | 5.81 | 40.64 | 158.38 | 196.54 | 184.44 | 135.63 | 69.92 | 10.64 | 10.80 |

Fuente: Información tomada del Sistema Meteorológico Nacional y Gerencia Estatal de Michoacán de la CNA.

4.1.3. Hidrología

El lago de Pátzcuaro se encuentra en una cuenca endorreica con una extensión total de 934.67 km², de los cuales 77.53 km² esta ocupados por el espejo del agua del lago (12 marzo de 2003), con una profundidad media de 4.91 m y profundidad máxima de 10.9 m con un volume de 388.14 Mm³ (Escalante *et. al.* 2004).

El drenaje de los escurrimientos superficiales se efectúa por medio de una serie de subsistemas fluviales de tipo radial que conducen el agua hacia el lago. Los escurrimientos superficiales se deben principalmente a las lluvias y se presentan como descargas intermitentes. El río más importante es el Guani, algunos arroyos que descargan durante la época de lluvias son: El Colorado, El Blanco, Corrales, Jaguey, Cadena, Santa Fe, San Miguel, Río Úricho, Río Cucuchucho, Río San Andrés, Quiroga, El Tigre, Ajuno, Huintzio, sin embargo, por ser intermitentes no se miden periódicamente y por lo tanto no existen registros de aforos.

El lago de Pátzcuaro recibe las descargas de diferentes arroyos de los cuales los únicos con régimen perenne son los de los manantiales Chapultepec y La Alberca, el área de aforamiento de cada uno es de 980 y 700 m². El caudal que aportan estos manantiales varía en relación a la época de lluvias y de estiaje, pero oscila entre medio metro y un metro cúbico por segundo.

El caudal es distribuido por los canales Alto Derecho y Bajo Derecho los cuales derivan aproximadamente el 64% (0.32 a 0.64 m³/s) y los canales Alto izquierdo y Bajo izquierdo derivan el 36% (0.18 a 0.36 m³/s) del caudal del manantial. Las aguas de retorno agrícola son colectadas por el dren central conocido como dren Tzurumútaró ó río Chapultepec (Izurieta, 2002.).

Las aportaciones de agua subterránea provienen de una cuenca cerrada localizada en la porción oeste denominada cuenca cerrada de Pichátaro, se ubican entre la línea de las islas y la costa poniente del lago, entre Erongarícuaro y San Andrés Tziróndaro.

4.1.4. Orografía

La cuenca del lago tiene una longitud de 50 km en dirección este-oeste y 33 km en dirección norte-sur. El parteaguas de esta cuenca colinda hacia la porción noreste con la cuenca del lago de Cuitzeo; por el noroeste con algunos afluentes del río Lerma; por el oeste, suroeste y sur con la cuenca del río Balsas y con la cuenca cerrada del lago de Zirahuen.

Entre las prominencias topográficas contenidas dentro de la cuenca se tienen: Cerro San Andrés (2400 msnm), San Isidro (3200 msnm), Grande (2800 msnm), Tingambato (2550 msnm), San Miguel (2500 msnm), El Frjól (3150 msnm), El Zirate (3340 msnm) y El Umbicho (3000 msnm).

4.1.5. Geología

La cuenca del lago de Pátzcuaro es de origen volcánico, se formó en los periodos Terciario (11 a 5 millones de años antes del presente) y Cuaternario (3.5 millones de años antes del presente), los tipos de roca predominantes son basálticas y andesíticas. El área presenta estructuralmente sistemas de fallas importantes, que dan origen a la depresión que aloja al lago en dirección noreste-suroeste (SARH, 1981).

Evidencias geológicas demuestran que la cuenca fue en sus orígenes abierta y constituía un sistema hidrológico continuo formado por los lagos Zirahuén, Pátzcuaro y Cuitzeo, para confluir finalmente como tributario en el Río Lerma.

Posteriormente, debido al vulcanismo que se presentó en el Eje Transmexicano durante el periodo Plio-cuaternario (1.8 millones de años), el lago quedó aislado, delimitado por cadenas montañosas que forman su propia cuenca, desde entonces cerrada o endorreica (González Hita en González, 2003).

Dentro del área, se pueden observar dos formas fisiográficas principales: volcanes y planicies. Los primeros se puede ver por toda el área con alturas variables entre los 2,200 y 3,000 m.s.n.m; caracterizados por tener drenaje radial y estar compuestos de rocas basálticas y andesíticas.

4.1.6. Vegetación

Los tipos de vegetación reconocidos en la zona son variados y su distribución se ve directamente influida por el clima, la topografía y el suelo, de acuerdo con esto el gradiente que establecen dichos factores permitió que se desarrollaran los siguientes tipos de vegetación (Díaz Barriga, 1993 en Gómez, *et. al.* 2001).

A. Bosque de oyamel:

Se encuentra en las mayores elevaciones debido a que requiere de clima fresco (2,400 - 3,200 msnm), las especies más importantes aquí son: *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Artostaphylos rupestris*, *Baccharis multiflora*, *Lippia umbellata*, *Senecio angulifolius*, *Alchemilla procumbens*, *Castilleja lithospermoides*.

B. Bosque de Pino-encino:

Es el que más abunda en la zona forestal, lo componen numerosas especies tanto arbóreas como arbustivas y herbáceas, (2,150 - 2800 m), entre las especies de mayor importancia están: *Pinus teocote*, *P. lawsonii*, *P.leiophylla*, *P. michoacana*, *P.montezumae*, *Quercus castanea*, *Quercus crassipes*, *Crataegus pubescens*, *Acacia pennatula*, *Montanoa grandiflora*, *Croton adpersum*, *Bursera cuneata*, *Tecoma stans*, *Verbesina greemaniai*, *Bidens odorata*, *Adiantum adicola*, *Loeselia mexicana*.

C. Bosque de Encino:

Se encuentra muy localizado en zonas donde hay principalmente pedregal y en general donde los suelos son pobres. Aquí se observan *Quercus candicans*, *Quercus crassipes*, *Quercus laurina*, *Meliosma dentata*, *Ceanothus coeruleus*, *Fuchsia parvifolia*, *Rumfordia floribunda*, *Senecio albonervius*, *Calea integrifolia*, *Agastache mexicana*, *Begonia gracilis*, *Bidens ostruthioides*, *Commelina tuberosa*.

D. Matorral xerófilo:

Este tipo de vegetación esta conformado por especies con características de xerofitismo, aunque hay especies que no lo son, sin embargo por el hecho de desarrollarse en suelos delgados y pobres requieren de cierta rusticidad. *Acacia angustissima*, *Dodonea viscosa*, *Erythrina coralloides*, *Opuntia tomentosa*, *Yucca filifera*, *Eysenhardtia polystachya*, *Acnistus arborecens*, *Aralia humilis*, *Bombax ellipticum*, *Montanoa grandiflora*, *Calliandra grandiflora*, *Lantana camara*, *Senna tomentosa*, *Acalypha mollis*, *Euphorbia heterophyla*, *Euphorbia graminea*, *Tradescantia crassifolia*.

E. Pastizal

Se cita esta comunidad como de origen secundario con predominancia de herbáceas y ocupa principalmente partes bajas de la cuenca aquí se registran *Andropogon saccharoides*, *Brachiaria plantaginea*, *Chloris virgata*, *Euphorbiagraminea*, *Holcus lanatus*, *Salvia hyptoides*, *Panicum hallii*.

4.1.7. Uso del suelo

El uso del suelo en la cuenca ha cambiado con el tiempo, a continuación se presenta una tabla comparativa del cambio de uso de suelo que ha observado la cuenca en un período de 17 años.

| Clase | Atributo | Superficie 1986 | Superficie 2003 | Diferencia 1986-2003 |
|------------------------|----------|-----------------|-----------------|----------------------|
| | | ha | | |
| No clasificado | 0 | 9.00 | 20.899 | -11.899 |
| Bosque | 1 | 22,215.541 | 28,359.260 | -6143.719 |
| Bosque – Pasto | 2 | 8,233.121 | 4,668.678 | 3564.443 |
| Matorral | 3 | 15,337.723 | 18,715.084 | -3377.361 |
| Matorral-Pasto | 4 | 7,400.594 | 5,696.853 | 1703.741 |
| Pasto | 5 | 5,192.173 | 6,035.061 | -842.888 |
| Hidrófitas (flotantes) | 6 | 333.480 | 142.434 | 191.046 |
| Hidrófitas (Chuspata) | 7 | 1,354.590 | 1,941.806 | -2712.428 |
| Cultivo en desarrollo | 8 | 1,537.201 | 1,634.707 | 8403.361 |
| Barbecho | 9 | 1,992.869 | 4,705.297 | -821.111 |

| Clase | Atributo | Superficie 1986 | Superficie 2003 | Diferencia 1986-2003 |
|------------------------------|----------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | | ha | | |
| Temporal (pasto,matorral) | 10 | 20,194.660 | 11,791.299 | -427.757 |
| Zona urbana | 11 | 1,028.700 | 1,849.811 | 1159.293 |
| S/N aparente | 12 | 57.960 | 485.717 | |
| Cuerpo de agua | 13 | 8,579.430 | 7,420.137 | |
| TOTAL | | 93,467.042 | 93,467.043 | |

Fuente: González, *et. al.* 2003

4.2. Aspectos sociales

4.2.1. Historia

La cuenca fue el asiento del antiguo imperio Tarasco y actualmente es una de las cuatro áreas culturales de la región Purhépecha, herederos de aquella civilización y prácticamente los últimos representantes de las culturas lacustres que florecieron en la antigua Mesoamérica. La antigua capital purhépecha se ubicaba en la población de Tzintzuntzan (Semarnat, 1999).

Se estima que a principios del siglo XVI había en la cuenca entre 60 mil y 100 mil habitantes distribuidos en 92 asentamientos, la mayoría de los cuales todavía existen. Es decir que existe una experiencia acumulada en el manejo de los recursos de la cuenca de 4 siglos y medio (Semarnat, 1999).

El uso de los recursos naturales fue intenso desde hace casi 800 años, antes de este grupo, los antiguos pobladores eran artesanos y alfareros que se dedicaban a la pesca, a la agricultura de humedad en las orillas del lago y de temporal en las terrazas de las laderas bajas. Su relación con el medio ambiente se daba bajo un marco de armonía. Sin embargo, con la presencia de los purépechas comenzaron las transformaciones antropogénicas en el lago, debido al manejo hidráulico para la producción agrícola. Con la presencia de los españoles durante la época de la colonia se establecieron nuevos sistemas de producción agrícola, así como nuevas tecnologías. Hubo un nuevo aprovechamiento forestal, y en la parte sur y oriente de la cuenca se establecieron haciendas donde se crió ganado bovino. Hubo una mayor concentración demográfica en la ciudad de Pátzcuaro y el espacio urbano se reorganizó (Semarnat, 1999).

En el siglo XIX, la inestabilidad de la región se aceleró. El ferrocarril terminó con grandes extensiones de bosques de coníferas de los alrededores y se inició una degradación de tierras. La relación entre la sociedad y la naturaleza, que al principio era armónica, perdió su equilibrio. Las actividades actuales del hombre han provocado graves problemas de erosión, reducción de la flora regional y azolvamiento, contaminación y eutrofización del lago (Gómez, *et. al.* 2001).

La importancia cultural se evidencia debido a que en 1533, la Audiencia de México envió a su oidor Vasco de Quiroga para que visitara la región. Este hombre se convirtió en figura predominante de la historia de Michoacán ya que, además de su trabajo como oidor, sensibilizó a la población indígena con respecto a sus problemas, reorganizó las ciudades, trabajó en la idea de realizar una utopía como aquella que planteó Tomás Moro, creó el llamado pueblo-hospital, conformó el obispado de Michoacán y fundó el colegio de San Nicolás entre otras cosas. Como bienes del patrimonio cultural enseñó algunas artesanías y organizó por regiones las artesanías ya existentes en los grupos indígenas que aún hoy son parte muy importante de su soporte económico (Gómez, *et. al.* 2001).

4.2.2. Demografía

La población de la cuenca aumentó de 42, 274 habitantes en 1940, a 94,745 en 1980 y a 127, 340 al 2000, dentro de la cuenca la población se concentra principalmente en los municipios de Pátzcuaro con 61.15 % y Quiroga 18.7 %.

Tabla 5. Crecimiento poblacional 1940 al 2000.

| | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Erongarícuaro | 5,244 | 6,716 | 9,070 | 9,470 | 11,270 | 11,930 | 13,161 |
| Pátzcuaro | 22,929 | 25,879 | 32,430 | 37,615 | 53,287 | 66,736 | 77,872 |
| Quiroga | 8,672 | 10,293 | 12,616 | 16,004 | 19,748 | 21,917 | 23,893 |
| Tzintzuntzan | 5,429 | 6,350 | 7,820 | 9,139 | 10,440 | 11,439 | 12,414 |
| Total | 42,274 | 49,238 | 61,936 | 72,228 | 94,745 | 112,022 | 127,340 |

Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda, 1995. SNIM, 2004. versión. 7.0. Archivo Histórico de Localidades INEGI, 2004.

Estos municipios son los que manifiestan una estructura de tipo urbano, mientras que el resto guarda un patrón de asentamiento de pequeñas rancherías. Como se observa en la tabla 6, el máximo crecimiento de población se registró en la década de los 80's.

Tabla 6. Tasa de crecimiento poblacional

| Municipio | 1950-1960 | 1960-1970 | 1970-1980 | 1980-1990 | 1990-1995 | 1995-2000 |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Erongarícuaro | 2.51 | 3.05 | 0.43 | 1.76 | 0.57 | 0.99 |
| Pátzcuaro | 1.22 | 2.28 | 1.49 | 3.54 | 2.28 | 1.56 |
| Quiroga | 1.73 | 2.06 | 2.41 | 2.12 | 1.05 | 0.87 |
| Tzintzuntzan | 1.58 | 2.10 | 1.57 | 1.30 | 0.92 | 0.82 |
| Estatal | - | 2.70 | 2.40 | 2.10 | 2.20 | 1.20 |

Fuente: Datos Calculados con información INEGI, 1990, CEDEMUN, 1999 y SNIM, 2004 versión. 7.0.

La densidad poblacional media en la cuenca es de 105 habitantes por kilómetro cuadrado (tabla 7) que es 1.6 veces la densidad estatal (66.57 hab/km²) y 2.1 veces la densidad nacional (49.7 hab/km²) (INEGI, 2000).

Tabla 7. Densidad de población del período de 1940-2000

| Municipio | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | Hab/Km² | | | | | | |
| Erongarícuaro | 21.37 | 27.37 | 36.97 | 38.60 | 45.94 | 48.63 | 53.64 |
| Pátzcuaro | 52.59 | 59.36 | 74.39 | 86.28 | 122.23 | 153.08 | 178.62 |
| Quiroga | 41.00 | 48.66 | 59.64 | 75.66 | 93.36 | 103.62 | 112.96 |
| Tzintzuntzan | 32.87 | 38.45 | 47.35 | 55.34 | 63.22 | 69.26 | 75.17 |

Fuente: Datos calculados con información tomada del INEGI, 2000 y SNIM, 2004 versión. 7.0.

La población flotante es creciente por el turismo que es atraído por la arquitectura colonial, las manifestaciones culturales, las artesanías, el paisaje y el clima fresco. De la misma forma ha crecido el número de casas de recreación principalmente de habitantes de la ciudad de Morelia.

4.2.3. Consumo doméstico y fuentes de abastecimiento de agua por municipio

En 1992 el consumo en la cuenca estaba relacionado con la ubicación de la región. La cuenca de Pátzcuaro se puede dividir en tres regiones de acuerdo con su localización y forma de vida: región serrana, lacustre rural y lacustre urbana (González *et. a.*, 2003).

A la región de la parte alta de la cuenca, arriba de los 2200 msnm se le reconoce como la región serrana. En esta región el agua es muy escasa y tiene un valor muy alto. El agua se toma de unos cuantos manantiales, ojos de agua y norias, los asentamientos rurales no cuentan con tomas de agua en cada vivienda. El agua hay que acarrearla de las fuentes o de tomas públicas. En esta región por su escasez, es importante la captación de agua de lluvia, en los techos de las casas. En esta región se utilizan entre 10 y 15 litros diarios por persona. En esta zona las descargas de agua son escasas por el bajo consumo y por el reuso del agua existente (Ávila, 1992).

En estas comunidades no se cuenta con dispositivos sanitarios instalados a una red de agua. Comúnmente se usa el agua de los manantiales para beber y el agua de las norias y pozos se emplea para cubrir otras necesidades (Ávila, *op.cit.*).

La región lacustre-rural se localiza alrededor del lago de Pátzcuaro, la mayor parte de su población es indígena (15%). Las fuentes de abastecimiento son pozos o norias cerca del lago, manantiales y pozos profundos. La distribución del agua es por toma pública, acarreo directo y en menor grado por tomas domiciliarias. El consumo es de 50 a 75 litros por persona. El volumen de descarga es mayor al de las comunidades serranas pero aun así es menor que el de las zonas urbanas. Esto en parte se debe a que la mayoría de las casas no tienen toma directa y sus muebles sanitarios no están conectados a una red de drenaje (Ávila, *op.cit.*).

En las regiones rurales, serrana y lacustre habitan la mayor proporción de indígenas de la cuenca, en ellas aún existe control comunitario del agua y estrategias de uso y manejo más racionales. Sus patrones de consumo son muy bajos y su abastecimiento es diversificado; además la generación de descargas es mínima debido al aprovechamiento múltiple.

La región lacustre-urbana demanda gran parte del volumen de agua de la cuenca, pero concentra menor población. En las cabeceras municipales de Pátzcuaro y Quiroga se concentra la mayor parte de la infraestructura de agua potable y alcantarillado. Las fuentes de agua son los manantiales, y los pozos profundos. La mayoría de la población cuenta con toma domiciliaria y con drenaje. El consumo de agua oscila entre 45 y 200 litros/habitante/día (Ávila, *op.cit.*).

En las zonas urbanas la introducción de redes de agua y alcantarillado, y con esto la facilidad de abrir la llave en cualquier momento y obtener agua continua sin hacer algún esfuerzo, ha significado un cambio en los patrones de consumo y de desperdicio y con esto un aumento en la dotación de agua por habitante (Ávila, *op.cit.*).

Es importante notar que a partir de la introducción de tomas domiciliarias se observa un incremento en los patrones de consumo de la población hasta 100 litros por habitante por día debido a la demanda del uso de agua en dispositivos sanitarios de elevado consumo en las viviendas, por el desperdicio de agua, otro factor de pérdida son las fugas (Ávila, *op.cit.*).

En la tabla 8 se presentan las fuentes de abastecimiento por municipio, conforme al Anuario Estadístico de Michoacán (INEGI, 2002).

Tabla 8. Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable por Municipio según tipo, 2001

| Municipio | Total | Pozo Profundo | Manantial | Otras |
|---------------|-------|---------------|-----------|-------|
| Erongarícuaro | 8 | 2 | 1 | 5 |
| Pátzcuaro | 22 | 8 | 3 | 11 |
| Quiroga | 4 | 2 | 2 | 0 |
| Tzintzuntzan | 18 | 8 | 5 | 5 |
| Total | 52 | 20 | 11 | 21 |

Fuente: Anuario Estadístico Michoacán de Ocampo, edición 2002 (Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal. Subgerencia de Ingeniería. Datos referidos al 31 de diciembre. b comprende fuentes de abastecimiento de presas y ríos).

4.2.4. Vivienda y cobertura de servicios

Existe diferencia en cada uno de los municipios de la cuenca en cuanto a la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, como se puede observar en la tabla 9, los municipios que tienen mayor cobertura de agua potable son Pátzcuaro, Quiroga y Erongarícuaro, el menos beneficiado es el municipio de Tzintzuntzan.

Tabla 9. Cobertura de agua potable

| | Cobertura de agua potable (%) | | | | |
|---------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| Erongarícuaro | 84.50 | 84.60 | 85.15 | 85.50 | 86.00 |
| Pátzcuaro | 85.00 | 85.00 | 85.00 | 85.10 | 85.30 |
| Quiroga | 81.00 | 82.75 | 84.10 | 86.00 | 87.35 |
| Tzintzuntzan | 78.00 | 77.25 | 78.85 | 80.00 | 80.80 |

Fuente: SNIM, 2004 versión. 7.0.

En lo que respecta a la cobertura de drenaje, Quiroga y Pátzcuaro tienen la mayor cobertura en servicio de drenaje, mientras que los más rezagados en este servicio son Erongarícuaro y Tzintzuntzan.

Tabla 10. Cobertura de drenaje

| | Cobertura de drenaje (%) | | | | |
|---------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
| Erongarícuaro | 63.00 | 70.00 | 77.00 | 77.00 | 80.00 |
| Pátzcuaro | 75.00 | 78.00 | 82.00 | 82.00 | 85.00 |
| Quiroga | 82.00 | 88.00 | 91.00 | 91.00 | 93.00 |
| Tzintzuntzan | 67.00 | 70.00 | 72.00 | 72.00 | 73.50 |

Fuente: SNIM, 2004. versión. 7.0.

En la tabla 11, se resume la cobertura del resto de los servicios en porcentaje por municipio:

Tabla 11. Cobertura de servicios en los municipios

| Servicio | Erongarícuaro | Tzintzuntzan | Pátzcuaro | Quiroga |
|------------------------------|----------------------|--------------|-----------|---------|
| | Cobertura (%) | | | |
| <i>Electrificación</i> | 90 | 95 | 95 | |
| <i>Pavimentación</i> | 20 | 20 | 20 | 40 |
| <i>Alumbrado Público</i> | 100 | 95 | 95 | 90 |
| <i>Recolección de Basura</i> | 60 | 10 | 30 | 10 |
| <i>Mercado</i> | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <i>Rastro</i> | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <i>Panteón</i> | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <i>Cloración del Agua</i> | 70 | 40 | 50 | 50 |
| <i>Seguridad Pública</i> | 50 | 50 | 80 | 50 |
| Parques y Jardines | 10 | 100 | 100 | 100 |
| Edificios Públicos | 10 | 100 | 50 | 40 |

Fuente: Enciclopedia de los Municipios, 2000.

4.3. Aspectos económicos

4.3.1. Actividades productivas

Las principales actividades económicas en el área de estudio son: el comercio, las artesanías, la producción de muebles, los servicios turísticos, la ganadería, la fruticultura, la agricultura, la pesca y los recursos forestales. En general, con baja densidad económica, tecnológica y de mercado.

La economía de la región se basa en microempresas familiares de actividades múltiples, con gran potencial de evolución. Algunas de las carencias de estas empresas son: un mercado restringido, la competitividad, la dificultad para acceder al financiamiento y a las nuevas tecnologías (PNUD-Semarnat, 1997).

Las actividades económicas en la cuenca se fundamentan en la diversidad de los productos ya que por ejemplo, si en una comunidad la actividad básica es la agricultura, para la subsistencia familiar se realizan otras actividades como la recolección vegetal, producción forestal, caza, pesca, ganadería de traspatio y artesanías. La combinación de todas estas prácticas otorga a las familias un marco de estabilidad contra las fluctuaciones del mercado y de los cambios en el medio ambiente. En este tipo de economía se optimiza el aprovechamiento de productos de los diferentes ecosistemas a través de cada época del año. En este sistema económico la producción es básicamente de subsistencia (Toledo, M. 1980 y Argueta, A.1984).

4.3.1.1. Producción agropecuaria

Poco menos del 25% de la superficie total de la cuenca se utiliza para la agricultura. Sin embargo no toda se cultiva anualmente, más de la mitad se deja descansar por uno o dos años. Gran parte de la superficie agrícola tiene un doble propósito, además del grano de maíz se aprovechan los esquilmos para alimentar el ganado. El principal cultivo es el maíz, y otros productos son el trigo, la avena y árboles frutícolas (Gómez, *et. al* 2001).

Actualmente predomina el uso de fertilizantes sin que por ello se haya incrementado significativamente la productividad de las tierras. Se estima que en la cuenca se utilizan anualmente entre 5000 y 10000 toneladas de fertilizantes químicos en la agricultura. El acarreo de estos químicos al lago contribuye al proceso de eutroficación por sobrefertilización, además de los propios daños provocados al suelo (Toledo, *et. al*. 1996).

La actividad ganadera esta estrechamente ligada con la agrícola, aproximadamente el 30% de la superficie total son pastizales aprovechados por el ganado bovino y equino. Se trata de pastizales naturales cuyo poblamiento se ha debido a la remoción del bosque. El aprovechamiento de estos pastos es extensivo y funciona como complemento alimenticio del ganado (Gómez, *op. Cit.*).

En la cuenca se utilizan algunos de los plaguicidas catalogados como de riesgo y considerados en la lista llamadas "Docena Maldita", como son el Paration, Heptacloro, BHC, Aldrin y Lindano. Un reporte sobre la presencia de plaguicidas en el lago indican la presencia de 7 en el agua (Toledo, *et. al* 1996)

El cambio de uso de suelo, de tierras forestales para dedicarlas a la actividad agropecuaria lesiona gravemente el equilibrio de la cuenca, contribuyendo al proceso de erosión, enzolvamiento y disminución de la profundidad del lago al afectar el proceso de infiltración del agua (Gómez, *op. Cit.*).

4.3.1.2. Producción forestal

La superficie arbolada representa el 32% del total de la cuenca. Si bien, dicha superficie no es totalmente maderable, en la mayoría de los bosques de la región se extrae resina y madera aserrable (Navia, *et. al.* , 2001).

La mayor parte de los bosques son propiedad de comunidades indígenas (47.2 %) y ejidos (28.5%); es decir que el 75.7% de la superficie arbolada está en manos de formas organizativas de propiedad social o colectiva y menos de la cuarta parte en propiedad privada (Navia, *op. cit.*).

Predominan asociaciones pino-encino localizadas en las partes medias y altas de los cerros, encinos y matorrales en las partes medias.

Su utilización es múltiple, para uso doméstico, como leña en las comunidades alfareras, para la producción de artesanías en madera y también se comercia la madera en pie a los aserraderos que la distribuyen local y nacionalmente.

En general, el manejo del bosque es extractivo, no existe un manejo silvícola que cuide el recurso. No hay un adecuado control de plagas y el derribo de árboles responde a criterios inadecuados. La tecnología utilizada para la extracción se caracteriza por el uso de hachas y motosierras. Una vez en los aserraderos se la corta en tablas. Estas técnicas implican un alto nivel de desperdicio.

Se estima que entre 1963 y 1991 la superficie arbolada ha disminuido a casi la mitad. En esta pérdida destacan los municipios de Quiroga, Pátzcuaro y Tzintzuntzan (Navia, *et. al.* , 2001).

En el primero destaca el uso de la madera para la producción artesanal. En los otros dos para los aserraderos, aunque en Tzintzuntzan también como leña para los hornos alfareros. La tala clandestina es de radical importancia, se estima que, de cada 4 metros cúbicos de madera que ingresan a los aserraderos de la región, tres son clandestinos (Navia, *et. al.* , 2001).

La Dirección General Forestal de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal del Gobierno del Estado de Michoacán, para la realización del inventario forestal estatal clasificó el bosque con base en cinco rangos volumétricos, usando como parámetro las existencias reales por hectárea de cada uno de los rodales

que lo componen. Producto de esta agregación, la superficie forestal total de la cuenca del lago de Pátzcuaro, divididas por municipio según se presenta en la siguiente tabla (Navia, *et. al.* 2001):

Tabla 12. Superficie forestal de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro

| Superficie Forestal (Has) | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Municipio | Comercial | No comercial | Suma | Total |
| Pátzcuaro | 9,846 | 4,376 | 14,222 | 34,101 |
| Erongarícuaro | 4,370 | 1,740 | 6,110 | 21,755 |
| Quiroga | 2,625 | 3,368 | 5,993 | 16,258 |
| Tzintzuntzan | - | 1,364 | 1,364 | 13,020 |
| Total | 16,841 | 10,848 | 27,689 | 85,134 |

Fuente: Navia, *et. al* 2001.

4.3.1.3. Pesca

La ictiofauna que habita el lago está constituida por 14 especies, diez nativas y cuatro introducidas. De las más importante es el pescado blanco (endémica) y la carpa (introducida).

En el lago de Pátzcuaro se desarrolla una pesquería de tipo artesanal, es decir, a una escala de operación limitada, un gran número de embarcaciones pequeñas, un amplio requerimiento de mano de obra, escasa utilización de capital y técnicas rudimentarias (Semarnat,1999).

Existen 24 comunidades ribereñas e isleñas que participan de la pesca, organizadas en 29 uniones de pescadores y una sociedad cooperativa de producción pesquera, todas constituidas entre 1980 y 1985. Estos esquemas administrativos dieron origen a una organización de segundo nivel: La Unión Regional de Pescadores del Lago de Pátzcuaro. En 1986 había registrados 1337 pescadores, agrupados, 30 en cooperativas, 1,057 en uniones y 25 libres. Para 1991 se estimaba un total aproximado de entre 1,500 y 2,000 pescadores. No existen cifras aproximadas de a cuanto asciende la población flotante de pescadores. Por otra parte, se observa un incremento en la actividad pesquera por parte de pescadores libres o no registrados, lo que se explica por la crisis ya que la pesca representa una alternativa de sobrevivencia para el grueso de la población ribereña (Semarnat, 1999).

Se utilizan cinco artes de pesca:

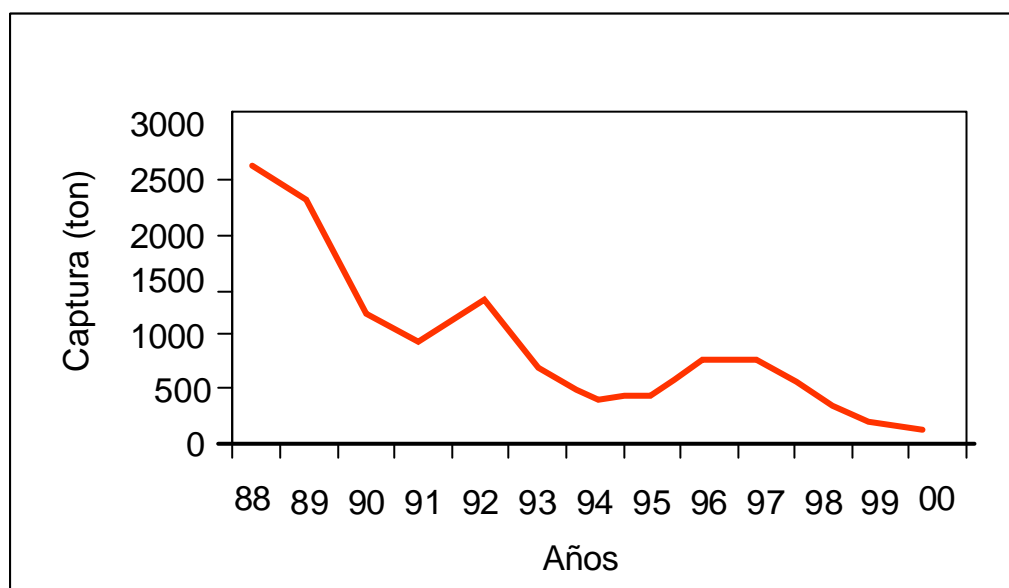
- Redes agalleras (cherémecuas),
- chinchorros
- redes de mariposa (guaromútacua)
- anzuelos y fisgas

Existen dos tipos de embarcaciones, la más común es el cayuco (embarcaciones de madera elaboradas con troncos de pino excavado impulsado por remos), en 1986 se reportaron 1,650 cayucos y una lancha a motor.

Se estima que tanto el pescado blanco como la lobina negra han sido sobreexplotados, ya que, aún siendo las más rentables, ha disminuido su captura en los últimos años. En 1988 la captura en el lago fue de 2,523.2 ton; sin embargo, a partir de 1989 se inició un descenso paulatino. En 1995 fueron obtenidas alrededor de 500 ton, con un ligero incremento observado en los años siguientes: 564.6 ton en 1996 y 593.2 en 1997 y nuevamente disminuir para el año 2000 (ver figura 3).

La tendencia a la baja se ha mantenido, a pesar de haber disminuido el número de pescadores registrados (La pesquería del Lago de Pátzcuaro en www.inp.semarnat.gob.mx). Solamente una parte del total de los pescadores se dedica exclusivamente a la pesca, el 38% tiene ingresos derivados de otras actividades y el 24% se dedica también a la agricultura, (Toledo V. M., *et. al.* 1996).

Figura 3. Producción pesquera en el lago de Pátzcuaro (1988 a 2000)



Fuente: <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/michoacan/pesca/datos/patzcuaro.html>

4.3.1.4. Artesanías

Arraigada en la cultura Purépecha desde siempre, la artesanía, por su enorme variedad y riqueza es un innegable distintivo de la región lacustre. Su presencia es evidente en casi todas las comunidades.

Las ramas artesanales que se registran desde la época prehispánica son:

- Tallado de piedra y cantera
- Alfarería
- Textiles elaborados en telares de cintura
- Petates de tule y chuspata
- Tallados en madera y laca

La artesanía es elaborada fundamentalmente por unidades no capitalistas de producción. Predomina la unidad productiva doméstica, caracterizada por la amplia utilización de mano de obra, en el propio domicilio, de los miembros de la familia mayores de 10 años. En parte debido a esta forma de producción, existe un vacío organizativo regional de los artesanos (Semarnat, 1999).

En la tabla 13 se presenta la producción artesanal de la región

Tabla 13. Producción artesanal en los municipios aledaños al lago de Pátzcuaro.

| Artesanía | Localidad donde se desarrolla |
|--------------------------------------|--|
| Sombreros y artículos de palma | Se producen en Paracho, Arantepacua, Zacán, Charapan y Jarácuaro. No se extraen recursos naturales de la cuenca para la producción. |
| Figuras de tule y chuspata | Se producen en Ihuatzio, Cucuchuchu, San Andrés, Arócutin, Jarácuaro, Napízaro, Pichátaro, Puácuaro, San Jerónimo, Tarerio, Espíritu y Uricho |
| Figuras de Panicua (popote de trigo) | Se producen en San Jerónimo, Tarerio, Lázaro Cárdenas, Tzintzuntzan y Ucasanástacua. Se trata de una innovación artesanal que se empezó a utilizar en la cuenca desde la segunda y tercera década de este siglo. |
| Maderas | Quiroga es la principal productora, existen 165 talleres artesanales de madera, le sigue Pátzcuaro con 41, Tócuaro con 22, Pichátaro, Erongaricuaró y Tzintzuntzan. La producción de esta artesanía representa en el campo ecológico uno de los principales problemas de la región, por el saqueo de la madera y la tala inmoderada. |
| Alfarería | Se realiza en Santa Fe de la Laguna, Tzintzuntzan, Lázaro Cárdenas. La elaboración de productos de barro con más de dos mil años de tradición. El barro se extrae de las inmediaciones de las comunidades, la inadecuada técnica de extracción del barro provoca erosión. Por otra parte, la gran |

| Artesanía | Localidad donde se desarrolla |
|-----------|--|
| | cantidad de leña que se utiliza en los hornos para el quemado de las piezas ejerce una gran presión sobre el bosque. Existen en la cuenca 347 talleres familiares que trabajan todo el año y más 205 que trabajan sólo una temporada. En total se consumen 2 mil 157 toneladas de leña anualmente. |
| Textiles | Se producen en Erongarícuaro, Tócuaro, Arócutin, Nocutzepo, Huecorio, San Jerónimo, San Andrés, Pichátaro y Pátzcuaro. Es una de las artes más antiguas de la región, es una actividad que llevan acabo las mujeres para complementar la economía familiar. |
| Cantería | Se realiza en Patambicho, Ojo de Agua Actualmente, sólo 35 familias continúan realizando esta actividad. |

Fuente: Semarnat, 1999. <http://www.semarnat.gob.mx/regiones/patzcuaro/economia.shtml>

4.3.2. Participación Económica

La cuenca presenta una tasa de participación económica del 48.27%, y una tasa de ocupación de 98.97 %. En la tabla 14 se resume la participación económica al año 2000 de cada uno de los municipios ribereños de la cuenca.

Tabla 14. Participación Económica de la población por municipio

| Participación económica al 2000 | Erongarícuaro | Tzintzuntzan | Pátzcuaro | Quiroga |
|---------------------------------|---------------|--------------|-----------|---------|
| | habitantes | | | |
| PEA Total | 4,120 | 9,027 | 25,654 | 4,037 |
| PEA Ocupada | 4,064 | 8,991 | 25,328 | 4,013 |
| PEA Desocupada | 56 | 36 | 326 | 24 |
| PEA No especificada | 185 | 330 | 1,237 | 330 |
| PEA Inactiva | 5,224 | 7,801 | 27,928 | 4,465 |

Fuente: INEGI, 2000. SNIM, 2004. vs. 7.0.

4.3.3. Empleo

Es una de las variables más importantes en el proceso para la determinación de los estándares de población en relación con el mercado de trabajo, y en particular con la estructura económica de la región, debido a que permite definir con cierta lucidez las principales actividades económicas.

Como se observa en la figura 4 y tabla 15, los sectores secundario y terciario, son los que más repercuten en la economía de la población de la cuenca; siendo el comercio, la industria manufacturera y la construcción las actividades de mayor aportación en la región (tabla 16).

Tabla 15. Participación Económica de la Población por Sector Productivo al 2000.

| Sector | Erongarícuaro | Tzintzuntzan | Pátzcuaro | Quiroga |
|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | Habitantes/% | | | |
| Primario | 939 | 687 | 3,244 | 1,047 |
| | 23.1 | 17.11 | 12.8 | 11.64 |
| Secundario | 2,099 | 1,982 | 7,396 | 4,720 |
| | 51.64 | 49.38 | 29.20 | 52.49 |
| Terciario | 957 | 1,239 | 13,908 | 3,021 |
| | 23.54 | 30.87 | 54.91 | 33.60 |

Fuente: SNIM, 2004. vs. 7.0.

Figura 4. Población Económicamente Activa por sector de actividad 2000

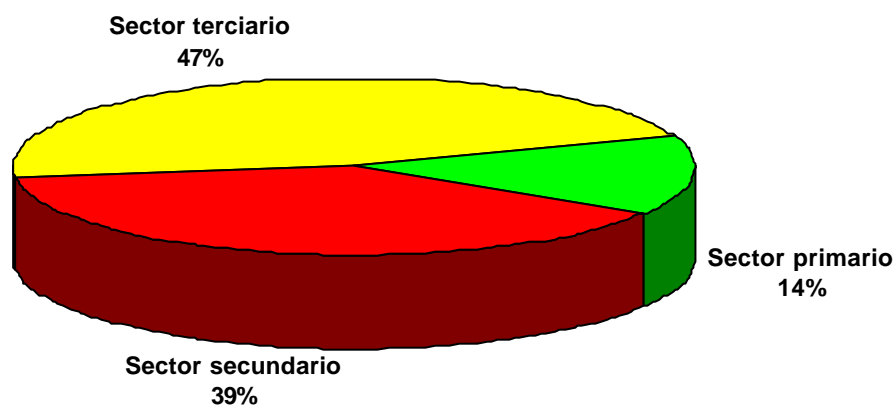


Tabla 16. Participación Económica de la Población por rama de actividad

| Sector | Población ocupada por rama de actividad | Erongarícuaro | Tzintzuntzan | Pátzcuaro | Quiroga |
|------------|--|---------------|--------------|-----------|---------|
| | | % | | | |
| Primario | <i>PEA Agricultura, Ganadería y caza</i> | 23 | 17.11 | 12.80 | 11.64 |
| Secundario | <i>PEA Minería</i> | 0.24 | 0.24 | 0.18 | 0.05 |
| | <i>PEA Industrias Manufactureras</i> | 38.63 | 36.65 | 18.78 | 42.46 |
| | <i>PEA Electricidad y Agua</i> | 0.09 | 0.02 | 0.55 | 0.08 |
| | <i>PEA Construcción</i> | 12.67 | 12.45 | 9.68 | 9.88 |
| Terciario | <i>PEA Comercio</i> | 7.08 | 11.68 | 20.40 | 17.95 |

| Sector | Población ocupada por rama de actividad | Erongarícuaro | Tzintzuntzan | Pátzcuaro | Quiroga |
|--------|--|---------------|--------------|-----------|---------|
| | | % | | | |
| | <i>PEA Transporte y Comunicaciones</i> | 1.67 | 1.54 | 4.75 | 0.94 |
| | <i>PEA Servicios Financieros</i> | 0.02 | 0.02 | 0.37 | 0.15 |
| | <i>PEA Actividad Gobierno</i> | 1.67 | 2.09 | 2.63 | 1.06 |
| | <i>PEA Servs. de Esparcimiento y Cultura</i> | 0.63 | 1.17 | 0.88 | 0.37 |
| | <i>PEA Servs. Profesionales</i> | 0.36 | 0.14 | 1.21 | 0.37 |
| | <i>PEA Servs. Restaurantes y Hoteles</i> | 1.32 | 3.11 | 5.76 | 3.53 |
| | <i>PEA Servs. Inmobiliarios y bienes inmuebles</i> | 0.09 | 0.07 | 0.21 | 0.13 |
| | <i>PEA Otros excepto gobierno</i> | 4.45 | 3.98 | 9.01 | 4.40 |
| | <i>PEA Servs. de Salud y Asist. Social</i> | 0.73 | 0.84 | 2.08 | 0.94 |
| | <i>PEA Apoyo a los negocios</i> | 0.22 | 0.22 | 0.40 | 0.16 |
| | <i>PEA Servs. Educativos</i> | 5.24 | 5.95 | 7.14 | 3.53 |

4.4. Aspectos institucionales

Algunos de los programas se citan a continuación:

- a) Plan Estatal de Desarrollo Integral (1996 -2001). En él se incluyen criterios muy generales en materia ambiental y como ejemplo, por el desconocimiento, carece de propuestas para proteger y restaurar la red hidrológica que provee de agua a las poblaciones en la cuenca de Pátzcuaro, siendo esta prioritaria en su protección.
- b) Programas sectoriales. En la cuenca existen Programas sectoriales escasos relacionados con la cuestión ambiental; en 1986 SEDUE formuló el anteproyecto del ordenamiento ecológico de Pátzcuaro, el cual está en proceso de elaboración y se lleva a cabo por el INIRENA de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH); SDAF-COFOM generó en el año 2000 la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Michoacán y tiene en proceso Programa forestal de mediano y largo plazo.
- c) Programas Municipales de desarrollo. Los municipios de Pátzcuaro y Tzintzuntzan tienen en terminación sus planes de desarrollo, sin embargo, aún es necesario una planeación concertada con las diferentes instituciones, sector privado y sociedad en general.

A. Instrumentos de la gestión ambiental:

- Capacidades gubernamentales. En su contexto legal la cuenca de Pátzcuaro, cuenta desde 1996 con instrumentos como la Coordinación de Desarrollo Regional Pátzcuaro-Zirahuén por parte del Gobierno del Estado cuya función es apoyar los planes de desarrollo de la región y facilitar la participación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) y Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal (SDAF).
- Unidades operativas desconcentradas. Existen delegaciones de SEMARNAP, SAGAR y PROFEPA para atender asuntos de competencia federal.
- Instrumentos jurídicos y normativos. En el aspecto jurídico, la emisión de las leyes, reglamentos, decretos y normas relacionadas con el uso, manejo y conservación del medio ambiente se basan en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General del Equilibrio Ecológico, Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley de Pesca, Ley Forestal, Constitución Política del Estado Libre de Michoacán de Ocampo y la Ley Orgánica Municipal.

A nivel municipal no existe reglamentación específica que se aplique directamente a las cuestiones ambientales, aunque en Pátzcuaro la normatividad se complementa con reglamentos de cada regiduría, incluyendo la de Ecología. En Quiroga se tiene el reglamento de urbanismo, es importante que esta reglamentación se revise y actualice en su caso.

- d) Recursos presupuestales. En los últimos años los tres niveles de gobierno, ONGs e instituciones académicas han destinado recursos financieros para el estudio y la protección de la cuenca, sin embargo esta asignación queda rebasada tanto por la intensa problemática ambiental como por las necesidades de las comunidades, además de que se han realizado en forma poco articulada, requiriéndose una mayor coordinación.

Los recursos económicos se han enfocado fundamentalmente al agua potable, saneamiento de aguas residuales, reforestación, control de azolve, conservación de suelos, servicio de limpieza, conservación de especies y reservas para el pez blanco.

Las instituciones estatales han dirigido recursos especiales para actividades relacionadas con el dragado, reproducción de alevines y creación de áreas para el cultivo de hortalizas. Se ha llevado a cabo una rehabilitación de obras para el saneamiento de aguas residuales de Janitzio, Pátzcuaro y Quiroga, la de drenes y canales del Distrito de Tzurumútaró.

Sin embargo es claro que la problemática ambiental rebasa la capacidad financiera de los ayuntamientos de la cuenca, por lo que es necesario que el Estado y la federación se coordinen para el diseño de los programas presupuestales y la distribución adecuada de los recursos.

- e) Administración y Gestión del agua. Dentro de la administración del agua Organismos Operadores de Agua Potable de los cuatro municipios (OAPAS), Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Estado de Michoacán (COMAPAS), la Comisión Nacional del Agua (CNA),
- Instrumentos normativos en materia de agua. Ley de Aguas Nacionales (LAN), con respecto a agua potable NOM-ECOL-127, normas aplicadas a descargas NOM-ECOL-001 y NOM-ECOL-002, y para los cuerpos receptores se consideran los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua.

4.5. Investigaciones y otros estudios

El CREFAL (Centro Regional para Educación Fundamental de América Latina) generó en 1979 el Diagnóstico documental e institucional de la zona lacustre de Pátzcuaro, en esta obra se plantean hasta ese momento, toda una serie de documentos de carácter social y económico en los que se analiza la situación de las comunidades del lago y su problemática. Otro autor que hizo una primera aproximación a las condiciones de la geografía de Pátzcuaro bajo un punto de vista geográfico fue Barrera (1984).

Chacón (1993), escribió la obra Pátzcuaro un Lago Amenazado, en donde enfatizará n desde el punto de vista limnológico la importancia del cuerpo de agua. Díaz-Barriga y Bello (1993) escribieron la Contribución al conocimiento de la flora de la Cuenca del lago de Pátzcuaro, en donde se hace una análisis de la vegetación silvestre que se presenta en diversas comunidades vegetales de la cuenca.

En 1993 un grupo de investigadores de diferentes disciplinas sociales, ambientales y económicas, se unieron para elaborar un diagnóstico que describiera los problemas de la cuenca, este documento se tituló Plan Pátzcuaro 2000. Este trabajo representó un primer esfuerzo por ordenar e integrar la información sobre la problemática de la cuenca y estimular la movilización de los sectores de la sociedad con el objetivo de rehabilitar la cuenca y promover un desarrollo sustentable en la región.

En 1996, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), promovió un proyecto para “El fortalecimiento de la sociedad civil, políticas públicas y desarrollo sostenible en México”. Este proyecto se realizó con la SEMARNAP, y retomo el esfuerzo del Plan Pátzcuaro 2000, además de que invitó la participación de organizaciones civiles, mismas que conforman la Coordinación para el Desarrollo sostenible de la Cuenca de Pátzcuaro (CODESPATZ).

En 1997 se coordinó la realización de un informe que llevaría por nombre “Pátzcuaro el Lago que queremos”, que se realizó con apoyo del gobierno federal y PNUD, en un cartel que ilustra la problemática de la cuenca con datos consensuados de las instituciones participantes.

En 2003 la Fundación Gonzalo Río Arronte, y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), mediante la firma de un convenio de colaboración con el gobierno del estado de Michoacán y los gobiernos municipales de Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan y Erongarícuaro, formularon el proyecto denominado *Programa para la recuperación ambiental de la cuenca del lago de Pátzcuaro (Primera etapa)*, a desarrollarse en el periodo 2003-2004 con una posible extensión al año 2007.

5. INDICADORES Y MARCO DE REFERENCIA PER

5.1. Indicadores

Los indicadores están siendo utilizados como una herramienta que permite señalar las prioridades en el desarrollo de políticas y la disposición de recursos financieros por gobiernos nacionales y organismos internacionales hacia la medición del comportamiento ambiental y el avance hacia el desarrollo sustentable (OECD, 1993).

La formulación de indicadores reconoce la necesidad de monitorear el impacto humano sobre el medio natural y además, tratar de relacionar los niveles de uso humano hacia un recurso natural reproducible. El desarrollo de indicadores es relevante en los procesos de análisis, comprensión, creación y modificación de sistemas de todo tipo; permiten entender a un sistema específico en comparación con otros sistemas similares o muy parecidos, y analizar las evoluciones de cada sistema a lo largo del tiempo.

Se puede esperar que los indicadores y su medición puedan ser valoraciones exactas de las estrategias de manejo de ecosistemas naturales y urbanos. Un marco de evaluación de sustentabilidad que incorpore indicadores debe integrar lo siguiente:

- Delimitar claramente el problema bajo estudio; y
- relacionar los principios generales de sustentabilidad con criterios de diagnóstico seleccionados para el objeto de estudio.

El desarrollo de un conjunto de indicadores de sustentabilidad ambiental debe cubrir las siguientes funciones básicas (Saldívar, 2000):

- Determinar los cambios y condiciones ambientales con relación a la sociedad y los procesos de desarrollo.
- Diagnosticar las causas potenciales y los efectos de los problemas existentes que han sido detectados o los cambios en el estado del ambiente para elaborar las respuestas y acciones adecuadas.
- Predecir impactos futuros de las actividades humanas que modifiquen el ambiente, y proponer estrategias alternativas y acciones políticas.
- Generar una conciencia ecológica general y en los tomadores de decisiones.
- Difundir un adecuado conocimiento de los procesos de desarrollo y el entorno ecológico en cuanto a su trama y equilibrio.
- Proveer información confiable y comprensible acerca de los costos y beneficios de un desarrollo compatible con el entorno natural.

5.2. Modelo Presión-Estado Respuesta (PER)

La aplicación del modelo PER permite evaluar el grado de desempeño del Desarrollo Sustentable a través de un grupo de indicadores seleccionados.

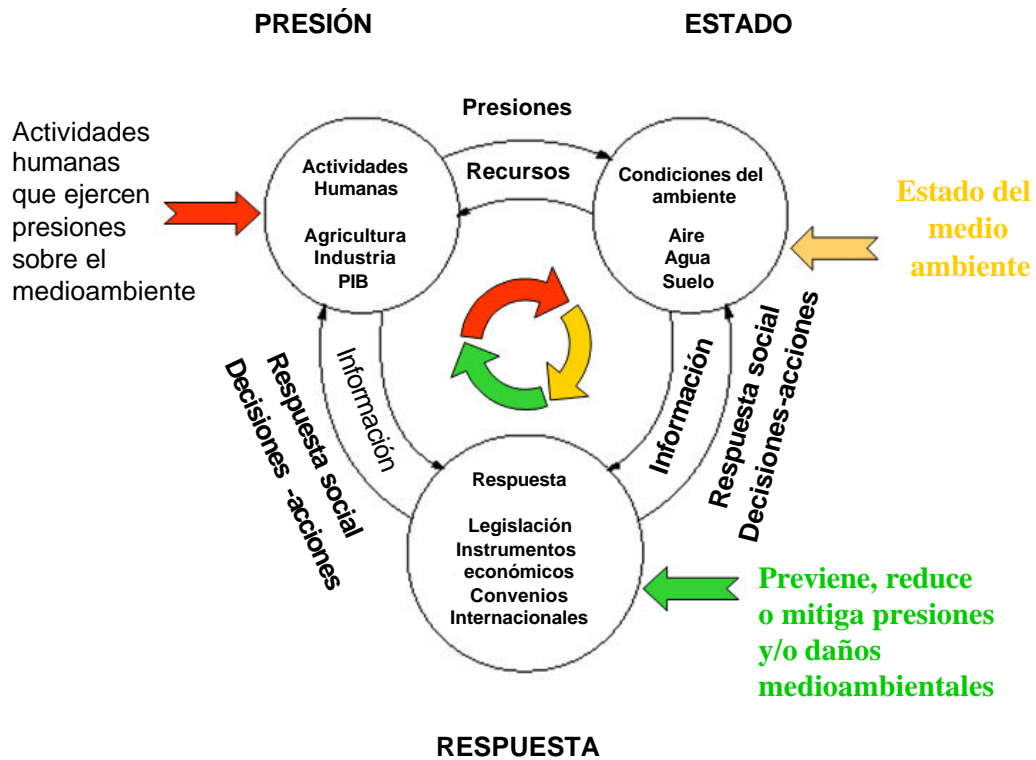
El método PER establece que **actividades humanas ejercen presiones** (tales como emisiones contaminantes o cambios en el uso de la tierra) sobre el medio ambiente, las cuales pueden **inducir cambios en el estado del medio ambiente** (por ejemplo, variaciones en los niveles de contaminación del ambiente, diversidad de hábitat, flujos de agua, etc). La **sociedad entonces responde** a las alteraciones en las presiones o estado con políticas económicas y medioambientales, programas oportunos para prevenir, reducir o mitigar presiones y / o daños medioambientales (figura 5).

El modelo constituye sin duda toda una estrategia integral y comprensiva que resulta bastante útil para tener una visión global, sintética y de interfase durante la aplicación y ejecución de las distintas fases del proyecto (OECD, 1993).

En el término de Presión ("Driving Forces"), se trata de integrar de manera adecuada los indicadores económicos, sociales e institucionales con aquellas actividades humanas, procesos y patrones que impactan o afectan de alguna manera en el desarrollo sustentable (OECD, *op.cit.*)

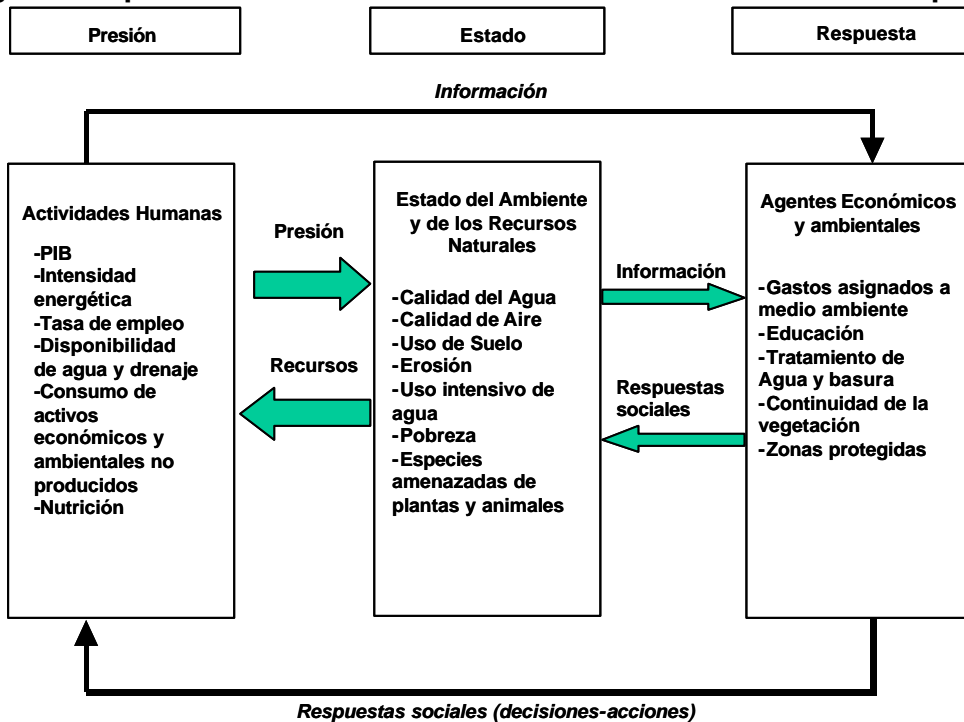
Están a menudo clasificadas como factores o fuerzas subyacentes tales como, crecimiento poblacional, consumo o pobreza. Las presiones sobre el medio ambiente son consideradas frecuentemente desde una perspectiva política como punto de partida para abordar los asuntos medioambientales y desde el punto de vista del indicador, cuando se encuentran disponibles para el análisis y son derivadas de bases de datos de seguimiento socio económicos, medioambientales y otros.

Figura 1. Modelo Presión – Estado – Respuesta



Fuente: Adapted from: Pinter *et al*/UNEP, IISD & Ecologistics International, 1999.

Figura 2. Tipos de indicadores del modelo Presión – Estado – Respuesta



Fuente: OCDE, 1993.

Los indicadores de Estado ("State") muestran la situación actual del desarrollo generalmente insustentable. El estado del medio ambiente afectará, a su vez, la salud humana y el bienestar social. Por ejemplo, un incremento en la degradación del suelo conducirá a uno o varios de los siguientes factores: disminución en la producción de alimento, incremento de alimento importado, incremento en el uso de fertilizantes, malnutrición, etc. Es importante entender tanto el estado del medio ambiente como los efectos indirectos. Los indicadores de estado deberían plantearse para responder a las presiones y al mismo tiempo facilitar acciones correctivas.

Los indicadores de Respuesta ("Response") señalan las acciones, opciones políticas y otras medidas tendientes a modificar y cambiar el "estado" del desarrollo sustentable.

El componente de respuesta del marco de referencia PER está relacionado con las acciones tomadas por la sociedad, individual o colectivamente, que son diseñadas para facilitar o prevenir impactos medioambientales negativos con el fin de corregir el daño existente o de conservar los recursos naturales. Esas respuestas pueden incluir acciones reguladoras, gastos medioambientales o de investigación, opinión pública y preferencia del consumidor, cambios en las estrategias de manejo y suministro de información medioambiental. Las respuestas deberían estar diseñadas para actuar sobre las presiones pero pueden al mismo tiempo tener un impacto modificador en los indicadores de estado.

Tabla 1. Modelo Presión-Estado Respuesta

| Presión (Causas) | Estado (Condición) | Respuesta (Acciones) |
|---|--|---|
| Acciones y/o actividades generadoras de la problemática (actividades humanas) | Situación actual y tendencias del recurso o estrato ambiental (calidad y/o cantidad) | Acciones realizadas para la atención de la problemática (gastos, educación, tratamientos, etc.) |
| Percepciones ambientales y prácticas sociales | Comportamiento del fenómeno | Aplicación de políticas, programas, estrategias y gestión pública |
| Impactos sobre el medio ambiente | Indicadores = modelos Valores de comparación y sistemas de información | Escenarios prospectivos (proyectos, evaluación y metas) |

Fuente: Torres, *et. al.* 2000.

El modelo incluye cinco grupos de verificadores:

- el primero debe observar las causas de los problemas ambientales (presión sobre el medio ambiente),
- el segundo se relaciona con la calidad del medio ambiente en función de los efectos de las acciones antropogénicas (estado del medio ambiente),
- observa el impacto/efecto de las actividades humanas sobre el medio ambiente y viceversa (impacto sobre el medio ambiente y la sociedad);

-
- se refiere a las medidas y respuestas que toma la sociedad para mejorar el medio ambiente (respuesta sobre el medio ambiente).
 - son indicadores se relacionan con los progresos necesarios para la sustentabilidad (progresos hacia la sustentabilidad).

El tipo de relaciones PER no es lineal y el uso del modelo conduce más bien a una clasificación de grupos. No obstante la organización de los indicadores dentro del marco conceptual adoptado, este modelo permite visualizar algunas de las interacciones y relaciones existentes y tener una visión de conjunto acerca del proceso de desarrollo y sus relaciones con el medio ambiente Para lograr la definición de estas interacciones y las relaciones existentes, se toma en consideración una serie de criterios (fundamentados científicamente y percibidos socialmente) que determinan el indicador y su nivel de importancia (Torres, *et. al.* 2000).

Esto implica necesariamente el establecimiento de criterios que permitan definir la importancia relativa que tienen los objetos de análisis y los niveles de jerarquización en la formulación de los indicadores. Desde el punto de vista técnico ambiental, se definen los niveles y escalas para analizar e identificar la relación causal del desarrollo.

6. METODOLOGIA

6.1. Identificación de la problemática general de la región

Esta tarea consistió en identificar y caracterizar el sistema a analizar, incluyendo el contexto socioambiental en donde está inmerso y la escala espacial y temporal de la evaluación.

Obteniéndose como resultado de esta actividad las condiciones generales que describen la problemática de la cuenca.

6.2. Selección de indicadores para aplicación del modelo PER

Un indicador describe un proceso específico, por lo que no existe una lista de indicadores universales, la selección de estos depende del problema, sistema o cuenca bajo estudio, y de la escala del proyecto, del tipo de acceso y de la disponibilidad de los datos. El conjunto de indicadores para la evaluación debe ser sensible y tener bases estadísticas o mediciones suficientes. Para esto solo se considerarán indicadores con influencia crítica y que cumplan con las siguientes características:

- a) ser integradores, es decir que describan otros procesos además del inmediato.
- b) ser fáciles de medir, susceptibles de monitorear y basarse en información disponible
- c) ser aplicables en un amplio rango de ecosistemas y condiciones socioeconómicas y culturales.
- d) sencillos de entender y estar basados en información confiable
- e) permitir medir cambios en las características de la cuenca en el período de la evaluación

Mediante esta metodología se identifican los puntos críticos del sistema, estos puntos deben ser factores o procesos ambientales, técnicos, sociales y económicos que de forma individual o combinada tienen efecto en la cuenca. Para el caso bajo estudio, relacionado con el manejo del agua del lago de Pátzcuaro, el modelo considera los siguientes puntos:

- observar las causas de los problemas ambientales (presión sobre el recurso agua)
- observar el efecto de las actividades humanas sobre el medio ambiente y viceversa (impacto sobre el agua y la sociedad);
- relacionar los efectos de las acciones antropogénicas con la calidad del medio ambiente (estado)
- observar las respuestas que toma la sociedad para mejorar el medio ambiente (respuesta de la sociedad con respecto al manejo del agua).

6.3. Descripción y monitoreo de indicadores

Este paso incluye el diseño de los instrumentos de análisis de la información requerida para cada uno de los indicadores. La selección del tipo de métodos utilizados para la medición depende de los recursos económicos disponibles y de la accesibilidad de la información. Para la obtención de indicadores se utilizan los siguientes medios de información:

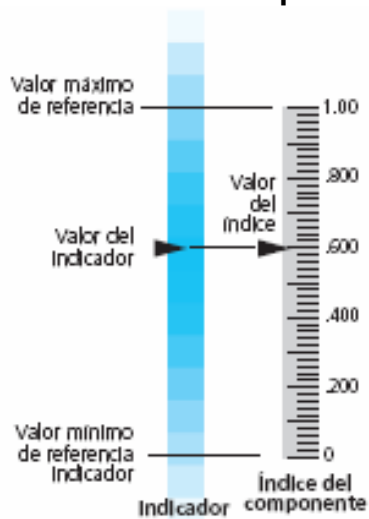
- Revisión bibliográfica sobre las características ambientales y socioeconómicas regionales.
- Acceso a bases de datos con información, social, económica y ambiental.
- Mediciones directas en campo para determinar por ejemplo calidad del agua
- Entrevistas abiertas con personas claves de la comunidad.

6.4. Integración de resultados

Para integrar y sintetizar la información obtenida con el monitoreo de indicadores se cubren los siguientes aspectos:

- Conjuntar los resultados obtenidos por indicador en una sola tabla o matriz
- Determinar umbrales o valores de referencia para cada uno de los indicadores.
- Construir índices para cada indicador a partir de los valores de referencia o umbrales (máximo y mínimo); es importante buscar valores de referencia basados en estadísticas confiables. La importancia de este punto radica en el hecho de que facilita la comparación entre los indicadores con unidades disímiles (ver figura 7).

Figura 1. Cálculo de índices por indicador



El rendimiento en cada índice del componente se expresa como un valor entre 0 y 1, aplicando la siguiente fórmula general:

$$\text{Índice del componente (indicador)} = \frac{\text{valor efectivo} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}$$

- Presentar los resultados de manera conjunta utilizando técnicas de análisis estadístico, se busca con esto la obtención de un índice agregado del sistema analizado.

6.5. Cálculo del índice de sustentabilidad

La metodología empleada para el cálculo del Índice de Sustentabilidad (IDS), se basa en la teoría de decisiones de atributos múltiples, propuesta para la elaboración del índice de sustentabilidad para una región por Saldívar (2000) y Barrera (2004).

Esta teoría permite desglosar el problema a analizar en un árbol de decisiones- elecciones en el que el tronco principal se divide en criterios generales o ramas principales y a su vez en criterios específicos o atributos que precisamente son los indicadores que componen a cada sistema. De esta forma, el problema a evaluar se fracciona en aspectos cada vez más específicos que son más sencillos de medir.

Para el diseño del árbol de decisiones, el primer paso fue definir los criterios generales para el caso de estudio en económicos, sociales y ambientales. En seguida a cada uno de éstos se les asigna un factor de peso de acuerdo con la importancia que toman dentro del “árbol”.

Luego cada uno de los criterios generales se subdivide en criterios específicos (o atributos), que precisamente son los indicadores que componen a cada sistema y a cada atributo se le asigna un factor de peso y una función de utilidad que da uniformidad en unidades y valores. La función de utilidad es la escala de valores con la que se califican el o los aspectos considerados por dicho atributo en la zona y región bajo estudio. Dicha función asocia la variable considerada, por ejemplo, calidad de agua, con una escala de valores adimensional de 0 a 1, (donde 0 expresa el grado más bajo de sustentabilidad y 1 el más alto).

De esta manera se califica la “utilidad” de la dimensión (cuenca, región, delegación, etc.) que se está evaluando. Esta función permite comparar entre sí parámetros que pertenecen a diferentes sistemas y tienen distintas unidades.

Es decir, la escala de valores con la que se califican los indicadores para la zona de estudio queda entre 0 y 1. La cuantificación del Índice de Sustentabilidad (IDS), es el promedio ponderado de los tres atributos generales (Criterios Generales):

Económico ----- A
 Social -----B
 Ambiental-----C

Los factores de peso de las ponderaciones, cumplen las siguientes reglas:

La suma de los factores de peso de los criterios generales debe ser igual a 1, es decir si A, B y C son las ponderaciones de los criterios seleccionados, entonces:

$$A + B + C = 1$$

A su vez la suma de las ponderaciones de los indicadores específicos de cada uno de los criterios generales es también igual a 1, esto es:

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 \dots a_n = 1$$

$$b_1 + b_2 + b_3 + b_4 \dots b_n = 1$$

...

$$n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \dots n_n = 1$$

Por lo tanto:

IDS = Índice de sustentabilidad

$$IDS = \sum_{j=1}^3 FIG_j \frac{1}{n_{ij}} \sum_{k=1}^{n_{ij}} VA_{ji} F_{ji}$$

donde:

FIG_j = Factor de peso del j-ésimo Indicador General.

VA_{ji} = Valor del i-ésimo Indicador específico del j-ésimo indicador general.

F_{ji} = Factor de peso del i-ésimo indicador específico perteneciente al j-ésimo indicador general.

n_{ij} = Número de Indicadores específicos del j-ésimo indicador general.

Si un Indicador Específico está subdividido en Sub-Indicadores específicos, entonces:

$$VA_{ji} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{k=1}^{n_{ij}} VSI_{jik} FSI_{jik}$$

donde:

VSI_{jik} = Valor del k-ésimo Sub-Indicador específico del i-ésimo Indicador específico que está debajo del j-ésimo indicador general.

FSI_{jik} = Factor de peso del k-ésimo Sub-Indicador específico perteneciente al i-ésimo indicador específico que está debajo del j-ésimo Indicador general

n_{ji} = Número de Sub-Indicadores específicos del i-ésimo Indicador específico que está debajo del j-ésimo indicador general.

Bajo este esquema general es posible construir escenarios de análisis, en los que es posible representar mayor importancia relativa de alguno de los sistemas (criterios generales), y con ello poder verificar el manejo de los recursos en los municipios de la cuenca del lago de Pátzcuaro.

Los escenarios propuestos son:

- Igual importancia a los tres sistemas (igual importancia relativa de los tres criterios generales)
- Mayor importancia al sistema ambiental.
- Mayor importancia al sistema social.
- Mayor importancia al sistema económico.

7. RESULTADOS

7.1. Identificación de la problemática general de la región

El lago, al ser un cuerpo receptor de agua endorreico, padece los efectos de los procesos realizados en la cuenca, desde la deforestación aparejada con el incremento de la erosión y pérdida de los suelos hasta el escaso o nulo tratamiento de las aguas residuales que drenan hacia el lago y que deterioran el ambiente acuático.

En particular, la cuenca enfrenta la siguiente problemática:

Deforestación de grandes extensiones de bosques que son objeto de una tala inmoderada; al cambio de uso de suelo para actividades agrícolas o ganaderas. La deforestación, contribuye al proceso de erosión, y disminuye la capacidad de infiltración de agua que llega al lago, afectando su profundidad (Navia, 2000).

La lluvia en la región ha disminuido durante los últimos 16 años, afectando los niveles del lago. En el Lago de Pátzcuaro, el balance del agua es controlado básicamente por la lluvia, la evaporación y la infiltración procedente del área de captación. Las tasas de evaporación del espejo de agua son por lo general más altas que las entradas por precipitación (Semarnat, 2000).

Otro de los principales problemas que afecta al lago es el aumento de la turbidez relacionada con los procesos de erosión de la cuenca de drenaje. Las pendientes altas y abruptas del terreno aceleran la tasa de pérdida de suelo de la cuenca, con el consecuente aumento en la sedimentación y salinización del vaso (Semarnat, 1999).

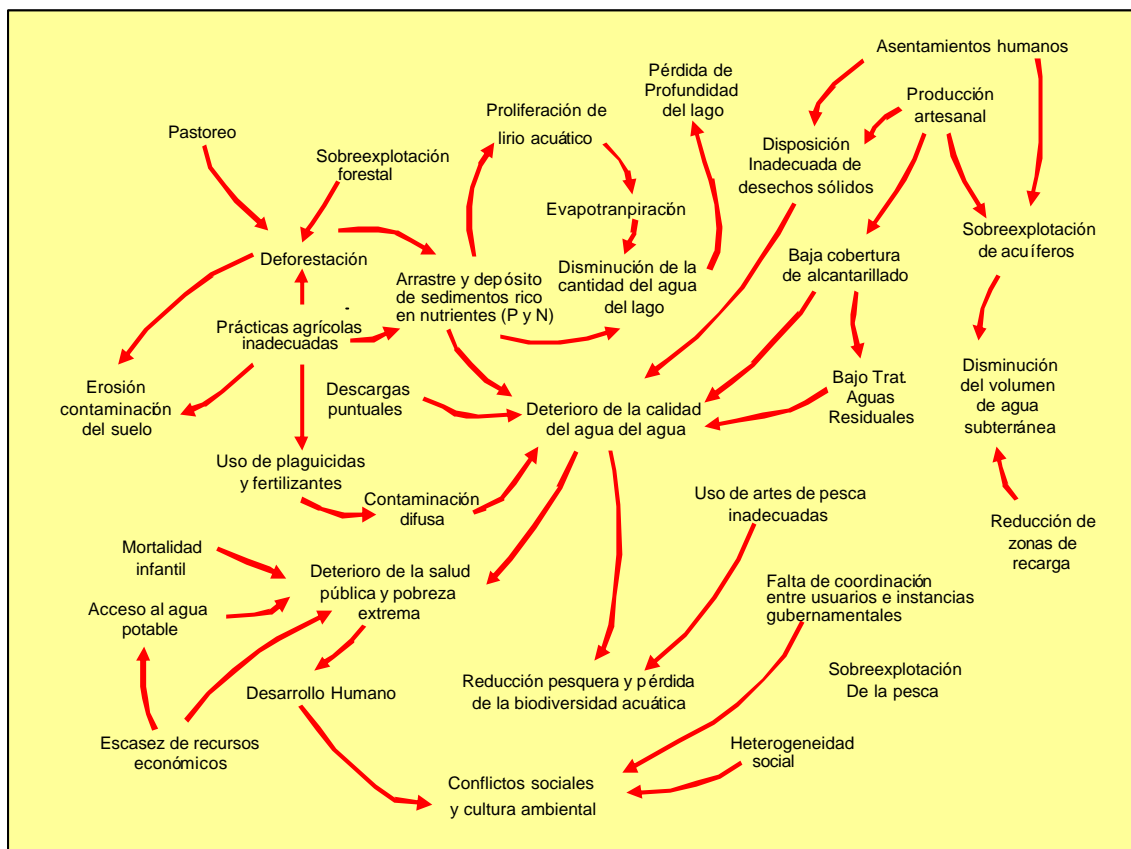
La contaminación del agua del lago muestra a un lago enriquecido por nutrientes (fósforo total mayor a 0.05 mg/L), carga orgánica alta (60 a 220 mg/L de DBO) y bacteriológica alta (coliformes fecales mayor a 200 NPM/100mL) (Escalante, *et. al* 2003).

La utilización de agroquímicos para la agricultura y el flujo de aguas negras depositadas al lago, son los responsables de la contaminación y enzolvamiento, además de la insuficiente infraestructura para el manejo de las aguas residuales y la disposición de residuos (Semarnat, 2002).

La alteración del hábitat acuático por la contaminación, la erosión y la reducción del nivel ha afectado a las especies acuáticas disminuyendo la producción pesquera. Por otra parte, el cambio de uso del suelo significa una importante pérdida de especies de flora y fauna que habitan en la región (Semarnat, 1999).

En la figura 8, se presenta un esquema causal de las principales causas que generan la problemática y los efectos que ocasionan sobre el lago y la cuenca del lago Pátzcuaro.

Figura 1. Esquema causal de la problemática del lago de Pátzcuaro



Fuente: Modificado del realizado por Muñoz *et. al.* 2004.

7.2. Selección de indicadores para aplicación del modelo PER

La aplicación del método Presión-Estado-Respuesta (PER) al recurso agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro es particularmente compleja, debido principalmente a las características mismas del tema y a la problemática de la cuenca, ya que se trata de un recurso, donde existen muchas relaciones entre sus componentes.

A continuación se presentan los puntos específicos sobre esta situación:

- Extracción de agua para los principales usos, intensidad del uso y la disponibilidad
- Prácticas agrícolas, cambio de uso del suelo, deforestación, uso de fertilizantes y plaguicidas
- Generación, disposición de basura y residuos sólidos
- Producción artesanal como sector o grupo o actividad contaminante
- Asentamientos humanos
- Calidad del agua (subterráneas y superficiales)

- Instrumentos de tipo regulatorio y económico que van desde las normas hasta bs cargos (sanciones), pago de derechos por uso y descargas de aguas residuales y tratamiento.
- Infraestructura en plantas de tratamiento de aguas residuales y la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado.

Conforme a los puntos antes mencionados y aplicando las consideraciones del modelo PER referidas en la metodología, en la figura 9 se clasifican los indicadores considerados para la evaluación.

Figura 2. Indicadores del método PER

| PRESIÓN | ESTADO | RESPUESTA |
|---|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo doméstico de agua por habitante 2. Extracción de agua per capita 3. Variación de la cobertura forestal 4. Generación de desechos sólidos por habitante 5. Uso de pesticidas 6. Uso de fertilizantes 7. Descargas de aguas residuales | <ol style="list-style-type: none"> 1. Calidad de agua del lago 2. Calidad del agua de los manantiales 3. Disponibilidad natural de agua 4. Sobreexplotación de acuíferos 5. Mortalidad infantil 6. Desarrollo humano | <ol style="list-style-type: none"> 1. Cobertura a agua 2. Cobertura de drenaje 3. Tratamiento de aguas residuales 4. Disposición de desechos municipales 5. Inversión en obras de agua potable 6. Inversión en obras de drenaje |

7.3. Descripción y monitoreo de indicadores

El grupo de indicadores seleccionados para la evaluación del impacto de las actividades y el desempeño en el manejo del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro se describe a continuación; la información presentada en cada caso esta referida entre los años 2000 y 2004.

Para el cálculo de los indicadores, se realizó una revisión bibliográfica, que permitiera establecer tendencias en el comportamiento de los indicadores, mediciones directas en campo (calidad del agua), encuestas en los organismos operadores y entrevistas informales con personas claves en las comunidades.

Consumo doméstico de agua por habitante (consumo *per cápita*)

Categoría: Social

Esquema: Presión

Es la cantidad de agua que consume una persona para beber, para limpieza, en la preparación de alimentos y otros usos domésticos. El indicador evalúa la cantidad disponible y/o necesaria para los individuos de una determinada comunidad, de forma que satisfagan sus necesidades básicas. También ayuda a identificar las comunidades donde estos requerimientos básicos no están siendo satisfechos, permitiendo la planificación y priorización de acciones para el suministro de agua. El indicador se evalúa conforme al consumo *per capita*, utilizando un muestreo tomando el total suministrado en una localidad, dividido entre la población que habita en la misma.

Una adecuada cantidad de agua potable para satisfacer las necesidades básicas de la población es un prerrequisito para la existencia humana, de la salud y del desarrollo. Si esto último se puede lograr sin incrementos o con un incremento mínimo en el consumo *per capita* de agua, ello significará un uso y administración eficiente del recurso.

Para evaluar la intensidad y eficiencia del consumo de agua potable la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un volumen de 150 litros diarios por persona, como consumo óptimo, con un mínimo *per capita* de 50 litros diarios. En la tabla 18 se resume el consumo de agua *per capita* de cada uno de los municipios considerados en el estudio.

Tabla 1. Consumo de agua per cápita por municipio

| Año | Consumo per capita (l/hab/día) | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------|---------|--------------|-----|-----|
| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan | Max | Min |
| Datos teóricos Clima templado | 100 | 250 | 250 | 100 | 150 | 50 |
| 2003 | 103 | 200 | 200 | 100 | | |

Fuente: Organismo operador, en Rivas *et. al*/2003.

Extracción de agua per capita
Categoría: Ambiental
Esquema: Presión

La extracción es una medida que refleja la intensidad de las actividades económicas, los asentamientos humanos, así como la distribución geográfica. Se evalúa con el volumen bruto anual total de aguas subterráneas y superficiales extraído para usos diversos entre el total de la población, incluyendo acarreo, uso consuntivo y flujos de retorno.

En la figura 10 se presentan los porcentajes de agua superficial de la cuenca por municipio (Gozález *et. al*, 2003); donde se destaca Tzintzuntzan con un 97% del agua superficial del total de la cuenca; Pátzcuaro, Erongarícuaro y Quiroga juntos suman 3.4% del total de agua superficial, esto significa que para estos municipios su mayor fuente de abastecimiento es el agua subterránea (figura 11).

Figura 3. Agua superficial por municipio en la cuenca del lago de Pátzcuaro, 2003.

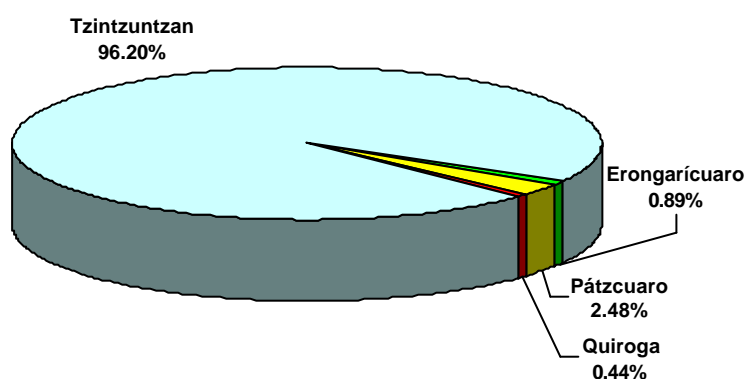
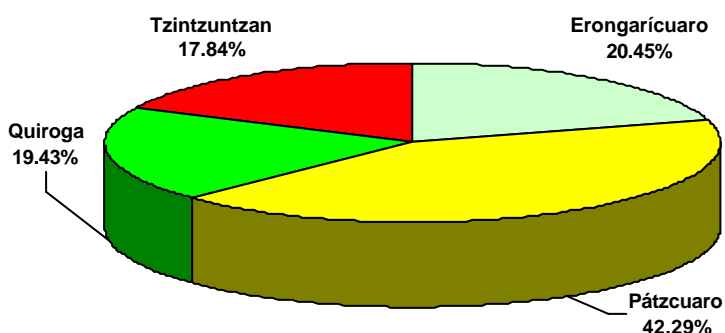


Figura 4. Agua subterránea por municipio en la cuenca del lago de Pátzcuaro, 2003.



En la tabla 19 se presenta la extracción total de agua (subterránea y superficial) y la extracción per capita por municipio.

Tabla 2. Extracción total del agua por municipio

| Municipio | Subterránea (m ³ /año) | Superficiales (m ³ /año) | Total (m ³ /año) | Extracción de agua per cápita (m ³ /hab/año) | Max | Min |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---|-----|-----|
| Erongarícuaro | 676,597 | 30,244.00 | 706,841 | 53.71 | 693 | 50 |
| Pátzcuaro | 1,399,353 | 84,723.20 | 1,484,076 | 19.06 | | |
| Quiroga | 642,854 | 14,892.00 | 2,190,917 | 91.70 | | |
| Tzintzuntzan | 590,247 | 3,284,142.4 | 3,874,389 | 312.10 | | |

Fuente: REPDA, CNA, 2003. En González, *et. al* 2003. & CNA, Estadísticas del Agua en México, Valores para México 2004.

Generación de desechos sólidos por habitante

Indicador: Presión

Dimensión: Ambiental

Este indicador tiene como objetivo reflejar la producción de desechos sólidos como resultado de todas las actividades de los asentamientos humanos. Se calcula a partir de la cantidad de desechos sólidos proveniente de actividades comerciales, basuras de hogares, oficinas, escuelas y edificios gubernamentales y pequeñas empresas como un total entre la población total de cada uno de los municipios.

El indicador se asocia con aspectos relativos a salud humana, asentamientos humanos, mecanismos financieros, impacto a los recursos de agua dulce, tierras y atmósfera, acceso a agua potable, crecimiento de la población urbana, gastos de protección ambiental, entre otros.

La generación de toneladas al día de la población de los cuatro municipios de la cuenca se presenta en la tabla 20:

Tabla 3. Generación de basura por municipio

| Municipio | Generación Ton/día | Generación per capita (kg/hab/día) | Max | Min |
|---------------|--------------------|------------------------------------|-----|-----|
| Erongarícuaro | 10.80 | 0.79 | 1.5 | 0.3 |
| Pátzcuaro | 83.17 | 1.01 | | |
| Quiroga | 25.92 | 1.05 | | |
| Tzintzuntzan | 9.35 | 0.73 | | |

Fuente: THESIS ANTARES. Diagnóstico del relleno sanitario regional de los municipios de la cuenca de Pátzcuaro. Datos elaborados al año 2003.

Uso de plaguicidas y fertilizantes

Indicador: Presión

Dimensión: Ambiental

Es una medida de las presiones a la contaminación del agua y suelo, generados por las actividades agrícolas. Para construir este indicador se requiere información básica de diferentes fuentes, en este caso se utiliza información proporcionada por la SAGARPA para el ciclo agrícola 2003, tomando como base la dosis aplicada de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en la ribera del lago de Pátzcuaro.

Se mide en base al consumo de plaguicidas por municipio, a partir de la superficie dedicada a la agricultura. En la región las cantidades de fertilizantes y plaguicidas tiene variaciones significativas, esto se debe a que los campesinos no cuentan con los recursos necesarios, aunado con esto no todos usan las mismas fórmulas y dosis (Distrito de Desarrollo Rural 091 Pátzcuaro, en Izurieta, *et, al.* 2002).

Los plaguicidas de más uso en la cuenca por nombre comercial son el gesaprim (herbicida de categoría I-muy tóxico) cuyo ingrediente activo es la atrazina, el Tordon (herbicida) de categoría IV-mínimamente tóxico, Folimat LS (insecticida), cuyo ingrediente activo es el omeato categoría I muy tóxico, y el brominal 240 CE categoría III-poco tóxico, cuyo ingrediente activo es bromoxinil (tabla 21).

Los tratamientos de fertilización que actualmente se aplican en los ciclos para atender los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio varían, para el caso del nitrógeno se utiliza urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio; para fósforo se utiliza superfosfato, calcio triple, o bien la combinación de nitrógeno y fosfato; y para el potasio se utiliza sulfato de potasio (Semarnat, 2002).

En las tablas 21 y 22 se resume el nombre y la cantidad de plaguicidas y fertilizantes empleados en los municipios de la cuenca correspondiente al año 2003.

Tabla 4. Cantidad y tipo de plaguicida por municipio

| Municipio | Sup. Sembrada (km ²) | Nombre comercial | Agente activo | Cantidad de Plaguicida empleado (ton/km ²) | Max / Min |
|---------------|----------------------------------|--|--|--|--------------|
| Erongarícuaro | 45.5 | gesaprim-50 tordon-472 M, brominal 240 CE folimat LS80 | Atrazina Picloram Bromoxinil Ometoato | 0.223 | 0.52 0.06 |
| Pátzcuaro | 41.37 | gesaprim-50 tordon-472 brominal 240 CE folimat LS80 | Atrazina Picloram Bromoxinil Ometoato | 0.268 | |

| Municipio | Sup. Sembrada (km ²) | Nombre comercial | Agente activo | Cantidad de Plaguicida empleado (ton/km ²) | Max / Min |
|--------------|----------------------------------|---|--|--|-----------|
| Quiroga | 28.00 | gesaprim-50 tordon-472 M brominal 240 CE folimat LS80 | Atrazina Picloram Bromoxinil Ometoato | 0.093 | |
| Tzintzuntzan | 11.06 | gesaprim-50 tordon-472 M brominal 240 CE folimat LS80 | Atrazina Picloram Bromoxinil Ometoato | 0.596 | |

Fuente: Datos proporcionados por la SAGARPA, 2003. OCDE, 2003. Valores para México y Japón.

Conforme a los resultados de la tabla 21 y considerando que la superficie agrícola es de 381.21 km² y tomando la superficie tratada con estos plaguicidas (125.93 km²) y una aplicación promedio de 0.29 ton/ km² se ingresarían a la cuenca 36 ton de plaguicida.

Tabla 5. Cantidad y tipo de fertilizantes por municipio

| Municipio | Sup. Sembrada (km ²) | Fertilizantes utilizados | Cantidad de fertilizante empleado (ton/km ²) | Max/Min | |
|---------------|----------------------------------|--------------------------|--|---------|-----|
| Erongarícuaro | 45.5 | UREA | 11.22 | 16 | 4.9 |
| Pátzcuaro | 41.37 | UREA | 17.35 | | |
| Quiroga | 28.00 | UREA | 10.64 | | |
| Tzintzuntzan | 11.06 | UREA | 7.84 | | |

Fuente: Datos proporcionados por la SAGARPA, 2003.

De la misma forma que para los plaguicidas, considerando los resultados de la tabla 22, la superficie tratada (125.93 km²), y una aplicación promedio de fertilizante 12.9 ton/ km² se ingresarían a la cuenca 1,623 ton de fertilizante.

Variación de la cobertura forestal

Indicador: Presión

Dimensión: Ambiental

Este indicador tiene como fin mostrar la variación de la superficie cubierta de formaciones boscosas en una región, país, municipio o cuenca, a lo largo del tiempo, y se calcula como el porcentaje de superficie arbolada.

La variación de la cobertura forestal es un importante problema ambiental y de desarrollo ya que la disminución de áreas boscosas conduce a la pérdida de diversos servicios ambientales (biodiversidad de especies, conservación de ciclos naturales -agua, carbono-; zona de recreo; fuente de materiales y alimentos, etc.) al cambio climático y a la degradación del suelo (Saldivar, *et. al.* 2000).

En la cuenca se observa que el cambio es consecuencia de una tala permanente de bosques, y así como el establecimiento de asentamientos humanos, cultivos alternados o permanentes y áreas de pastoreo.

Gómez-Tagle y Chávez (2001), reportan los siguientes usos del suelo en la cuenca:

Uso Agrícola = 40.80 %

Uso Forestal = 29.6 %

Uso de Matorral/ganadería = 14.70 %

Otros usos (población, lago) = 14.52 %

En la tabla 23 y figura 12, se presenta la superficie forestal de cada municipio

Figura 5. Superficie forestal de la cuenca por municipio

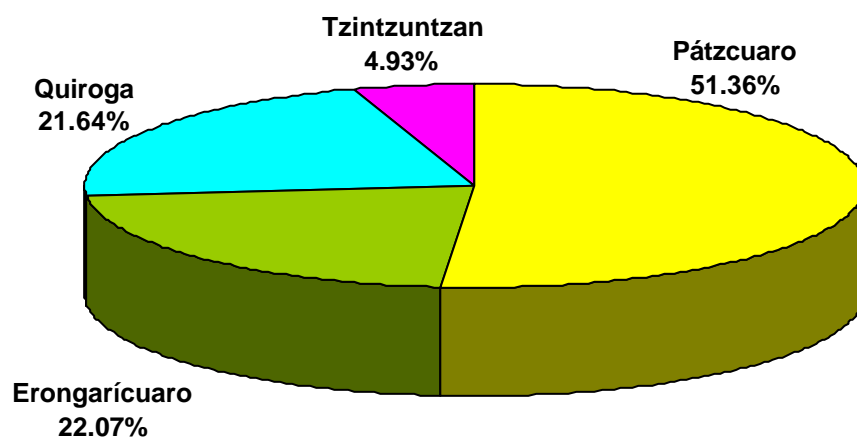


Tabla 6. Superficie forestal por municipio

| Municipio | Superficie forestal (ha) | % | Max | Min |
|---------------------------|--------------------------|---------------|-----|------|
| Erongarícuaro | 6,110 | 22.07 | 63 | 12.7 |
| Pátzcuaro | 14,222 | 51.36 | | |
| Quiroga | 5,993 | 21.64 | | |
| Tzintzuntzan | 1,364 | 4.93 | | |
| Total | 27,689 | 100.00 | | |
| Total de la Cuenca | 93,434 | 29.63 | | |

Fuente: Navia, et. al. 2000. OCDE, 2003. Cobertura Forestal Brasil y Argentina.

Descargas de aguas residuales

Indicador: Presión

Dimensión: Ambiental

El propósito del indicador es revelar las presiones hacia la degradación de la calidad del agua. Se estima a partir de la concentración de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) de las descargas de aguas residuales, referidas conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. La DBO mide el oxígeno requerido para la descomposición microbiológica (proceso de oxidación) del material orgánico en el agua como mg/l de oxígeno consumido en 5 días a temperatura constante.

En un estudio realizado por la Comisión Nacional del Agua (CNA) en 1997, se señala un inventario de 18 descargas de aguas residuales hacia el lago de Pátzcuaro de las cuales 17 son de origen municipal y una industrial, en la verificación de este estudio Izurieta *et. al.* (2002) refiere que la descarga industrial ya no existe por el paro de la Planta Propemex.

Las descargas de mayor importancia son: Pátzcuaro-Río Huani con 3,888 m³/día y Quiroga-Planta de tratamiento con 2,073 m³/día, representando en conjunto más del 50% del volumen total vertido al Lago.

La calidad del agua de las descargas identificadas, presentan características típicas de agua residual doméstica, con concentraciones DBO comprendidas entre 14 mg/l registrados en el efluente de la planta de tratamiento de Pátzcuaro y 232 mg/l obtenidos del municipio de Erongarícuaro.

Es de esperarse que con el aumento de la población en la cuenca y de las actividades económicas, los volúmenes de aguas residuales descargadas se incrementen, lo que representa un gran reto en materia de planeación urbana.

En la tabla 24 se presenta las descargas dirigidas al lago de Pátzcuaro, la concentración de DBO₅ de los municipios ribereños, tomando como base la concentración y el gasto referidos por Izurieta 2002 y CNA, 1997.

Tabla 7. Descargas de aguas residuales

| Municipio | No. | Nombre | Caudal (l/s) | DBO ₅ (mg/l) | Concen. Promedio DBO ₅ (mg/l) | Max | Min |
|---------------|-----|--|--------------|-------------------------|--|-----|-----|
| Erongarícuaro | 1 | San Francisco Huricho Comité de Agua potable de San Fco. Hurico | 0.1 | 210.28 | 221.08 | 432 | 60 |
| | 2 | Erongarícuaro (salida a Pátzcuaro) Ayuntamiento de Erongarícuaro | 5 | 220.35 | | | |
| | 3 | Erongarícuaro (Abrevadero) Ayuntamiento de Erongarícuaro | 1.3 | 232.63 | | | |
| Pátzcuaro | 4 | Pátzcuaro 1 (Planta de tratamiento) Organismo operador | 20 | 14.85 | 66.2 | | |
| | 5 | Pátzcuaro 2 (muelle San Pedrito) Organismo operador | 1.2 | 99.3 | | | |
| | 6 | Pátzcuaro 3 (Río Huani) Organismo operador | 45 | 93.5 | | | |
| | 7 | Janitzio | 2 | 39.1 | | | |
| Quiroga | 8 | San Andrés Tzirondaro Comité de Agua Potable Tzirondaro | 1.1 | 70.11 | 98.325 | | |
| | 9 | San Jerónimo Purunchuecaro 1 Comité de Agua Potable de San Jerónimo | 0.3 | 34.6 | | | |
| | 10 | San Jerónimo Purunchuecaro 2 Comité de Agua Potable de San Jerónimo | 0.1 | 103.14 | | | |
| | 11 | Quiroga (calle López Mateos) Ayuntamiento de Quiroga | 14.4 | 135.22 | | | |
| | 12 | Quiroga (privada López Mateos) Ayuntamiento de Quiroga | 10 | 91.3 | | | |
| | 13 | Quiroga (planta de tratamiento) Ayuntamiento de Quiroga | 24 | 155.58 | | | |
| Tzintzuntzan | 14 | Patambicho Comité de Agua Potable de Patambicho | 0.5 | 110.25 | 118.34 | | |
| | 15 | | | | | | |

Tzintzuntzan (Lázaro Cardenas) 1.5 127.08

| Municipio | No. | Nombre | Caudal (l/s) | DBO ₅ (mg/l) | Concen. Promedio DBO ₅ (mg/l) | Max | Min |
|-----------|-----|---|--------------|-------------------------|--|-----|-----|
| | | Comité de Agua Potable Tzintzuntzan | | | | | |
| | 16 | Tzintzuntzan (Zaragoza) Comité de Agua Potable Tzintzuntzan | 3 | 143.15 | | | |
| | 17 | Tzintzuntzan (calle X) Comité de Agua Potable Tzintzuntzan | 0.2 | 92.9 | | | |

Fuente: CNA, 1997 & Izurieta, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

**Esta descarga ya no existe

Sobreexplotación de acuíferos

Indicador: Estado

Dimensión: Ambiental

Este indicador mide el total de extracción de agua de fuentes subterráneas como porcentaje de la disponibilidad total de agua. Constituye la mejor expresión del nivel de sustentabilidad o insustentabilidad del agua en el municipio en términos de sus necesidades del recurso freático.

Este es un índice refleja el uso intensivo y no sustentable del recurso hídrico, considera que el agua que se extrae expresa una presión y pérdida para los mantos acuíferos. Una condición necesaria para el uso sustentable del recurso de agua es que la extracción de ésta no exceda los almacenamientos renovados sobre un determinado período.

El indicador presenta la intensidad de uso de recursos de agua, y se define como la totalidad de agua extraída, dividido entre el volumen disponible del recurso renovable. La extracción es una medida que refleja la intensidad de las actividades económicas, los asentamientos humanos, así como la distribución geográfica.

Tabla 8. Extracción y recarga por municipio

| Municipio | Extracción de agua Subterránea (Mm ³ /año) | Recarga (Mm ³ /año) | Deficit Extracción/Recarga |
|---------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| Erongarícuaro | 0.677 | 44.16 | 0.015 |
| Pátzcuaro | 1.399 | 2.93 | 0.477 |
| Quiroga | 0.643 | 18.71 | 0.034 |
| Tzintzuntzan | 0.590 | 57.06 | 0.010 |

Fuente: Estimado conforme al REPDA de la CNA, 2003 en González, et. al. 2003.

En los municipios ribereños, se observa con los datos de la tabla 25 que aun no se manifiesta como un problema debido a que la tasa de recarga es mayor que la extracción.

Disponibilidad natural del agua

Indicador: Estado

Dimensión: Ambiental

Este indicador mide el volumen de agua disponible, muestra qué tanto recurso de agua está siendo o ha sido ya utilizado, así como la necesidad de una adecuada política de manejo y administración del recurso hídrico. Muestra también el conflicto entre disponibilidad y consumo, entre fuentes, tipos de uso y usuarios. Sin duda la escasez y limitación del recurso tiene efectos negativos sobre la sustentabilidad de los municipios en su conjunto, reduciendo el desarrollo económico regional y afectando la biodiversidad con la consecuente degradación y contaminación de los ecosistemas hidrológicos.

Es un indicador ampliamente utilizado en el mundo para detectar posibles problemas de agua, como disponibilidad natural media per capita, conforme a este indicador las regiones y países se clasifican de la siguiente manera (tabla 26):

Tabla 9. Clasificación de la disponibilidad natural media de agua (CNA, 2004)

| Disponibilidad natural media per capita (m ³ /hab/año) | Clasificación |
|---|---------------------|
| Menor a 1000 | Extremadamente baja |
| 1001 a 2000 | Muy baja |
| 2001 a 5000 | Baja |
| 5001 a 10000 | Media |
| 10001 a 20000 | Alta |
| Más de 20,000 | Muy Alta |

Fuente: CNA, 2004.

La disponibilidad natural calculada para los municipios de la cuenca para el año 2003 se presenta en la tabla 27 y figura 13.

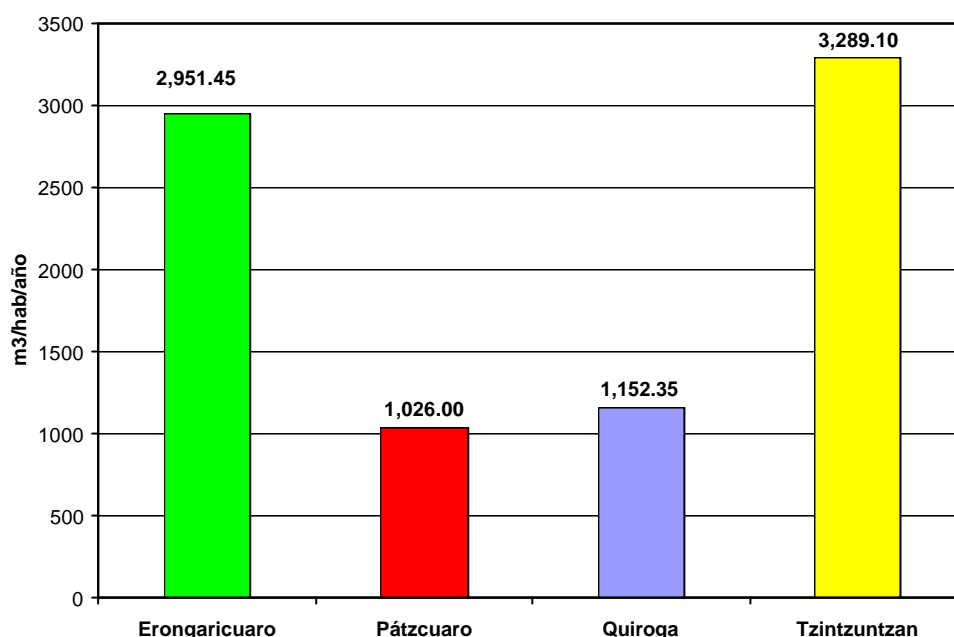
Tabla 10. Disponibilidad natural media de agua por municipio

| Municipio | Precipitación (mm) | ET (mm) | Superficie (km ²) | Población (hab) | Disponibilidad natural media per capita (m ³ /hab/año) |
|---------------|--------------------|---------|-------------------------------|-----------------|---|
| Erongarícuaro | 919.89 | 700.68 | 177.20 | 13,161.00 | 2,951.45 |
| Pátzcuaro | 1,016.72 | 729.00 | 277.69 | 77,872.00 | 1,026.00 |
| Quiroga | 826.29 | 648.14 | 154.55 | 23,893.00 | 1,152.35 |
| Tzintzuntzan | 932.20 | 684.62 | 164.92 | 12,414.00 | 3,289.10 |

Fuente: Subcoordinación de hidrología y mecánica de ríos, IMTA, 2004.

Nota: ET- Evapotranspiración

Figura 6. Disponibilidad natural media per cápita



Como se observa en la tabla 27 y figura 13 la disponibilidad natural media del agua conforme a la clasificación de la comisión nacional del agua (CNA, 2004), se observa baja en los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan (2,951 y 3,289 m³/hab/año) y muy baja en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga (1,026 y 1,152.35). Aunque es importante mencionar que la región Administrativa VIII-Lerma-Santiago a la que pertenece el lago de Pátzcuaro, tiene una disponibilidad natural media de 1,962 m³/hab/año para el mismo año que la clasifica como muy baja.

Calidad del agua manantiales

Indicador: Estado

Dimensión: Ambiental

La evaluación de la calidad del agua es un factor fundamental de toda valoración ambiental tanto en términos de salud pública como de integridad y funcionalidad de diversos ecosistemas. El fin de este indicador es medir la calidad del agua que disponen los consumidores en los municipios o comunidades para satisfacer sus necesidades básicas y comerciales.

Se emplea como indicador el índice de calidad del agua (ICA), desarrollado por la Comisión Nacional del Agua (CNA), que utiliza 18 parámetros fisicoquímicos, y a través del cual se puede clasificar la calidad de los cuerpos de agua. A continuación se resume la escala de clasificación de la calidad del agua conforme al uso (tabla 28)

Tabla 11. Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo al ICA conforme el uso

| Clasificación | Consumo humano | Agricultura | Pesca | Industrial | Recreación |
|------------------------|----------------|-------------|--------|------------|------------|
| Excelente | 100-90 | 100-90 | 100-70 | 100-90 | 100-70 |
| Aceptable | 90-80 | 90-70 | 70-60 | 90-70 | 70-50 |
| Contaminación leve | 80-70 | 70-50 | 60-50 | 70-50 | 50-40 |
| Contaminada | 70-50 | 50-30 | 50-40 | 50-30 | 40-30 |
| Contaminación fuerte | 50-40. | 30-20 | 40-30 | 30-20 | 30-20 |
| Contaminación excesiva | 40-0 | 20-0 | 30-0 | 20-0 | 20-0 |

En la cuenca los usos del agua superficial están asociados al uso doméstico y urbano. El agua para beber es comúnmente obtenida de los manantiales, y el agua para la agricultura generalmente se obtiene de los pozos. (González, *et. al* 2003).

En la tabla 29 se presentan los valores calculados del ICA de los manantiales pertenecientes a los municipios de Erongarícuaro, Pátzcuaro, Quiroga y Tzintzuntzan.

Tabla 12. Índice de calidad del agua (ICA)

| Municipio | Manantiales | ICA | Promedio | Deseable |
|---------------|---------------|------|----------|-----------------------|
| Erongarícuaro | Cauca | 67.2 | 71.5 | Consumo Humano 80-100 |
| | María Valdés | 72.9 | | |
| | Pomio | 75.8 | | |
| | La Zarzamora | 70.1 | | |
| Pátzcuaro | Uranden | 72.9 | 69.76 | |
| | Uranden 2 | 73.6 | | |
| | Chapultepec | 62.8 | | |
| Quiroga | Zindangacho | 76.8 | 74.7 | |
| | San Jerónimo | 74.1 | | |
| | Anatchuen | 71.9 | | |
| | Puquio | 73.9 | | |
| Tzintzuntzan | Tzirindagacho | 76.8 | 66.8 | |
| | Ojo de agua | 64.4 | | |
| | Patambicho | 69.2 | | |

Fuente: Datos estimados a partir de los resultados de calidad del agua de los manantiales, IMTA 2003

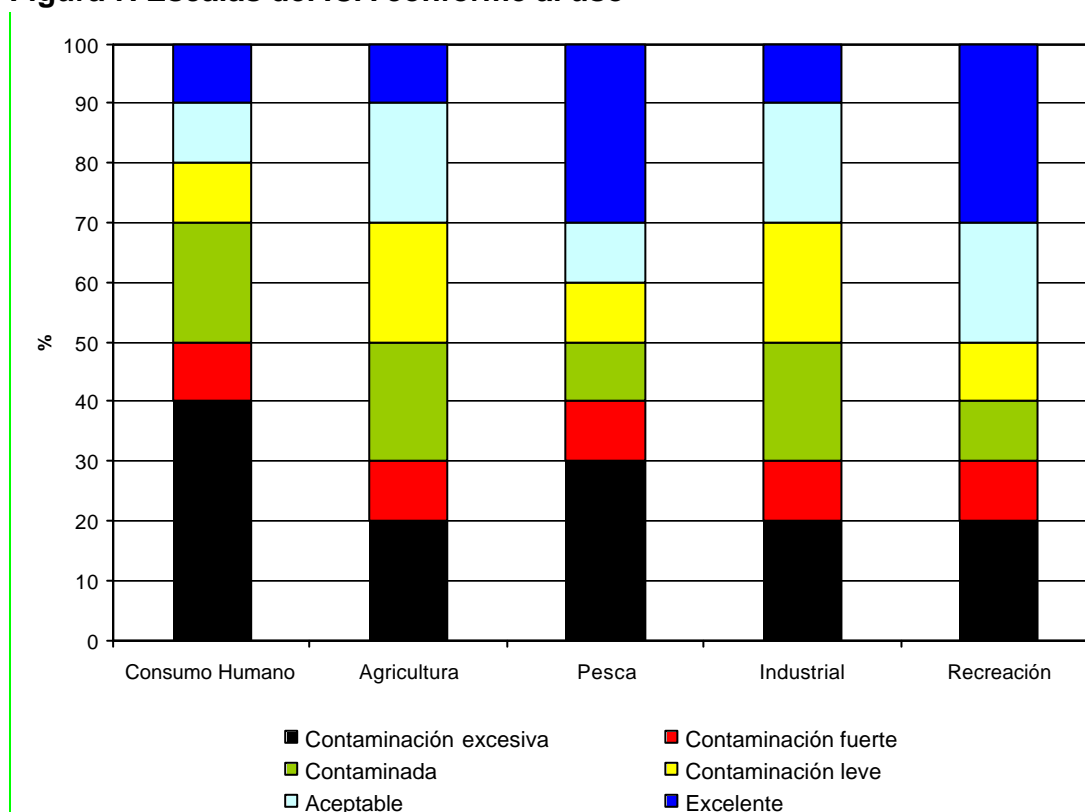
Conforme a la categorización de la tabla 28 y los resultados calculados del ICA de la tabla 29, el agua de los manantiales evaluada para consumo humano presenta contaminación leve en casi todos los municipios, excepto el municipio de Tzintzuntzan que presenta un ICA <70 que lo ubica como contaminado.

Mientras que si se evalúa el agua para la agricultura esta se clasifica como aceptable en casi todos los municipios, excepto Tzintzuntzan que se ubica como levemente contaminado.

Calidad del agua lago
Indicador: Estado
Dimensión: Ambiental

Este indicador esta ampliamente relacionado con el anterior, se utiliza para evaluar el grado de contaminación del agua, en este caso se aplicara para evaluar la calidad del agua del lago, como ya se menciona se basa en la ponderación de 18 parámetros fisicoquímicos y en el tipo de uso del cuerpo de agua (ver figura 14)

Figura 7. Escalas del ICA conforme al uso

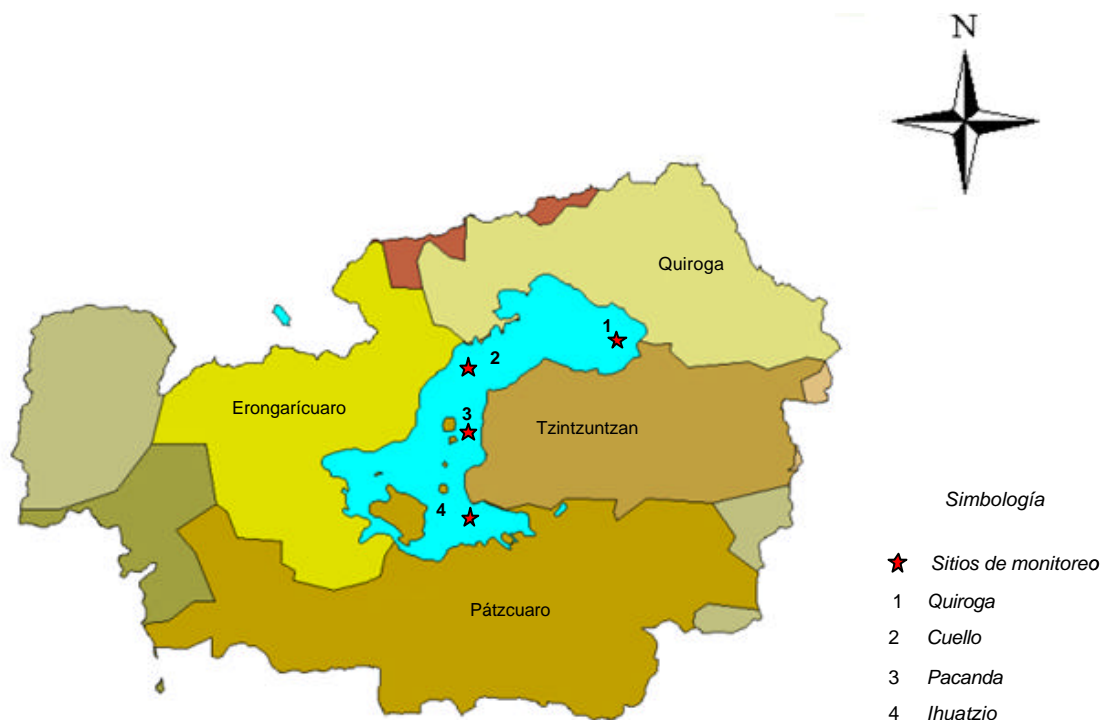


El índice de calidad del agua en el Lago de Pátzcuaro se cálculo con datos de cuatro estaciones de monitoreo ubicadas a lo largo del lago, en la tabla 30 se presentan las estaciones y sus valores del ICA (figura 15).

Tabla 13. Resultados del ICA

| Municipio | Estación de monitoreo | Coordenadas | | ICA | Deseable |
|---------------|-----------------------|---------------|-----------------|------|---|
| Erongarícuaro | Cuello | N 19°33'04.4" | W 101°38' 23.7" | 64.4 | Pesca 60-100 Recreación 50-100 |
| Pátzcuaro | Ihuatzio | N 19°36'27.3" | W 101°38'28.3" | 54.7 | |
| Quiroga | Quiroga | N 19°38'54.5" | W 101°33'33.8" | 54.7 | |
| Tzintzuntzan | Pacanda | N 19°37' 55" | W 101°37'18.5" | 64.2 | |

Figura 8. Ubicación de las estaciones donde se calculo el ICA



Conforme a los resultados obtenidos del ICA reportados en la tabla 30, y considerando la escala de clasificación por tipo de uso, clasifican al lago para la pesca con contaminación leve a aceptable, para la agricultura se considera con contaminación leve y para recreación como aceptable.

Tasa de mortalidad infantil

Indicador: Estado

Dimensión: Social

La tasa de mortalidad Infantil es un indicador de las condiciones sociodemográficas básicas de una población, es útil para fines comparativos, entre países o subpoblaciones dentro de un mismo país. En el ámbito internacional, refleja la gran variabilidad en las condiciones de vida prevalentes.

Se considera que las tasas de mortalidad tanto infantil como de niños menores de 5 años y menores de 1 año, reflejan los niveles de nutrición (en especial las prevalentes entre mujeres embarazadas, los infantes y los niños); de educación (sobre todo el alfabetismo femenino), así como de estatus generales socioeconómicos y de acceso a los servicios de salud. De estas medidas se estima que la mortalidad infantil es un mejor indicador técnico, porque es más eficiente la recopilación de datos y constituye uno de los pocos índices sociales para los cuales se dispone de series de largo plazo.

Esta tasa expresa el número de muertes de menores de 1 año, durante un período de tiempo anual por cada 1000 nacidos vivos en el mismo período. Más específicamente, es la probabilidad de morir entre el nacimiento y el momento en que se cumple exactamente el primer año de edad.

Tabla 14. Tasa de mortalidad infantil por cada 1000 nacimientos

| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan | Max Min |
|-----------------------------|---------------|-----------|---------|--------------|---------------|
| Tasa de mortalidad infantil | 10.8 | 22.94 | 10.86 | 16.27 | 24.9 10.88 |

Fuente: El Municipio en cifras 2001. Tasa de mortalidad infantil calculada por la secretaria de salud en el estado, al año 2000.

Desarrollo humano

Indicador: Estado

Dimensión: Social

Este indicador tiene como fin medir los adelantos medios de un país, municipio, región o localidad, en tres aspectos básicos del desarrollo humano:

- Una vida larga y saludable, medida por la esperanza de vida al nacer. Y se calcula tomando como el promedio de vida de la población y utilizando los valores de referencia máximo de 85 años y mínimo 25 años.
- Conocimientos medidos por la tasa de alfabetización de adultos y la combinación primaria, secundaria y terciaria con la ponderación de un tercio.

- Un nivel de vida decoroso medido por el PIB per cápita. Se calcula utilizando el PIB per cápita ajustado (PPA, dólares EE.UU.).

El calculo de este indicador es una componente de tres índices la esperanza de vida, PIB per cápita y educación (tabla 32).

Tabla 15. Desarrollo humano

| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
|--------------------------|----------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Esperanza de vida | 0.80 | 0.84 | 0.82 | 0.80 |
| Nivel de escolaridad | 0.74 | 0.78 | 0.73 | 0.75 |
| PIB per capita | 0.54 | 0.61 | 0.59 | 0.57 |
| Desarrollo humano | 0.70 | 0.75 | 0.72 | 0.71 |

Fuente: SNIM, 2004. INEGI-INADEF. El máximo y mínimo es 1 y 0 debido a que se refiere a un índice.

Cobertura de Agua

Indicador: Respuesta

Dimensión: Social

Se mide como el por ciento de población que tiene acceso al agua potable; su relevancia para el desarrollo sustentable reside en la disponibilidad del agua en las comunidades urbanas y rurales como una respuesta a las necesidades de la población.

El indicador mide el acceso de la población al agua potable y requiere de la definición y precisión de varios elementos, entre ellos, el número de la población urbana con instalaciones domésticas, o bien una distancia razonable a las fuentes de abastecimiento 200 metros de una llave o toma pública, un volumen adecuado del líquido necesario para cubrir las necesidades del metabolismo humano, de higiene y de preparación de alimentos (tabla 33).

Tabla 16. Cobertura de a agua

| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan | Max | Min |
|----------|----------------------|------------------|----------------|---------------------|------------|------------|
| % | 86.44 | 85.92 | 83.85 | 82.44 | 94.6 | 68 |

Fuente: Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM), 2004. Datos del último censo del INEGI. CNA, Estadísticas del agua, 2004.

Cobertura de servicio drenaje

Indicador: Respuesta

Dimensión: Social

Se mide como porcentaje de la población que habita en viviendas particulares, cuya vivienda cuenta con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado, a una fosa séptica, a un río, lago o mar, o a una barranca o grieta. Este indicador se relaciona con la consolidación de los asentamientos humanos, con menor vulnerabilidad y exposición a riesgos.

Este indicador refleja el acceso adecuado a medios seguros de disposición de excretas es fundamental para disminuir el riesgo y la frecuencia de enfermedades asociadas como las gastrointestinales. Se relaciona con otras características socioeconómicas (educación, ingreso) y tiene una amplia relación con la higiene y la calidad de vida, lo hace un buen indicador universal del desarrollo humano.

Tabla 17. Cobertura de drenaje

| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan | Max | Min |
|----------|----------------------|------------------|----------------|---------------------|------------|------------|
| % | 63 | 75 | 82 | 67 | 89.6 | 36.7 |

Fuente: Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM), 2004. Datos del último censo del INEGI. CNA, Estadísticas del agua, 2004.

Tratamiento de aguas residuales

Indicador: Respuesta

Dimensión: Ambiental

El indicador evalúa el nivel potencial de contaminación de fuentes domésticas e industriales, comerciales que entra en el medio ambiente acuático, y permite vigilar progresos hacia la reducción de la contaminación de los recursos hídricos. Contribuye a identificar a las comunidades en las que se requieren medidas para tratar las aguas residuales a fin de proteger el ecosistema. Es la relación entre el volumen descargado y el volumen de agua que pasa por un proceso de tratamiento, ya sea a escala primaria o terciaria.

La proporción de agua residual tratada se calcula como porcentaje de agua que es enviada al medio ambiente, bajo criterios y estándares que permiten asegurar que éstas no impactaran negativamente sobre los mantos freáticos y suelos.

En la cuenca existen cuatro plantas de tratamiento en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga, en la tabla 35 se resumen las características:

Tabla 18. Plantas de tratamiento ubicadas en la cuenca del lago de Pátzcuaro

| Municipio | Localidad | Tratamiento | Diseño (lt/s) | Tratado (lt/s) | Eficiencia % | Observaciones |
|--------------|-----------|--|---------------|----------------|--------------|---------------------|
| Pátzcuaro | Janitzio | Disco biológico rotativo | 7.0 | 6.0 | 75-85 | Operación Irregular |
| Pátzcuaro I | Pátzcuaro | Zanjas de Oxidación | 20.0 | 12.0 | 60-70 | Operación Irregular |
| Pátzcuaro II | Pátzcuaro | Lodos activados | 150.0 | 30 | | Operación |
| Quiroga | Quiroga | Reactor anaerobio de flujo ascendente (R.a.f.a.) | 20.0 | 24.0 | 60-70 | Operación Irregular |

Fuente: CNA, 2000.

El municipio de Pátzcuaro contribuye con el 58% de las aguas residuales de la cuenca; se estima que se vierten 78 lt/s de aguas residuales sin tratamiento al lago, la cabecera municipal cuenta con dos plantas tratadoras que sólo dan tratamiento al 19% (19 lt/s) de las aguas negras, el resto (81%) se vierte directamente al lago.

Se estima que el municipio de Quiroga vierte 51 lt/s de aguas residuales al lago; la cabecera municipal contribuye con el 63% del volumen de aguas negras, mientras que Santa Fe contribuye con el 20%. Del volumen total únicamente el 60% recibe un pretratamiento.

En las localidades de Erongarícuaro y San Francisco Uricho se estima que vierten 7 lt/s de aguas residuales al lago, este caudal era recuperado en dos fosas, con el fin de darle un pretratamiento, pero actualmente dichas fosas están saturadas y se desbordan, vertiendo el agua cruda directamente al lago.

El municipio de Tzintzuntzan no realiza ningún tipo de tratamiento. En las tabla 36 y 37 se resume las descargas de aguas residuales generadas por los municipios de la cuenca y el porcentaje de tratamiento.

Tabla 19. Descargas de aguas residuales por localidad

| Municipio | Localidad | Volumen total (lt/s) | Volumen con tratamiento (lt/s) | % que representa | Volumen sin tratamiento (lt/s) | % que representa |
|---------------|---------------|----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| Erongarícuaro | Erongarícuaro | 7 | -- | -- | 7 | 100 |
| Pátzcuaro | Pátzcuaro | 90 | 13 | 14.4 | 77 | 85.5 |
| | Janitzio | 7 | 6 | 85.7 | 1 | 14 |
| Quiroga | Quiroga | 35 | 20 | 60 | 15 | 40 |

| Municipio | Localidad | Volumen total (lt/s) | Volumen con tratamiento (lt/s) | % que representa | Volumen sin tratamiento (lt/s) | % que representa |
|-----------------------|--------------|----------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| | Santa Fe | 11 | -- | -- | 11 | 100 |
| | San Jerónimo | 5 | -- | -- | 5 | 100 |
| Tzintzuntzan | Tzintzuntzan | 10 | -- | -- | 10 | 100 |
| Total Regional | | 165 | 39 | 23.63 | 126 | 76.36 |

Fuente: Plan Pátzcuaro 2000. CODESPATZ Cuadernos para el fortalecimiento Municipal Hacia un desarrollo sustentable.

Tabla 20. Porcentaje de agua tratada por municipio

| Municipio | Tratamiento de aguas residuales (%) | Max | Min |
|---------------|-------------------------------------|-----|-----|
| Erongarícuaro | 0 | 70% | 0% |
| Pátzcuaro | 19.5 | | |
| Quiroga | 39 | | |
| Tzintzuntzan | 0 | | |

Fuente: Plan Pátzcuaro 2000. CODESPATZ Cuadernos para el fortalecimiento Municipal CNA, Estadísticas del agua, 2004. Hacia un desarrollo sustentable.

Disposición de los desechos municipales

Indicador: Respuesta

Dimensión: Ambiental

Es la cantidad de desechos municipales (aquellos recogidos por las municipalidades o por orden de éstas, entre ellos las basuras de hogares, de actividades comerciales, de oficinas, de escuelas y edificios gubernamentales y de pequeñas empresas cuyos desechos son recolectados por el sistema municipal de recolección de residuos (Saldivar, *et. al.* 2000 en PNUD, 1997).

La mala eliminación de los residuos sólidos domésticos amenaza gravemente a la Salud. En las zonas que carecen de saneamiento los montones de desecho se mezclan con excrementos, lo que promueve la diseminación de enfermedades contagiosas. Una vez más quienes más sufren son los pobres quienes viven cerca de los basureros y muchas veces han hecho de ella su medio de subsistencia (INE, 2000).

Los residuos sólidos en los municipios de la cuenca son dispuestos a través del servicio de limpia mediante un camión recolector, excepto en el municipio de Erongarícuaro en donde la mayor parte de los desechos se quema o se entierra. En la tabla 38 y 39 y en las figuras 16, 17,18 y 19 se presenta el manejo de los residuos por municipio.

Tabla 21. Disposición de los desechos en la cuenca del lago de Pátzcuaro

| Municipio | Forma en que se maneja la basura (%) | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| | La recoge el camión | La deposita en el contenedor | La tiran en la calle | La tiran en la barranca | La tiran al lago | La queman o la entierran |
| Erongarícuaro | 36.0 | 2.2 | 2.4 | 0.3 | 0 | 59.1 |
| Pátzcuaro | 76.9 | 3.1 | 0.6 | 2.6 | 0.1 | 16.7 |
| Quiroga | 79.2 | 0.8 | 0.05 | 3.2 | 0.1 | 16.5 |
| Tzintzuntzan | 64.8 | 0.2 | 2.6 | 2.9 | 0 | 29.5 |

Fuente: ANTARES. Diagnóstico del relleno sanitario regional de los municipios de la cuenca de Pátzcuaro. Datos elaborados al año 2003.

Tabla 22. Desechos en la cuenca del lago de Pátzcuaro

| Municipio | % Desechos que recoge el servicio de limpia del municipio | Max. | Min. |
|---------------|---|------|------|
| Erongarícuaro | 36.0 | 55 | 100 |
| Pátzcuaro | 76.9 | | |
| Quiroga | 79.2 | | |
| Tzintzuntzan | 64.8 | | |

Fuente: Estimado en base a la información ANTARES. Diagnóstico del relleno sanitario regional de los municipios de la cuenca de Pátzcuaro. OCDE, 2003.

Figura 9. Disposición de los desechos en el municipio de Erongarícuaro

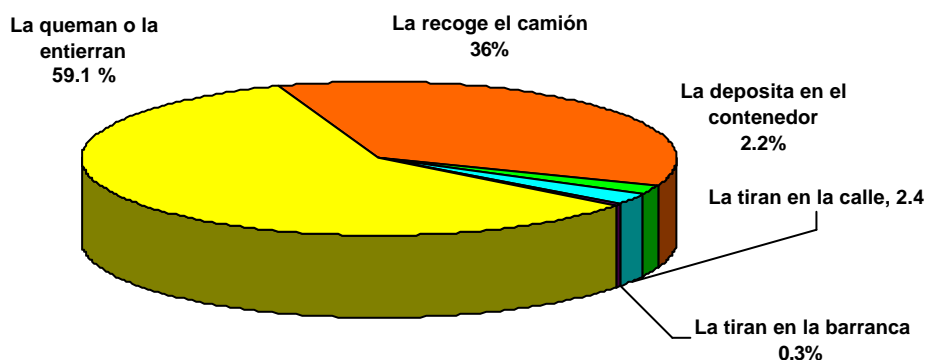


Figura 10. Disposición de los desechos en el municipio de Pátzcuaro

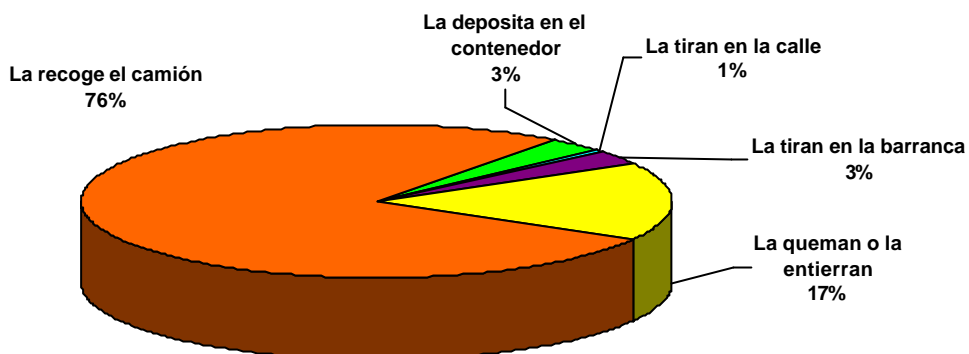


Figura 11. Disposición de los desechos en el municipio de Quiroga

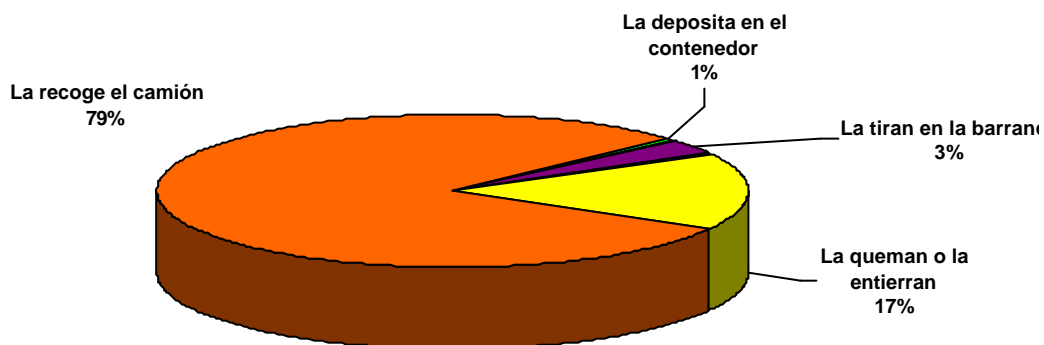
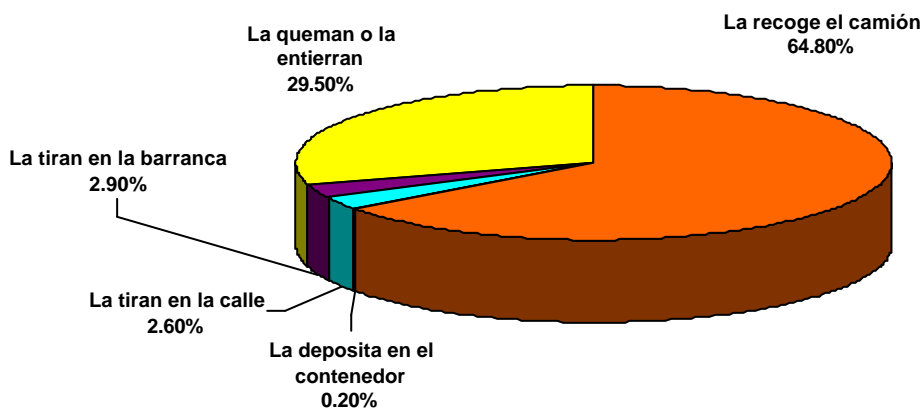


Figura 12. Disposición de los desechos en el municipio de Tzintzuntzan



Inversión en obras de agua potable y alcantarillado

Indicador: Respuesta

Tipo: Económico

El indicador tiene como objetivo evaluar la inversión de las autoridades en cubrir las necesidades en cobertura o mejora de servicios agua potable y drenaje de los habitantes de los municipios, mediante la asignación del presupuesto público.

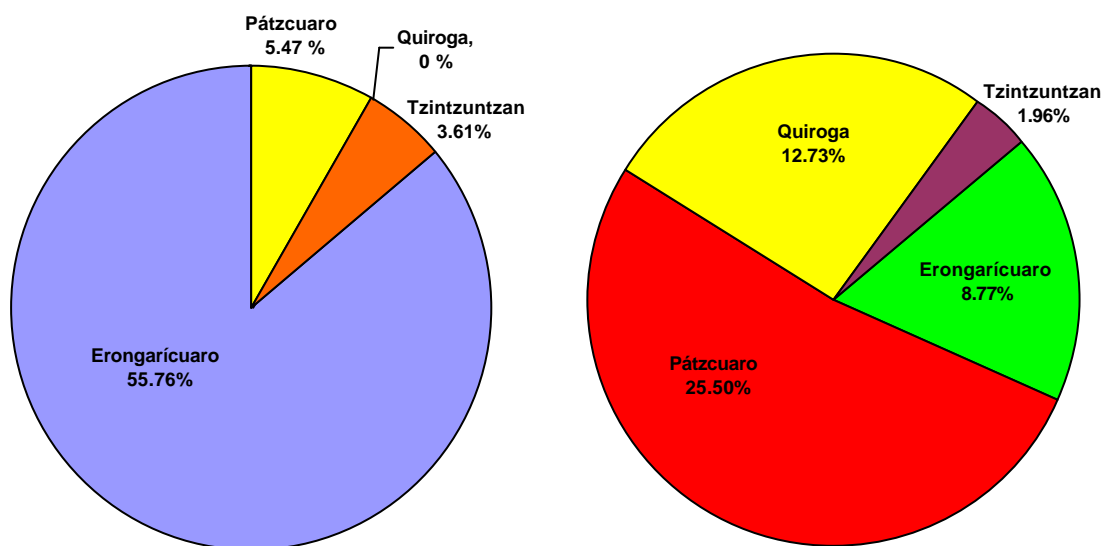
Este es un indicador que está estrechamente ligado a los aspectos económicos y a las prioridades del gobierno en el ejercicio del presupuesto, en la tabla 40 y figura 20, se resume el presupuesto asignado por municipio al año 2001.

Tabla 23. Presupuesto destinado en obras en los municipios de la cuenca

| Obras | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
|-------------------------|---------------|------------|---------|--------------|
| Total asignado en obras | 1,570,843 | 58,083,614 | 667,533 | 3,002,860 |
| Agua potable | 875,881 | 3,178,093 | 0 | 108,547 |
| Drenaje | 137,761 | 14,811,973 | 85,000 | 58,815 |
| Otras obras | 557,201 | 40,093,548 | 582,533 | 2,835,498 |

Fuente: Municipio en cifras, 2001.

Figura 13. Porcentaje del presupuesto asignado en obras por municipio



(a) Inversión en obras de agua potable

(b) Inversión en obras de drenaje

7.4. Integración de resultados

Este apartado dentro de la evaluación es uno de los más importantes, debido a que el análisis de la sustentabilidad, pasa de la diferenciación a la síntesis de la información. En la tabla 41 se presenta un resumen de los resultados estimados para cada uno de los indicadores en las unidades originales.

Tabla 24. Resultados obtenidos por indicador sin normalizar

| Indicador | Unidades | Municipios | | | |
|--|-------------------------|---------------|-----------|----------|--------------|
| | | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
| Consumo doméstico de agua por habitante | l/hab/día | 103 | 200 | 200 | 100 |
| Extracción de agua per cápita | m ³ /hab/año | 53.71 | 19.06 | 91.7 | 312.1 |
| Generación de desechos sólidos por habitante | kg/hab/día | 0.79 | 1.01 | 1.05 | 0.73 |
| Uso de plaguicidas | ton/km ² | 0.223 | 0.268 | 0.093 | 0.596 |
| Uso de fertilizantes | ton/km ² | 11.22 | 17.35 | 10.64 | 7.84 |
| Variación de la cobertura forestal | % | 22.07 | 51.36 | 21.64 | 4.93 |
| Descargas de aguas residuales | mg/l | 221.08 | 61.68 | 98.325 | 118.34 |
| Sobreexplotación de acuíferos | Mm ³ /año | 0.015 | 0.478 | 0.034 | 0.010 |
| Disponibilidad natural del agua | m ³ /hab/año | 2,951.45 | 1,026.00 | 1,152.35 | 3,289.10 |
| Calidad del agua manantiales | Adimensional | 71.5 | 69.76 | 74.7 | 66.8 |
| Calidad del agua lago | Adimensional | 64.4 | 54.7 | 54.7 | 64.2 |
| Tasa de mortalidad infantil | % | 10.8 | 22.94 | 10.86 | 16.27 |
| Desarrollo humano | Adimensional | 0.7 | 0.75 | 0.72 | 0.71 |
| Cobertura de Agua | % | 86.44 | 85.92 | 83.85 | 82.44 |
| Cobertura de servicio drenaje | % | 63 | 75 | 82 | 67 |
| Tratamiento de aguas residuales | % | 0 | 19.5 | 39 | 0 |
| Disposición de los | % | 36 | 76.9 | 79.2 | 64.8 |

| Indicador | Unidades | Municipios | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|-----------|---------|--------------|
| | | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
| desechos municipales | | | | | |
| Inversión en obras de agua potable | % | 55.76 | 5.47 | 0 | 3.61 |
| Inversión en obras de alcantarillado | % | 8.77 | 25.5 | 12.73 | 1.96 |

7.4.1. Establecimiento de valores de referencia para cada uno de los indicadores.

En la tabla 42 se presenta los valores de referencia (máximos y mínimos) seleccionados para el cálculo del índice por indicador).

Tabla 25. Valores de referencia por indicador

| Indicador | Unidades | Mín. | Máx. | Referencia |
|--|-------------------------|------|-------|---|
| Consumo doméstico de agua por habitante | l/hab/día | 50 | 150 | La Organización Mundial de la Salud 150 lt/hab/día como ideal y como mínimo 50 lt/hab/día |
| Extracción de agua per cápita | m ³ /hab/año | 50 | 693 | Estadísticas del Agua 2004. CNA. Valor para México |
| Generación de desechos sólidos por habitante | kg/hab/día | 0.3 | 1.5 | Semarnat-Estadísticas 2000. Contaminación de suebs. |
| Uso de plaguicidas | ton/km ² | 0.06 | 0.52 | OCDE 2003. México 0.13 ton/km ² y Japón 1.5 ton/km ² Enviromental Performance Mexico. |
| Uso de fertilizantes | ton/km ² | 4.9 | 16 | OCDE 2003. México 4.9 ton/km ² y Reino Unido 16 ton/km ² Enviromental Performance Mexico. |
| Variación de la cobertura forestal | % | 12.7 | 63 | Cobertura Forestal Brasil 63% y Argentina 12.7%. |
| Descargas de aguas residuales | mg/l | 60 | 432 | Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. |
| Sobreexplotación de acuíferos | Mm ³ /año | - | - | Se utilizó una fórmula propuesta. |
| Disponibilidad natural del agua | m ³ /hab/año | 1001 | 10001 | Estadísticas del Agua 2004. CNA. |
| Calidad del agua manantiales | Adimensional | 40 | 80 | Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo al ICA conforme el uso-consumo humano |

| Indicador | Unidades | Mín. | Máx. | Referencia |
|---|--------------|-------|------|---|
| Calidad del agua lago | Adimensional | 30 | 80 | Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo al ICA conforme al uso-pesca |
| Tasa de mortalidad infantil | % | 10.88 | 24.9 | Mortalidad infantil del estado 10.88 y México 24.9 |
| Desarrollo humano | Adimensional | 1 | 0 | Adimensional |
| Cobertura de Agua | % | 68 | 94.6 | Estadísticas del Agua 2004. 94% urbana y 68% rural. |
| Cobertura de servicio drenaje | % | 36.7 | 89.6 | Estadísticas del Agua 2004. 89.6% urbana y 36.7% rural. |
| Tratamiento de aguas residuales | % | 0 | 70 | Estadísticas del Agua 2004.CNA. Datos para la región VIII Lerma-Santiago-Pacífico |
| Disposición de los desechos municipales | % | 55 | 100 | Estadísticas países de la OCDE, 2003. Polonia, Japón, Francia, Suecia. |
| Inversión en obras de agua potable | % | 5 | 55 | Propuestos para el cálculo conforme a lo máximo y mínimo observado en la región. |
| Inversión en obras de alcantarillado | % | 5 | 25 | Propuestos para el cálculo conforme a lo máximo y mínimo observado en la región. |

7.5. Cálculo del índice de sustentabilidad

7.5.1. Cálculo de índices para cada indicador a partir de los valores de referencia o umbrales

Se construyeron índices para cada indicador a partir de los límites de referencia (máximos y mínimos) en una función lineal, que da uniformidad en unidades y valores, colocando los resultados en unidades disímiles (entre 0 y 1).

Para cada caso se aplicó la fórmula general (citada en el capítulo 6), utilizando los valores de referencia de la tabla 42 y el valor calculado para cada municipio de la tabla 41, como por ejemplo la calidad del agua de los manantiales en el municipio de Pátzcuaro.

$$\text{Índice del componente (indicador)} = \frac{\text{valor efectivo} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}$$

$$\text{Índice de calidad del agua} = \frac{69.76 - 40}{80 - 40} = 0.74$$

Es importante mencionar que la aplicación de la fórmula general considera casos en donde se interpreta el valor máximo como deseable y en otros como indeseable. Para el cálculo del índice en estos últimos se modifica la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{Índice del componente (indicador)} = \frac{\text{valor máximo} - \text{valor efectivo}}{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}$$

Por ejemplo en el caso de uso de plaguicidas aplicando la fórmula tal cual en los municipios, se obtiene una tendencia a que mayor uso mejor es la calificación del índice obtenido:

$$\text{Índice de uso de plaguicida (Erongarícuaro)} = \frac{0.22 - 0.06}{0.52 - 0.06} = 0.34$$

$$\text{Índice de uso de plaguicida (Pátzcuaro)} = \frac{0.26 - 0.06}{0.52 - 0.06} = 0.43$$

En cambio al hacer la consideración se dice que a mayor uso de pesticida, mayor es la tendencia a cero:

$$\text{Índice de uso de plaguicida (Erongarícuaro)} = \frac{0.52 - 0.22}{0.52 - 0.06} = 0.65$$

$$\text{Índice de uso de plaguicida (Pátzcuaro)} = \frac{0.52 - 0.26}{0.52 - 0.06} = 0.55$$

En la tabla 43 se presentan los resultados de los índices construidos para cada uno de los indicadores.

Tabla 26. Resultados del cálculo

| Indicador | Municipios | | | |
|--|---------------|-----------|---------|--------------|
| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
| Consumo doméstico de agua por habitante | 1 | 0.67 | 0.67 | 1 |
| Extracción de agua per cápita | 0.99 | 1.0 | 0.94 | 0.59 |
| Generación de desechos sólidos por habitante | 0.59 | 0.41 | 0.38 | 0.64 |
| Uso de plaguicidas | 0.65 | 0.55 | 0.93 | 0 |
| Uso de fertilizantes | 0.43 | 0 | 0.48 | 0.74 |
| Variación de la cobertura forestal | 0.19 | 0.77 | 0.18 | 0 |
| Descargas de aguas residuales | 0.43 | 0.00 | 0.10 | 0.16 |
| Sobreexplotación de acuíferos | 0.98 | 0.52 | 0.97 | 0.99 |
| Disponibilidad natural del agua | 0.22 | 0.00 | 0.02 | 0.25 |
| Calidad del agua manantiales | 0.79 | 0.74 | 0.87 | 0.67 |

| Indicador | Municipios | | | |
|---|---------------|-----------|---------|--------------|
| | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
| Calidad del agua lago | 0.86 | 0.62 | 0.62 | 0.86 |
| Tasa de mortalidad infantil | 1.0 | 0.14 | 1.0 | 0.62 |
| Desarrollo humano | 0.70 | 0.75 | 0.72 | 0.71 |
| Cobertura de Agua | 0.69 | 0.67 | 0.60 | 0.54 |
| Cobertura de servicio drenaje | 0.50 | 0.72 | 0.86 | 0.57 |
| Tratamiento de aguas residuales | 0 | 0.28 | 0.56 | 0 |
| Disposición de los desechos municipales | 0 | 0.49 | 0.54 | 0.22 |
| Inversión en obras de agua potable | 0.92 | 0.01 | 0 | 0 |
| Inversión en obras de alcantarillado | 0.19 | 1.0 | 0.39 | 0 |

7.6. Análisis de los resultados por indicador

Después de conjuntar y calcular los indicadores, se analizaron los resultados por indicador y por municipio a fin de identificar los rubros que deben atenderse de manera prioritaria y promover acciones para su rehabilitación. En la tabla 44 se presenta las recomendaciones analizadas para cada uno de los indicadores.

Tabla 27. Recomendaciones por indicador

| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|---|---|---|
| Consumo doméstico de agua por habitante | Los municipios de Pátzcuaro y Quiroga presentan un uso ineficiente del agua debido a que consumen por arriba del óptimo recomendado por la OMS. Haciendo una diferencia al compararlos con los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan que tienen un uso del agua por debajo del mínimo recomendado. | Promover el uso eficiente del agua en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga, a través de programas de ahorro del agua. Y promover que los municipios de Tzintzuntzan y Erongarícuaro reciban el mínimo recomendado. |
| Extracción de agua per cápita | <p>La intensidad de uso del agua se refleja a través de la extracción de agua per cápita, en México se emplean del orden de 665 m³/hab/año de agua, un poco más de la tercera parte de lo que se emplea en Estados Unidos, y casi el doble de lo que se emplea en Brasil.</p> <p>En la cuenca la intensidad del uso del agua se presenta entre 19.06 y 312.1 m³/hab/año, y sus principales usos son la acuacultura y el público urbano.</p> | Los resultados por indicador aun no son alarmantes al comparar con otras regiones la extracción de agua per capita en los municipios es relativamente baja, habría que tener en consideración que el municipio de Tzintzuntzan tiene una extracción que va en aumento y en algún momento esto puede reflejar un problema. |

| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|---|--|--|
| | <p>La mayor intensidad de aprovechamiento se presenta en Tzintzuntzan (312 m³/hab/año) que destina gran parte del agua en la acuacultura, seguido por el municipio de Quiroga (91.7 m³/hab/año), luego Erongarícuaro y finalmente Pátzcuaro. El uso más importante del agua en Pátzcuaro y Erongarícuaro es el público urbano.</p> | |
| <p>Generación de desechos sólidos por habitante</p> | <p>En los municipios de Pátzcuaro y Quiroga es donde se observa mayor porcentaje de generación de desechos sólidos. Un gran porcentaje de la generación, no llega a los sitios de disposición final, es decir a los tiraderos municipales y esto se debe sin duda a las características de los asentamientos humanos.</p> | <p>El problema de la basura en la cuenca de Pátzcuaro se debe resolver con un enfoque de largo plazo, en la región se tiene aproximadamente 135,000 habitantes y dentro de 15 años tendrá aproximadamente 160,000 habitantes.</p> <p>Un enfoque responsable de las autoridades municipales con el medio ambiente hoy implica planear y estimar el costo y la demanda de servicio que habrá que enfrentar en el futuro.</p> |
| <p>Uso de plaguicidas</p> | <p>En la cuenca se observa el uso de plaguicidas y herbicidas considerados de alto riesgo, aunque las cantidades encontradas no se comparan con las del máximo consumidor es importante tener en cuenta su presencia para no permitir que esta problemática se extienda.</p> | <p>Implementar programas de capacitación para el manejo y aplicación correcta de plaguicidas y herbicidas en las zonas agrícolas.</p> <p>Regular el uso de agroquímicos.</p> |
| <p>Uso de fertilizantes</p> | <p>En los cuatro municipios es evidente el uso de grandes cantidades de fertilizantes, provocando la degradación del suelo y por consiguiente la contaminación de los matos freático.</p> | <p>Implementar programas de manejo sustentable de la tierra a los agricultores.</p> |

| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|------------------------------------|--|---|
| Variación de la cobertura forestal | Alrededor del 30% del área de la cuenca esta cubierta por bosques, de los bosques se extrae madera, resina, leña y otros productos para uso comercial y artesanal. Pero esta explotación se ve afectada por la tala insustentable y clandestina. | <p>Promover programas de conservación forestal y reforestación para mantener y aumentar la recarga de los acuíferos.</p> <p>Mantener permanente la cobertura forestal para disminuir la erosión en la cuenca y el azolvamiento en las partes ribereñas.</p> <p>Instrumentar vigilancia en las partes boscosas a fin de disminuir la tala clandestina e insustentable.</p> |
| Descargas de aguas residuales | La calidad del agua de las descargas de aguas residuales medidas a través de la DBO ₅ , en los municipios de la cuenca sobrepasa el límite máximo permisible de la NOM-ECOL-001-1996 a cuerpo receptor. | Es necesario el tratamiento de las aguas residuales municipales, que son descargadas directamente al lago que fomentan el deterioro del lago y promueven el crecimiento de malezas acuáticas por sus altos contenidos de fósforo. |
| Sobreexplotación de acuíferos | La tasa de recarga de los mantos freáticos en la zona ribereña no se manifiesta aun como un problema debido a que en la cuenca la tasa de recarga es mayor que la extracción. | Para las condiciones actuales es necesario tener un mejor registro y control de los aprovechamientos en la cuenca baja y sobre el lago mismo. |

| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|---------------------------------|--|---|
| Disponibilidad natural del agua | <p>La disponibilidad natural media per cápita en la cuenca presenta niveles que la ubican entre baja (2,001 a 5,000) y muy baja (1,001 a 2,000), siendo los municipios más afectados Quiroga y Pátzcuaro con una disponibilidad de 1,152 y 1,026 m³/hab/año respectivamente.</p> <p>Erongarícuaro y Tzintzuntzan están ubicados dentro de la clasificación con una disponibilidad baja con valores 2,951 y 3,289 m³/hab/año.</p> | |
| Calidad del agua manantiales | <p>La calidad del agua utilizada para abastecimiento humano medida con el ICA, en bs principales manantiales de los municipios de la cuenca, arroja resultados catalogados conforme este índice entre 66.8-71.5 que la califican como contaminada para consumo humano (50-70).</p> | <p>Se requiere un pre-tratamiento para poder consumir el agua. Por otra parte sería recomendable investigar el origen de tal contaminación del agua y erradicar el problema.</p> |
| Calidad del agua lago | <p>La calidad del agua en el lago medida a través del ICA, lo califica para diferentes usos (pesca, agricultura y recreación) como levemente contaminado a aceptable.</p> <p>Esta calificación aun no es alarmante, pero en el lago se manifiestan problemáticas que no se detectan a través de este indicador.</p> | <p>Con los antecedentes de la contaminación sería importante hacer pruebas en los sedimentos del lago específicamente de plaguicidas y metales para detectar si estos no están interfiriendo en el desarrollo de las especies.</p> <p>Disminuir los niveles de tratamiento promoviendo el tratamiento de las aguas residuales que llegan al lago.</p> <p>Promover la construcción de colectores de aguas residuales y reducir el uso de agroquímicos.</p> |

| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|-------------------------------|---|---|
| Tasa de mortalidad infantil | La calidad del agua de consumo en los municipios, evidencia una reducción de la mortalidad infantil, en los municipios de la cuenca la mortalidad infantil se acentúa en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga, en estos municipios la mortalidad infantil es superior a la mortalidad infantil del estado de Michoacán (10.8). | |
| Desarrollo humano | En la cuenca el desarrollo humano en los municipios de la cuenca se encuentra entre 0.70 y 0.75 (medio alto), del mismo orden del que presenta el estado de Michoacán que es de 0.749. | Promover en la región programas de conservación ecológica de la cuenca para aumentar la calidad de vida de la población. Reconocer a las comunidades indígenas y hacerlas partícipes de los programas sociales encaminados al manejo de los recursos de la cuenca |
| Cobertura de Agua | La cobertura de agua potable en los municipios entre el 82 y 86%, valor muy parejo con la cobertura de la media nacional que es de 88%. | Mejorar e incrementar el servicio de agua potable en las partes rural. Establecer una red eficiente de distribución de agua |
| Cobertura de servicio drenaje | La cobertura de drenaje en la cuenca se observa rezagada en los municipios de Erongarícuaro (63%) y Tzintzuntzan (67%) que están por debajo de la media nacional de 76%, Pátzcuaro tiene una cobertura igual a la nacional y Quiroga tiene una cobertura por encima de la nacional de 82%. | Mejorar y incrementar el servicio de drenaje en las zonas que carecen de este servicio. |

| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|---|---|---|
| Tratamiento de aguas residuales | El tratamiento de aguas residuales en el área de la cuenca es de insuficiente a nulo | <p>Instalación de planta de tratamiento en los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan, o la utilización de operaciones unitarias que permitan el tratamiento de las aguas municipales.</p> <p>Ampliación acompañada de rehabilitación de la planta de tratamiento de Quiroga.</p> <p>En Pátzcuaro se requiere invertir en la rehabilitación y mantenimiento de la plantas de tratamiento de Janitzio y Pátzcuaro.</p> |
| Disposición de los desechos municipales | Los problemas relacionados con la disposición de residuos sólidos, que aquejan a los municipios de la cuenca, se presentan en los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan. Aunque en Pátzcuaro se presentan el mayor número de tiraderos clandestinos. | <p>Para resolver el problema de la disposición final, primeramente es necesario considerar un aumento en la cobertura de la recolección, ya que, en promedio se tiene actualmente una cobertura del 64.2% del total de la generación de residuos sólidos en la cuenca.</p> <p>Debe aumentarse la cobertura en las zonas urbanas, recolectando toda la basura tirada en las calles, barrancas, al lago u otros cuerpos superficiales de agua o tiraderos clandestinos.</p> <p>Debe considerarse el problema de la disposición final de los residuos sólidos puede resolverse a través de distintos métodos, una opción es el de establecer un relleno sanitario en Pátzcuaro, sin embargo, la solución no es única, es</p> |

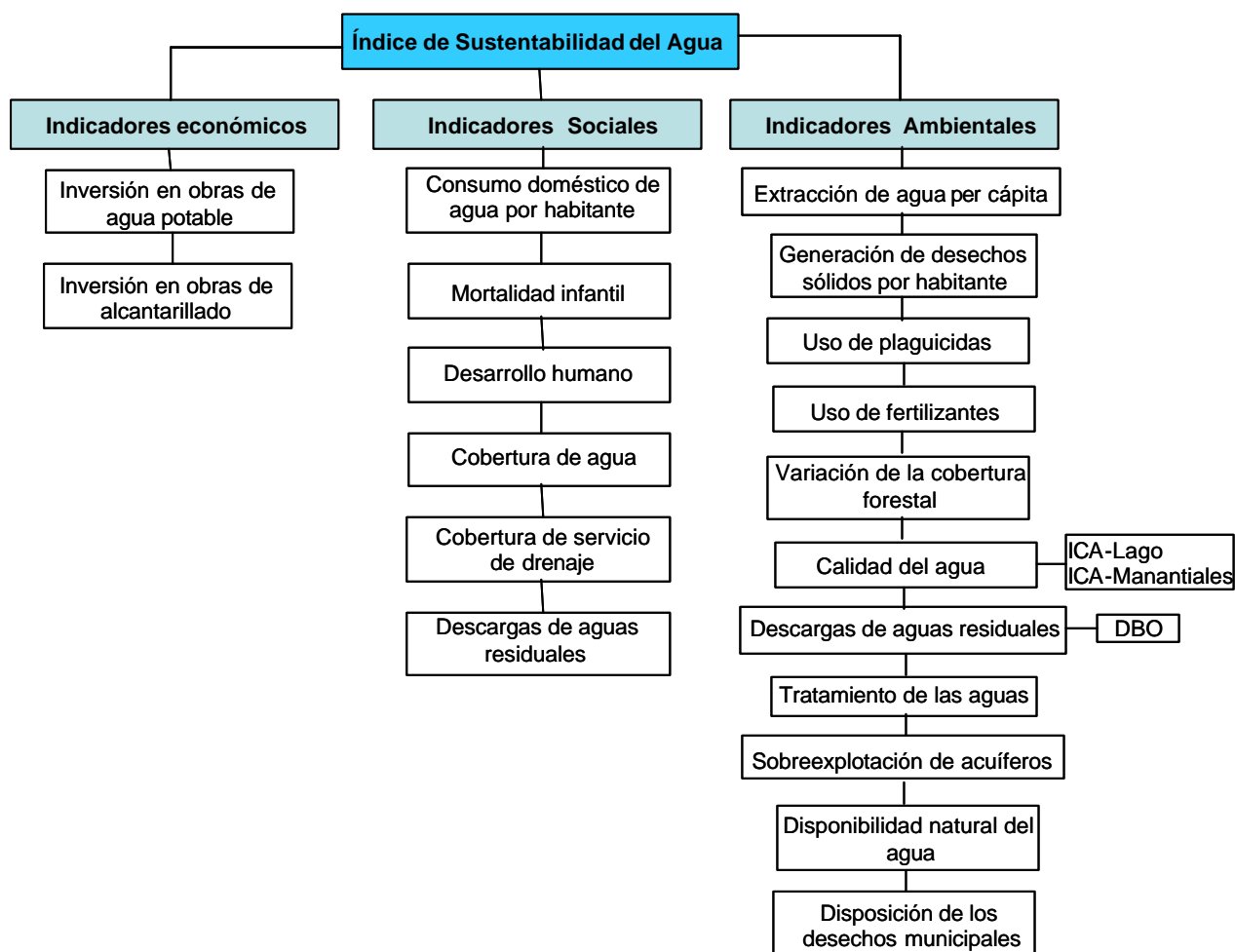
| Indicador | Diagnóstico | Recomendaciones |
|--------------------------------------|--|---|
| | | necesario considerar otras alternativas para las localidades ubicadas en lugares de difícil acceso o baja densidad poblacional. |
| Inversión en obras de agua potable | La inversión en materia de agua se observa rezagada, aunque se ha visto inversión en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga. Al relacionarlo con el nivel de cobertura es importante mencionar que se ve favorecida en el municipio de Erongarícuaro que tiene mayor inversión. | Implementar programas mejoramiento de la calidad de los servicios. |
| Inversión en obras de alcantarillado | La inversión en cuanto a las obras de drenaje dentro de los municipios de la cuenca se ha hecho evidente, principalmente en el municipio de Pátzcuaro. | Continuar con programas de inversión en materia de alcantarillado en el resto de los municipios de la cuenca. |

7.6.1. Medición y cuantificación del Índice de Sustentabilidad (IDS)

El análisis de los indicadores y la cuantificación del Índice de sustentabilidad se aborda bajo el enfoque metodológico basado en la Teoría de Decisiones de Atributos Múltiples. Esta teoría permite desglosar el problema al analizar en un árbol de decisiones en el que el tronco principal se divide en criterios generales y éstos a su vez en criterios específicos o atributos que también pueden subdividirse. De esta forma, el problema a evaluar se fracciona en aspectos cada vez más específicos que son más sencillos de medir. Para este caso, el tronco lo constituye el índice de sustentabilidad, que a su vez está conformado por los tres criterios generales: económico, social y ambiental (figura 21).

| | |
|-------------|----|
| Económicos | 2 |
| Sociales | 5 |
| Ambientales | 12 |

Figura 14. Diagrama de árbol



El análisis de los criterios específicos se realizó por grupo de forma independiente, mezclando los valores de los criterios específicos definidos para cada uno de ellos. La relación de los criterios específicos permite conocer el desempeño de cada municipio en cada uno de los tres rubros definidos.

Los coeficientes de peso considerados se asignan de forma que la suma sea siempre la unidad, por lo que es posible afirmar que estos coeficientes de peso representan la importancia relativa de los atributos en el criterio general. De esta forma el resultado de la suma ponderada para cada una de los municipios analizados es considerada como el desempeño particular en el criterio general evaluado. Lo anteriormente expuesto se representa de la siguiente forma:

$$FSI_1 \cdot VSI_{ij_1} + FSI_2 \cdot VSI_{ij_2} + \dots + FSI_n \cdot VSI_{ij_n} = VA_{ij}$$

FS_i es el valor de peso para el i -ésimo atributo o indicador perteneciente al

criterio específico a , debiéndose cumplir que $\sum_{i=1}^n FS_i = 1$.

Para cada sistema asignación de cada uno de los criterios generales:

$$VA_{ij} = \begin{aligned} IE &= 0.5 \cdot VSI_1 + 0.5 \cdot VSI_2 \\ IA &= 0.083 \cdot VSI_1 + 0.083 \cdot VSI_2 + \dots + 0.083 \cdot VSI_{12} \\ IS &= 0.20 \cdot VSI_1 + 0.20 \cdot VSI_2 + \dots + 0.20 \cdot VSI_5 \end{aligned}$$

Una vez obtenidos los valores de desempeño de los municipios para cada uno de los criterios generales, es necesario combinarlos a fin de obtener el índice de desarrollo sustentable. La combinación se realiza bajo preceptos similares a los considerados en el análisis a nivel criterio particular, es decir se considera el coeficiente de ponderación para cada uno de los criterios generales: social, económico, ambiental e institucional. La suma de los coeficientes será siempre igual a la unidad, de forma que estos valores representen la importancia relativa entre criterios generales.

$$IDS = \sum_{j=1}^3 FIG_j \cdot VA_{ij}$$

FIG_j es el valor de peso para el i -ésimo Indicador General

Para el análisis de los resultados se evaluaron cuatro escenarios el primero considera igual importancia a los tres sistemas y el segundo le da mayor importancia al sistema ambiental y el tercero con mayor importancia al sistema social, el cuarto le da mayor importancia al sistema económico. En la tabla 44 se presentan los valores de peso para cada indicador general.

Tabla 28. Escenarios para el cálculo del índice de sustentabilidad

| Escenarios evaluados | Valor de peso para cada Indicador General (FIG) | | |
|---|---|-----------|--------------|
| | S. Económico | S. Social | S. Ambiental |
| Igual importancia en todos los sistemas | 0.33 | 0.33 | 0.34 |
| <i>IDS = 0.33 IE + 0.33 IS + 0.34 IA</i> | | | |
| Mayor importancia en el sistema ambiental | 0.1053 | 0.2632 | 0.6316 |
| <i>IDS = 0.1053 IE + 0.2632 IS + 0.6316 IA</i> | | | |
| Mayor importancia en el sistema social | 0.15 | 0.70 | 0.15 |
| <i>IDS = 0.15 IE + 0.70 IS + 0.15 IA</i> | | | |
| Mayor importancia en el sistema económico | 0.50 | 0.25 | 0.25 |
| <i>IDS = 0.50 IE + 0.25 IS + 0.25 IA</i> | | | |

La obtención de índices muestra el diagnóstico general de la situación en la cuenca, el estado actual y la respuesta, mismo que requiere de continuación y seguimiento para el conjunto de indicadores de los sistemas económico, social y ambiental. Los resultados se presentan caracterizados por valores agrupados en cinco categorías:

1. sustentabilidad insipiente, valores de 0 a 0.25
- 2.-sustentabilidad baja, valores de 0.25 a 0.50
- 3.- sustentabilidad media 0.50 a 0.60
- 4.- sustentabilidad media alta 0.60 a 0.85
- 5.- sustentabilidad consolidada 0.85 a 1

Este criterio se aplica en todas las comparaciones de sustentabilidad a nivel particular y general.

En las figuras 22, 23 y 24 se presenta los resultados de los índices agrupados por sistema correspondientes a cada uno de los municipios.

Figura 15. Índice de sustentabilidad del sistema económico

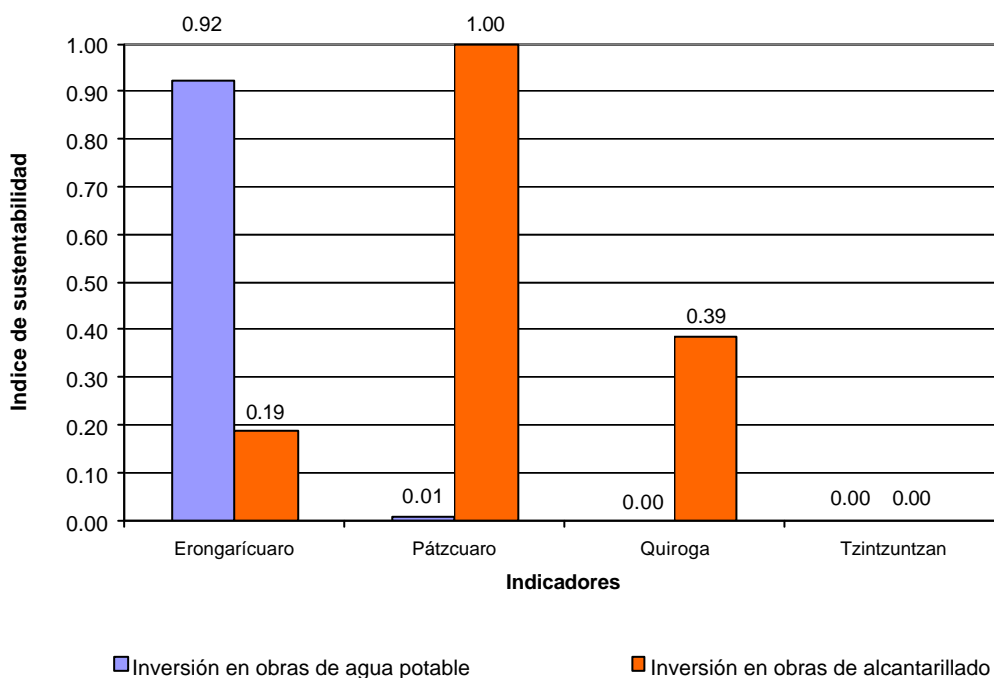


Figura 16. Índice de sustentabilidad del sistema social

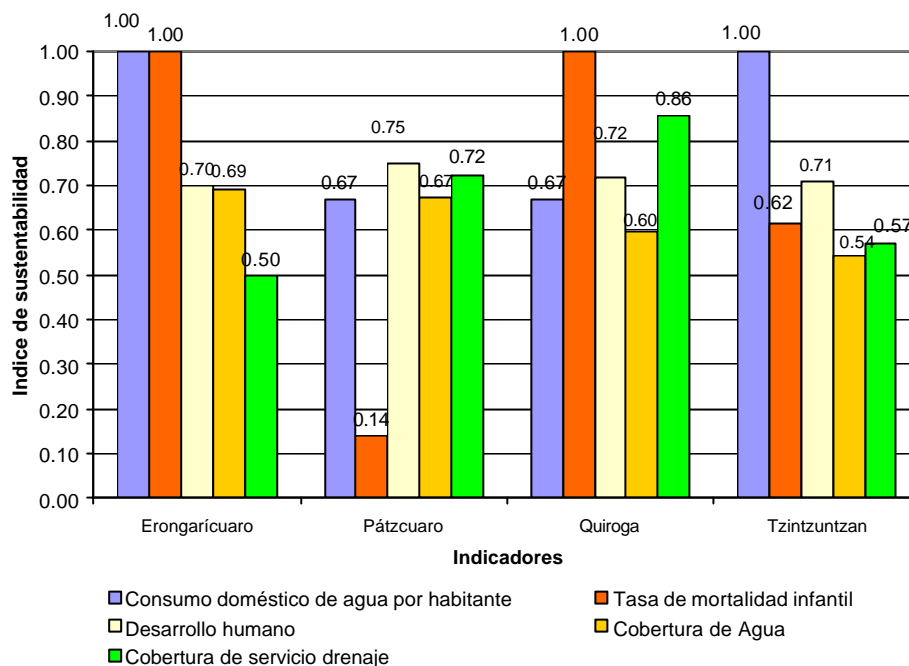
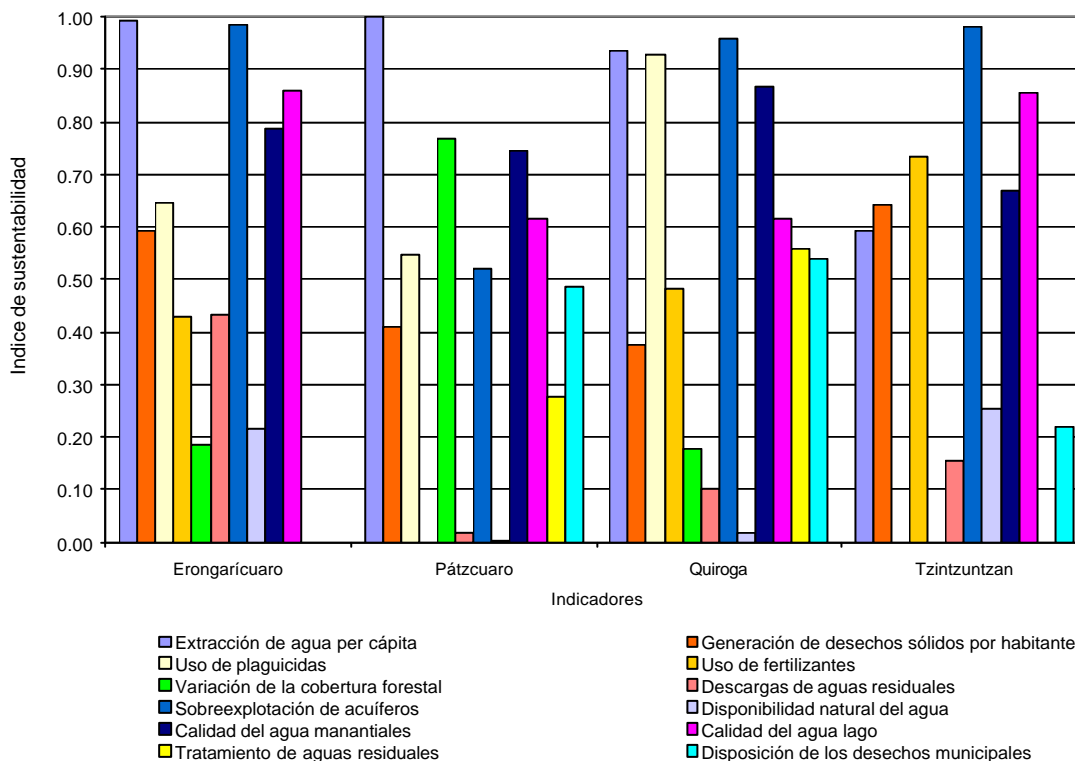


Figura 17. Índice de sustentabilidad del sistema ambiental



7.7. Escenarios del Índice de sustentabilidad con ponderación diferencial a cada sistema

7.7.1. Igual importancia en todos los sistemas

En la tabla 46 y figura 25 se presenta los resultados finales de los índices obtenidos para cada sistema, así como el índice de Sustentabilidad (IDS) para el escenario con igual peso a todos los sistemas

Tabla 29. Índice de sustentabilidad

| Índice de Sustentabilidad | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Social | 0.778 | 0.592 | 0.768 | 0.688 |
| Ambiental | 0.511 | 0.450 | 0.547 | 0.425 |
| Económico | 0.556 | 0.098 | 0.036 | 0.000 |
| Índice de Sustentabilidad | 0.614 | 0.379 | 0.450 | 0.371 |

Se puede apreciar que el desempeño del sistema económico es bajo en la cuenca ya que sus valores oscilan entre 0 y 0.098 en los municipios de Pátzcuaro, Quiroga y Tzintzuntzan, lo que podría considerarse como un desempeño o sustentabilidad baja conforme al criterio. Observándose en el interior del índice carencia de recursos destinados para las obras de alcantarillado y agua potable.

Únicamente el municipio de Erongarícuaro se considera en este sistema con un desempeño de sustentabilidad media.

La figura 23, refleja que el mejor desempeño de los tres sistemas es el social. Los valores de 0.778 en Erongarícuaro, 0.768 en Quiroga, 0.68 para Tzintzuntuzan y 0.59 en Pátzcuaro hablan de una situación en términos de bienestar social aceptable; si bien al interior del índice se pueden encontrar desequilibrios en el consumo de agua por habitante y falta de servicios de alcantarillado.

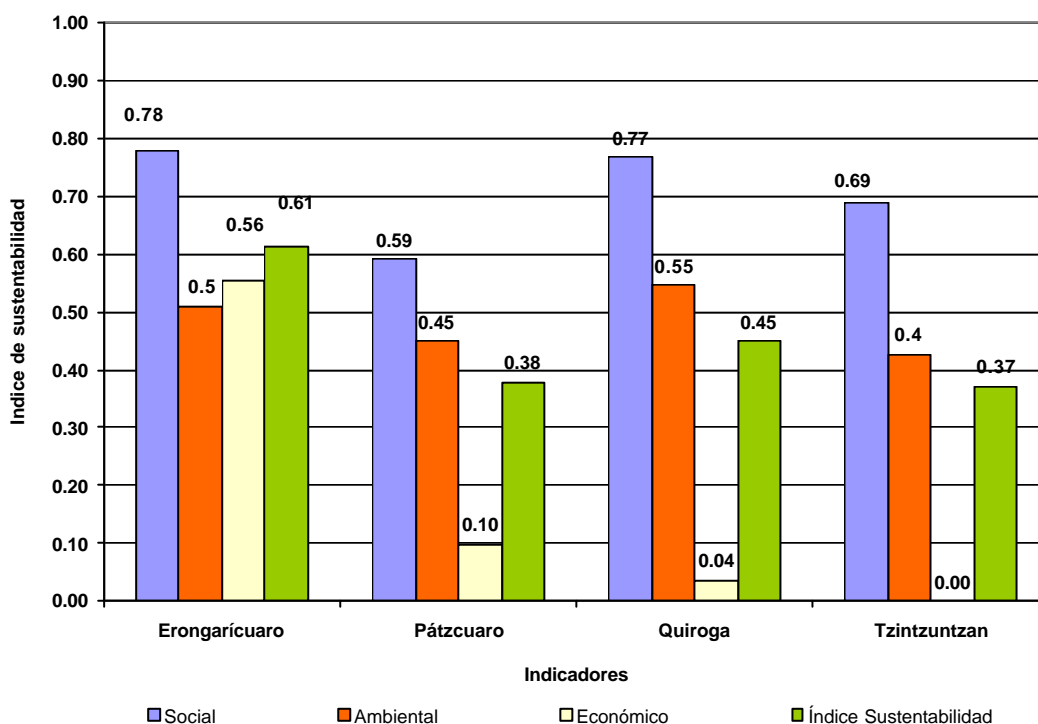
El sistema ambiental en general en los municipios evidencia una deficiencia en el manejo del agua en todos los municipios (0.425 a 0.547), denota que el sistema no esta en equilibrio con su aprovechamiento, si bien al interior del índice se manifiesta el problema de las descargas de aguas residuales, la pérdida de la cobertura forestal, disponibilidad del agua y la disposición de residuos sólidos (figura 24).

La figura 25 muestra la posición y el peso que ocupa cada una de las tres dimensiones analizadas, así como el resultado final ponderado del IDS integrado. Es importante mencionar que cada sistema tiene un peso equivalente a una tercera parte de la cifra de mérito del 100% total.

El IDS para cada municipio presenta valores que oscilan entre 0.39 a 0.62, en el caso del municipio de Erongarícuaro presenta un índice de sustentabilidad de 0.62 mientras que Quiroga presenta un índice de 0.46, lo que los sitúa en la categoría de sustentabilidad media y baja.

Pátzcuaro presenta un índice de 0.39, la diferencia expresa un déficit de 0.61 con respecto a una sustentabilidad alta (1) así mismo el municipio de Tzintzuntzan se encuentra en el mismo caso que el municipio de Pátzcuaro con un índice de 0.38 y un déficit de 0.62. Estas diferencias o déficits son absorbidas o importadas en algunos casos por otras regiones especialmente en el sistema ambiental.

Figura 18. Valores ponderados por sistema e Índice de Sustentabilidad integrado (IDS).



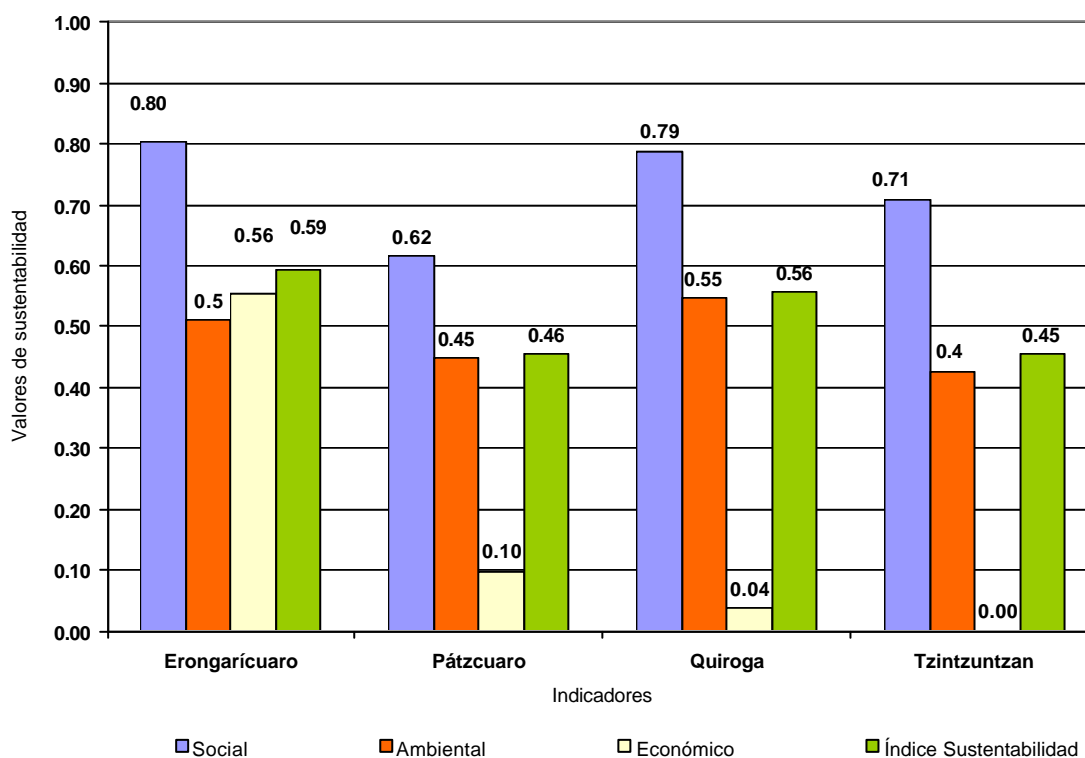
7.7.2. Mayor importancia al sistema ambiental

Si se considera una mayor importancia al aspecto ambiental, los municipios de Quiroga y Erongarícuaro son los que destacan y se encuentran en la categoría de sustentabilidad media; debe señalarse que son los mismos que con el criterio de igual importancia, en este caso, es mayor su ventaja sobre los demás municipios (tabla 47 y figura 26).

Tabla 30. Índice de sustentabilidad (con mayor importancia al sistema ambiental)

| Índice de Sustentabilidad | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
|----------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Social | 0.803 | 0.615 | 0.790 | 0.708 |
| Ambiental | 0.511 | 0.448 | 0.547 | 0.425 |
| Económico | 0.556 | 0.098 | 0.036 | 0.000 |
| Índice de Sustentabilidad | 0.592 | 0.456 | 0.557 | 0.455 |

Figura 19. Valores ponderados por sistema e Índice de Sustentabilidad integrado (IS), mayor importancia ambiental



Esto se debe a que es precisamente en este aspecto donde se tiene la mayor ventaja: la extracción de agua per capita, la sobreexplotación de acuíferos, la calidad del agua en los manantiales son los principales factores, ya que su diferencia con respecto a los demás indicadores es muy grande. Los valores de los indicadores de este grupo oscilan entre 0.99 y 0.02.

Mientras que los municipios de Pátzcuaro y Tzintzuntzan se consideran dentro de la categoría de sustentabilidad baja.

7.7.3. Mayor importancia al sistema social

Cuando se considera un coeficiente de peso de mayor importancia social, los municipios sobresalen de acuerdo con los criterios definidos; nuevamente son Erongarícuaro y Quiroga ubicándolos en la categoría de sustentabilidad media alta, pero también se observa mejora en los otros dos municipios (tabla 44).

El índice de sustentabilidad asciende en los municipios de Pátzcuaro y Tzintzuntzan, mostrando que el sistema social es el que se encuentra en la mejor situación.

Tabla 31. Índice de sustentabilidad (con mayor importancia al sistema social)

| Índice de Sustentabilidad | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Social | 0.803 | 0.615 | 0.790 | 0.708 |
| Ambiental | 0.511 | 0.448 | 0.547 | 0.425 |
| Económico | 0.556 | 0.098 | 0.036 | 0.000 |
| Índice de Sustentabilidad | 0.72 | 0.51 | 0.64 | 0.56 |

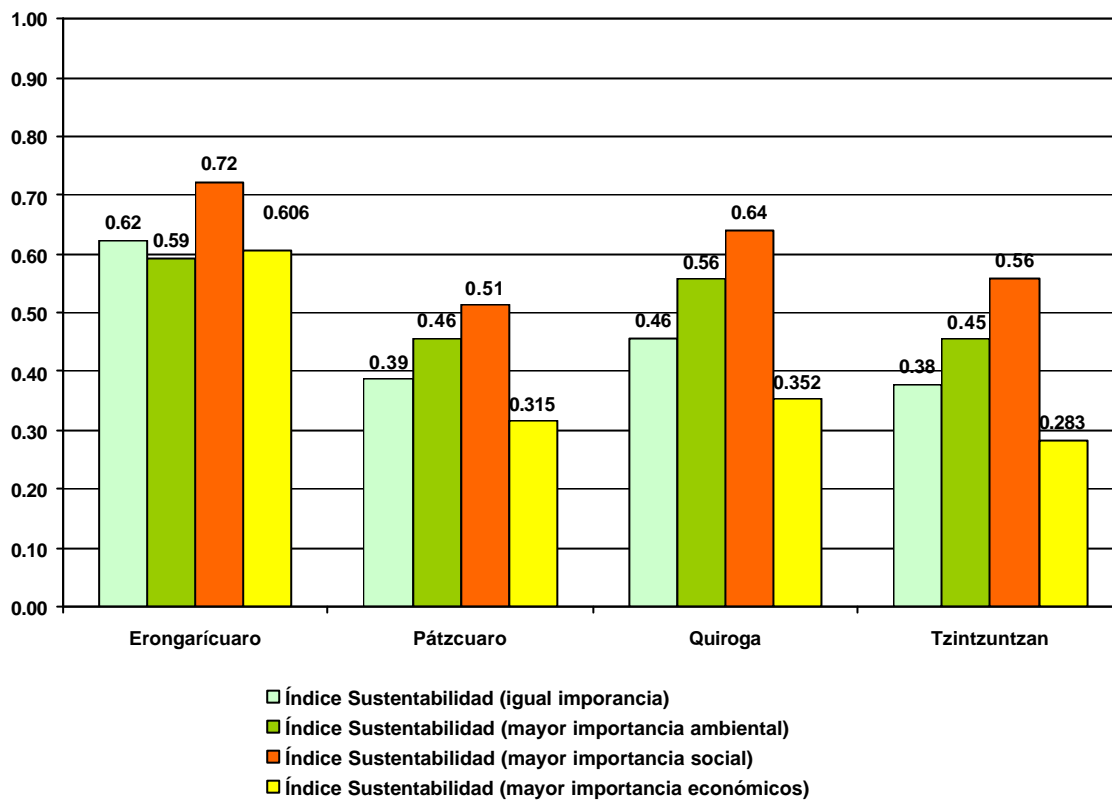
7.7.4. Mayor importancia al sistema económico

Al manejar mayor importancia en el sistema económico, el municipio de Erongarícuaro permanece con el mejor índice 0.60 (ver figura 24), pero en el resto de los municipios el índice disminuye a valores que oscilan 0.28 a 0.35, esto marca que el sistema económico en lo que se refiere al agua es la parte más débil, ya que se ubican en la clasificación de sustentabilidad baja.

Tabla 32. Índice de sustentabilidad (con mayor importancia al sistema económico)

| Índice de Sustentabilidad | Erongarícuaro | Pátzcuaro | Quiroga | Tzintzuntzan |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Social | 0.803 | 0.615 | 0.790 | 0.708 |
| Ambiental | 0.511 | 0.448 | 0.547 | 0.425 |
| Económico | 0.556 | 0.098 | 0.036 | 0.000 |
| Índice de Sustentabilidad | 0.606 | 0.315 | 0.352 | 0.283 |

Figura 20. Índice de sustentabilidad para los distintos escenarios



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se evaluó el manejo del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro, para esto se identificaron los principales actores en la problemática del recurso, estos fueron esencialmente la deforestación, pérdida de suelo, deterioro de la calidad del agua, disminución del agua subterránea, escasez de recursos económicos, deterioro de la salud pública y pobreza.

La metodología aplicada para obtener el índice de sustentabilidad del manejo del agua, se basó en la interacción de distintos indicadores de los sistemas económico, ambiental y social a través del marco de referencia Presión-Estado-Respuesta (PER).

Como resultado del análisis se generó una batería de diecinueve indicadores, siete de presión, seis de estado y seis de respuesta.

Se consideraron como indicadores relevantes de presión al consumo doméstico de agua por habitante, a la extracción de agua per capita, la variación de la cobertura forestal, la generación de desechos sólidos por habitante, el uso de plaguicidas y fertilizantes y las descargas de aguas residuales, a fin de visualizar la presión que se realiza entorno del agua.

Tomando en cuenta la presión que ejercen las comunidades sobre el recurso y así medir el estado que guardan sobre el mismo, se evaluaron como indicadores de estado la calidad del agua del lago, la calidad del agua de los manantiales, disponibilidad natural del agua, la sobreexplotación de acuíferos, la mortalidad infantil y el desarrollo humano.

Para verificar la respuesta institucional en los municipios de la cuenca respecto al abastecimiento y la sustentabilidad relacionadas con el servicio del agua, se evaluaron como indicadores de respuesta a la cobertura de agua, la cobertura de drenaje, el tratamiento de aguas residuales, la disposición de desechos municipales, la inversión en obras de agua potable y la inversión en obras de drenaje.

La estrategia de este trabajo fue comparar los datos de los indicadores en los tres sistemas ya mencionados con estándares regionales, nacionales e internacionales sobre todo de la OCDE, de tal manera que se pudiera conocer la condición del estado óptimo o deseable en términos del desempeño en los diferentes campos.

La aplicación de indicadores de sustentabilidad para la evaluación del manejo del agua, ha permitido generar un diagnóstico general en el período del 2000 al 2003, de los municipios que conforman la cuenca del lago de Pátzcuaro.

Existe una marcada desigualdad en los patrones de consumo de agua entre el área rural (Erongarícuaro y Tzintzuntzan) y el área urbana (Quiroga y Pátzcuaro). La dotación de agua por habitante recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 150 litros diarios por persona como consumo óptimo y 50 litros como mínimo.

Los municipios de Pátzcuaro y Quiroga consumen 200 litros diarios valores por arriba del óptimo, entretanto en Erongarícuaro la dotación por habitante es de 103 litros 47 litros por debajo del óptimo, mientras que en Tzintzuntzan la dotación no alcanza a cubrir ni el mínimo, la dotación para este municipio es de 36 litros diarios por habitante.

En la cuenca la intensidad del uso del agua reflejada a través de la extracción de agua se presenta entre 19.6 y 312.1 m³/hab/año. La extracción de agua per capita en los municipios es relativamente baja, aunque el municipio de Tzintzuntzan tiene una extracción que va en aumento.

En los municipios de Pátzcuaro y Quiroga es donde se presenta mayor porcentaje de generación de desechos sólidos. Un gran porcentaje de la generación, no llega a los sitios de disposición final. Los problemas relacionados con la disposición de residuos sólidos, que aquejan a los municipios de la cuenca, se presentan en los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan. Aunque en Pátzcuaro se presentan el mayor número de tiraderos clandestinos.

En los municipios de la cuenca se observa el uso de plaguicidas y herbicidas considerados de alto riesgo como el gesaprim cuyo agente activo es la atrazina, las cantidades encontradas actualmente no se comparan con las del máximo consumidor.

Considerando la superficie tratada con estos plaguicidas (125.93 km²) y una aplicación promedio de 0.29 ton/ km² se ingresarían a la cuenca 36 ton de plaguicida por ciclo agrícola lo que representaría una alta carga contaminante.

El uso de fertilizantes es evidente en los cuatro municipios, Pátzcuaro se encuentra entre los mayores consumidores con un límite de 17 ton/km² por arriba del límite citado entre los países OCDE (2003) que es de 16 ton/km². Al hacer la estimación con la superficie tratada (125.93 km²), y considerando una aplicación promedio de fertilizante 12.9 ton/ km² se ingresarían a la cuenca 1,623 ton de fertilizante en un ciclo agrícola.

Otro factor de deterioro, ha sido la disposición de las aguas residuales provenientes de los centros de población, que se depositan al lago sin previo o insuficiente tratamiento. La calidad del agua de las descargas de aguas residuales medidas a través de la DBO₅ sobrepasa el límite máximo permisible establecido en la norma oficial mexicana.

La disponibilidad natural media per capita en la cuenca presenta niveles que la ubican entre baja (2,001 a 5,000) y muy baja (1,001 a 2,000), siendo los municipios más afectados Quiroga y Pátzcuaro con una disponibilidad de 1,152 y 1,026 m³/hab/año respectivamente. Erongarícuaro y Tzintzuntzan están ubicados dentro de la clasificación baja con valores 2,951 y 3,289 m³/hab/año.

La calidad del agua utilizada para abastecimiento humano medida con el ICA (Índice de Calidad del Agua), en los principales manantiales de los municipios de la cuenca, arroja resultados entre 66.8-71.5 que la califican como contaminada para consumo humano (50-70). Sin embargo, califica para diferentes usos (pesca, agricultura y recreación) como levemente contaminado a aceptable.

La calidad del agua del lago conforme al ICA, lo califica para los diferentes usos (pesca, agricultura y recreación) como levemente contaminado a aceptable.

La cobertura del servicio de drenaje en la cuenca, también es variable, mientras que Pátzcuaro y Quiroga tienen una cobertura de 86 y 74%, los municipios de Erongarícuaro 63% y Tzintzuntzan 67%, menor que la cobertura de la media nacional que es de 74%.

El municipio de Pátzcuaro contribuye con el 58% de las aguas residuales de la cuenca; se estima que se vierten 78 lt/s de aguas residuales sin tratamiento al lago, la cabecera municipal cuenta con dos plantas tratadoras que sólo dan tratamiento al 19% (19 lt/s) de las aguas negras, el resto (81%) se vierte directamente al lago.

En Quiroga se vierte 51 lt/s de aguas residuales al lago; la cabecera municipal contribuye con el 63% del volumen de aguas negras, mientras que Santa Fe contribuye con el 20%. Del volumen total únicamente el 60% recibe un pretratamiento. Los municipios de Tzintzuntzan y Erongarícuaro no cuentan con planta de tratamiento por lo que descargan directamente al lago de Pátzcuaro.

Los problemas relacionados con la disposición de residuos sólidos, que aquejan a los municipios de la cuenca, se presentan con menor cobertura en los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan (36 y 64% respectivamente), aunque en Pátzcuaro se presentan el mayor número de tiraderos clandestinos.

La inversión en materia de agua se observa rezagada, aunque se ha visto inversión en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga, en comparación con el municipio de Erongarícuaro.

La inversión en cuanto a las obras de drenaje dentro de los municipios de la cuenca se ha hecho evidente en todos los municipios pero destacan los municipios de Pátzcuaro y Quiroga (25% y 12% de inversión).

Se cálculo el índice de sustentabilidad del agua, aplicando la Teoría de Decisiones de Atributos Múltiples, de la cual se obtuvieron índices de los sistemas económico,

social y ambiental. Para las cuales se propusieron cuatro escenarios en donde se varía la importancia de cada uno de los sistemas:

El índice de sustentabilidad calculado con igual peso en los tres sistemas, muestra que los municipios menos favorecidos son Pátzcuaro y Tzintzuntzan. El desempeño del sistema económico es bajo en la cuenca en los municipios de Pátzcuaro, Quiroga y Tzintzuntzan, lo que se considera conforme al criterio propuesto como un mal desempeño o sustentabilidad baja. Únicamente el municipio de Erongarícuaro se considera en este sistema con un desempeño de sustentabilidad media.

El mejor desempeño de los tres sistemas es el social, en este sistema se refleja una situación en términos de bienestar social aceptable

Para el índice de sustentabilidad calculado con mayor importancia al aspecto ambiental, los municipios de Quiroga y Erongarícuaro son los que destacan y se encuentran en la categoría de sustentabilidad media.

Cuando se considera un coeficiente de peso de mayor importancia social, los municipios sobresalen de acuerdo con los criterios definidos; nuevamente son Erongarícuaro y Quiroga ubicándolos en la categoría de sustentabilidad media alta, pero también se observa mejora en los otros dos municipios.

Al manejar mayor importancia en el sistema económico, el municipio de Erongarícuaro permanece con el mejor índice, considerándose conforme al criterio en el rango de sustentabilidad media alta; mientras en el resto de los municipios el índice disminuye a valores de sustentabilidad baja. Esto marca que el sistema económico en lo que se refiere al agua es la parte más débil.

Visto en conjunto y de manera integral, se puede concluir que en los municipios de la cuenca el sistema más preocupante desde el punto de vista del deterioro de la calidad de vida, es el sistema económico, seguido por el sistema ambiental.

En cuanto al cálculo del índice de sustentabilidad del agua conforme al criterio planteado para este trabajo, la cuenca manifiesta valores que la ubican con sustentabilidad media y baja.

9. REFERENCIAS

- Arqueta A.V. , 1984 *Bibliografía sobre el pueblo y el área Purhépecha*. Dirección General de Culturas Populares y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Ávila, P.. 1992. Uso y manejo del agua en los asentamientos humanos. En: Toledo, V., P. Álvarez Icaza y P. Ávila. (edits.) (1992) Plan Pátzcuaro 2000. Investigación multidisciplinaria para el desarrollo sostenido. México: Fundación Friedrich Ebert.
- Barrera R. A., Saldívar V. A., Nava N. M., Ortiz G. M., Aguilar B. S., Villaseñor G. E., 2004. Índice de sustentabilidad Industrial “Refinería Miguel Hidalgo. Revista Latinoamericana de Economía Problemas del Desarrollo. Vol. 35 Num. 37.
- Centro Nacional de Desarrollo Municipal (CEDEMUN), Secretaría de Gobernación, 1999. Los Municipios de México: Información para el Desarrollo.
- Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). 2001. *Índice de Sustentabilidad Ambiental para las Entidades Federativas de México*.
- Chacón, T. A. 1993. *Pátzcuaro un Lago Amenazado Bosquejo Limnológico*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México,
- Comisión Nacional del Agua. 2003 ; Subgerencia de Administración del Agua, Gerencia Estatal Michoacán,
- Comisión Nacional del Agua. 2004. Estadística del Agua en México. CNA. México.
- CREFAL. 1979. Diagnóstico documental e institucional de la zona lacustre de Pátzcuaro. CREFAL, Pátzcuaro, Mich. México:
- Díaz-Barriga, H. y Bello, G.M. 1993. Contribución al conocimiento de la flora de la Cuenca del lago de Pátzcuaro. Libr.Téc.1. CIPAC-INIFAP. México.
- Escalante, E. M., González V., Salcedo S. E., Morales, P. R., Rodríguez C. C.; 2004. *Simulación del impacto de diversas acciones de recuperación sobre del lago de Pátzcuaro*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Fundación Gonzalo Río Arronte.
- FÜRST, E. 1997. *El Debate actual sobre Indicadores de sostenibilidad*, San Centro Internacional en Política Económica Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
<http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambioactitud/Articulo%20Edgar%20Furst.html>.
- González V., Espinosa A. J., Salcedo S. E., Brena Z. J., González H. L. ; 2003. Usos del agua en la cuenca del lago de Pátzcuaro. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Fundación Gonzalo Río Arronte.

-
- Gómez-Tagle R. A, Chávez H. Y., Gómez Tagle Chavez. A. , Zepeda C. H.; 2001. Diagnostico de los suelos de la cuenca del lago de Pátzcuaro. <http://tariacuri.crefal.edu.mx/sigapatz/estudios/diagnostico/diagnostico.html>
 - Instituto Nacional de Ecología (INE), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales (SEMARNAP). 2000. Indicadores de Desarrollo Sustentable en México.
 - Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte 2000.
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1995. Censo General de Población y Vivienda, 1995.
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2002 Anuario estadístico del estado de Michoacán de Ocampo, 648 pp.
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).2004.Archivo histórico de localidades. http://mapserver.inegi.gob.mx/dsist/ah12003/ah1_alfa.html.
 - Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED) Secretaria de Gobernación (SEGOB). 2002. Sistema Nacional de Información Municipal,
 - Izurieta, J., Huerto D. R., Mijangos C. M, *Estimación del Impacto de las Cargas de Contaminantes del Dren Zurumútaro en el lago de Pátzcuaro y Propuestas de Tratamiento*. SGC-UAPS-MICH-02-006-RF-CC, CNA/IMTA, 2002.
 - Navia, J.; Velarde J.; 2001. *La Industria Forestal en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro*, Semarnat, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y GIRA.
 - Masera, O., Astier, M., López-Ridaura S., 1999. *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales*, GIRA-Instituto de Ecología, Mundi Prensa México.
 - Muñoz M. A. y Camino Z. A. 2004. Plan estratégico de acciones para la recuperación del lago de Pátzcuaro. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Fundación Gonzalo Río Arronte.
 - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) 1991. *Environmental Indicators: A Preliminary Set*. OCDE, Paris.
 - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) 1993. OCDE core set of indicators for environmental performance reviews. OCDE Environment Monographs No. 83. OCDE. Paris.

-
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 2002. Environmental Data. COMPENDIUM 2002. Agriculture.
 - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 2002. Environmental Data. COMPENDIUM 2002 .Inland Waters.
 - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 2002. Environmental Data. COMPENDIUM 2002. Waste.
 - Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) 1997., Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Gobierno del Estado de Michoacán, Gobiernos Municipales, *Pátzcuaro, el lago que queremos*, 1997.
 - Rodríguez S. C. Diseño de indicadores de sustentabilidad por cuencas hidrográficas. Instituto Nacional de Ecología , Noviembre de 2002.
 - SAGARPA. 2004. Información plaguicidas y fertilizantes de los municipios de Erongarícuaro, Pátzcuaro, Tzintzuntzan y Quiroga.
 - Saldívar A., Barrera A., Rodríguez F., Saldívar L., Torres J., Frías G.; 2000. Diseño y metodología de una base de datos para crear un sistema de información para valorar sustentabilidad y ordenamiento ambiental de la ciudad de México. Universidad Autónoma de México (UNAM).
 - Secretaría de Educación Pública (SEP)-Centro de Información Económica y Social del Estado de Michoacán (CIESEM); 2001. El municipio en Cifras. Erongarícuaro. Morelia, Michoacán.
 - Secretaría de Educación Pública (SEP)-Centro de Información Económica y Social del Estado de Michoacán (CIESEM); 2001. El municipio en Cifras. Pátzcuaro. Morelia, Michoacán.
 - Secretaría de Educación Pública (SEP)-Centro de Información Económica y Social del Estado de Michoacán (CIESEM); 2001. El municipio en Cifras. Quiroga. Morelia, Michoacán.
 - Secretaría de Educación Pública (SEP)-Centro de Información Económica y Social del Estado de Michoacán (CIESEM); 2001. El municipio en Cifras. Tzintzuntzan. Morelia, Michoacán.
 - Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. 2000. Michoacán Logros y retos hacia el desarrollo sustentable 1995-2000. Delegación Federal Michoacán.
 - Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales-Michoacán, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. 2002. Aportes al proyecto Pátzcuaro.
 - Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales-Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
 - Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales-Reporte de Regiones. Lago de Pátzcuaro. Michoacán. 1999.

-
- SARH, 1981, Estudio Geohidrológico de los Valles de Zacapu y Pátzcuaro, Estado de Michoacán, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Contrato GZA-81-73-GD, 1981.
 - Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981, Estudio Geohidrológico de los Valles de Zacapu y Pátzcuaro, Estado de Michoacán, SARH-Contrato GZA-81-73-GD.
 - Servicios de Información para la Gestión Ambiental, SIGA-Pátzcuaro; 2003. <http://tariacuri.crefal.edu.mx/sigapatz/acciones/ppatz/pas-pres/pasado-presente1.html>
 - Thesis Antares Consulting. 2003. Diagnóstico del relleno sanitario regional de los municipios de la cuenca de Pátzcuaro. Documento final. México, Thesis-Antares.
 - Toledo, V.M., Caballero J., Mapes C, Barrera M., Argueta A. y Nuñez M.A. 1980. Los purhépechas del lago de Pátzcuaro. Una aproximación ecológica. En: América Indígena. México: Vol. 1, No. 40
 - Toledo, V. M. y Argueta, A. 1993. Naturaleza, producción y cultura en una región indígena de México: las lecciones de Pátzcuaro. En: Leff, E. y Carabias, J. (coords.) Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales, Vol. 2. México: UNAM-CIIH / Miguel Angel Porrúa.
 - Toledo, V.M. (ed.). Plan Pátzcuaro 2000: diagnóstico, propuestas, recomendaciones, 1996. SEMARNAP/PNUD, 41 p.
 - Toledo, V.M. (ed.). Plan Pátzcuaro 2000: presentación objetivo, propuestas, 1996, SEMARNAP/PNUD, , 20 p.
 - Torres L. P., Rodríguez S. L. 2 M. 2000. Desarrollo Agrícola Regional e Indicadores de Sustentabilidad en la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana.
 - Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2000; Estudio Geohidrológico de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Facultad de Ingeniería Civil, 2000.
 - World Federation United for the Nations Associations (WFUNA); 2002. La Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible se inicia en Johannesburgo. <http://www.johannesburgsummit.org/>

