



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

---

**FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA**

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSTGRADO EN  
CIENCIAS AMBIENTALES**

**“Propuesta de un Modelo de Simulación de  
Impacto y Vulnerabilidad Ambiental en la Cuenca  
del Río Valles”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA:**

**HIDROBIOL. ERIKA BETZABETH PALAFOX JUÁREZ**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. PEDRO MEDELLÍN MILÁN**

**COMITÉ TUTELAR:  
DRA. MARIA CATALINA ALFARO DE LA TORRE  
M. en EIA.Edmundo Ducoing Chahó**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA**

---

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN  
CIENCIAS AMBIENTALES**

**PROYECTO REALIZADO EN:**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ**

**CON FINANCIAMIENTO DE:**

**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)**

**BECA-TESIS, CONVENIO No 198296.**

Secretaría de Educación Pública, Proyecto Cuerpo Académico de Ciencias Ambientales de  
la Facultad de Ciencias Químicas, Programa Integral de Fortalecimiento Institucional  
Fondos especiales de la Agenda Ambiental de la UASLP.

LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES ESTA INCLUIDA EN EL PADRÓN NACIONAL DE POSGRADOS DEL  
CONACYT.

## ***Agradecimientos***

*A través de estas líneas quiero agradecer en primer lugar al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por brindarme la beca por estos dos años de investigación.*

*A la Secretaría de Educación Pública (SEP), por el proyecto del Cuerpo Académico de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias Químicas, 2006-2007*

*A la Agenda Ambiental de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por el abrigo y apoyo recibido.*

*Aprovecho también para expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres y familia, porque sin ellos nada de esto habría sido posible, por haber creído siempre en mí y apoyarme para lograr mis metas.*

*Al Dr. Pedro Medellín Milán y a la Dra. Catalina Alfaro de la Torre por creer en mí desde el primer día en que se puso en marcha este proyecto y por ayudarme a hacerlo realidad, al M en EIA Edmundo Ducoing Chahó por su confianza, guía y apoyo incondicional.*

*A la Dra. Guadalupe Galindo, al Lic. Luis Olvera y al Ing. Federico Navarrete por que sin ellos una buena parte de este trabajo no hubiera sido posible, gracias por las enseñanzas y la paciencia.*

*A cada uno de los funcionarios de la Comisión Nacional del Agua y Organismo operador del Agua en Ciudad Valles por facilitarme la información y espacios necesarios para llevar a buen fin este trabajo.*

*A mis compañeros y amigos de aula y aventura, especialmente a los habitantes y agregados de la casa de las 3 culturas gracias por tantas historias compartidas.*

*A los amigos que siempre han permanecido a mi lado brindándome su apoyo y amistad incondicional.*

*Pero sobre todo a Dios por mostrarme el mejor camino para lograr mis sueños.*

# Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1.- MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>12</b>
1.1 <b>Gestión ambiental en cuencas hidrológicas.....</b>	<b>12</b>
1.2 <b>Evaluación de impacto ambiental como herramienta de gestión.....</b>	<b>19</b>
1.3 <b>Concepto de cuenca .....</b>	<b>20</b>
1.4 <b>Geomorfología y Edafología .....</b>	<b>21</b>
1.5 <b>Hidrografía, nutrientes y calidad del agua.....</b>	<b>22</b>
1.6 <b>Gestión de los recursos hídricos en México.....</b>	<b>25</b>
1.7 <b>Importancia del uso de suelo en la gestión de cuencas.....</b>	<b>26</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>30</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. 31</b>	
2.1. <b>Sistemas de Información Geográfica .....</b>	<b>35</b>
2.2. <b>Análisis de Vulnerabilidad.....</b>	<b>36</b>
2.3. <b>Antecedentes .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA EMPLEADA.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO 4.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 <b>Caracterización de la Zona de estudio.....</b>	<b>45</b>
4.2 <b>Flora y Fauna.....</b>	<b>46</b>
4.3 <b>Geomorfología.....</b>	<b>48</b>
4.4 <b>Edafología.....</b>	<b>51</b>

<b>4.5</b>	<b>Uso de suelo y cobertura vegetal .....</b>	<b>54</b>
<b>4.6</b>	<b>Impactos potenciales de la población a partir de su tamaño y distribución</b>	<b>59</b>
<b>4.7</b>	<b>Áreas de influencia potencial al Río valles .....</b>	<b>62</b>
<b>4.8</b>	<b>Análisis de Vulnerabilidad.....</b>	<b>65</b>
<b>4.9</b>	<b>Análisis de sensibilidad de pesos de parámetros, retomado del método DRASTIC. ....</b>	<b>66</b>
<b>4.10</b>	<b>Comportamiento de la Calidad del Agua del Río Valles para el período 1996- 2006. 72</b>	
<b>4.11</b>	<b>Gestión del agua en la cuenca del Río Valles .....</b>	<b>89</b>
<b>4.12</b>	<b>Comité de Cuenca del Río Valles .....</b>	<b>90</b>
<b>4.13</b>	<b>Actividades, compromisos y logros .....</b>	<b>91</b>
<b>4.14</b>	<b>Observaciones y Recomendaciones.....</b>	<b>95</b>
<b>CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES .....</b>		<b>98</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>102</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>110</b>
	<b>ANEXO 1.- LITOSFERA.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXO 2.- PRINCIPALES TIPOS DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO 3.- POSIBLES EFECTOS PROVOCADOS POR LA ACTIVIDAD HUMANA SOBRE LOS CINCO FACTORES TÍPICOS DEL SUELO .....</b>	<b>118</b>
	<b>ANEXO 4.- EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXO 5.- CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DE LOS NUTRIENTES.....</b>	<b>122</b>
	<b>ANEXO 6.- CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA.....</b>	<b>126</b>
	<b>ANEXO 7.- TIPOS DE USO DEL AGUA, SEGÚN CNA .....</b>	<b>128</b>
	<b>ANEXO 8.- RESPONSABILIDADES Y FUNCIONES DE LA CNA, EN MATERIA DE GESTIÓN DEL AGUA.....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Cuenca Hidrográfica. Fuente: Dourojeanni, 2004.....	12	
Figura 2.- Esquema de las principales zonas de una cuenca hidrográfica.....	20	
Figura 3.- Distribución de agua en la tierra, expresada como porcentaje del agua total.....	23	
Figura 4. - Esquema general de la metodología empleada en el estudio.....	43	
Figura 5.- Ubicación de la zona de estudio en verde y en azul se observa la delimitación de la cuenca geográfica. Elaboración propia con datos de INEGI, 2005.....	46	
Figura 6. -Modelo digital de terreno que muestra la geomorfología.....	49	
Figura 7. - Inclinación en grados de pendiente ponderada.....	50	
Figura 8. - Tipos de suelo en la zona de estudio. ....	52	
Figura 9.- Edafología Ponderada.....	53	
Figura 10.- Uso de suelo 1975	Figura 11.- Uso de suelo para 1985.....	56
Figura 12.- Uso de suelo, 2000	Figura 13.- Uso de suelo, 2005 .....	56
Figura 14.- Variación en los usos de suelo durante el periodo 1975-2005. ....	57	
Figura 15.- Cobertura vegetal ponderada con base en el mapa de uso de suelo para el 2005.....	58	
Figura 16. - Distribución poblacional en el área de estudio. ....	60	
Figura 17. -Impacto potencial de los asentamientos humanos con base en la distribución poblacional. ....	61	
Figura 18. - Principales corriente de agua en la zona de estudio. ....	63	
Figura 19. - Áreas de influencia potencial al Río Valles y sus tributarios. ....	64	
Figura 20.- Esquema general del proceso de evaluación de vulnerabilidad.....	65	
Figura 21.- Mapa de riesgos, considerando los resultados del análisis de sensibilidad. ....	68	
Figura 22.- Mapa de vulnerabilidad, .....	69	
Figura 23.- Ponderaciones considerando dos enfoques diferentes (fragilidad e impacto). ....	70	
Figura 24.- Mapa de Impactos ambientales.....	71	
Figura 25.- Distribución de las principales actividades, puntos de extracción.....	72	
Figura 26.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Oxígeno Disuelto, .....	74	
Figura 27.- Variaciones en el tiempo de Demanda Bioquímica de Oxígeno, .....	76	
Figura 28. - Variaciones en el tiempo de la concentración de Coliformes fecales,.....	78	
Figura 29.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Sólidos totales, .....	79	
Figura 30.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Sulfatos, .....	80	
Figura 31.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Fosfatos .....	81	
Figura 32.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Nitritos, .....	82	
Figura 33.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Nitratos,.....	83	
Figura 34.- Variaciones en el tiempo de la Dureza total, para las estaciones: .....	84	
Figura 35.- Variaciones en el tiempo de la Alcalinidad total, para las estaciones El Naranja, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal. ....	85	
Figura 36.- Variaciones en el tiempo del pH, para las estaciones: El Naranja, .....	87	
Figura 37.- Estructura del Comité de Cuenca del Río Valles.....	91	
Figura 38.- Capas de la tierra .....	111	
Figura 39.- Ciclo del Carbono.....	122	
Figura 40.- Ciclo del Nitrógeno .....	123	
Figura 41.- Ciclo del Fósforo .....	124	

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. - Información considerada en el estudio y sus respectivas fuentes. ....	41
Tabla 2.- Ponderación de pendientes.....	51
Tabla 3.- Ponderación por tipos de suelo .....	53
Tabla 4.- Superficie y producción de Caña de Riego y Temporal Zafra 2004/2005.....	54
Tabla 5.- Ponderación de las coberturas vegetales.....	58
Tabla 6. - Ponderación del tipo y tamaño de las poblaciones .....	62
Tabla 7. -Distancia de influencia potencial al río ponderada .....	64
Tabla 8.- Estadística de los pesos asignado a los diferentes parámetros en el análisis de vulnerabilidad.....	66
Tabla 9. -Estaciones y periodo de medición de la calidad del agua en el Río Valles. ....	73
Tabla 10.- Concentraciones (mg/L) de elementos totales disueltos .....	87
Tabla 11.- Clasificación del suelo .....	112
Tabla 12.- Grupos y unidades edáficas en el Mapa Mundial de Suelos.....	116

## **RESUMEN**

Las cuencas hidrográficas son aquellas entidades geográficas que poseen integridad edafo-biogénica, hidro-climática e incluso cultural y socioeconómica, debido a la interdependencia que existe entre los factores físicos, biológicos, sociales y económicos, por lo que debe considerarse como una unidad integral.

Teniendo en cuenta que las alteraciones en los sistemas naturales y sus recursos son ocasionadas por acciones humanas, es necesario evaluar dichas alteraciones mediante algún proceso que permita mejorar la toma de decisiones, al tiempo que garantiza que las acciones antropogénicas sean ambiental y socialmente sostenibles. Previo a la construcción de un plan de manejo u ordenación territorial es necesario realizar estudios de diagnostico y evaluación de los componentes del sistema.

Una de las herramientas mas útiles en la evaluación ambiental que favorece la toma de decisiones objetiva, es la sobre posición de mapas apoyada en sistemas de información geográfica.

La cuenca hidrológica del Río Valles, se localiza en la parte norte de la Huasteca potosina y comprende los municipios de Ciudad Valles y El Naranjo; las principales actividades que en ella se desarrollan son la agricultura de caña y cítricos, ganadería y agroindustria azucarera.

Con base en cartografía temática e imágenes de satélite construyeron en el Software ArcGIS 9.2 mapas de vulnerabilidad e impactos ambientales, que de acuerdo con las características intrínsecas de la región, permite distinguir el grado de impacto, vulnerabilidad y protección requerida.



Conociendo la distribución de las actividades humanas y las zonas que requieren mayor protección dentro del área de estudio, es posible proponer estrategias de gestión que favorezcan un manejo integral de la cuenca.

**Palabras Clave:** Cuenca hidrológica, evaluación de impacto ambiental, Sistemas de información geográfica, manejo integral y gestión ambiental.

## **INTRODUCCIÓN**

Las cuencas hidrográficas favorecen la gestión de elementos y recursos naturales presentes en la cuenca y sus zonas de influencia, por lo que es necesario visualizar este territorio definido de manera natural, de forma integral; lo que facilita la comprensión de los procesos que estructuran y controlan su dinámica (Dourojeanni, 2002 y Mass, 2002). Una de las acciones prioritarias en la formulación de un programa o plan de manejo integral es el diagnóstico ambiental que permita visualizar las interrelaciones entre el medio natural y el medio socioeconómico, con el objeto de conocer integralmente su estado y establecer estrategias de gestión objetivas (González-Piedra, 2002).

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) descrita como un proceso destinado a mejorar el sistema de toma de decisiones, estima y valora los efectos adversos de las acciones humanas en el ambiente, con el objetivo de prevenir o mitigar tales efectos, por lo tanto, resulta una valiosa herramienta que permite realizar un diagnóstico del estado de la cuenca, y apoya la elaboración de estrategias de gestión ambiental y socialmente sostenibles (Espinoza, 2001 y García-Leyton, 2004).

La cartografía ambiental es uno de los métodos de evaluación de impacto mas completos y usados actualmente, dentro de los cuales, se encuentra la sobreposición de transparencias, donde a través de una serie de mapas se representan impactos particulares en un territorio dado, estos se sobreponen para obtener un impacto global. Cada mapa indica una característica física, social o cultural, que refleja un impacto específico. Esta herramienta permite una comprensión del conjunto de impactos establecidos en forma independiente, relacionarlos con diversas características y establecer de esta forma alteraciones globales, resulta especialmente útil cuando los impactos varían espacialmente.

Otra forma de analizar el estado de salud del ambiente son los métodos de análisis de vulnerabilidad, que surgen como herramientas para estimar el riesgo o susceptibilidad que presenta una población o un ecosistema ante un fenómeno natural extremo, Castro (1999) menciona que “el concepto de vulnerabilidad es un concepto relativo que debe analizarse frente a las condiciones particulares de cada comunidad”. Por lo que los análisis pueden realizarse en diversos ambientes y bajo diferentes condiciones, ajustando la metodología a la realidad del lugar y a la problemática específica. Bereciartua (2003) refiere que “la confección de un mapa de vulnerabilidad implica combinar varios mapas temáticos, correspondientes a las variables elegidas para la evaluación”.

El área de estudio se incluye dentro de la Cuenca del Río Valles, cubre una extensión de 308 Km<sup>2</sup>, equivalente al 46% de la superficie total de la cuenca, correspondiente a los municipios de Ciudad Valles y El Naranjo. En la región se llevan a cabo actividades agrícolas, pecuarias y agroindustriales, siendo las más representativas la agricultura de caña y la presencia de ingenios azucareros, además de la presencia de asentamientos humanos.

Considerando la importancia de analizar la complejidad de este territorio como parte medular de la cuenca del Río Valles, se propone un modelo de simulación de impacto y vulnerabilidad ambiental, que surge de seleccionar y combinar los métodos de evaluación de impacto ambiental que facilitan abordar de forma objetiva la complejidad de este territorio.

Se realizó una revisión bibliográfica seguida de la recopilación de información generada por dependencias gubernamentales y académicas, misma que fue analizada y depurada, posteriormente se construyeron los mapas temáticos necesarios para caracterizar la zona de estudio, los cuales fueron ponderados con ayuda de expertos y finalmente se realizó un análisis de vulnerabilidad usando el software ArcGIS 9.2; de manera complementaria se realizó un análisis del comportamiento de la calidad del agua del Río para el periodo 1995-

2006, así como una reseña de los procesos de gestión del recurso, estructura, actividades, compromisos y logros del Comité de Cuenca del Río Valles.

Los resultados mostraron que en la parte mas alta de la zona de estudio las características ambientales favorecen la presencia de ecosistemas clímax, como son selva baja caducifolia y bosque de encino principalmente, sin embargo también existe una fuerte presión por el cultivo de caña, en tanto que la calidad del agua del río, en general es buena, de acuerdo con los límites establecidos en las NOM's.

La región central del área de estudio es típicamente una zona de depositación de materiales y es aquí donde se localiza la mayor superficie de cultivo de caña; por lo que la suma de estos factores hace que esta zona presente un grado de vulnerabilidad medio y al mismo tiempo se muestra como una superficie fuertemente impactada.

Mientras que en la parte baja de la zona de estudio, donde se origina la planicie costera del Golfo de México y por lo tanto es una zona de depositación que recibe los aportes de arrastres de la cuenca alta, se acumulan descargas y desechos provenientes de las actividades antropogénicas y fenómenos naturales, por lo que resulto ser la región más impactada y con una vulnerabilidad media.

## **CAPÍTULO 1.- MARCO CONCEPTUAL**

### **1.1 Gestión ambiental en cuencas hidrológicas**



**Figura 1.- Cuenca Hidrográfica.** Fuente: Dourojeanni, 2004.

*“Una cuenca hidrográfica constituye la principal unidad territorial donde el agua, proveniente del ciclo hidrológico, es captada, almacenada y disponible como oferta de agua” (CEPAL, 1999), y “...de forma independiente o interconectada con otras, es reconocida como la unidad territorial más adecuada para la gestión integral de los recursos hídricos” (Dourojeanni et al., 2002).*

Por otro lado, la Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí, aprobada el 09 de diciembre de 1999 y publicada el 15 de diciembre del mismo año, en su artículo 43 define como Unidad de Gestión Ambiental a aquella “entidad natural representada por una microcuenca hidrográfica, en la que todos los aspectos y elementos naturales se encuentren relacionados entre sí y en donde pueden existir diversos ecosistemas, y su objetivo sea garantizar la salud y preservación de los mismos a través de la ejecución de obras, servicios y acciones concertadas entre las autoridades y los habitantes de la propia unidad. Estas microcuencas

se establecerán en los términos del ordenamiento ecológico del territorio, emitido por la autoridad competente.”

Las organización por cuencas favorecen la gestión de diversos recursos naturales como el agua, además de favorecer un adecuado manejo de todos los elementos presentes en la cuenca y sus zonas de influencia, por lo que, es necesario visualizar este territorio definido de manera natural, desde un enfoque ecosistémico, que permita comprender los procesos que estructuran y controlan su dinámica, sin olvidar que dichos procesos cuentan con una estructura y función jerárquica, lo que es crucial para definir criterios de manejo ecológicamente sustentable (Dourojeanni, 2002; Mass, 2002).

Existen dos conceptos relacionados que pueden ser confundidos con gran facilidad, *la gestión del agua por cuencas* y *el manejo integral de cuencas*; el primero implica la gestión del recurso dentro de la delimitación geográfica de una cuenca, mientras que el segundo enfoque implica el manejo de todos y cada uno de los recursos que la conforman. La confusión de estos dos conceptos aumenta cuando las entidades de agua por cuencas son denominadas “consejos de cuenca” o “agencias de cuenca” en lugar de nombrarse consejos o agencias “de agua por cuencas”.

La validez de usar un espacio conformado por una cuenca o cuencas interconectadas como territorio base para la gestión integrada del agua, ha sido enfatizado y recomendado por diversos autores y en diversas conferencias internacionales sobre recursos hídricos, entre los que destacan Dourojeanni y Jouravlev (2001), quienes comentan que “una gestión eficaz establece relaciones entre el uso del suelo y el aprovechamiento del agua en la totalidad de una cuenca hidrográfica o un acuífero” y que la “entidad geográfica más apropiada para la planificación y gestión de los recursos hídricos es la cuenca fluvial”.

Por otro lado, el programa 21, aprobado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río, 1992) enfatiza: la “ordenación integrada de los recursos hídricos, incluye la integración de los aspectos relativos a las tierras y aguas, por lo que esta gestión debería realizarse a nivel de cuenca o subcuenca de captación” y que “la compleja interconexión de los sistemas de agua dulce exigen una ordenación global de dichos recursos, que debería estar basado en la ordenación de cuencas hidrográficas”.

Por su parte, Van Hofwegen y Jasper (2000 a), como miembros de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en ingles), definen la gestión integrada del agua como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

Po otro lado, Van Hofwegen y colaboradores (2000 b) mencionan que la gestión integrada del agua implica tomar decisiones y manejar los recursos hídricos para varios usos, de forma tal que se consideren las necesidades y deseos de los diferentes usuarios y partes interesadas. Desde este punto de vista la gestión integral del agua comprende la gestión del agua superficial y subterránea en un sentido cualitativo, cuantitativo y ecológico desde una perspectiva multidisciplinaria, centrada en las necesidades y requerimientos de la sociedad en materia de agua.

De acuerdo con González-Piedra (2002), después de considerar a la cuenca hidrográfica como unidad territorial con la finalidad de manejar o gestionar el recurso agua en forma eficiente, es preciso tomar en cuenta aspectos tales como pisos altitudinales, cambios de precipitación y temperatura, formas de relieve y suelos, uso del suelo, cobertura vegetal, cambios en la riqueza y abundancia de la biota, sistemas productivos presentes, así como la organización social y política relacionada con el manejo del recurso.

México fue uno de los primeros países en realizar la gestión del agua a nivel de cuencas, desde 1947 se crearon en el país varias comisiones ejecutivas que en su momento atendieron problemáticas relacionadas con los ríos Papaloapan, Tepalcaltepec, Balsas, Lerma-Chapala-Santiago, Grijalva, Fuerte y Pánuco, entre otros. Las “comisiones de cuenca” se establecieron con la finalidad de planear y construir obras y proyectos de infraestructura o bien para estudiar el aprovechamiento de los correspondientes recursos hídricos en un marco de desarrollo económico regional, tomando al agua como el recurso integrador del territorio.

Dourojeanni *et al.*, (2002) comentan que en México, la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha promovido la creación de un sistema participativo de gestión del agua en el ámbito de cuencas que actualmente cubre todo el territorio nacional. Esta tarea ha implicado la creación, instalación y puesta en marcha de los Consejos de Cuenca, que según la Ley de Aguas Nacionales, son instancias de coordinación y concentración entre los tres niveles de gobierno existentes y los representantes de los usuarios de agua. Con objeto de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y los servicios respectivos y de la preservación de la cuenca.

Hasta ahora se ha tratado de describir el manejo o gestión del recurso agua, sin embargo resulta un poco difícil hablar de manera aislada de un recurso que forma parte de una gran variedad de procesos e interrelaciones dentro de un ecosistema. Las diversas concepciones y estrategias para alcanzar un manejo adecuado de este recurso involucran la comprensión de los otros elementos presentes, por lo que es necesario describir ahora el término *manejo integral de cuenca*.



De acuerdo con Cloter y Priego (2002), el enfoque ecosistémico permite visualizar los diferentes tipos de paisajes según las zonas de funcionamiento de una cuenca, permitiendo entender las interrelaciones entre los recursos y condiciones naturales (relieve-suelo-clima-vegetación), así como las formas en las cuales la población se organiza para apropiarse de los mismos y su impacto en la cantidad, calidad y temporalidad de los recursos (Dourojeanni *et al.*, 2002).

Por ello, los programas de manejo de cuencas de acuerdo con Pérez-García (2005) ...“deben darse en un contexto integral, que considere el entorno del sistema y los diversos usos de la tierra, ya que el sobrepastoreo, la apertura de espacios al cultivo y en general la apertura al desarrollo, produce impactos negativos sobre los recursos naturales, por lo que es necesario integrar a los factores sociales, tecnológicos y socioeconómicos, tomando como base el saneamiento, la conservación y rehabilitación de los recursos naturales existentes”.

Para González-Piedra (2005) “el manejo de cuencas es un proceso complejo que da orden a un conjunto de acciones dentro de este territorio, encaminado a lograr un desarrollo social y económico sostenibles en el tiempo, a la vez que se procura la protección al ambiente”. Por su parte, Dourojeanni (1997b) lo define como “el arte y la ciencia de manejar los recursos naturales de una cuenca con la finalidad de que las descargas de agua sucedan en la misma calidad, cantidad y tiempo de ocurrencia, a través de un conjunto de técnicas de análisis, protección, rehabilitación, conservación y ordenación del uso de suelo, para alcanzar un desarrollo integral que permita aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales de una cuenca, teniendo como fin la conservación y/o el mejoramiento de la calidad ambiental y los sistemas ecológicos”.

Por otro lado, González Piedra (2002) y Dourojeanni (1997) señalan que “ordenar” y “manejar” son diferentes etapas o fases, mientras que en el contexto de manejo de cuencas,

”*manejo integral*”, ”*manejo integrado*” y ”*manejo sectorial*”, son tres conceptos diferentes pero relacionados estrecha y permanentemente:

- I. *Manejo integral*: de carácter estratégico, tiene su base en la “*visión integral*” (holística) de la cuenca para su uso óptimo. Surge como una necesidad incuestionable ante las condiciones de la cuenca, es decir, se tiene la perspectiva de todos los sectores y factores: recursos naturales, recursos humanos, actividad socioeconómica, ambiental, instituciones, etc.
- II. *Manejo integrado*: de carácter táctico y operativo, se basa en los conceptos de “*relaciones*” y “*balance adecuado*” entre los componentes del geosistema que es la cuenca. Puede ser aplicado a un área específica, a uno o varios recursos, por lo que es posible considerar un manejo integrado de la actividad agrícola y forestal, así como un manejo integrado de los recursos hídricos. Generalmente se asocia al concepto “*uso múltiple*”.
- III. *Manejo sectorial*: de carácter estratégico, tiene su base en un sólo sector o dimensión, por lo que puede hablarse de “*manejo de los recursos hídricos*”, “*manejo del suelo*”, “*manejo ambiental*”, “*manejo forestal*”, etc., en la práctica es el tipo de manejo más común. Se debe tener en cuenta que el manejo sectorial para que sea efectivo, debe operar bajo una “*visión integral*”, sin confundirse con manejo integral, es decir, deben tenerse en cuenta los otros componentes aunque no se consideren dentro de “*el manejo*”.

De acuerdo con Dourojeanni y colaboradores (2002) existen tres diferentes modalidades de manejo o gestión integral de cuencas:

- I. La modalidad más completa implica aplicar técnicas de desarrollo regional mediante proyectos integrados de inversión, este modelo es conocido como “desarrollo integral de cuencas” o “desarrollo de cuencas”; en sus orígenes se trataba sólo de actividades asiladas e irregulares para mitigar los efectos de inundaciones sobretodo, y para la

generación de energía hidroeléctrica, sin considerar la interdependencia entre los usos del agua, aún cuando la cuenca sea tomada como territorio base de trabajo.

- II. El nivel intermedio incluye acciones orientadas a la coordinación del aprovechamiento y gestión de todos los recursos naturales presentes en una cuenca, incluyendo el agua. Este nivel de gestión de todos los recursos naturales en una cuenca en forma ordenada, prácticamente no existe en América latina, ya que no hay sistemas y entidades que faciliten la coordinación de las acciones de uso, gestión y ordenamiento de los recursos naturales de una cuenca. Sin embargo, una subrutina de esta modalidad es el *manejo de cuencas*, que sido ampliamente desarrollado.
- III. El tercer tipo de gestión está orientado a la coordinación de investigaciones para el aprovechamiento del agua y su posterior gestión. Es el nivel de gestión de cuencas más conocido entre los países de América Latina y el Caribe, donde se han realizado la mayoría de los estudios e inversiones en hidroenergía, riego y drenaje, abastecimiento de agua potable y saneamiento, y control de inundaciones.

## **1.2 Evaluación de impacto ambiental como herramienta de gestión**

Una de las acciones prioritarias dentro de la formulación de un programa o plan de manejo integral es el diagnóstico ambiental de la cuenca, que permite visualizar las interrelaciones entre el medio natural y el medio socioeconómico, con el objeto de conocer integralmente su estado; este diagnóstico debe ser lo más preciso posible ya que de él dependen la identificación de problemas y la priorización de acciones dentro de los procesos de gestión de recursos (González-Piedra, 2002).

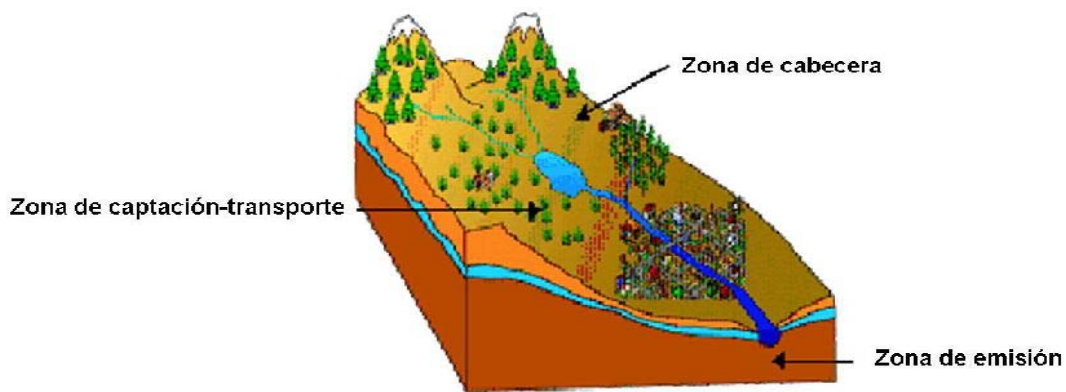
La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) descrita como un proceso destinado a mejorar el sistema de toma de decisiones y orientado a garantizar que las acciones antropogénicas, sean ambiental y socialmente sostenibles, resulta una estrategia que permite llevar a cabo el diagnóstico del estado de la cuenca.

De acuerdo con García Leyton (2004) y Espinosa (2001) la evaluación se constituye como un conjunto de estudios y sistemas técnicos para estimar las alteraciones ambientales, por lo que la EIA es considerada un instrumento preventivo de gestión ambiental que permite que las políticas ambientales puedan cumplirse y sean incorporadas tempranamente en los procesos de desarrollo y toma de decisiones; corrigiendo y evaluando las acciones humanas, al tiempo que evita, mitiga o compensa sus eventuales impactos ambientales negativos.

La adecuada realización de una evaluación ambiental requiere conocer aquellos factores naturales que forman parte de la zona de estudio así como sus procesos, interrelaciones y problemática, para ello es necesario hacer un breve repaso de algunos conceptos.

### **1.3 Concepto de cuenca**

Empezaremos por definir que una cuenca hidrográfica es la principal zona de captación de agua de lluvia en el continente, como se esquematiza en la figura 2; se compone de superficies drenadas por un sistema fluvial continuo y bien definido cuyas aguas vierten a otro sistema fluvial o cuerpo de agua, delimitados por él parteaguas (INE, 2005 y González-Piedra, 2005).



**Figura 2.- Esquema de las principales zonas de una cuenca hidrográfica.**

Tomado de: Instituto Nacional de Ecología, 2005

Desde el punto de vista integral la cuenca cumple con varias funciones ya que en ella se llevan a cabo procesos de intercambio y flujo de materia y energía, entre todos y cada uno de sus componentes, hidrológico, ecológico, ambiental y socioeconómico (Douronjeanni y Jouravlev, 1999) como son: captación, almacén, disposición y descarga de agua en sus diferentes formas y tiempos, provisión de hábitat, conservación de biodiversidad, mantenimiento de la integridad y la diversidad de los suelos, así como suministrar recursos naturales aprovechables en actividades productivas, y proporcionar espacios de desarrollo social y cultural.

#### **1.4 Geomorfología y Edafología**

Los rasgos geomorfológicos son un componente de la superficie terrestre, donde los contrastes orográficos, topográficos, hidrográficos y edafológicos contribuyen a definir una gran variedad de paisajes (En el anexo 1 se incluye mas información sobre los componentes geomorfológicos y edafológicos); de acuerdo con Pedraza-Gilsanz (1996) es posible describirlos englobando grandes conjuntos territoriales con base en su asociación con otros elementos o componentes del medio natural, ya sean bióticos, abióticos o incluso antropológicos.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE) (2003), la mayor parte del territorio nacional está dominado sólo por cinco unidades: leptosoles (24% del territorio), regosoles (18.5%), calcisoles (18.2%), feozems (9.7%) y vertisoles (8.3%), con los que se cubren casi cuatro quintas partes del país (En el anexo 2, se describen las características de cada grupo edáfico).

“La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana” (INE, 2003). En general, se reconocen dos tipos de deterioro: el que implica el desplazamiento del suelo (erosión) y el que se refleja en un detrimento de la calidad del suelo, ejemplos de ello se incluyen en los anexos 3 y 4.

Cabe mencionar que los factores asociados a la degradación del suelo son la velocidad con la que el viento y el agua remueven el suelo, esos factores están estrechamente relacionados con la cantidad de vegetación que lo cubra; por lo que la vegetación y el uso del suelo son de gran importancia para evitar la degradación del mismo. Es necesario comentar algunos criterios sobre la degradación del suelo referidos por el INE (2003):

- Los suelos con uso agropecuario presentan los cambios químicos más importantes como resultado de la sobreexplotación de los mismos. En tales casos hay pérdida de nutrientes y salinización debido al riego con aguas inapropiadas o al aumento en el nivel de los mantos freáticos.
  
- El deterioro es más grave conforme se intensifican las actividades humanas, por lo que en la vegetación secundaria es común que el terreno presente una degradación de severa a extrema.
  
- Las tierras de temporal son las más afectadas por la degradación. Esto puede deberse a fenómenos inherentes al sistema, como el lapso en el cual el suelo permanece sin vegetación en la temporada de secas.

Las principales causas de degradación en México son el cambio de uso del suelo hacia superficies agropecuarias, la deforestación y el sobrepastoreo. Todos estos procesos tienen que ver con la reducción de la cubierta vegetal, responsable de la conservación del suelo.

### **1.5 Hidrografía, nutrientes y calidad del agua**

La hidrografía es otro de los factores de interés dentro de la evaluación ambiental para una cuenca, ya que la presencia de agua en sus diferentes formas y estados posibilita la presencia de biota, el desarrollo y distribución de actividades humanas, y participa en procesos naturales como la erosión, entre otros.

El agua como elemento natural cubre tres cuartas partes de la superficie de la tierra (figura 3), sin embargo la cantidad de agua dulce disponible para uso y consumo humano es muy poca (0.002% del total del agua en la tierra) encontrándose contenida en ríos y lagos, otra fuente importante de suministro de agua para consumo humano son los acuíferos que representan el 0.018% del agua en el planeta, sin embargo la disponibilidad de esta agua está restringida por la profundidad a la que se encuentran los acuíferos y los recursos con los que se cuenta para su extracción.

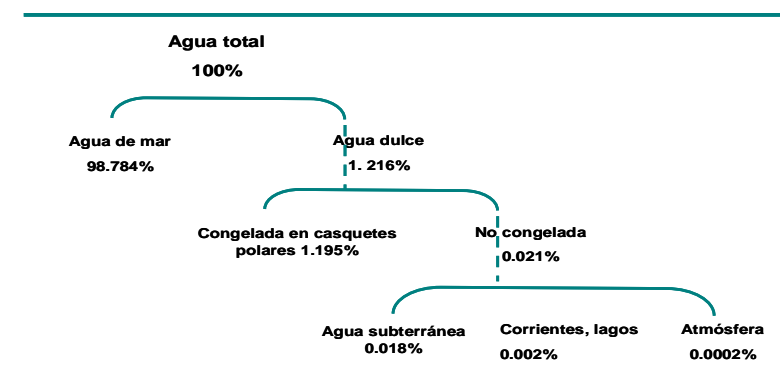


Figura 3.- Distribución de agua en la tierra, expresada como porcentaje del agua total

Tomado de Hutchinson, 1957

“El agua natural contiene compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, consecuencia de la disolución natural de las rocas y de los sólidos a través de los cuales el agua percola o sobre los cuales fluye” (OMS, 2004). Estos compuestos pueden afectar de manera natural la calidad química del agua, por lo que en la naturaleza se presentan eventos de contaminación natural, donde el grado y tipo de contaminación dependerá sólo del tipo de sustrato.

Es importante mencionar que los nutrientes contenidos en el agua de manera natural, son aquellos elementos necesarios para el crecimiento, desarrollo y metabolismo de los organismos vivos. Su origen pueden ser atmosférico o geológico y por diversas rutas ser depositados en cuerpos de agua y posteriormente incorporados por los productores



primarios, ingresando así a la cadena trófica. Como muchos otros elementos en la naturaleza, “los nutrientes también tienen un ciclo, pasando desde los componentes abióticos hasta los bióticos, retornando posteriormente a los componentes inertes del ecosistema, siguiendo una vía más o menos cíclica conocida como *ciclo biogeoquímico*” (Smith y Smith, 2001), (En el anexo 5, se incluye una descripción mas detallada de los ciclos biogeoquímicos).

Como ya se ha mencionado, las alteraciones en los procesos naturales provocan degradación y contaminación. De acuerdo con Canter (1991) “la contaminación del agua superficial, para el caso particular de los ríos, puede definirse en base a su caracterización física, química y biológica, los parámetros físicos incluyen olor, color, temperatura, sólidos, turbidez y contenido de aceites”.

Según datos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH) (2002), la erosión provocada por el agua es la forma más común de degradación del suelo. Cada año los ríos acarrearán al océano 24, 000 millones de toneladas de tierra cultivable. Las causas más frecuentes de dicha degradación son el sobrepastoreo, la deforestación y las malas prácticas agrícolas; sin embargo el arrastre de materiales no sólo implica erosión, ya que cuando el agua de lluvia lava el terreno, son transportados una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos, que serán depositados en los cauces, lagos y presas de la cuenca, de ahí la importancia de visualizar los agentes contaminantes en un cuerpo de agua como resultado de las actividades en la cuenca.

Tenemos entonces que la contaminación física, reportada como turbidez, resulta de la erosión de suelos y de desechos coloidales; la contaminación térmica es causada por actividades de plantas termoeléctricas y procesos industriales que utilizan los caudales como refrigerantes, provocando la disminución en el oxígeno disuelto e incremento de la actividad bioquímica. Por otro lado, los contaminantes orgánicos incluyen nitrógeno

(orgánico, amoníaco, nitrito, nitrato), fósforo o proteínas provenientes de aguas negras domésticas o rastros, grasas, jabones, detergentes, resinas, hulla de petróleo, entre otros; mientras que los contaminantes inorgánicos incluyen la salinidad, dureza, pH y presencia de sustancias como hierro, manganeso, cloruros, sulfatos, sulfuros, metales pesados etc. Y por último los contaminantes biológicos incluyen agentes patógenos como bacterias, virus y protozoarios (Canter, 1991; Sienko y Plane, 1986).

La calidad natural del agua depende de varios factores, entre ellos la cantidad de sólidos o sales disueltas que están relacionadas con la permanencia del agua en el suelo y del tipo sustrato por el que fluye; además de los lixiviados del suelo y las rocas. El tipo de sal disuelta en el agua es un factor importante y tiene que ver con la geología del área del drenaje; y es en relación con el contenido de carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que podemos hablar de aguas duras y aguas blandas (Clark, 1978).

El INE tomando en cuenta los niveles de los parámetros, sustancias y propiedades como son color, olor o sabor y potencial de hidrógeno, califica a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, uso pecuario, uso en acuicultura, o bien, para el desarrollo y la conservación de la vida acuática, en la norma CE-CCA-001/89 (Anexo 6). Por otro lado la Comisión Nacional del Agua (2004) clasifica las características cualitativas del agua según su uso (Anexo 7).

## **1.6 Gestión de los recursos hídricos en México**

En materia de recursos hídricos, la Ley de Aguas Nacionales en sus Artículos 3° y 5° define los conceptos necesarios en materia de gestión y administración del agua en el país, entendiendo que el ejecutivo federal es quien promoverá las acciones coordinadas con los

gobiernos de los estados y municipios para la planeación, realización y administración de las acciones de gestión de los recursos hídricos por cuenca hidrológica o por región hidrológica, a través de los consejos de cuenca donde participarán los tres órdenes de gobierno, los usuarios, los particulares y las organizaciones sociales.

Dicha ley también define en sus Artículos 6, 9, 13 y 13 BIS que el ejecutivo federal será el responsable de reglamentar las extracciones, uso, explotación y aprovechamiento por cuenca hidrológica, de las aguas subterráneas a través de la Comisión Nacional del Agua como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la responsabilidades y funciones de la CNA en materia de gestión del agua se describen en Anexo 8.

La gestión de los recursos hídricos de acuerdo con el artículo 8 de la Ley Ambiental del Estado de San Luís Potosí, debe realizarse a través de los organismos operadores del agua, quienes son directamente responsables de la prevención y control de la contaminación de las aguas que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población, de la instalación de sistemas de tratamiento, así como de la administración de licencias, cuotas y sanciones a quienes exploten, usen o aprovechen aguas federales asignadas a los municipios para la prestación de servicios públicos y/o a quienes viertan descargas a los sistemas municipales de drenaje y alcantarillado, de aguas residuales que no satisfagan la normatividad ambiental.

### ***1.7 Importancia del uso de suelo en la gestión de cuencas.***

La hidrología de una cuenca favorece y condiciona la distribución de los centros de población y sus actividades, por ello es necesario hablar sobre la ocupación o uso de suelo, ya que los diferentes tipos de cobertura vegetal están estrechamente relacionados con factores edáficos, geomorfológicos, hídricos, biológicos y antropogénicos. Conocer la

ocupación del suelo es de capital importancia, ya que es una forma indirecta de conocer el grado de estabilidad en un sistema dinámico donde interaccionan el hombre y el ambiente.

De acuerdo con Jensen y Hodgson (2004) el *uso de suelo* se refiere al uso que las personas hacen de una superficie de tierra (agricultura, zona forestal, comercio, recreación, etc.), mientras que la *cobertura de suelo* se refiere al tipo de material biofísico presente en una superficie del planeta determinando, áreas como humedales, bosques o zonas urbanas; por tal motivo los conceptos de uso de suelo y cubierta vegetal resultan claves para realizar una adecuada valoración de la deforestación que nos permita avanzar hacia el desarrollo sustentable y mejorar la gestión en cuanto a calidad y suministro de agua.

Mientras que Chuvieco (1985) refiere que el conocimiento del estado actual de la ocupación del suelo es de particular importancia, pues expresa una situación de equilibrio en ese sistema dinámico de interacción hombre-medio, aunado a ese carácter ‘ecológico’ este tipo de estudios proporcionan una valiosa herramienta para conocer el significado complejo de una región de estudio dada, poniéndolo en contacto con variados factores ambientales y humanos que actúan en el paisaje como lo son clima, morfología, suelos, paisaje agrario, áreas urbanas, entre otros.

Por otro lado, la ley ambiental del estado San Luís Potosí, señala en su Artículo 7 que el Estado determinará “*los porcentajes mínimos de suelos de la Entidad que requieran estar protegidos por una cubierta forestal permanente, atendidas sus condiciones topográficas, agrológicas y climáticas, así como los coeficientes máximos de capacidad forrajera de los suelos para la conservación de su capa o cubierta vegetal, como parte del ordenamiento ecológico del territorio*”, a través de la formulación, ejecución y evaluación del Programa Estatal de Protección al Ambiente; por otro lado a través de los ayuntamientos, los organismos operadores del agua y la participación ciudadana establecerán las condiciones generales de descargas de los centros de población, así como de la elaboración de los

informes periódicos del estado del ambiente en el territorio. Además es compromiso de los ayuntamientos formular, aprobar y expedir los planes de ordenamiento ecológico del territorio referidos en el artículo 20 BIS 4 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), y del mismo que controlará y vigilará el uso y cambio de uso de suelo, de modo que sean compatibles con los planes establecidos.

## **JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación surge por el interés del área de gestión ambiental del posgrado en ciencias ambientales por generar información y herramientas que permitan aproximarse identificada en una región específica de la Huasteca Potosina y a partir de los resultados diseñar propuestas que permitan a las autoridades competentes tomar medidas que mejoren de manera integral la región.

El área de estudio es parte de la cuenca del Río Valles, que abarca cuatro municipios del estado de Tamaulipas y siete municipios del estado de San Luís Potosí, sin embargo sólo dos municipios en su totalidad del territorio forman parte de la Cuenca, estos son Ciudad Valles y El Naranjo, localizados en la parte central de ésta y representan la zona con mayor actividad agrícola, pecuaria, industrial y turística, razones por las cuales se delimitó como área de estudio.

Como consecuencia de sus variadas actividades económicas existe un mayor número de habitantes en estos municipios en comparación con el resto de los que colindan con la Cuenca, asimismo se identificaron organizaciones que trabajan en aspectos relacionados con la gestión de sus recursos naturales, así como el tipo de infraestructura con la que cuentan y el tipo de recursos que utilizan. Después considerar cada uno de los elementos mencionados surge el interés de diseñar instrumentos de diagnostico ambiental que deriven en procesos de gestión adecuados a las necesidades detectadas en esta zona.

De las principales cuestiones identificadas fueron: Las deficiencias de información, desconocimiento sobre el territorio y la inadecuada gestión de los recursos, lo que han provocado el progresivo deterioro del ambiente en la región, por lo que resulta necesario integrar la información existente, así como hacer una evaluación de los impactos ambientales acumulativos de la zona de estudio y sugerir estrategias de gestión que permitan alcanzar un manejo apropiado, sostenible e integral de los recursos en la cuenca del río Valles.

## **OBJETIVO GENERAL**

Recopilar información básica oficial de la cuenca del Río Valles para hacer una descripción preliminar de su problemática ambiental y proponer una metodología de análisis que establezca elementos de diagnóstico y pueda operar bajo condiciones de información limitada.

### ***Objetivos Específicos***

Describir la situación actual de la cuenca integrando la información generada a la fecha por diversas dependencias en un Sistema de Información Geográfica.

Proponer un modelo de simulación basado en técnicas de evaluación de impacto ambiental y análisis de vulnerabilidad.

Identificar vacíos de información y posibles análisis futuros que nos permitan incluir otras variables significativas para el diagnóstico ambiental.

## **CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un proceso destinado a estimar y valorar los efectos adversos de las acciones humanas en el ambiente y la sociedad, con el objetivo de prevenir o mitigar tales efectos, a partir de propuestas que sean ambiental y socialmente sostenibles. Como tal, la EIA es considerada un instrumento preventivo de gestión que permite cumplir las políticas ambientales al ser incorporadas tempranamente en el proceso de desarrollo y toma de decisiones (Espinoza, 2001; García-Leyton, 2004).

*La EIA es definida en el Artículo 28 de la LGEEPA, como el procedimiento a través del cual la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece las condiciones a las que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente, y preservar y restaurar los ecosistemas a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente; tomando en cuenta que en el artículo 3° fracción XIX, de la misma ley, el Impacto Ambiental se define como: la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.*

Existen diversas metodologías que permiten evaluar el impacto ambiental, la selección más adecuada dependerá del área de estudio, la problemática y los recursos con que se cuente; es pertinente considerar que ningún método puede satisfacer por sí sólo la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de evaluación de impacto ambiental.

Retomando los trabajos de Canter y Sadler (1997) y Espinoza (2001) a continuación se hace una reseña de los métodos más comunes en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental.



Entre estas metodologías se encuentran desde las simples como son las **analógicas**, que usan información existente de estudios de impacto ambiental similares, sin embargo una desventaja de este método es que no siempre es posible encontrar información que corresponda con el mismo tipo de proyecto y mucho menos con iguales condiciones ambientales.

Otro de los métodos sencillos son las **listas de chequeo** que consisten en realizar un listado de los puntos a considerar en la evaluación de impacto ambiental como son factores ambientales, sociales, actividades y temporalidad del proyecto en evaluación, entre otros, este método resulta práctico sin embargo no es útil para estimar la magnitud e importancia de los impactos.

Los **análisis ambientales costo-beneficio** básicamente consisten en estimar el valor de los costos y beneficios del proyecto en análisis, dando atención especial a los recursos naturales y su valor económico, sin embargo es muy complicado asignar un valor económico a los recursos naturales y en muchos casos el costo de los impactos ambientales es incalculable.

Uno de los métodos ampliamente usado en las evaluaciones de impacto ambiental es la **opinión de expertos o dictamen profesional**, ya que en la mayoría de los casos la problemática o proyecto de análisis implica una gran diversidad de variables y sus interrelaciones, es decir son problemáticas multifactoriales o multicriterio por lo que es de gran ayuda contar con el apoyo profesional de un grupo multidisciplinario de expertos, con los que se logra una mejor comprensión de la problemática bajo análisis.

La **evaluación de paisajes** resulta una herramienta útil en la valoración de recursos estéticos o visuales, estos métodos están basados típicamente en el desarrollo de

información derivada de una serie de indicadores y la subsiguiente adición de dicha información sobre una puntuación global o índice para el escenario ambiental, sin embargo una evaluación de impacto ambiental objetiva requiere más que una valoración estética.

Otro método de EIA es el **cálculos de balance de materia** que se basan en inventarios de condiciones existentes para compararlas con los cambios que resultarán de una acción propuesta. Tales inventarios son frecuentemente usados en los procesos de EIA en el contexto de las emisiones de contaminantes al aire, al agua y la generación de residuos sólidos y peligrosos. Sin embargo sólo representan una manera ambigua de estimar los balances de materia, ya que sólo visualiza las condiciones previas y posteriores a la acción propuesta, mientras que un análisis completo necesita considerar todo el proceso.

Otro de los métodos más empleados son las **matrices de interacción o de causa-efecto**. Las matrices consisten en un listado de acciones humanas y otro de indicadores de impacto ambiental, dispuestos matricialmente. Son muy útiles para identificar el origen de ciertos impactos, pero están limitadas para establecer interacciones, identificar impactos secundarios o terciarios y realizar consideraciones temporales o espaciales. Deben reunir la mayor cantidad de datos técnicos y ecológicos posibles y se requiere de una cierta familiaridad con el área afectada por el proyecto y con la naturaleza del mismo, por lo que se sugiere que este método se apoye en una consulta de expertos, ejemplos de matrices de interacción o de causa-efecto son las matrices de De Leopold, y Battelle-Columbus.

La **metodología de redes** es una extensión de los diagramas de flujo con la finalidad de incorporar impactos a largo plazo, debido a que los componentes ambientales están interconectados, formando tramas o redes, a menudo se requieren aproximaciones ecológicas para identificar impactos secundarios y terciarios. Para el desarrollo de una red es necesario indicar los impactos que resultan de cada actividad del proyecto, en orden jerárquico, los impactos primarios, los impactos secundarios y terciarios. Su principal

desventaja es que no proveen información sobre la magnitud e importancia de los impactos, además cuando la red es muy densa, puede ser confusa y de difícil interpretación.

La **cartografía ambiental** consiste en métodos gráficos, el procedimiento más utilizado es la sobreposición de transparencias, donde una serie de mapas que establecen impactos individuales sobre un territorio son sobrepuestos para obtener un impacto global. Cada mapa indica una característica física, social o cultural, que refleja un impacto ambiental específico. Esta herramienta permite una comprensión del conjunto de impactos establecidos en forma independiente, relacionarlos con diversas características y establecer de esta forma un impacto global, resulta especialmente útil cuando los impactos varían espacialmente.

Las modelaciones, la **modelación cualitativa** se refiere a un grupo de métodos en el que la información descriptiva es utilizada para relacionar varias acciones con cambios resultantes en los componentes ambientales; mientras que la **modelación cuantitativa** (matemática) emplea diversos métodos, usados específicamente para prestar atención anticipada a los cambios en el medio ambiente o los recursos como resultado de acciones propuestas.

Por último comentaremos sobre la **metodología de construcción de escenarios** que involucra consideraciones alternativas futuras como resultado de suposiciones iniciales diferentes. Esta técnica se utiliza en las áreas de planeación, pero también tiene aplicabilidad en EIA, particularmente en el contexto de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) de políticas, planes y programas.

Tomando en cuenta lo anterior se determinó que las metodologías de evaluación de impacto ambiental que permiten realizar un diagnóstico ambiental del área de estudio y su respectiva problemática son: la cartografía ambiental o sobreposición de mapas, apoyada en

datos de INEGI (2005); modelación cualitativa resultado de la integración de datos con ayuda del Software ArcGIS 9.2, así como la opinión de expertos, (Guadalupe Galindo Mendoza, Doctora en Geógrafa, especialista en manejo de Sistemas de Información Geográfica y catedrática de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, José Alfredo Ramos Leal, Doctor en ciencias, Geólogo, especialista en análisis de vulnerabilidad de acuíferos e impacto ambiental y catedrático del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, así como Edmundo Ducoing Chahò, Maestro en Evaluación de impacto ambiental y catedrático de la Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa) que en conjunto permitieron obtener un panorama integral de la situación ambiental de la cuenca, al tiempo nos permitió identificar deficiencias de información y aplicación de la misma.

## **2.1. Sistemas de Información Geográfica**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) surgen como una valiosa herramienta para la integración y manejo de datos espaciales, que contribuyen en la solución de problemas geográficos complejos, por lo que se ha convertido en una de las tecnologías más utilizadas para el análisis del territorio y los componentes del ecosistema, ya que permite almacenar, procesar, manipular y representar espacialmente los componentes de un proyecto o problemática en estudio, asimismo posibilita su ubicación en la superficie terrestre y permite su proyección cartográfica, motivos por los cuales el procesamiento y análisis de imágenes de satélite es de gran ayuda en los estudios de impacto ambiental, planes de uso de suelo, estudios sobre recursos naturales y geomorfología entre otros (Cámara *et al.*, 2005; Florenzano, 2002).

Estas herramientas posibilitan, a través de interpretación y validación, conocer el estado real de un área determinada, brindan una visión sinóptica de la superficie y aseguran un gran volumen de información (Chuvieco, 1985), haciendo posible el estudio o monitoreo de

fenómenos naturales dinámicos o fenómenos antropogénicos, entre otras cosas (Florenzano, 2002).

Como se mencionó anteriormente una de las herramientas más útiles en la EIA es la cartografía ambiental o sobreposición de mapas; para el presente estudio dicha metodología se realizó con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota, ya que permite visualizar en un plano espacial las actividades y posibles alteraciones ambientales resultantes y que potencialmente puede derivar en la construcción de escenarios, modelación cualitativa y cuantitativa, o bien en la construcción de mapas de vulnerabilidad, estos últimos apoyados en opiniones de expertos en problemáticas ambientales. Así, la construcción de un mapa de vulnerabilidad resulta del uso y combinación de una serie de estrategias y herramientas de evaluación ambiental, que en forma conjunta brindan una visión integral y multidisciplinaria de la problemática en estudio.

## **2.2. Análisis de Vulnerabilidad**

Otra forma de analizar el estado de salud del ambiente es a través de los métodos de evaluación o análisis de vulnerabilidad, que surgen como herramientas para estimar el riesgo o susceptibilidad que presenta una población o un ecosistema, ante un fenómeno natural extremo, como son inundaciones o huracanes.

El concepto de vulnerabilidad es amplio y admite diversas interpretaciones y definiciones. Bereciartua (2003) lo define como una manera de “estimar el nivel de impacto negativo que puede causar un determinado peligro o amenaza de peligro en un sistema”. Por su parte, Jiménez (2002) comenta que es un “grado de daño o pérdida susceptible de experimentar por un elemento o grupo de elementos bajo riesgo (personas, edificaciones, instalaciones,

sistemas, bienes, ambiente) resultado de la probable ocurrencia de un evento de una magnitud e intensidad dada”.

Por otro lado, Castro (1999) menciona que “el concepto de vulnerabilidad es un concepto relativo y se debe analizar frente a las condiciones particulares de cada comunidad”, y el mismo autor comenta que comprender la vulnerabilidad de una determinada región tiene que ver con la fragilidad o resistencia de dicha área respecto a desastres naturales o antropogénicos. De ahí se deriva la importancia de realizar estudios precisos de vulnerabilidad.

Bereciartua (2003) comenta que “como resultado de la evaluación de la vulnerabilidad pueden obtenerse mapas que indican las zonas con mayor o menor sensibilidad a la contaminación, estos niveles de sensibilidad obtenidos, permiten valorar la vulnerabilidad en forma relativa entre las zonas que integran el área de estudio”.

Sin embargo, las evaluaciones pueden realizarse en diversos ambientes y bajo diferentes condiciones, ajustando la metodología a la realidad del lugar y a la problemática específica. Bereciartua (2003) refiere que “la confección de un mapa de vulnerabilidad implica combinar varios mapas temáticos, correspondientes a las variables elegidas para la evaluación”.

En el análisis de vulnerabilidad, visto como una herramienta para resolver problemáticas que involucran múltiples factores o criterios, como es el caso de la presente investigación, es necesario definir las “variables de análisis”, el Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico (MPOE, 2006) menciona algunos métodos para establecer estas variables, entre los cuales citamos los siguientes:

**Métodos inductivos.**- Como su nombre lo dice, inducen niveles o índices de riesgo a partir de una combinación de datos específicos, diferentes capas temáticas que representan a las variables relacionadas con el riesgo, la vulnerabilidad o la amenaza. A cada variable se le asigna un peso o valoración particular y se definen algoritmos para combinarlas espacialmente.

**Métodos deductivos.**- Se basan en la identificación de patrones históricos de ocurrencia de desastres para deducir un nivel probable de riesgo en una ubicación y período de tiempo determinado.

**Métodos híbridos.**- Se pueden combinar las técnicas inductivas con las deductivas para realizar evaluaciones de riesgo.

Una vez que se han definido las variables de análisis es necesario tener información sobre la importancia relativa de cada una de ellos y establecer la prioridad que representan dentro del análisis. Para ello existen diversos métodos tales como: grupo nominal, Delphi<sup>1</sup>, lluvia de ideas y comparaciones pareadas entre otros, que de modo general consisten en realizar consensos con los diferentes actores involucrados, teniendo como producto una lista con el orden de importancia de los elementos bajo análisis (MPOE, 2006).

### **2.3. Antecedentes**

Las primeras experiencias utilizando SIG para la evaluación de riesgos y vulnerabilidad se remontan al año 1985, con un proyecto piloto de la Organización de los Estados Americanos, que pretendía evaluar las amenazas naturales y la mitigación de desastres, (Reyes Sandoval, 2003). Posteriormente, se han desarrollado múltiples estudios con

---

<sup>1</sup> Definido Linston y Turoff (1975) como “un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo”

diversos enfoques en los que dependiendo de la problemática en cuestión, se han adaptado las metodologías de vulnerabilidad a la realidad específica del estudio; modificaciones que, en términos generales, implican seleccionar los atributos o elementos que permitan una interpretación de la realidad de la zona de estudio y la complejidad del problema multicriterio que se esté abordando. Desde este enfoque varios autores han desarrollado trabajos de investigación encaminados a resolver problemas complejos de un área de estudio determinada.

Cáceres Jonson (2001) estimó la vulnerabilidad a desastres naturales de la población de la microcuenca Los Naranjos, en Lago de Yojoa, Honduras, al relacionar la frecuencia y la intensidad de desastres naturales con la degradación ambiental, para lo que utiliza diferentes indicadores como herramientas para estimar la degradación y vulnerabilidad a desastres naturales.

Por otro lado, Reyes-Sandoval (2003) analizó la vulnerabilidad y el riesgo en la microcuenca del Río Talgua, en la ciudad de Catamas en Honduras, con el objetivo de identificar áreas con mayor grado de vulnerabilidad y niveles riesgo a desastres naturales, específicamente huracanes, a través de la integración ponderada de variables biofísicas, socioeconómicas y ambientales, utilizando sistemas de información geográfica.

De modo similar, Teutsch-Barros (2006) analizó diferentes aproximaciones metodológicas para evaluar la vulnerabilidad de la población ante desastres asociados con el cambio climático, donde el autor consideró como amenazas las inundaciones causadas por exceso de precipitación o por elevación del nivel del mar y las sequías. Encontró que, si bien existen diferencias en las formas de procesar la información, los diversos métodos se basan en el uso de indicadores de vulnerabilidad y que la selección de estos indicadores varía según la escala de análisis y las características propias de cada lugar. Concluye que las metodologías de evaluación de vulnerabilidad son herramientas flexibles que pueden y



deben ser adaptadas de acuerdo a los requerimientos y posibilidades de cada estudio en particular.

En México se han realizado pocos trabajos relacionados con la valoración de la vulnerabilidad ambiental enfocados a apoyar la toma de decisiones, entre estos podemos mencionar el de Brower y colaboradores (2002), quienes relanzan un análisis espacio temporal de los cambios cualitativos en la calidad del bosque donde habita la Mariposa Monarca, con la finalidad conocer su área de hibernación y decretar áreas de protección; mientras que Bojorquez-Tapia y colaboradores (2002), Evaluaron la viabilidad ambiental y económica de llevar a cabo un proyecto carretero en diferentes sitios.

### CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA EMPLEADA

En la primera etapa del presente trabajo se realizó un recorrido de campo en el mes de enero del 2006, para familiarizarse con la zona de estudio y asistir a una sesión del Comité de Cuenca del Río Valles, de manera complementaria, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica, a partir de la cual se recopiló, entre otros documentos, la información generada por dependencias gubernamentales y académicas, misma que fue analizada y depurada como muestra en la tabla 1; información con la que usualmente se desarrollan las estrategias de gestión y se toman las decisiones en materia ambiental en el país, de ahí su importancia.

**Tabla 1. - Información considerada en el estudio y sus respectivas fuentes.**

<b>Institución</b>	<b>Tipo de información</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>INEGI</b>	<b>Poblacional</b>	Censo de población y vivienda , 2005
	<b>Cartas topográficas digitales</b>	F14A69, F14A71, F14A78, F14A79, F14A81, F14A89, F14C19, F14D11
	<b>Cartografía temática digital</b>	Edafología
		Hidrología
		Curvas de nivel
<b>Imágenes de satélite</b>	Geología	
<b>CNA</b>	<b>Imágenes de satélite</b>	Landsat
	<b>Geográfica</b>	Ortofotos digitales
	<b>Geográfica</b>	Delimitación de la cuenca hidrográfica
	<b>Calidad del agua del río</b>	Comportamiento histórico de parámetros físicoquímicos y metales, para 4 estaciones
<b>UASLP</b>	<b>Estaciones</b>	Volúmenes de extracción concesionados por uso
	<b>Elementos de gestión</b>	Actividades del comité de cuenca
<b>UASLP</b>	<b>Mapas temáticos</b>	Mapas de uso de suelo para los años 1973, 1985 y 2000

La mayor parte de la información fue procesada para generar mapas temáticos en el software ArcInfo 9.2, con una proyección UTM Zona 14, datum NAD27 y a una escala de impresión 1:500,000 (Anexo 9), para caracterizar la zona de estudio respecto a las principales actividades, problemáticas, asentamientos humanos y rasgos naturales propios de la zona.

Específicamente, el mapa de uso de suelo para el año 2005 se construyó con el Software ILWIS 3.2, siguiendo la metodología empleada Galindo y Olvera (2005) para el desarrollo de los mapas de los años 1970, 1985 y 2000, utilizando los mismos criterios de clasificación.

Posteriormente se realizó otro recorrido de campo, con el fin de verificar la información obtenida de las imágenes de satélite y se ubicaron geográficamente con un GPS varios puntos de interés, tales como: ingenios azucareros, tipos de agricultura, bancos de extracción de materiales, entre otras actividades; los datos recabados se vincularon a un acervo de imágenes.

Una vez caracterizada la zona de estudio y su problemática, se generó un mapa de vulnerabilidad ambiental, tomando como base los factores: edafológicos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y poblacionales, y dicho mapa muestra la alteraciones ambientales, resultado de las actividades antropogénicas desarrolladas en la cuenca, en tres grados de vulnerabilidad de acuerdo a lo siguiente:

- **Vulnerables** o que requieren algún tipo de protección,
- **Tolerantes con restricciones** o que pueden tener algún tipo de manejo, y
- **Afectadas**, o que deben ser objeto de estrategias de restauración.

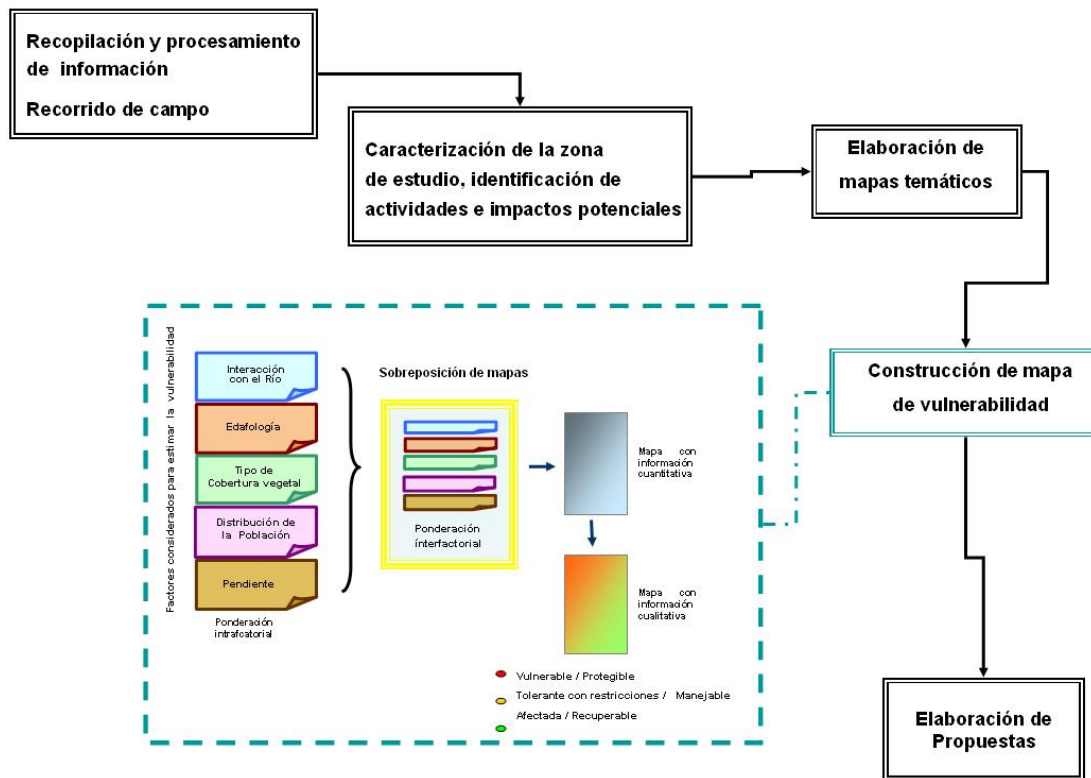


Figura 4. - Esquema general de la metodología empleada en el estudio.

Debido a que el cumplimiento de los objetivos del presente estudio implicaba considerar problemas multicriterio, fue necesario realizar ponderaciones para los componentes de cada uno de los factores considerados en la estimación de la vulnerabilidad, esto se realizó con ayuda de expertos, por lo que los valores asignados están fundamentados en la información teórica y conceptual para cada uno de los factores considerados.

Una vez ponderada la información intrafactorial se tomó en cuenta la importancia relativa de cada variable, para seguir con la misma lógica teórica, se asignaron pesos relativos a cada una de ellas, donde el *peso* es el valor asignado a cada variable en evaluación que indica su importancia relativa con respecto a las otras variables, y se realizó una sobreposición ponderada. Posteriormente, la asignación de valores se sometió a un análisis

de sensibilidad de parámetros, sugerido dentro del método DRASTIC<sup>2</sup> (Ramos-Leal, 2002), un esquema general de la metodología implementada se muestra en la figura 4.

Finalmente el mapa de vulnerabilidad fue analizado discutido y presentado a algunos integrantes del consejo de cuenca del Río Valles y funcionarios de la Comisión Nacional del Agua, como agentes clave en la toma de decisiones en la gestión ambiental de la zona de estudio.

Paralelamente, con la información referente al comportamiento histórico de la calidad del agua del río, se realizaron series de tiempo y se compararon los datos reportados con los criterios establecidos en las normas oficiales mexicanas.

Por ultimo, con la información obtenida a de las reuniones con diversos integrantes del Comité de Cuenca del Río Valles, así como de sus sesiones en pleno; se realizó una reseña de las acciones relacionadas con el manejo y gestión del recurso agua, se identificaron aciertos y fallas de este organismo con el fin sugerir líneas de trabajo, así como nuevas líneas de investigación a partir de la funcionalidad de la metodología implementada.

---

<sup>2</sup> DRASTIC, profundidad del agua (D), recarga (R), litología del acuífero (A), naturaleza del suelo (S), pendiente del terreno (T), zona no saturada (I) y permeabilidad del acuífero (C).

## **CAPÍTULO 4.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 Caracterización de la Zona de estudio**

Ubicado entre los vértices 162000, 2710000 y 570000, 2339000 coordenadas UTM, zona 14, datum NAD27, se encuentra el estado de San Luís Potosí, que ocupa el 3.1% de la superficie del territorio nacional. El estado se divide en cuatro regiones: Altiplano, que cubre una superficie de 21730 Km<sup>2</sup>, Centro con 12550 Km<sup>2</sup>, región Media con 16630 Km<sup>2</sup> y región Huasteca con una superficie de 11396 Km<sup>2</sup>.

La cuenca del Río Valles cubre un área de 669 km<sup>2</sup> y se extiende entre los vértices 429000, 2538000 y 551900, 2382900 de coordenadas UTM, zona 14, datum NAD27, que incluye parte de los municipios de Tula, Ocampo, Nuevo Morelos y Antiguo Morelos del estado de Tamaulipas, y parte de los de Ciudad del Maíz, Tamuín, Tanlajás, Tancanhuitz de Santos, Aquismón, El Naranjo y Ciudad Valles, pertenecientes al estado de San Luís Potosí, sin embargo el presente trabajo solo considera los municipios de Ciudad Valles y El Naranjo, por cuestiones de tiempo, disponibilidad de la información y que la mayor parte del territorio de la cuenca pertenece a estos municipios, los cuales cubren un extensión de 308 Km<sup>2</sup>, equivalente al 46% de la superficie total de la cuenca (Figura 5).



**Figura 5.- Ubicación de la zona de estudio en verde y en azul se observa la delimitación de la cuenca geográfica.** Elaboración propia con datos de INEGI, 2005

La región presenta un clima tropical lluvioso y una temperatura media anual de 26°C; el régimen de lluvias incluye una temporada en junio y septiembre, y una temporada seca estival o canícula en el mes de agosto. Sin embargo, en algunos años ésta es inexistente o débilmente marcada.

Dentro del área de estudio se localizan importantes corrientes y caídas de agua que forman parte del río Valles, tales como el Salto, el Meco, Minas Viejas y Micos entre otras. El río Coy es un afluente que se une al Valles en la localidad de “El Pujal”.

#### **4.2 Flora y Fauna**

Se sabe que hacia la mitad del siglo XX la región tenía una gran diversidad faunística que incluía: pato real, pato maizal, hocofaisán o faisán, guacamaya, pájaro carpintero, mono araña, oso hormiguero, armadillo, conejo, ardillas gris y rojiza, puerco espín, tepezcuintle, puma, oso negro, jaguar o leopardo, ocelote, tigrillo, jabalí de collar, entre otros. Sin embargo, gran parte de esta fauna actualmente está extinta como consecuencia de la pérdida de hábitat debida a los cambios de uso de suelo, la caza y la contaminación (Herrera Bravo, 1990).

Dentro de los tipos de vegetación en la región Puig (1991) y Rzedowsky (1978) distinguen:

**Selva Baja:** Incluye poblaciones de guásima (*Guasuma ulmifolia*), chaca (*Bursera simaruba*), rajador (*Lisiloma divaricata*), tular (*Thipa* sp.), palma, cornezuelo, colima y huizache, y también abundan los pastizales cultivados con especies como pangola (*Digitaria decumbens*), y guinea (*Panicum* sp).

**Selva alta perennifolia:** También conocida como bosque tropical perennifolio, caracterizado por su exuberancia, con un clima cálido húmedo, con lluvias casi todo el año, se desarrolla desde los 0 hasta los 1500 msnm, y tiene una temperatura promedio de 24°C. Las poblaciones que caracterizan este ambiente son: chaca (*Bursera simaruba*), higuerón (*Ficus* sp.), rajador (*Lisiloma divaricata*), orejón (*Enterolobium cyclocarpum*) y limoncillo (*Citrus* sp.), en la zona de transición se encuentran poblaciones de encino-pino, madroño, huizache, ojite, maguey, pino rojo, garambuyo, jarilla, pitayo, copal, trompillo, sangregado, piñonero, granjeno, palma, amargoso, cardenche, y tepeguaje.

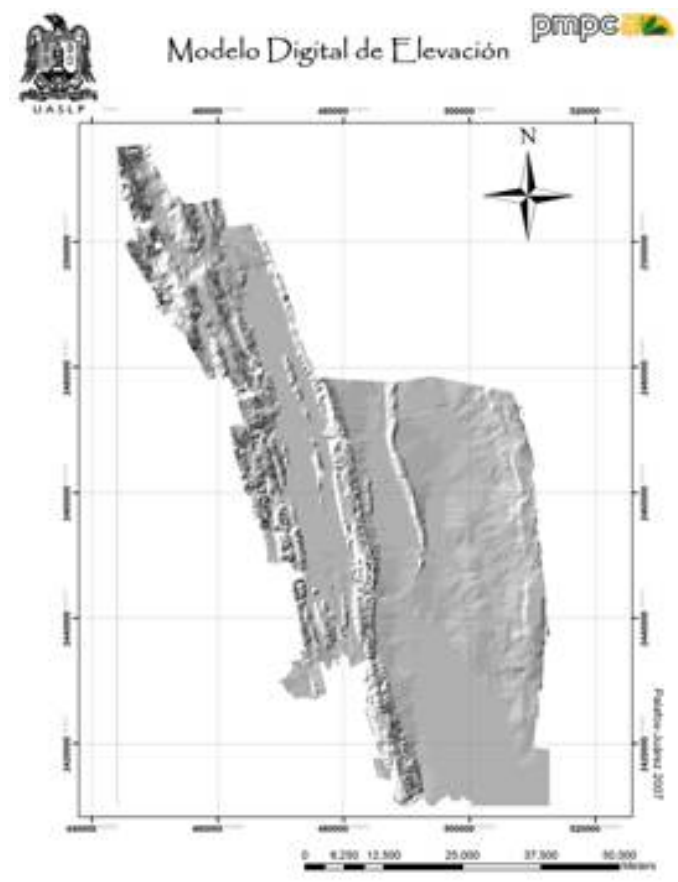
**Selva baja caducifolia:** También conocida como bosque tropical caducifolio; de clima cálido, entre los 0 y 1,900 msnm, con una oscilación anual de temperatura entre 20 y 29°C; presenta una estación de secas y otra de lluvias muy marcadas durante el año, con precipitaciones que van desde los 300 a 1,800 mm; en ella habitan poblaciones de aquiche (*Guazuma ulmifolia*), rajador (*Lysiloma divaricata*) y orejón (*Enterobium cyclocarpum*); bosque de encino con poblaciones de matorral submontano (*Helettia parvifolia*); pastizal cultivado (*Digitaria decumbens*) y guinea (*Panicum maximum*). En esta subprovincia también se encuentran matorrales desérticos micrófilos con especies tales como gobernadora (*Larrea tridentata*), hoja sen (*Flourensia cernua*), mezquite (*Prosopis* sp.), junco (*Koerberlinia mexicana*), cardenche (*Opuntia imbricata*), nopal (*Opuntia* sp.), palma loca samandoca (*Yucca carnerosana*), palma china (*Yucca filifera*), pastos (*Muhlebergia*



*sp.*), mezquite (*Prosopis glandulosa*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*) y parraleña (*Zinnia acerosa*).

### **4.3 Geomorfología**

La orografía presenta, en el extremo norte, una parte de la Sierra Madre Oriental conocida localmente como la Zarzamora, Sierra Ojo de Agua, Sierra de la Pila, y Sierra Colmena o Sierra del Abra-Tanchipa. Los valles existentes entre las sierras son destinados a actividades agrícolas, mientras que la parte centro-sur de la zona de estudio incluye planicies con actividades agrícolas y pecuarias. El punto más alto de la zona de estudio tiene una elevación de 1600 msnm, mientras que en el punto más bajo se reportan 30 msnm de elevación, lo que favorece la presencia de una gran variedad de geoformas y ambientes en área de estudio (Herrera-Bravo, 1990), como puede observarse en la figura 6.



**Figura 6. -Modelo digital de terreno que muestra la geomorfología.**

Los grados de inclinación del terreno brindan información sobre la fragilidad de una pendiente determinada a sufrir deslaves o derrumbes, a causa de eventos de alta precipitación y/o procesos erosivos. En este contexto, se realizó con la ayuda de expertos una ponderación de pendientes del terreno, con base en la capacidad de retención de agua, el grado de susceptibilidad a alteraciones debidas a actividades humanas o bien por fenómenos naturales extremos, así como la estabilidad que presenta el suelo, a partir de lo cual que se obtuvo una escala del 1 al 5, tal como se observa en la tabla 2, subsecuentemente con ayuda de estos valores se construyó el mapa de “Pendiente en grados ponderada” (Figura 7).

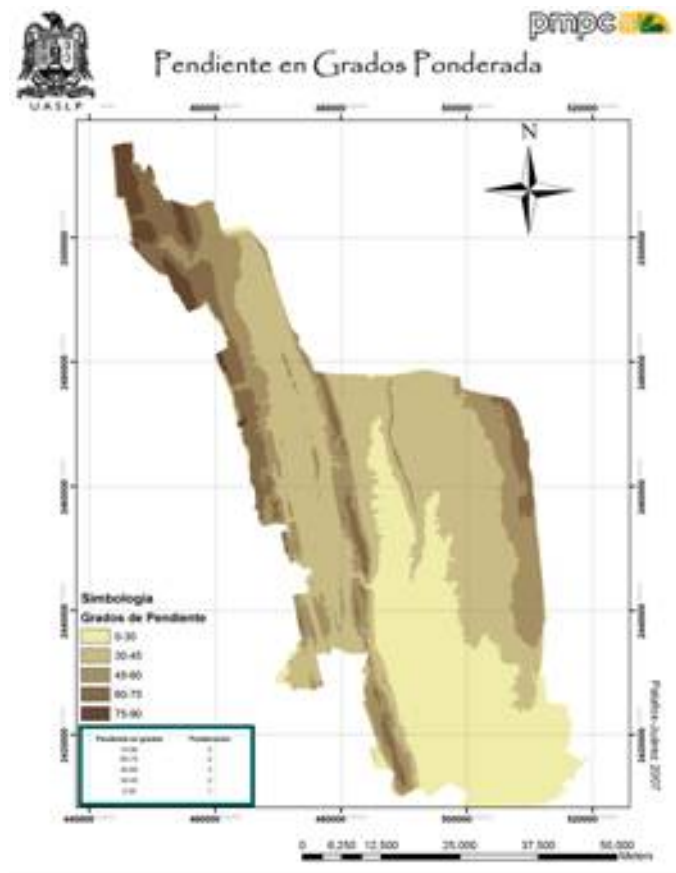


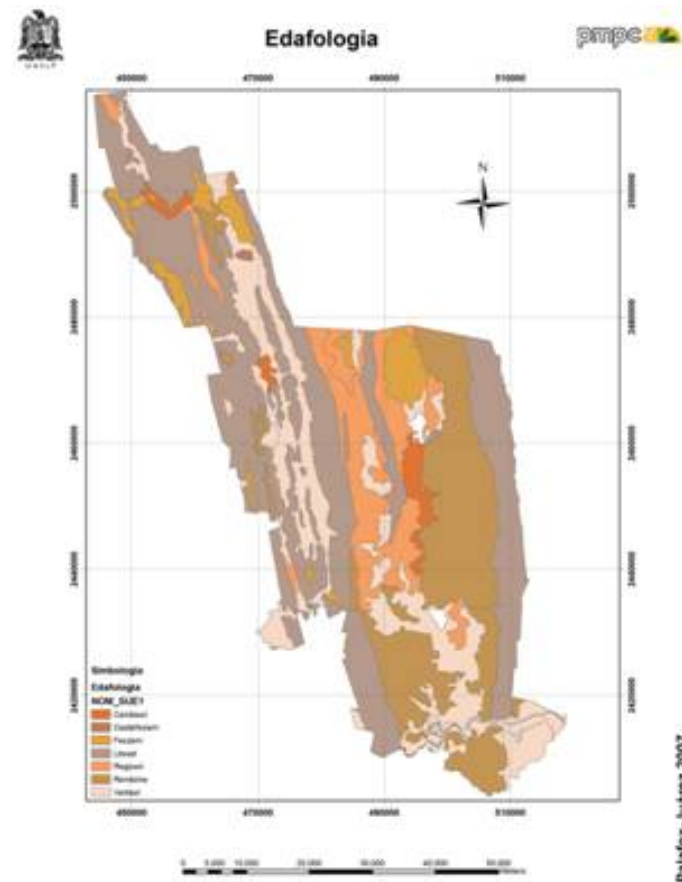
Figura 7. - Inclinación en grados de pendiente ponderada.

**Tabla 2.- Ponderación de pendientes**

<b>Pendiente en grados</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Características</b>
75-90	5	Pendiente máxima, mayor susceptibilidad, menor estabilidad y mínima retención de agua.
60-75	4	Poca estabilidad, alta susceptibilidad, poca retención de agua.
45-60	3	Zona intermedia, donde se logra captar una parte considerable de escurrimientos, estabilidad y retención medias.
30-45	2	Buena retención, moderada susceptibilidad ante procesos de deslave y derrumbes.
0-30	1	Zonas de depositación, con máxima estabilidad ante la fuerza de gravedad y derrumbes.

#### **4.4 Edafología**

Respecto a los tipos de suelo presentes en el área de estudio, se determinó la constitución edafológica con base en la cartografía INEGI, como sigue: los Litosoles se distribuyen principalmente en las zonas de alta montaña, mientras que los Catañozem se localizan principalmente en algunos valles intermontanos y las Rendzinas y Feozem se encuentran forman lomeríos; mientras que en las llanuras y planicies la composición edáfica corresponde a Cambisoles, Regosoles, y Vertisoles (figura 8).



**Figura 8. - Tipos de suelo en la zona de estudio.**

Tomando como base la constitución edáfica, se asignaron pesos ponderados a cada tipo de suelo, en función de sus características intrínsecas, como la tolerancia que presenta cada tipo de suelo para soportar actividades agrícolas principalmente. En escala de 1 a 5, los suelos con alto contenido de materia orgánica recibieron un valor de 1; mientras que los suelos delgados y poco desarrollados recibieron un valor de 5 (Tabla 3), con esta información se elaboró el mapa de Edafología Ponderada (figura 9).

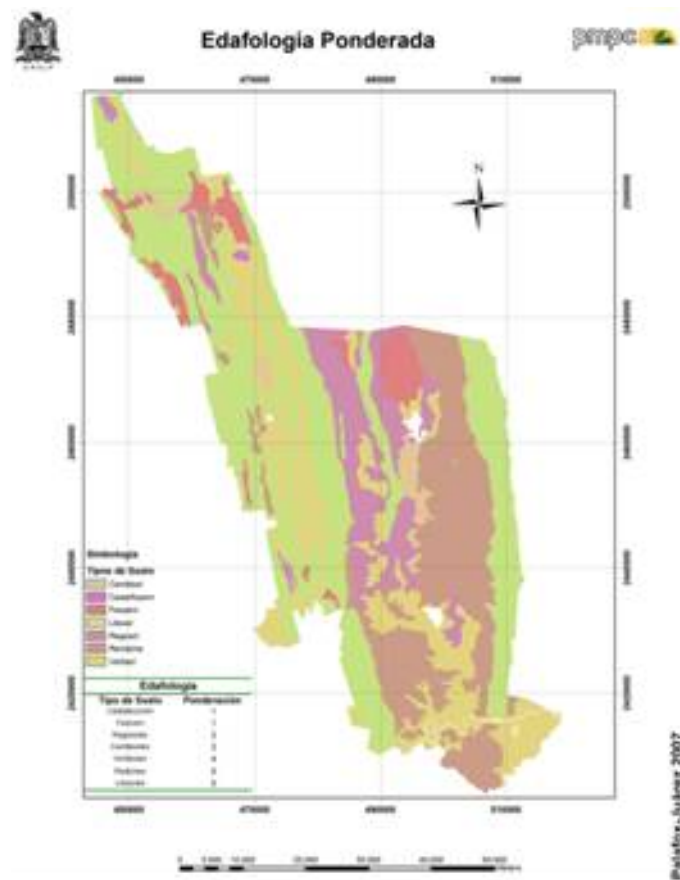


Figura 9.- Edafología Ponderada.

Tabla 3.- Ponderación por tipos de suelo

Tipo de Suelo	Ponderación	Características
Castañozem	1	Desarrollados, húmicos, mólicos
Fezoem	1	Suelos saturados de bases, muy fértiles
Regosoles	2	No evolucionado, producto de erosión, sobre roca madre blanda
Cambisoles	3	Poco desarrollados, cambios de estructura por intemperización
Vertisoles	4	Alto contenido de arcillas
Redzinas	5	Poco evolucionados, sobre roca madre carbonatada
Litosoles	5	No evolucionados, sobre roca madre

#### **4.5 Uso de suelo y cobertura vegetal**

Durante el primer recorrido de campo se identificó como la principal problemática que el uso de suelo se ha modificado por la expansión de áreas agrícolas hacia zonas forestales, con la consecuente deforestación de selvas y bosques, y la pérdida de flora y fauna, además de el uso de fertilizantes y plaguicidas, y la erosión por pie de ganado como consecuencia de la ganadería extensiva.

Considerando que la actividad económica más importante dentro del sector agrícola es el cultivo de la caña de azúcar (tabla 4), seguido por los cítricos y algunas otras frutas y granos; además de la presencia de tres ingenios azucareros, los cuales realizan su industrialización y comercialización de la caña, mientras que el sector pecuario está representado por la ganadería vacuna extensiva y pequeñas granjas acuícolas.

**Tabla 4.- Superficie y producción de Caña de Riego y Temporal Zafra 2004/2005.**

Ingenios (orden alfabético)	Riego			Temporal			Total		
	Ha	Ton	ton/ha	Ha	Ton	Ton/ha	Ha	ton	ton/ha
<b>Plan de Ayala</b>	3,590	292,505	81.47	13,374	881,929	65.94	16,964	1,174,434	69.23
<b>Plan de San Luis</b>	5,480	406,070	74.11	12,886	838,309	65.06	18,366	1,244,379	67.76
<b>San Miguel del Naranjo</b>	1,614	120,504	74.67	16,615	1,180,525	71.05	18,228	1,301,028	71.37
<b>Total nacional</b>	255,498	22,714,269	88.90	402,90	28,178,374	69.94	658,402	50,892,642	77.30
<b>Relación (%)</b>	39	45		61	55		100	100	

Tomado de COAAZUCAR, 2006.

En un recuento histórico, se observa que la cobertura vegetal natural se ha visto drásticamente modificada por el aumento de áreas agrícolas y el manejo del suelo excesivo para la producción de caña de azúcar que provocaron el agotamiento del suelo,

principalmente por la alta extracción de nutrientes, los cuales, nunca se reincorporan en la misma proporción. Otro factor asociado a la agricultura de caña es la presencia de plagas tales como roedores, langosta, mosca pinta, gusano barrenador, chapulín, gusanos trozadores, chinches de encaje, pulgón amarillo, gusano falso medidor, gallina ciega, gusano soldado y termitas, que según datos de la SEDARH (2004), son combatidos con diferentes agentes químicos. Esto tiene consecuencias posteriores porque a mediano plazo generan dependencia a medida que las plagas se vuelven más resistentes y su combate requiere productos cada vez más fuertes. Desafortunadamente muchos productos prohibidos por su alta toxicidad en países desarrollados, como el Malatión, aún se usan en nuestro país. Sin embargo, como bien sabemos, este criterio de regulación en países altamente industrializados no es garantía de inocuidad, y más bien se sigue la regla de toxicidad crónica o aguda para casi todos los agroquímicos, aprobados o rechazados.

Con información obtenida de estudios anteriores se realizó un análisis histórico de los cambios en la cobertura vegetal en la región, comparando los mapas de uso de suelo desarrollados por Galindo- Olvera (2005), para los años 1975, 1985 y 2000 (figuras 10,11 y 12); utilizando la misma metodología se elaboró el mapa para el año 2005 (figura 13), y se determinó que la zona de estudio ha sufrido serios impactos durante los últimos 30 años. Por ejemplo, grandes áreas de selva y bosque fueron deforestadas, mientras que grandes áreas destinadas a agricultura y ganadería aumentaron considerablemente.



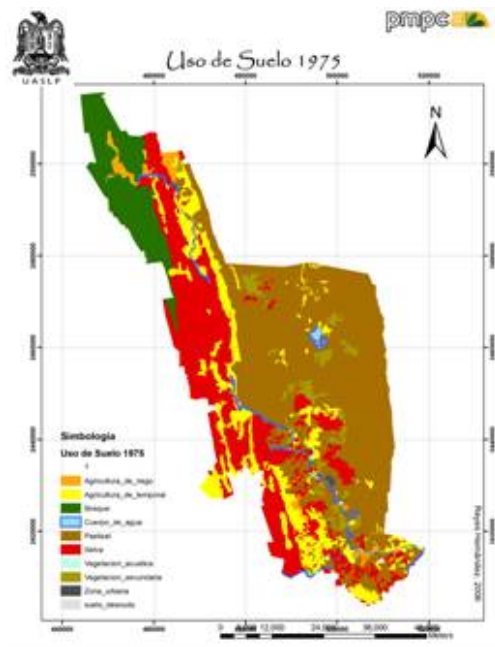


Figura 10.- Uso de suelo 1975

Fuente: Galindo y Olvera (2005)

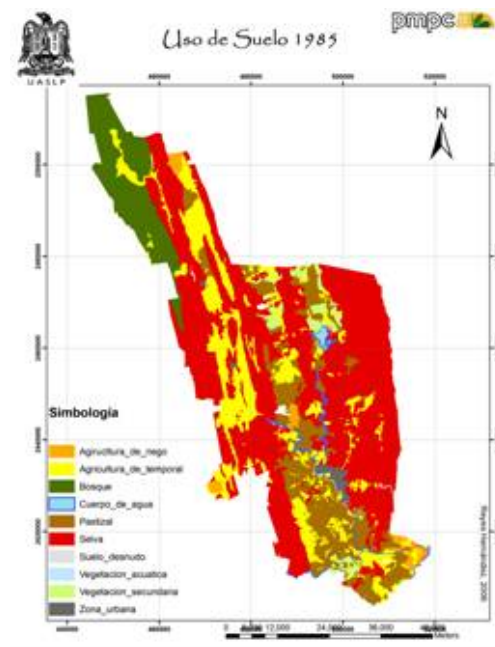


Figura 11.- Uso de suelo para 1985

Fuente: Galindo y Olvera (2005)

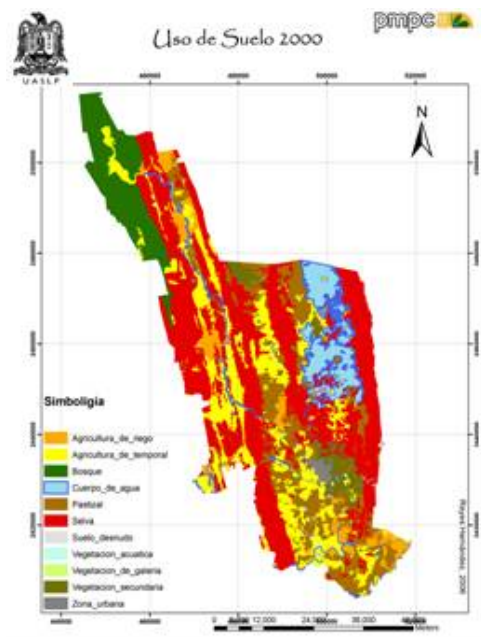


Figura 12.- Uso de suelo, 2000

Fuente: Galindo y Olvera, 2005

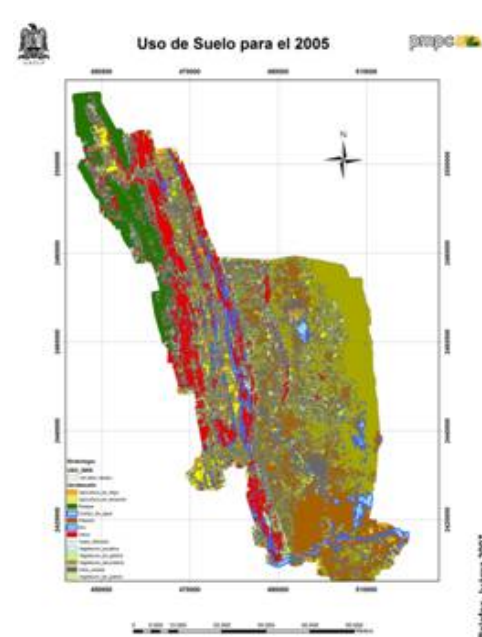
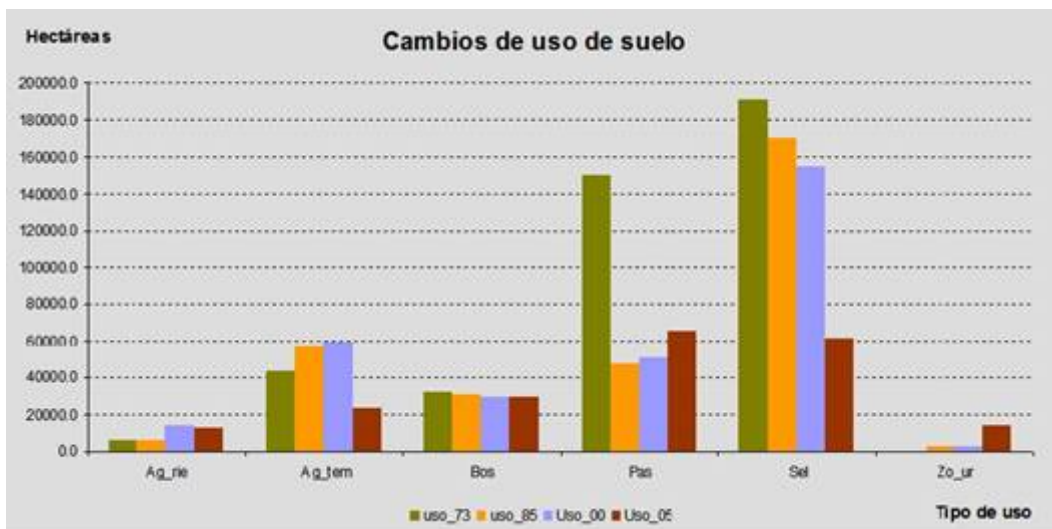


Figura 13.- Uso de suelo, 2005

De dicho análisis comparativo se observa que para 1973, las selvas ocupaban el 43% del área de estudio, los bosques el 7.2%, las áreas de cultivo el 11.2% y los pastizales el 34%; mientras que para el año de 1985, la superficie de selva se redujo en 2,0021.6 hectáreas, las áreas dedicadas a cultivo se expandieron en 1,363 hectáreas, mientras que los pastizales mostraron un descenso de 10,2779.5 hectáreas respecto al año 1973.

Para el 2000, las selvas se habían reducido a menos del 18% de la superficie que ocupaban en 1973, mientras que las áreas agrícolas registraban un aumento del 190%; para el año 2005, las selvas se habían reducido a 61,420.2 ha, es decir un 67% respecto a 1973 y consecuentemente los pastizales aumentaban en un 30% (figura 14).

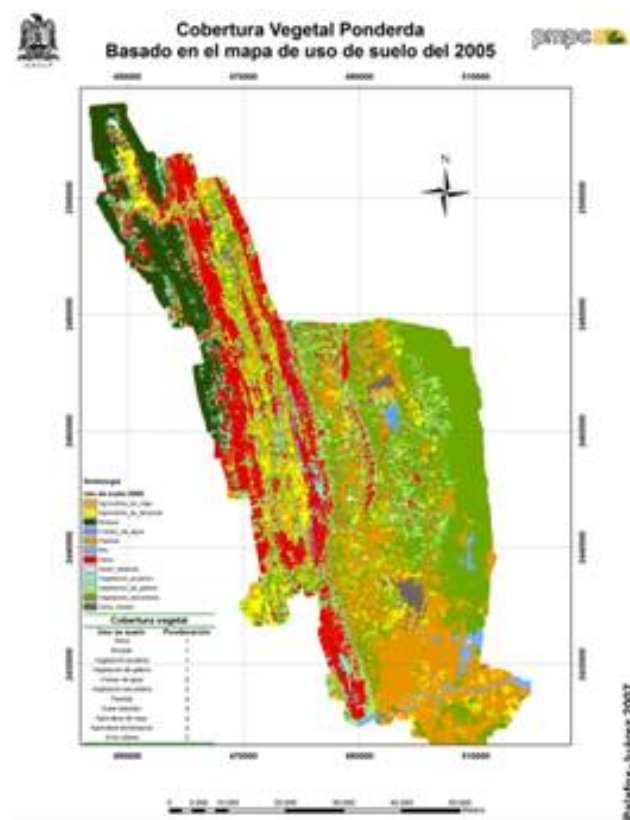


**Figura 14.- Variación en los usos de suelo durante el periodo 1975-2005.**

Ag\_Rie = Agricultura de riego; Ag\_temp = Agricultura de temporal; Bos = Bosque; Pas = Pastizal; Sel = Selva; Zo\_ur = Zona urbana.

Posteriormente, con base en el mapa de uso de suelo del 2005 se realizó un análisis para estimar la fragilidad de los diferentes tipos de cobertura vegetal al ser afectadas por actividades humanas, tomando en cuenta la capacidad de retención de agua por cada tipo de cobertura, la protección que está brinda ante procesos erosivos y el tipo de biota que pueden ser, por un lado especies clave dentro del ecosistema o bien indeseables como el caso de

plagas, entre otros factores; se asignaron valores ponderados, donde aquellos sistemas que podrían considerarse “clímax”, como es el caso de selvas y bosques, recibieron una valor de 1, ya que son ambientes demasiado estables y con grades interrelaciones y cualquier alteración podría afectar drásticamente su dinámica; por su parte, aquellas coberturas que han sido alteradas o que por su propia naturaleza permitan el desarrollo de actividades agrícolas, recibieron una valor de 5, con la información obtenida se desarrolló el mapa de uso de suelo ponderado (tabla 5; figura 15).



**Figura 15.- Cobertura vegetal ponderada con base en el mapa de uso de suelo para el 2005.**

**Tabla 5.- Ponderación de las coberturas vegetales**

Tipo de Cobertura vegetal	Ponderación	Características
Selva	1	Biomás estables ecológicamente y al mismo tiempo susceptibles a cualquier alteración natural o antropogénica, alta cobertura vegetal que ofrece máxima protección al suelo y mayor retención de agua.
Bosque	1	Biomás estables ecológicamente y al mismo tiempo susceptibles a cualquier alteración natural o antropogénica, alta cobertura

---

Vegetación acuática	5	vegetal que ofrece máxima protección al suelo y mayor retención de agua. Biomasa estable ecológicamente y al mismo tiempo susceptible a cualquier alteración natural o antropogénica, alta cobertura vegetal que ofrece máxima protección al suelo y mayor retención de agua.
Vegetación de galería	5	Biomasa estable ecológicamente y al mismo tiempo susceptible a cualquier alteración natural o antropogénica y mayor retención de agua.
Cuerpo de agua	4	Susceptible a alteraciones antropogénicas, acumula y dispersa materiales y contaminantes provenientes de áreas aledañas.
Vegetación secundaria	3	Ecosistema en transición, áreas con exposición a pérdida de agua, cobertura vegetal media con relativa poca protección ante procesos erosivos.
Agricultura de temporal	2	Áreas con alta exposición a pérdida de agua, cobertura pobre, en continua perturbación, vegetación sustituida y con aportes constantes de agroquímicos.
Agricultura de riego	2	Áreas con alta exposición a pérdida de agua, cobertura pobre, en continua perturbación, vegetación sustituida y con aportes constantes de agroquímicos.
Pastizal	2	Áreas con alta exposición a pérdida de agua, cobertura pobre, en continua perturbación, vegetación modificada, máxima erosión por pie de ganado.
Suelo desnudo	2	Área totalmente expuesta a procesos erosivos y cobertura nula.
Zona urbana	1	Cobertura vegetal mínima nula, zonas perturbadas por extensión de la mancha urbana.

---

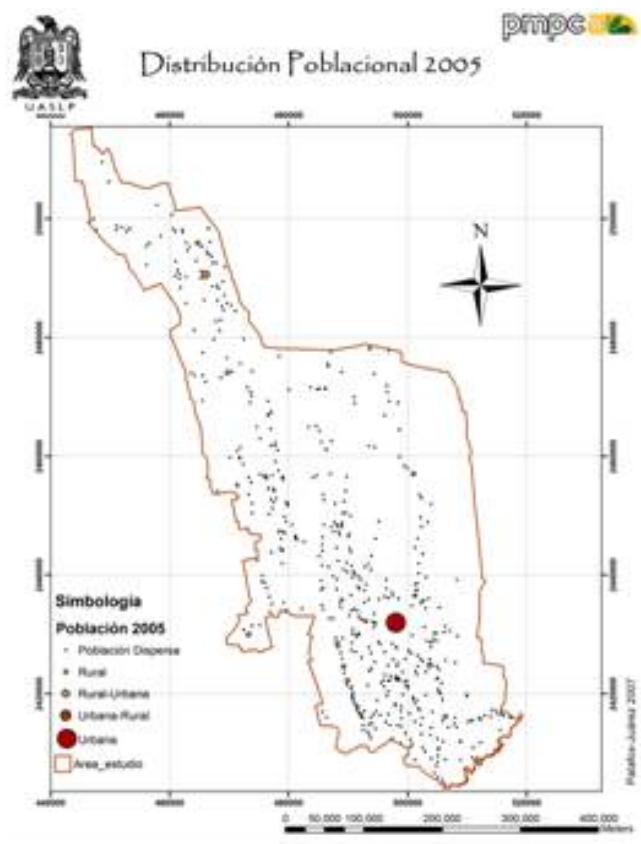
#### **4.6 Impactos potenciales de la población a partir de su tamaño y distribución**

A los cambios en la cobertura vegetal se vinculan dos procesos demográficos interesantes, por un lado el crecimiento de Ciudad Valles, y por otro la disminución en el número de habitantes del resto de las comunidades aledañas a la cuenca que en la mayoría de los casos han emigrado de sus regiones de origen, hacia lugares tales como Ciudad Valles, Tampico y Estados Unidos.

En la región se localizan 549 asentamientos humanos que se distribuyen principalmente en el municipio de Ciudad Valles con 156,650 habitantes, en 445 localidades con una densidad poblacional de 66.6 individuos por Km<sup>2</sup>, de los cuales de los cuales el 27.90% es población

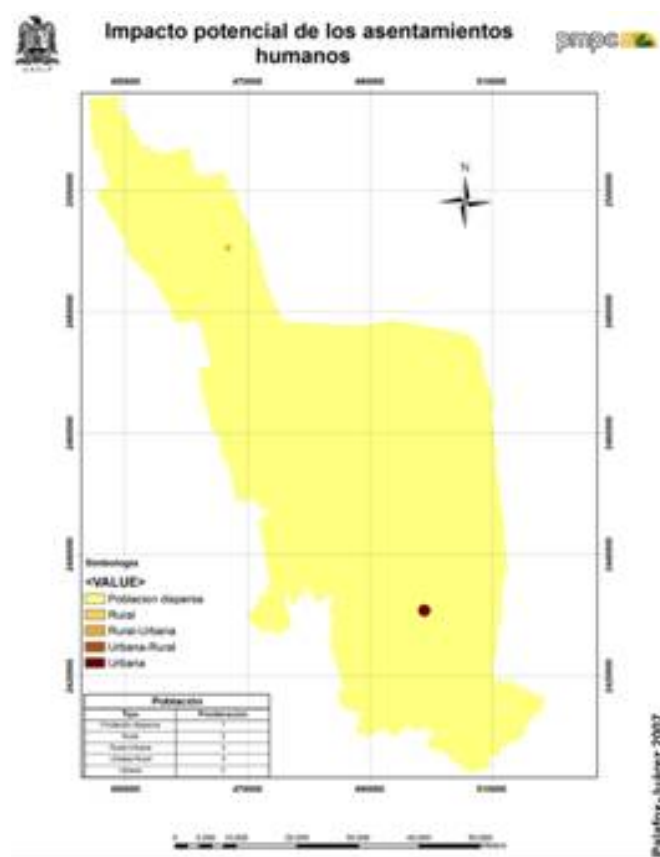
rural y el 9% población indígena. En el sector económico “el 51.70% de la población económicamente activa (PEA) se emplea en el sector agropecuario, el 15.5% en el sector industrial y el 32.80% en el sector comercio y servicios” (INEGI, 2005 y Enciclopedia de los Municipios de México, 2002).

Mientras que el municipio El Naranjo cuenta con una población de 18,454 habitantes, con una densidad poblacional de 24 individuos por Km<sup>2</sup>, distribuidas en 104 localidades, de las cuales, el 51.90% es rural y el 0.70% de indígena. El 9.50% de la población es económicamente activa, de está el 56.30% se dedica al sector agropecuario, el 34.20% al sector industrial, y el 6.5% al sector comercio y servicios” según daos de INEGI (2005); (figura 16).



**Figura 16. - Distribución poblacional en el área de estudio.**

El crecimiento demográfico de una localidad implica una mayor demanda de recursos y aumento en la cantidad de desechos generados. Considerando el número de habitantes y la distribución de las comunidades se construyó un mapa para las áreas de impactos potenciales de los asentamientos humanos (figura 17), para lo cual fue necesario hacer una ponderación, que estableciera la magnitud potencial de una localidad determinada a alterar o modificar su entorno, según el número de habitantes. Así a aquellas localidades con 100 habitantes o menos se les asignó un área de afectación potencial de 100 metros, y un valor en la ponderación de 1, mientras que aquellas localidades con más de 110,000 habitantes fueron consideradas como población urbana y por tal se le asignó un valor de 5, como se describe en la tabla 6 y figura 17.



**Figura 17. -Impacto potencial de los asentamientos humanos con base en la distribución poblacional.**

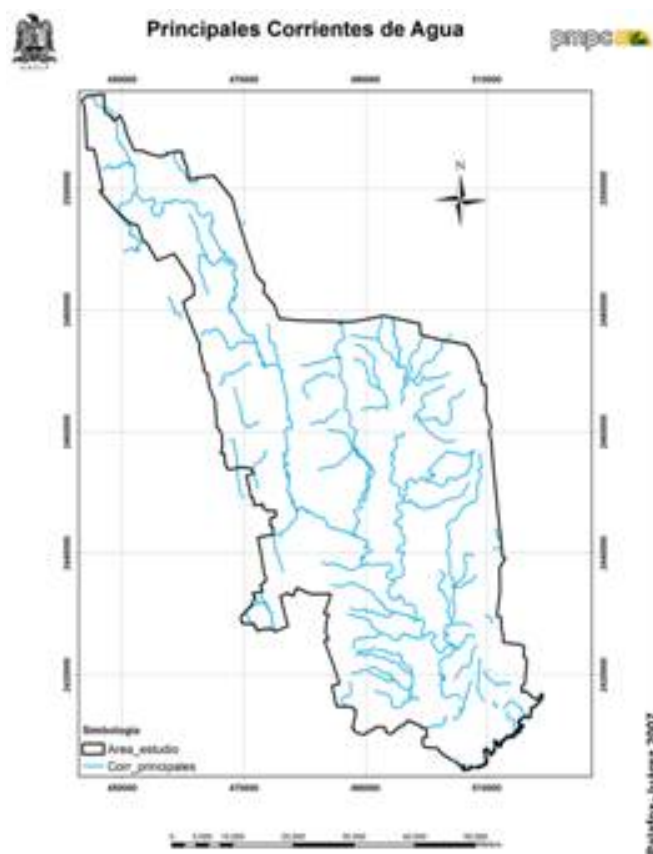
**Tabla 6. - Ponderación del tipo y tamaño de las poblaciones**

<b>Tipo de Población</b>	<b>Área de influencia</b>	<b>Ponderación</b>
Población dispersa	100	1
Rural	200	2
Rural Urbana	300	3
Urbana Rural	500	4
Urbana	1000	5

#### **4.7 Áreas de influencia potencial al Río valles**

Del total de las poblaciones sólo la cabecera municipal de Ciudad Valles cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, mientras que el resto no, considerando el tamaño, la proximidad de los asentamientos humanos y las diversas actividades que potencialmente aportan descargas directas o indirectas a los cuerpos de agua, se desarrolló un mapa considerando distancias graduales de 100 metros (figura 18), dado que se observó en campo que esta distancia es la más susceptible de recibir desechos (sólidos y líquidos), por lo que se generó una escala de 1 a 5 que abarca de los primeros 100 hasta los 500 metros, dichas distancias se consideraron paralelas al cauce principal y sus afluentes perennes (figura 19, tabla 7).





**Figura 18. - Principales corriente de agua en la zona de estudio.**



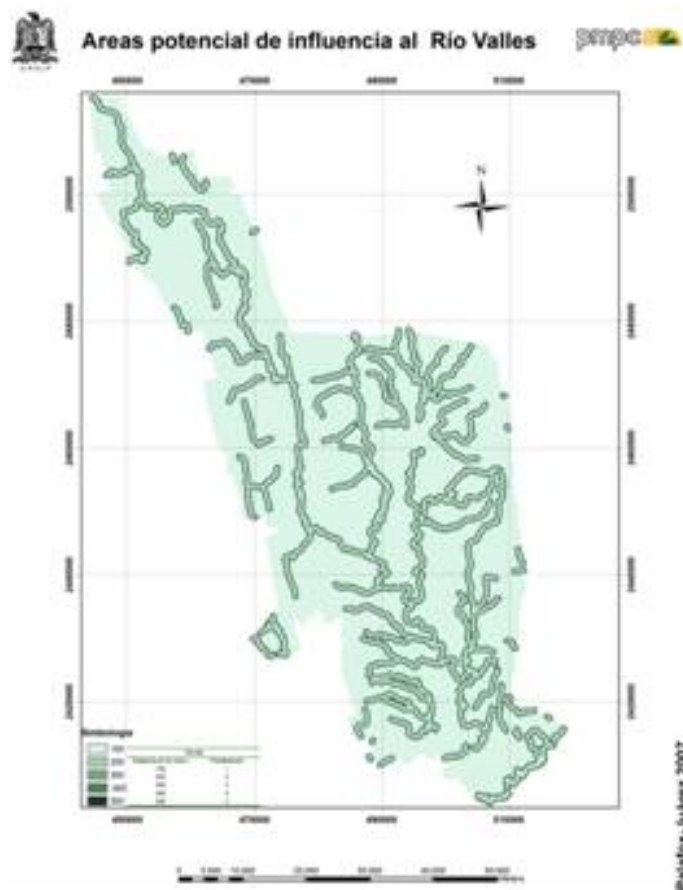


Figura 19. - Áreas de influencia potencial al Río Valles y sus tributarios.

Tabla 7. -Distancia de influencia potencial al río ponderada

Distancia al Río	Ponderación
100	5
200	4
300	3
400	2
500	1

#### 4.8 Análisis de Vulnerabilidad

Hasta el momento se han caracterizado las principales actividades, problemáticas e impactos en la región a través de un diagnóstico de los factores considerados los más importantes de la zona de estudio; para la construcción de herramientas que favorezcan un adecuado manejo y gestión de los recursos en la cuenca, se construyó un mapa de vulnerabilidad donde se integran de manera sinérgica los factores previamente ponderados (figura 20).

A través del mapa se establecieron las áreas más impactadas y las más frágiles o vulnerables, resultando zonas que requieran algún grado de protección, aquellas áreas que permiten el desarrollo de ciertas actividades bajo estrategias de manejo adecuado, y las que han sido totalmente modificadas o impactadas y por lo tanto pueden requerir la implementación de estrategias de restauración o medidas de mitigación; para ello se usaron los mapas temáticos ponderados, contruidos anteriormente, y dentro del Software ArcInfo 9.2 se realizó una sobreposición ponderada de estos.

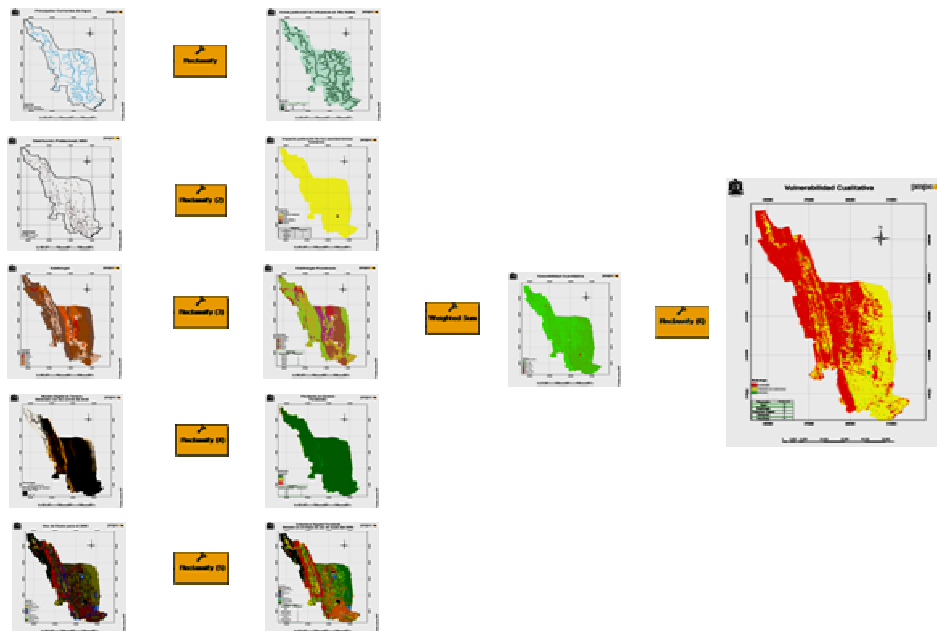


Figura 20.- Esquema general del proceso de evaluación de vulnerabilidad.

Usando una escala lineal y numérica del 1 a 5, se asignó a cada uno de los atributos un valor de acuerdo con su importancia relativa, posteriormente estos criterios de ponderación fueron sometidos a un análisis de sensibilidad retomado del método DRASTIC, el cual es aplicado para estimar la vulnerabilidad de acuíferos (Ramos-Leal, 2002).

#### **4.9 Análisis de sensibilidad de pesos de parámetros, retomado del método DRASTIC.**

De acuerdo con Ramos-Leal (2002), si se considera que cada parámetro tiene una cierta influencia en la vulnerabilidad, ésta es expresada como pesos efectivos ( $W_{xi}$ ), por lo que aplicando la siguiente fórmula es posible calcular dicha influencia para cada celda:

$$W_{xi} = \frac{X_{ri} - X_{wi}}{V_i} * 100$$

Donde:

$X_{ri}$  y  $X_{wi}$  son las puntuaciones y los pesos para cada parámetro  $X$  respectivamente en cada celda y  $V_i$  es el índice de vulnerabilidad calculado para cada celda.

**Tabla 8.- Estadística de los pesos asignado a los diferentes parámetros en el análisis de vulnerabilidad.**

<b>Parámetro</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Edafología</b>	<b>Hidrología</b>	<b>Población</b>
	CEHG	PEHG	PCHG	PCEG	PCEH
Mínimo	10	11	12	13	14
Máximo	50	55	60	65	70
Media	30	33	36	39	42
Desviación estándar	15.8	17.4	19.0	20.6	22.1
Peso calculado	2.5	2.75	3	3.25	3.5
Peso teórico	5	4	3	2	1
Porcentaje efectivo	16.67	18	20	22	23

Como ya se ha mencionado, la estimación de la vulnerabilidad ambiental es una herramienta flexible pues utiliza una gran cantidad y variedad de información (geológica, hidrológica, climatológica, social, etc.) que es organizada y ponderada de forma lógica y manejable, a través de diferentes análisis como el de sensibilidad, además de que posibilita que la organización de los datos sea adaptable a los objetivos de la investigación de la que se trate, obteniendo resultados gráficos que facilitan comprender e integrar gran cantidad de información para la toma de decisiones.

Ramos-Leal (2002) considera que el análisis de sensibilidad es una herramienta que permite establecer la discrepancia de los datos sugeridos respecto a un valor calculado, sin embargo resalta que la decisión de usar los criterios resultantes de dicho análisis o los criterios propuestos, dependerá totalmente del investigador y de los objetivos que persiga.

Como resultado del análisis de sensibilidad se obtuvo la siguiente ponderación: 1.- Población, 2.- Hidrología, 3.- Edafología, 4.- Cobertura vegetal y 5.- Pendiente, arreglo con el que se obtiene un **mapa de riesgos** (figura 21), ya que está orientado a la susceptibilidad de los asentamientos humanos ante desastres naturales, lo cual no era el objetivo del presente trabajo, por lo que respecto la ponderación inicialmente propuesta, es decir: 1.- Pendiente, 2.- Cobertura vegetal, 3.- Edafología, 4.- Hidrología y 5.- Población, que pretende demostrar la vulnerabilidad ambiental del área de estudio, siendo la “pendiente” el factor medular de los procesos ecológicos que existen en una cuenca, pues determina las zonas de captación, distribución y aporte de agua, define el tipo de cobertura vegetal, el grado de captación de energía solar, e incluso el desarrollo de actividades antropogénicas y la distribución de asentamientos humanos, considerando lo anteriormente dicho se obtuvo un **mapa de vulnerabilidad ambiental** (Figura 22), en él se puede apreciar en rojo las zonas vulnerables que básicamente son aquellas áreas que aún cuentan con coberturas vegetales sanas, como son las selvas y bosques; en amarillo se distinguen las zonas que han

sido modificadas, que son aquellas donde se desarrollan actividades agrícolas, mientras que el verde muestra las áreas totalmente modificadas, siendo estas las zonas urbanas.

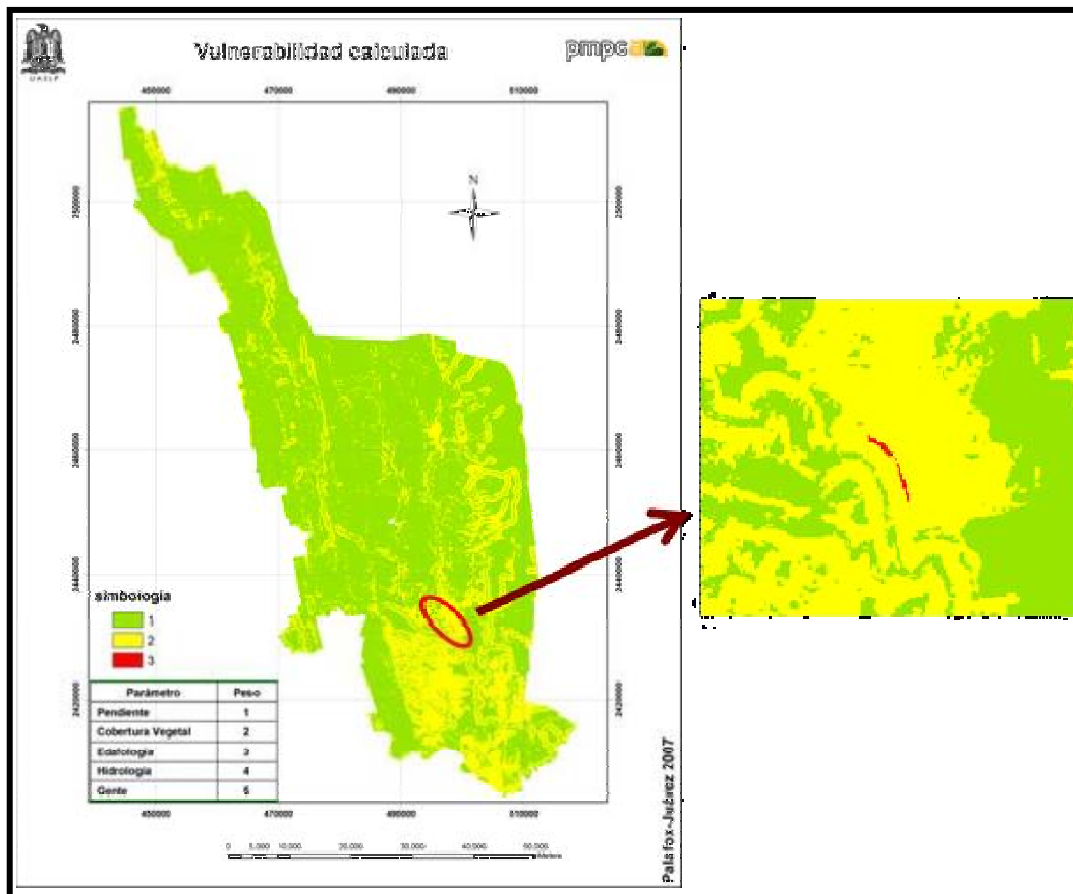
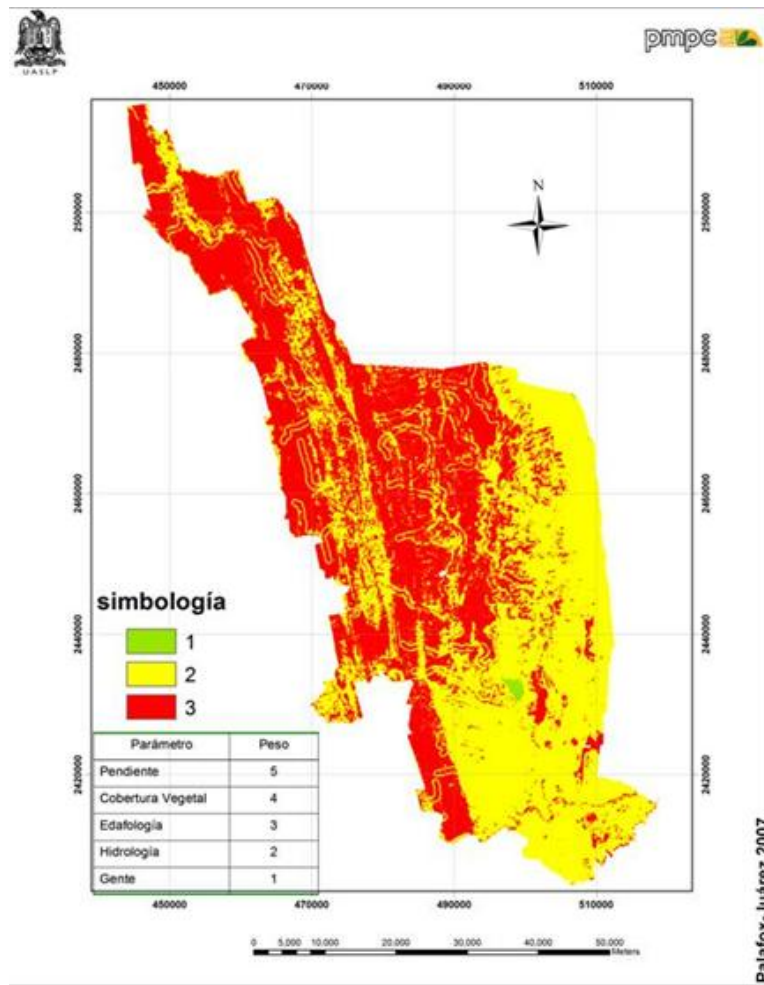


Figura 21.- Mapa de riesgos, considerando los resultados del análisis de sensibilidad.



**Figura 22.- Mapa de vulnerabilidad,**  
Donde 1 = Afectado, 2 = Tolerante con Restricciones y 3 = Vulnerable

Para la elaboración del **mapa de impactos ambientales** (figura 24), el cual explica el nivel de alteración que presentan las diferentes zonas dentro del área de estudio, se considero el siguiente planteamiento: se consideró reestructurar la ponderación de los criterios de cobertura vegetal y áreas de influencia potenciales al Río Valles, partiendo de la idea considerando su influencia en el impacto ambiental al interior de la cuenca, así obtenemos que para el caso de la cobertura vegetal, la zona urbana tendrá un valor de 5, tomando en cuenta que potencialmente genera mayores impactos ambientales, respecto al bosque o la selva; cabe recordar que la ponderación anterior se basaba en la fragilidad de cada elemento

de la cobertura vegetal así como de las áreas de influencia potenciales al Río Valles, mientras que al propuesto actualmente se basa en el impacto potencial de cada uno de esos elementos (figura 23).

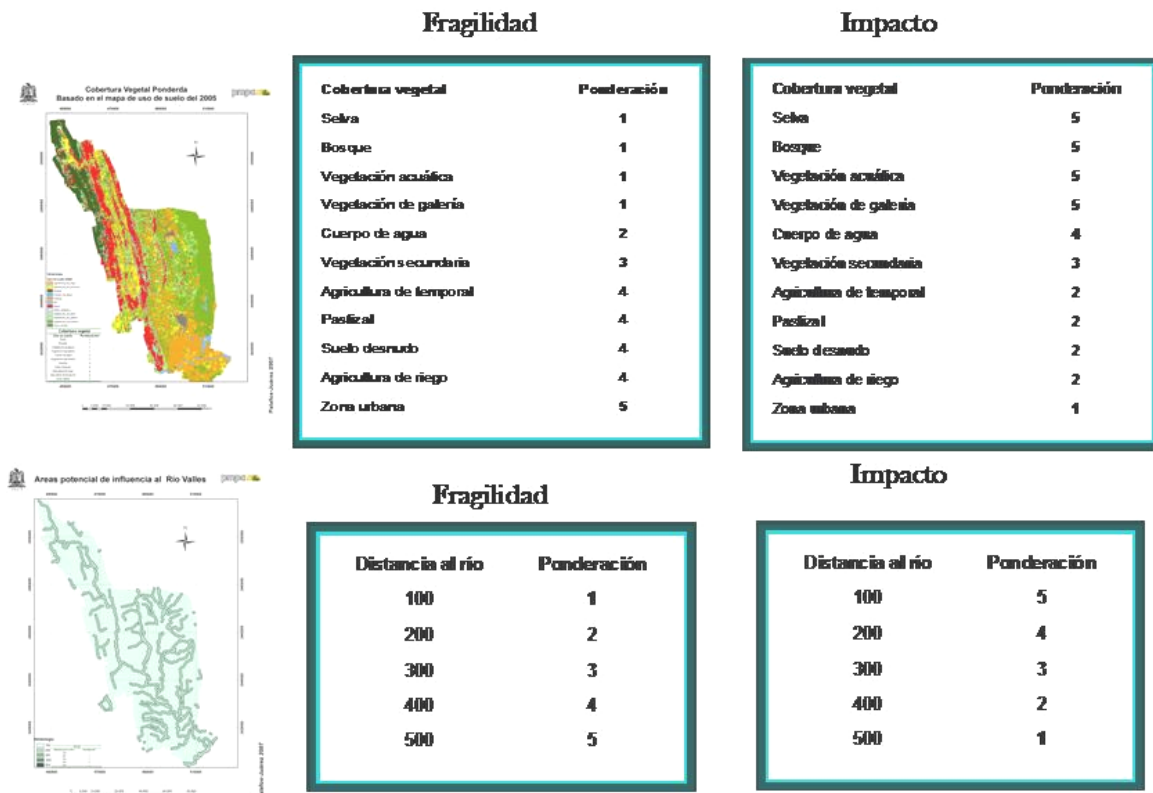


Figura 23.- Ponderaciones considerando dos enfoques diferentes (fragilidad e impacto).

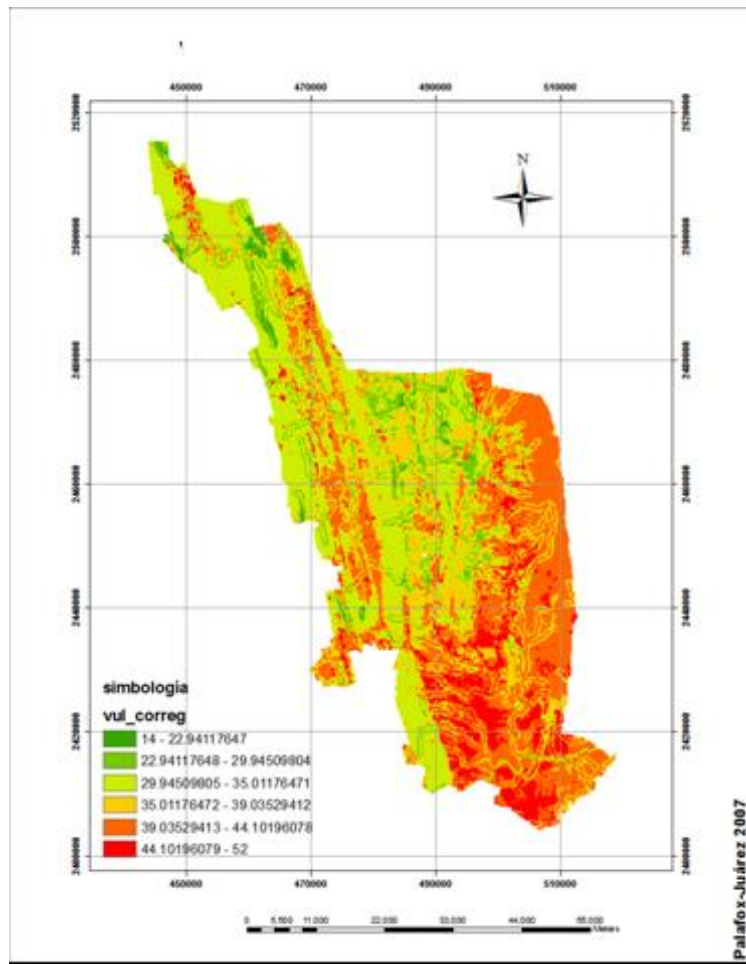


Figura 24.- Mapa de Impactos ambientales

El mapa resultante brinda información sobre la distribución espacial de los impactos ambientales, en tonalidades rojo-naranja se observan las zonas que han sido alteradas y que corresponden a las áreas de actividades agrícolas, así como las zonas de depositación de materiales; en tonalidades amarillo-verde pálido se observan aquellas regiones con impactos moderados, mientras que las áreas en tonalidades en verde oscuro muestran aquellas superficies ambientalmente saludables y que han sufrido pocas alteraciones.



#### 4.10 Comportamiento de la Calidad del Agua del Río Valles para el período 1996-2006.

Los ecosistemas lóticos<sup>3</sup> en su trayecto lavan, disuelven, reciben, distribuyen, aportan, etc. una gran variedad de sustancias, materiales y organismos, elementos que le confieren ciertas características, entre ellas la calidad del agua, la cual puede aportar valiosa información respecto a las actividades que se desarrollan en la cuenca, dentro del área de estudio la CNA, registra periódicamente diversos parámetros del agua del Río Valles con la finalidad de monitorear el grado de contaminación que potencialmente exista como consecuencia de las actividades que se llevan a cabo a sus alrededores, para el presente trabajo dichos reportes se recopilaron, depuraron y analizaron con la finalidad de mostrar el comportamiento histórico del cauce, durante el periodo 1995 - 2006.

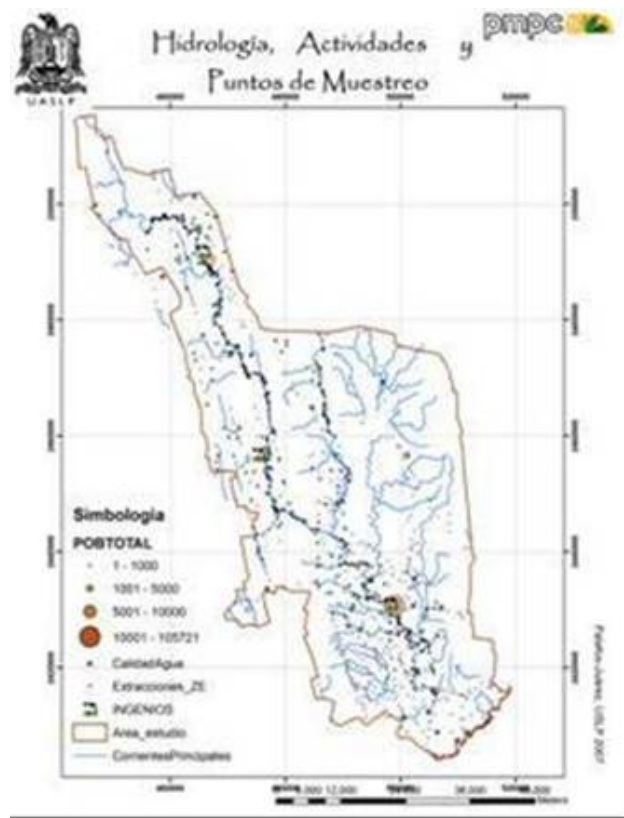


Figura 25.- Distribución de las principales actividades, puntos de extracción.

<sup>3</sup> Lótico, del latín *lotus*: participio de *lavere*, lavar; sistemas de agua corriente como ríos, arroyos y manantiales.

Del grueso de los datos proporcionados por la CNA, se consideró trabajar con aquellas estaciones que contaban con el mayor y mas completo número de reportes, las cuales fueron: El Naranjo, Aguas arriba de la DAPAS, Birmania y El Pujal, la distribución de éstas se pueden observar en figura No. 25, mientras que en la tabla No. 9 se presentan los periodos de mediciones reportados para cada una de ellas; se tomaron los datos bimestrales de los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica ( $\mu\text{mhos/cm}$ ), pH, Sólidos totales ( $\text{mg/L}$ ), Alcalinidad total ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ ), Dureza total ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ ), Fosfatos ( $\text{mg P-PO}_4/\text{L}$ ), Nitratos ( $\text{mg N-NO}_3/\text{L}$ ), Nitritos ( $\text{mg N-NO}_2/\text{L}$ ), Sulfatos ( $\text{mg SO}_4^{2-}/\text{L}$ ), Oxígeno disuelto ( $\text{mg/L}$ ) y Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{mg/L}$  de DBO).

Las bases de datos resultantes se analizaron descartando aquellos muestreos incompletos, por lo que fue necesario trabajar con promedios anuales, con la información depurada se realizaron series de tiempo, donde una de las grandes desventajas fue el no tener los reportes para el mismo periodo de tiempo para las cuatro estaciones; sin embargo se considero necesario incluir la información de los cuatro puntos de monitoreo, con la finalidad de poder establecer un comparativo de la calidad del agua en la cuenca alta, media y baja.

Considerando que lo observado en la parte baja de la cuenca es un reflejo de la situación aguas arriba, se infirió la situación de la calidad de agua para aquellos los años en los que no se reportan datos de la estación “El Naranjo”.

**Tabla 9. -Estaciones y periodo de medición de la calidad del agua en el Río Valles.**

<b>Estación</b>	<b>Años</b>
El Naranjo	1995-2002
Aguas Arriba de la DAPAS	2001-2005
Birmania	2000-2006
El Pujal	1995-2006

Considerando al oxígeno como uno de los elementos esenciales en la mayor parte de los procesos físicos y biológicos en los cuerpos de agua, se analizaron los comportamientos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y las concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD) (figuras 26 y 27), como un indicador de la cantidad de materia orgánica y el grado de eutrofización por posibles efectos de las descargas de los efluentes domésticos, industriales y agrícolas.

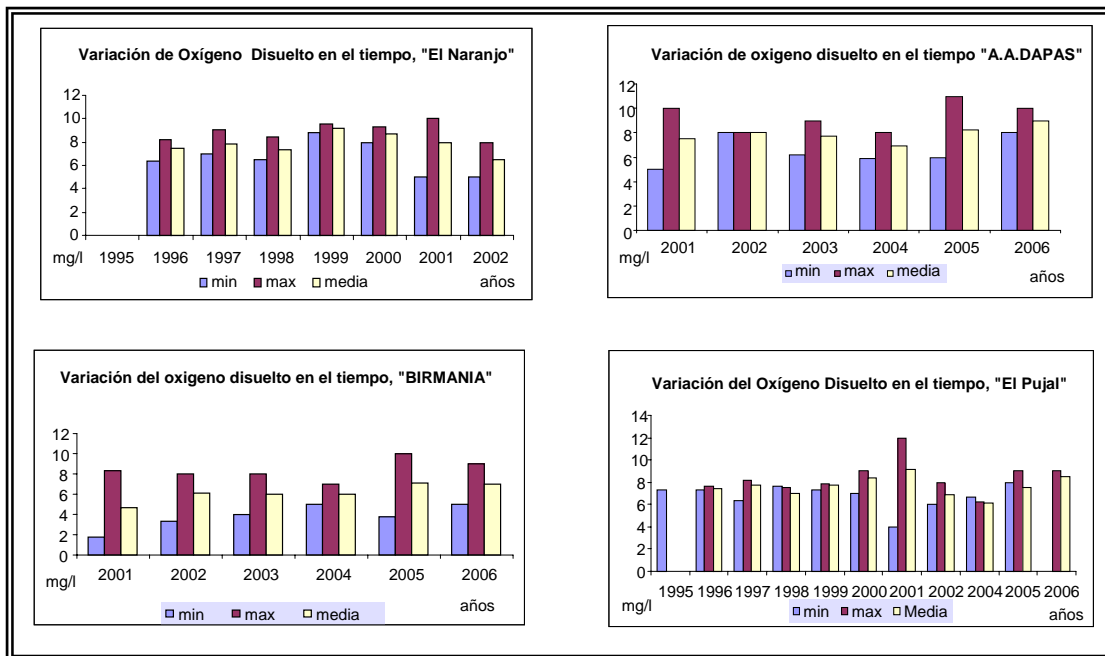


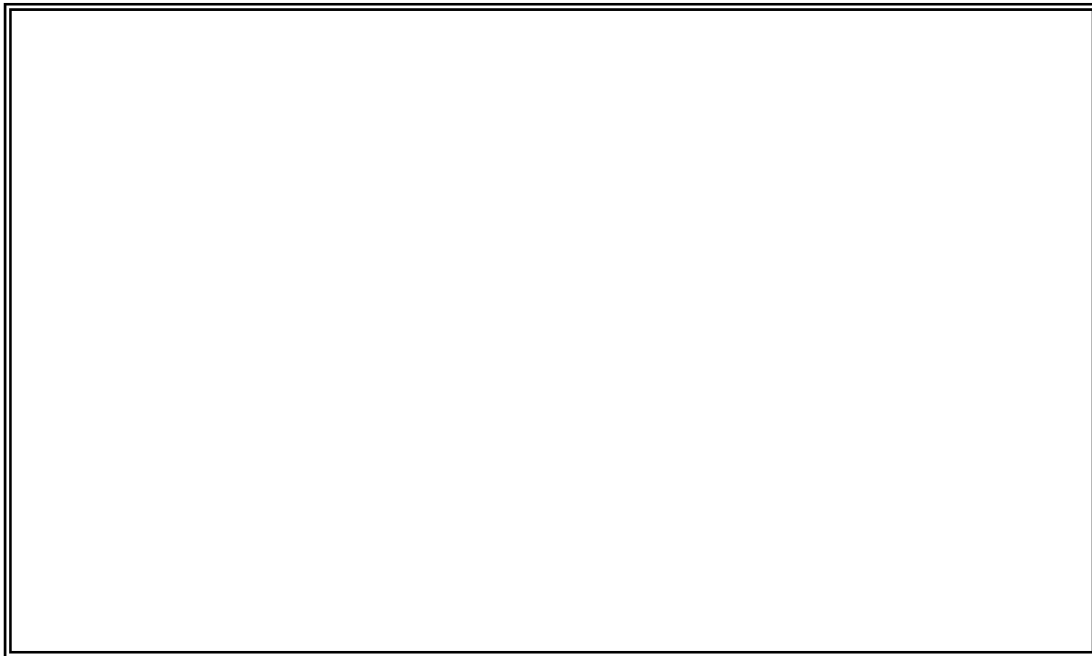
Figura 26.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Oxígeno Disuelto, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.

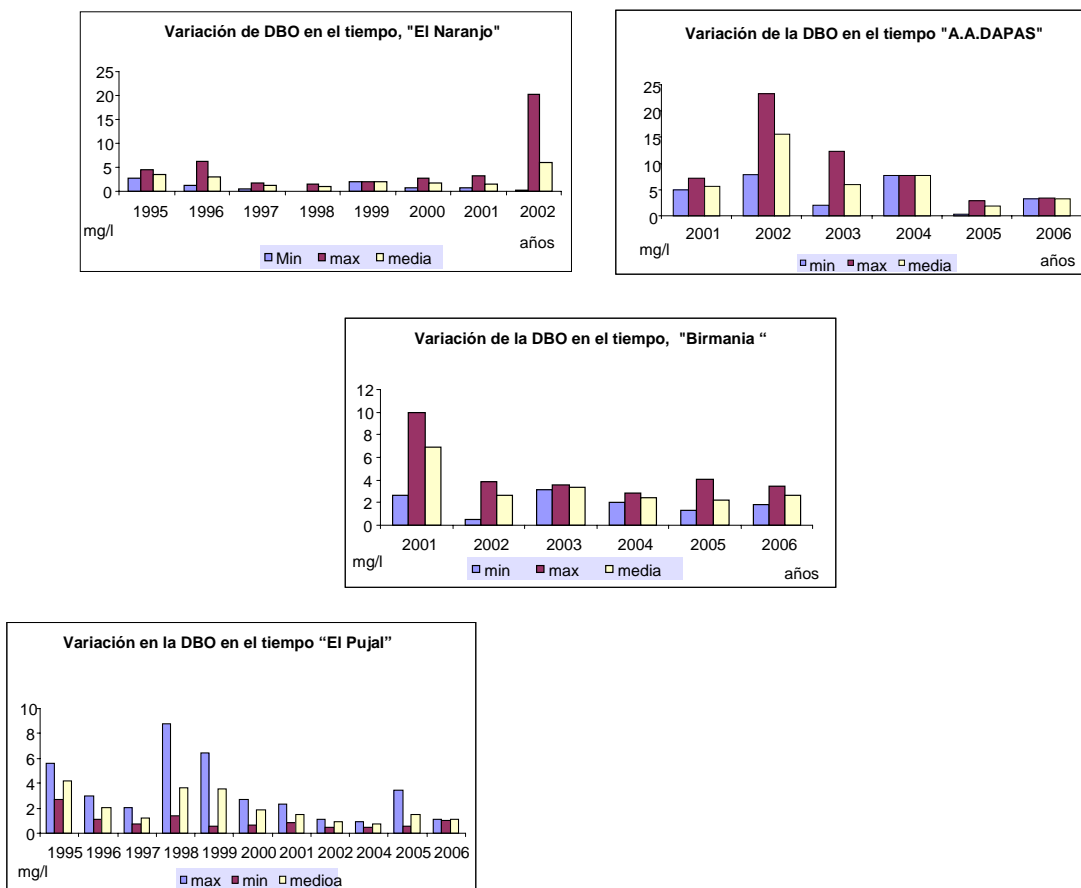
Los promedios anuales de las concentraciones de oxígeno disuelto para el año 2002 fueron mayores en la estación el Naranjo, con niveles de entre 8 y 9.5 mg/L, lo que sugiere que en este punto y en ese momento el río llevaba poca materia orgánica, sin embargo hay que tener en cuenta que la geomorfología en esta zona favorece un mayor movimiento, difusión y aireación del agua, factores que pueden alterar las mediciones.

Las menores concentraciones de oxígeno disuelto para años recientes fueron: Aguas Arriba de la DAPAS con niveles entre 7.5 y Birmania con fluctuaciones entre 4.5 y 7 mg/L, habrá que destacar que la estación Birmania se localiza a las afueras de Ciudad Valles, río abajo.

Por otro lado, en la estación El Pujal se apreció un aumento de las concentraciones de oxígeno, lo cual puede deberse tanto a una dilución de las descargas, como a la aireación por movimientos del agua del río.

De manera general, las cuatro estaciones presentaron una tendencia a disminuir sus niveles de DBO<sub>5</sub> en el tiempo; respecto a las estaciones que reportan datos hasta el año 2006, se sabe que actualmente los Ingenios azucareros no descargan sus aguas de desecho al Río, por lo que la disminución en la BDO<sub>5</sub> podría ser un reflejo de esta medida instaurada paulatinamente por el Comité de Cuenca del Río Valles, cabe destacar que las acciones para reducir las descargar al cauce del Valles, no se han aplicado de igual modo para aquellas provenientes de los asentamientos humanos, que en la mayoría de los casos son directas.





**Figura 27.- Variaciones en el tiempo de Demanda Bioquímica de Oxígeno, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

Tomando en cuenta que las concentraciones ideales de oxígeno disuelto en embalses naturales, para el desarrollo de los procesos metabólicos aeróbicos son alrededor de 6 mg/L y que no existe normativa para establecer los límites máximos de DBO<sub>5</sub> en aguas naturales, se puede decir que las concentraciones de materia orgánica existentes al momento del presente análisis aún se encontraban dentro de los límites permisibles.

Por otro la, cabe mencionar que la cantidad de sólidos totales en un cuerpo de agua puede tener diferentes orígenes, que van desde aportes terrígenos hasta materiales de desecho

humano, los cuales dependiendo de sus características pueden encontrarse sedimentados, suspendidos o disueltos en el agua.

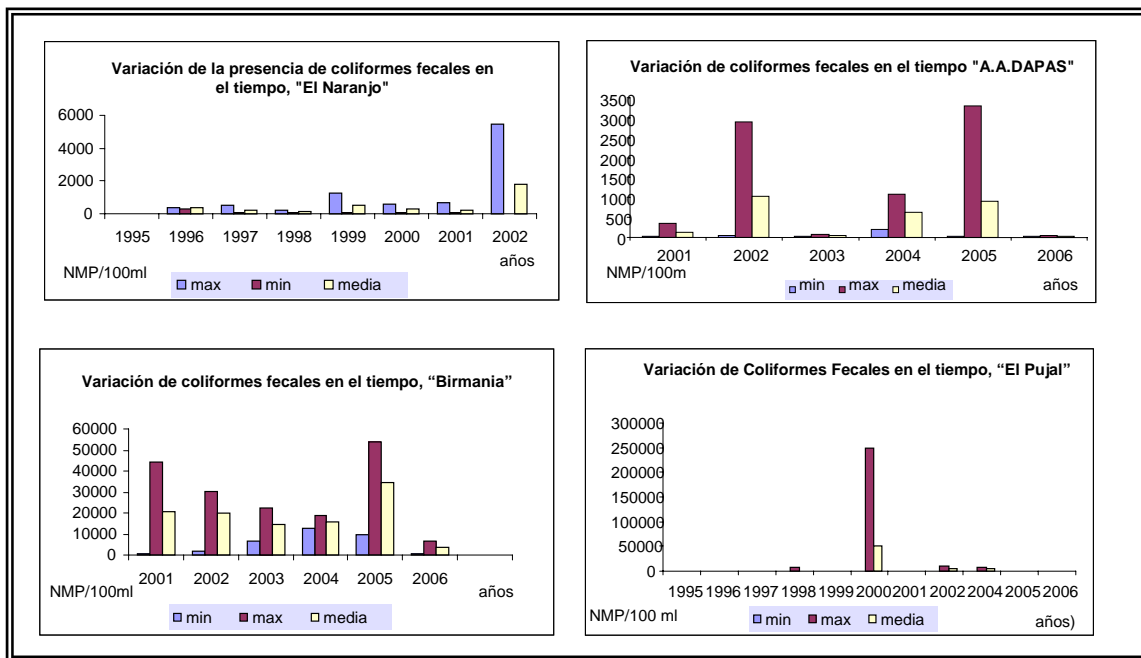
Otro indicador de la presencia de materia orgánica en el agua proveniente descargas poblacionales es la cantidad de coliformes fecales; la Norma CE-CCA-001/89 establece como límite máximo permisible una concentración de 1000 NMP/100 mL en agua que ha de usarse como fuente de abastecimiento de agua potable y riego.

El la figura 28 se presenta el comportamiento de la concentración de coliformes fecales para las cuatro estaciones en comento; específicamente para la estación El Naranja observamos que a excepción de los años 1990 y 2002, se rebasa la norma con 1300 y 5500 NMP/100 mL respectivamente, con lo que puede decirse de manera general que el agua en esta parte de la cuenca presenta buena calidad.

Aguas más abajo, en la estación Aguas Arriba de la DAPAS, los datos reflejan una situación diferente, encontrando niveles por arriba de los establecidos en la norma para los años 2003, 2005 y 2006, este comportamiento puede asociarse con la presencia de asentamientos humanos en la rivera del Río, los cuales en la mayoría de los casos no cuentan con sistemas de drenaje, por lo que sus desechos posiblemente son descargados directamente al agua del cauce.

Corriente abajo en la estación Birmania, que se localizada a las afueras de Ciudad Valles, las concentraciones de coliformes fecales son aún mayores, como era de esperarse debido al aumento de asentamientos humanos, encontrándose niveles muy por arriba de lo establecido en la norma: 18,500 y 6,550 NMP/100 mL para 2004 y 2006 respectivamente. Mientras que la estación El Pujal localizada en el parte más al sur o baja del área de estudio y punto de confluencia de las vertientes del Río Valles y Río Coy, se reportan concentraciones máximas que oscilan entre los 330 y los 25,000 NMP/100 mL.

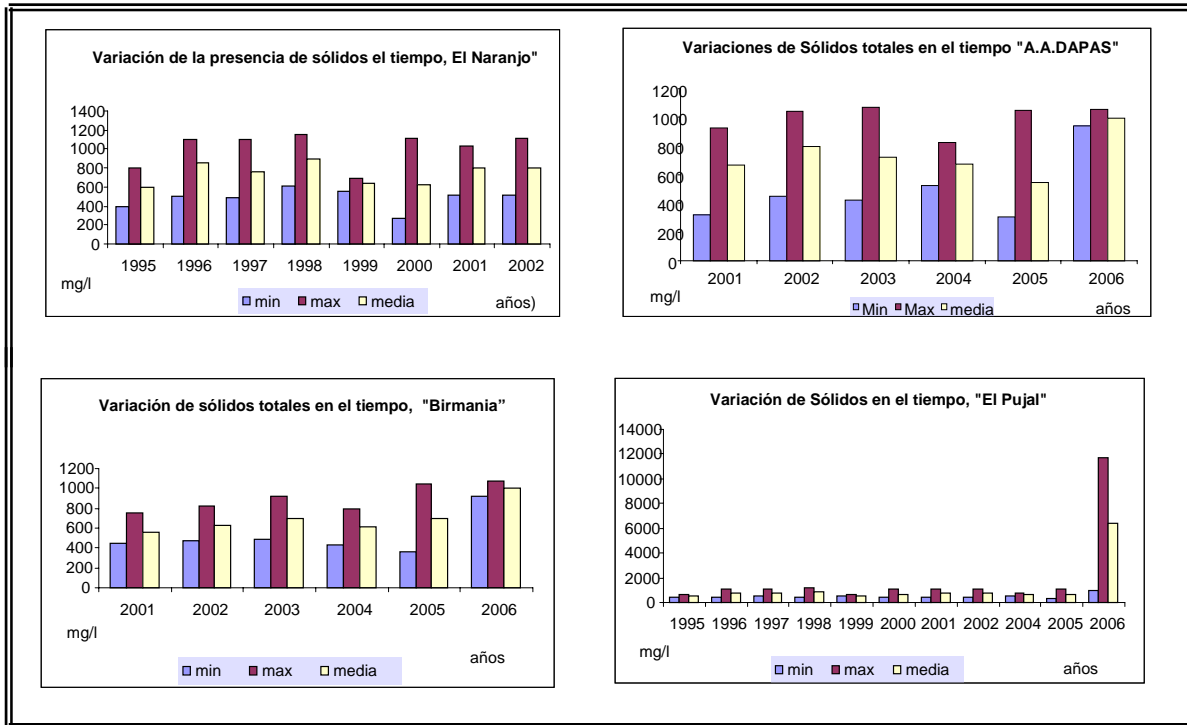
Considerando que las cuatro estaciones se ubican a lo largo de la cuenca, el hecho de que las concentraciones de coliformes aumenten aguas abajo, resulta lógico ya que el Río funciona como un dispersor de contaminantes a la vez que es un indicador de las actividades que se desarrollan a sus alrededores, cabe recordar que en la región los asentamientos humanos están distribuidos a orillas de las corrientes principales, destacando las localidades con mayor población: El Naranjo y Ciudad Valles, que se asientan en las proximidades del Río Valles.



**Figura 28 .- Variaciones en el tiempo de la concentración de Coliformes fecales, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

Respecto a la concentración de concentración de sólidos suspendidos totales, la Norma CE-CCA-001/89, establece que no deben ser mayores a los 500 mg/L para cuerpos de agua que funcionan como fuente de abastecimiento de agua potable, como es el caso del Río Valles, asimismo, no se debe reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz necesaria para los procesos fotosintéticos en más de 10%, a partir del valor natural para la protección

de la vida acuática. Mientras que la NOM-127-SSA1-1994 especifica que el límite máximo es de 1000 mg/L para aguas de uso y consumo humano.



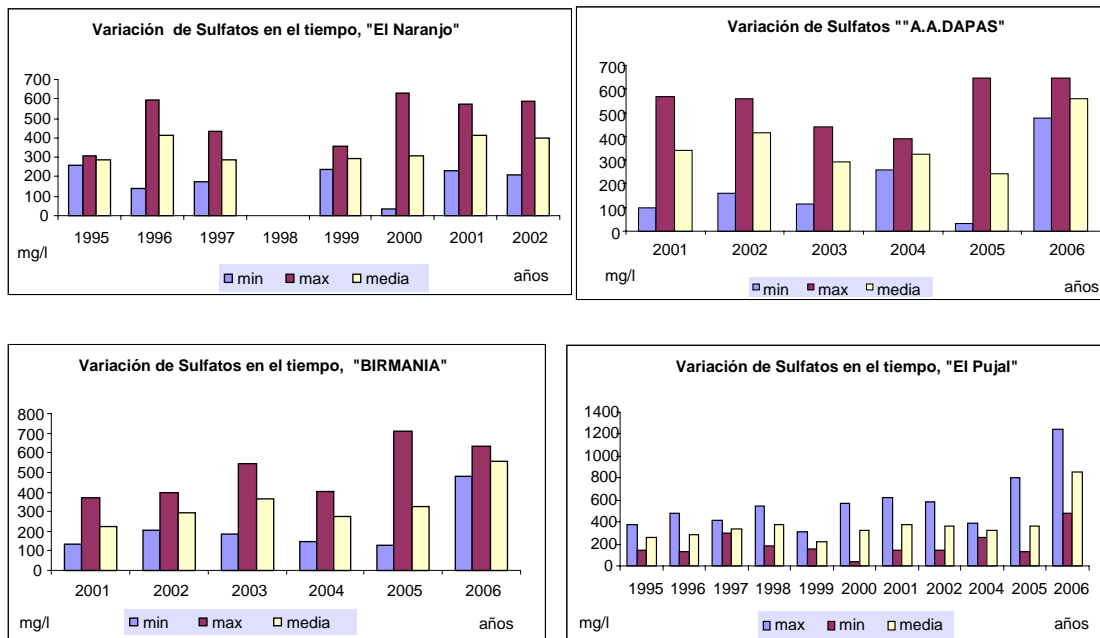
**Figura 29.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Sólidos totales, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

Históricamente, para las cuatro estaciones en análisis (figura 29), la CNA ha reportado concentraciones al rededor de 600 mg/L de sólidos totales, valores que de acuerdo con las Normas de calidad del agua antes mencionadas han fluctuado dentro de los límites permisibles. Sin embargo para el año 2006, en la estación de Birmania se reportaron concentraciones superiores a 1,000 mg/L, rebasando los límites permisibles establecidos en las Normas, evento que podría explicarse por la presencia de descargas directas, por situarse a la salida del Municipio de Ciudad Valles, o bien por una temporada de estiaje prolongada.

Los sulfatos de manera natural se originan en cuerpos de agua que cuenten con un lecho calcáreo rico en yesos, y puede alterarse por aportes de aguas residuales industriales y



domésticas, ya que una gran variedad productos, como detergentes o champú, contienen compuestos sulfatados como el dodecilsulfato sódico, también conocido como laurilsulfato sódico, que funciona como tensoactivo iónico. La NOM-127-SSA1-1994 establece como límite máximo permisible 400 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  en agua para uso y consumo humano, sin embargo, no existen normas que establezcan las concentraciones máximas para aguas naturales.

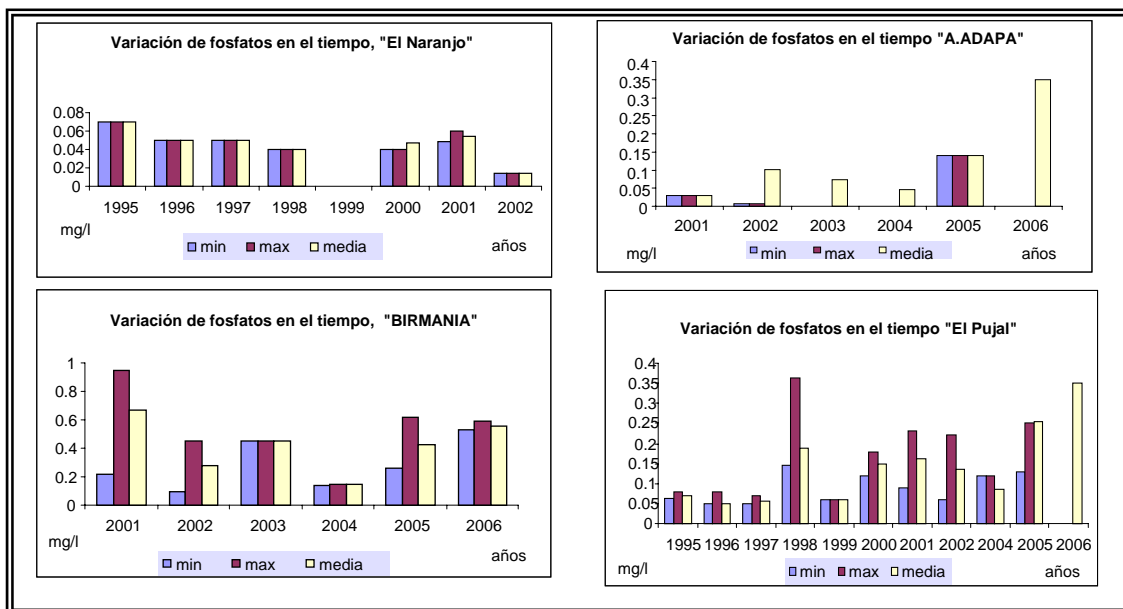


**Figura 30.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Sulfatos, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

El análisis histórico para las 4 estaciones a lo largo de la zona de estudio (figura 30) mostró importantes variaciones al paso de los años en las concentraciones de sulfatos; para la estación El Naranjo se reportaron niveles para el 2002 de 416 mg/L; sin embargo en las estaciones Aguas Arriba de la DAPAS y Birmania, los niveles aumentaron a más de 500 mg/L, superando los límites máximos permisibles para el año 2006, mientras que para la estación El Pujal se reportaron concentraciones de 860 mg/L para el mismo año.

Considerando a los sulfatos como un indicador de la presencia de tensoactivos en agua, podemos inferir que el aumento de los sulfatos aguas abajo se relaciona con aportes de agua sin tratamiento provenientes de los centros de población.

De acuerdo con la norma CE-CCA-001/89, las concentraciones de fosfatos totales en ríos y arroyos no deberán ser mayores a 0.1 mg/L. El comportamiento para las 4 estaciones dentro del área de estudio (figura 31) muestra que en general los niveles de fosfatos son superiores a los establecidos en la norma, específicamente para la estación El Naranjo, donde las concentraciones fueron superiores a lo señalado por las normas, reportándose 0.135 mg/L para el año 2002; mientras que de los datos reportados para las otras tres estaciones se observa que las concentraciones son aún mayores, teniendo para el año 2006 niveles de 0.35 mg/L en la estación Aguas Arriba de la DAPAS, 0.56 mg/L en la estación Birmania y 0.35 mg/L en la estación El Pujal.

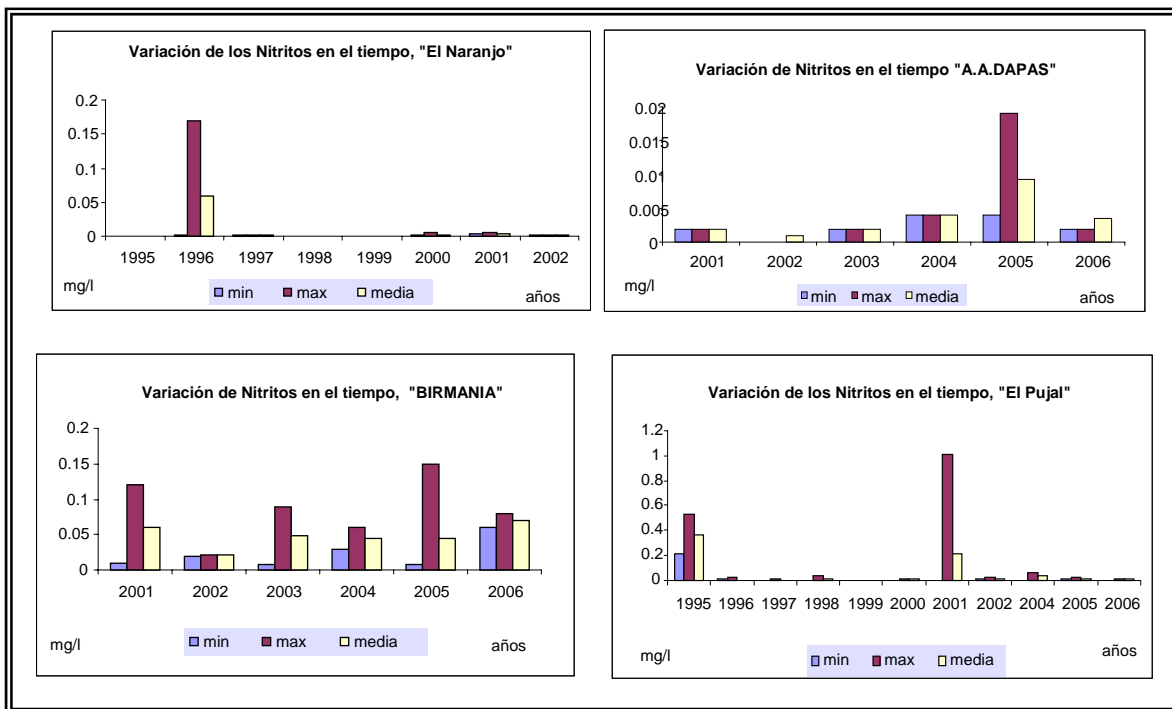


**Figura 31.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Fosfatos para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

De lo anterior, se aprecia que el comportamiento de los niveles de fosfatos en el Río Valles ha aumentado considerablemente y es posible inferir que la mayor parte de estos aportes son derivados del exceso en el uso de fertilizantes y plaguicidas, principalmente órgano

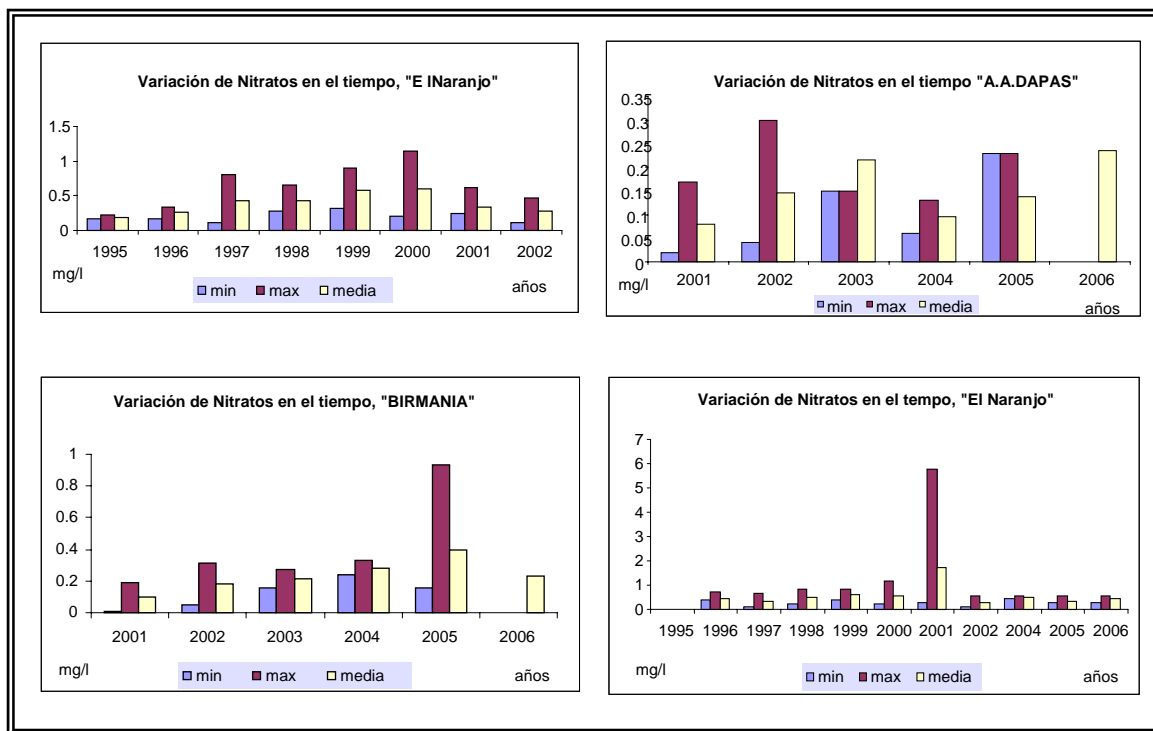
fosforados, los cuales en periodos de lluvia son potencialmente lavados y depositados en el Río.

Otro importante indicador de la calidad del agua son los compuestos nitrogenados reportados en forma de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2$ ), ambos se relacionan con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores. Sin embargo una fuente antropogénica importante de  $\text{NO}_3$  son los fertilizantes, por su parte los  $\text{NO}_2$  se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados, por lo que son considerados con un indicador de contaminación por materia fecal en aguas naturales.



**Figura 32.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Nitritos, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

La Norma NOM-127-SSA1-1994 establece como límites máximos permisibles 0.1 mg/L de nitritos y 10 mg/L de nitratos como agua para uso y consumo humano.



**Figura 33.- Variaciones en el tiempo de la concentración de Nitratos, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

El comportamiento histórico de nitritos y nitratos ( $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ ) en los puntos de monitoreo en el área de estudio (figuras 32 y 33), muestra que ninguno de los dos compuestos ha rebasado los límites máximos permisibles.

La importancia de la presencia de compuestos nitrogenados en el agua, radica en que las altas concentraciones favorecen el desarrollo de especies algales que facilitan la aceleración de los procesos de eutrofización, ya que es un nutriente limitante en cuerpos de epicontinentales, resultando un crecimiento de las poblaciones de productores primarios, que consecuentemente afectará la composición, estructura y dinámica del ecosistema.

La dureza es una propiedad que presentan la mayoría de las aguas epicontinentales, debido a las concentraciones de metales alcalino térreos originados en depósitos calcáreos. Los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se combinan fácilmente con los carbonatos y bicarbonatos (dureza

temporal) y con los sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos minerales, de lo cual, resulta la dureza permanente.

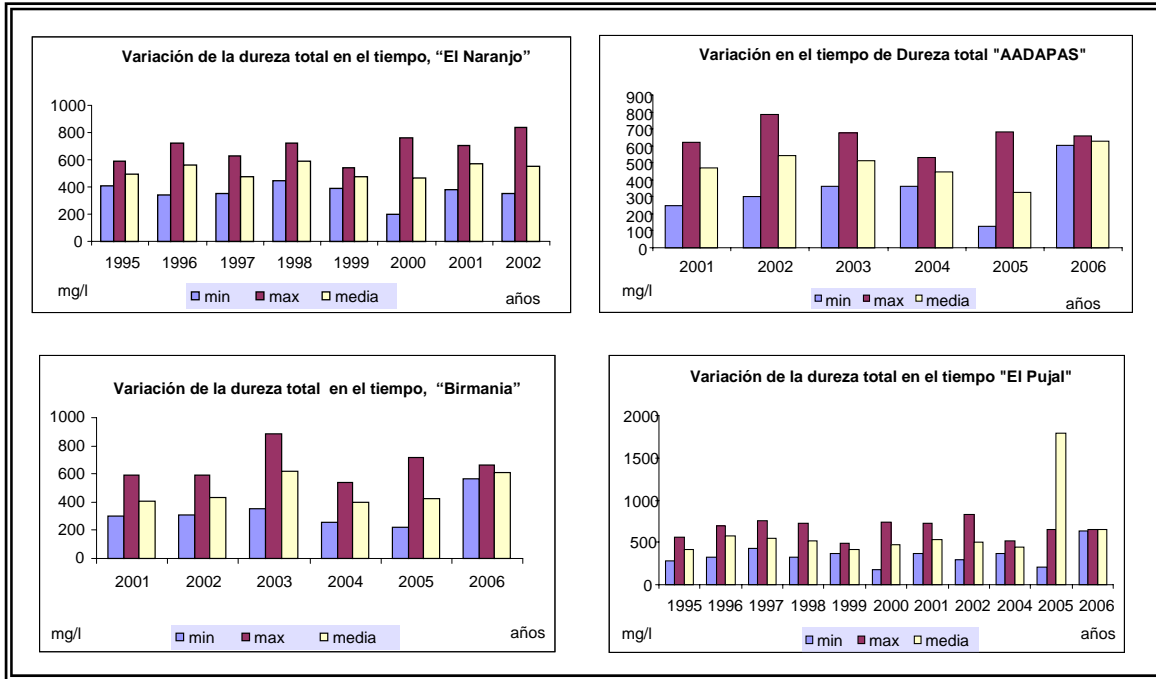
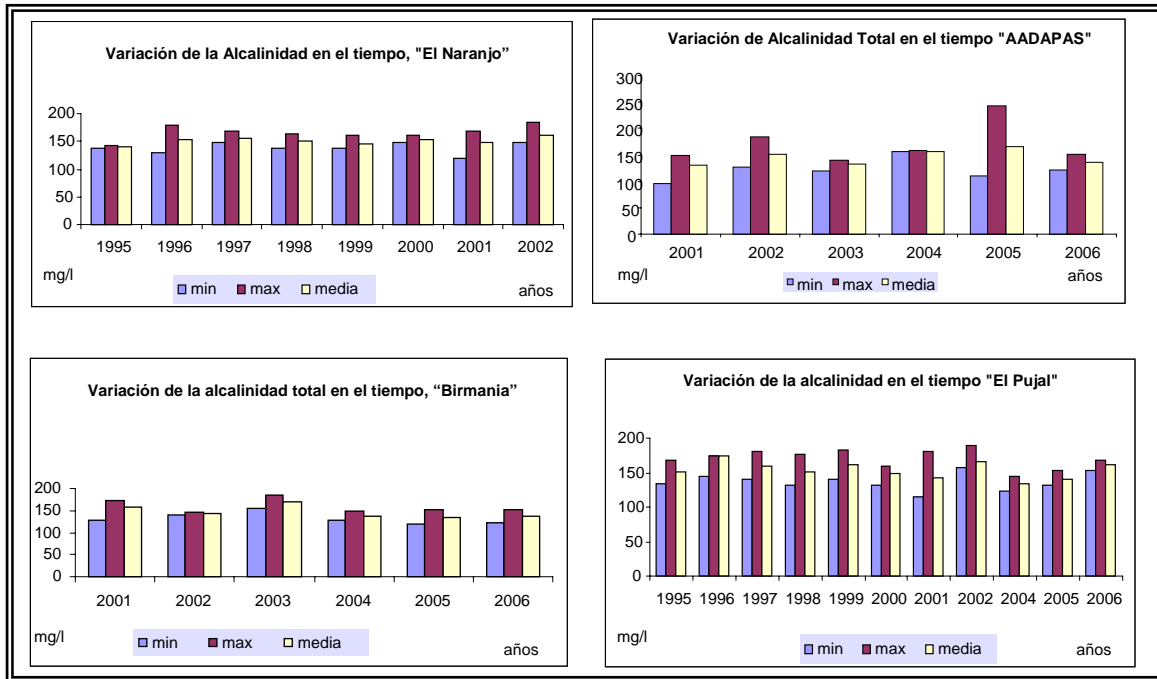


Figura 34.- Variaciones en el tiempo de la Dureza total, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.

Un agua dura es aquella que cuenta con concentraciones superiores a 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L, es decir, contiene un alto nivel de minerales, particularmente sales de magnesio y calcio. La dureza por carbonatos está relacionada directamente con el metabolismo de invertebrados y fitoplancton, por lo que esta influye directamente con la productividad primaria del embalse.

De acuerdo con la Norma NOM-127-SSA1-1994, el nivel máximo de dureza para aguas naturales es de 500 mg/L, sin embargo, de los datos obtenidos de las estaciones a lo largo de la zona de estudio, se observaron valores que oscilan entre los 411 y 645 mg/L CaCO<sub>3</sub> (figura 34); aquellos niveles de dureza superiores a la norma podrían deberse a aportes exógenos, a un período de estiaje más largo, por causas naturales, ya que como se comento

anteriormente, el Río Valles se asienta en un lecho calcáreo, o bien por la erosión y aporte de materiales terrígenos asociados a los cambios de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal.



**Figura 35.- Variaciones en el tiempo de la Alcalinidad total, para las estaciones El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.**

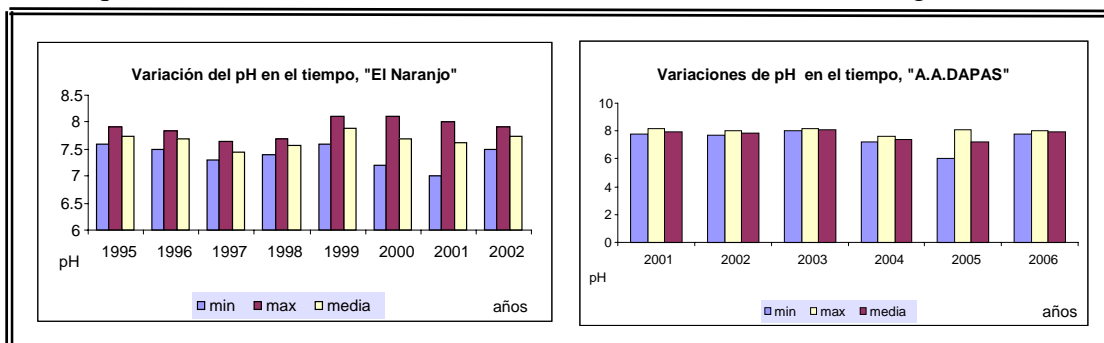
La alcalinidad por otro lado, se refiere a la presencia en el agua de sustancias hidrolizables y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH<sup>-</sup>) de bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos, contribuyendo a la alcalinidad por carbonatos y fosfatos.

La alcalinidad se ve afectada por cinco condiciones: presencia de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos aislados, combinaciones de carbonatos y bicarbonatos, y combinaciones de hidróxidos (los hidróxidos y los bicarbonatos nunca se encuentran juntos). De acuerdo con la norma CE-CCA-001/89 se determina como nivel máximo de alcalinidad 400 mg/L de CaCO<sub>3</sub> para cuerpos de agua usados como fuente de abastecimiento de agua potable.

El análisis del comportamiento histórico de los niveles de alcalinidad en las cuatro estaciones (figura 35) mostró que las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  han fluctuado entre los 145 y los 165 mg/L, lo cual indica que de manera general, el agua del río se ha mantenido con una alcalinidad muy por debajo de los niveles normados, situación que resulta normal considerando que la alcalinidad de las aguas naturales esta asociada a la presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio, y como se menciono anteriormente, el Río Valles se asienta sobre un lecho calcáreo que le confiere estas características de dureza y alcalinidad particulares.

Las variaciones de pH están relacionadas con los diferentes procesos químicos que se llevan a cabo en el agua, sin embargo también pueden deberse a aportes de sustancias químicas, como descargas de aguas residuales directas, públicas o industriales.

El comportamiento histórico de pH en las cuatro estaciones a lo largo del área de estudio, (figura 36) se mostró homogéneo de entre 7 y 8, es decir, las variaciones no fueron mayores a más de 2 unidades, criterio establecido por la NOM-127-SSA1-1994; además los niveles se mantuvieron fluctuantes dentro del intervalo óptimo en que se desarrollan la mayoría de los procesos metabólicos, por lo que podríamos inferir que no hubo descargas de agentes químicos que alteraran de manera considerable la acidez o basicidad del agua del Río.



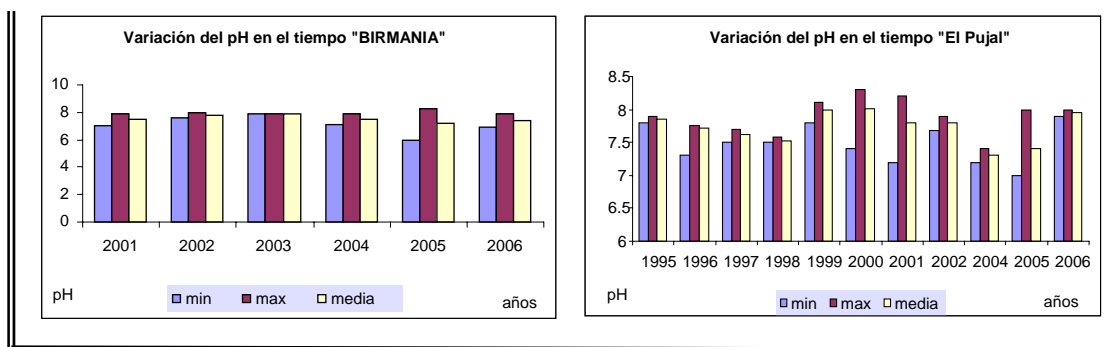


Figura 36.- Variaciones en el tiempo del pH, para las estaciones: El Naranjo, A.A.DAPAS, Birmania y El Pujal.

La CNA reporta dos muestreos para metales pesados en los ríos de la Huasteca Potosina, de los cuales se extrajeron los datos correspondientes a la zona de estudio (tabla 10), así como el monitoreo mas reciente a la fecha de elaboración del presente trabajo; los valores reportados se compararon con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994, así como en los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89), encontrándose lo siguiente:

El arsénico, el cadmio y el zinc, rebasaron los niveles establecidos en la norma, para el caso de cobre y plomo se reportan concentraciones no detectables, mientras que para el hierro y el selenio no se establecen límites máximos permisibles en para agua de uso y consumo humano.

Tabla 10.- Concentraciones (mg/L) de elementos totales disueltos en el Río Valles en el año de 2004 (CNA).

Estación	As	Cd	Cu	Pb	Zn	Fe	Se
El Pujal	0.037	0	0	0	0.01	0.21	0.003
A.A.DAPA	0.008	0.01	0	0	0.05	0.13	0.003
Birmania	0.005	0	0	0	0.02	2.93	0.001
Valles	0.004	0	0	0	0.02	2.4	0.002
Límites máximos permisible en la NOM-127-SSA1-1994	0,025	0,005	2,00	0,01	5,00	-	-



El comportamiento de la calidad del agua del Río Valles durante el periodo 1995-2006, refleja la fuerte presión a la que se han sometido los diversos recursos presentes en la cuenca; recordando que éstos recursos forman estrechas y múltiples interconexiones; por lo que es posible comprender las variaciones en la calidad del agua del Río, tanto temporal como espacialmente.

Considerando que las significativas variaciones altitudinales en la cuenca definen la dirección del cauce es posible suponer que la presencia de población asentadas en las riberas del Río, las actividades agrícolas y pecuarias, son en gran medida, responsables de las concentraciones por arriba de los límites establecidos en las Normas de la mayoría de los parámetros analizados con anterioridad.

Por lo que es posible definir un patrón en el comportamiento de los diversos parámetros analizados, el cual obedece a las características geomorfológicas de la cuenca, que a su vez contribuye a definir la distribución de las diversas actividades, por lo que, observar una buena calidad del agua en la parte alta de la cuenca, y que ésta calidad se empobrezca hacia las planicies de la parte baja de la cuenca, esta estrechamente relacionada con la disponibilidad de espacios para el desarrollo de las diversas actividades antropogénicas.

Cabe recordar que la intención de presentar un análisis del comportamiento espacio-temporal de la calidad del agua del Río Valles, era identificar las deficiencias con que se llevan a cabo los procesos de gestión del recurso en este territorio; si bien es cierto que los datos utilizados pudiesen tener deficiencias, es éste tipo de información la que aparece en los reportes oficiales y es aquella con la que toman las decisiones en materia ambiental el país.

Sin embargo; las grandes carencias en cantidad y calidad de información, bien pueden ser subsanadas de una manera relativamente sencilla: fomentar la cooperación de las diversas instituciones académicas, con los respectivos niveles de gobierno, con lo cual, los objetivos de los programas de gestión de los recursos fuese ambiental y socialmente viables.

#### **4.11 Gestión del agua en la cuenca del Río Valles**

En México, la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha sido responsable de la creación de un sistema participativo de gestión del agua en el ámbito de cuencas, que actualmente cubre todo el territorio nacional (Dourojeanni et al., 2002). Esta tarea ha implicado la creación, instalación y puesta en marcha de consejos y comités de cuenca, que son instancias de coordinación entre los tres niveles de gobierno y los representantes de los usuarios del recurso, con el objeto de formular y ejecutar programas y acciones que mejoren la administración del agua, el desarrollo de infraestructura hidráulica y la preservación de la cuenca.

Los consejos y comités de cuenca están integrados con la finalidad de resolver problemáticas que requieren atención especializada o temporal como pueden ser: contaminación, distribución de aguas superficiales, sequías severas, desastres naturales, así como la gestión integral y permanente del agua en el territorio de una subcuenca o microcuenca.

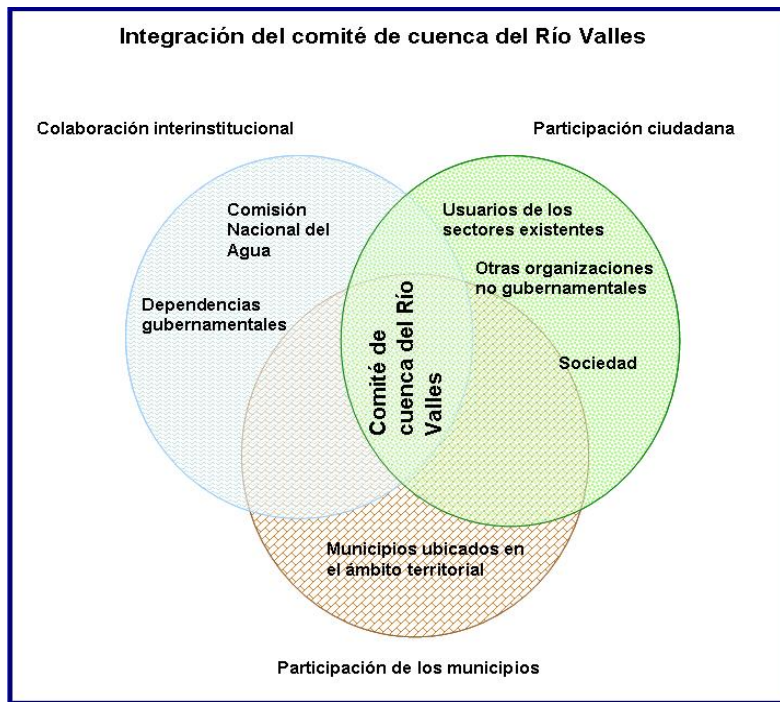
Los consejos de cuenca incluyen a las comisiones, comités de cuenca y cotas como órganos auxiliares. Estos organismos regionales constituyen una plataforma idónea para recoger propuestas e inquietudes de los usuarios, hacerlas propias y presentarlas a las autoridades ejecutivas o a los órganos legislativos, ya no de manera individual y aislada, sino como una propuesta previamente consensuada, colectiva y representativa de las aspiraciones de toda la región.

De acuerdo con lo establecido en el programa hidráulico nacional 1995-2000 se efectuó una nueva reorganización de la Comisión Nacional del Agua basada en la agrupación por cuencas hidrológicas. De este modo el 26 de agosto de 1999 se instaló formalmente en consejo de cuenca del Pánuco como una instancia de coordinación y concertación entre las tres instancias de gobierno, los usuarios y la sociedad organizada. Los objetivos generales del consejo de cuenca del Pánuco, en su momento eran: ordenar los usos y distribución del recurso hídrico, el saneamiento de la cuenca, conservación del agua y suelo, promover y propiciar el reconocimiento del valor económico, social y ambiental del agua, y fomentar el uso eficiente del agua.

#### **4.12 Comité de Cuenca del Río Valles**

La actividad industrial en la cuenca del Río Valles, la creciente población urbana, el incremento de las descargas de aguas residuales al caudal del río, y el desarrollo de actividades como la generación de energía eléctrica, agricultura y ganadería tienen como consecuencia alteraciones ambientales. La solución a esta problemática requería la implementación de acciones coordinadas, así como una amplia participación de los habitantes y autoridades de la región, por lo que se planteó la necesidad de integrar el “Comité de Cuenca del Río Valles” como parte de las acciones consideradas dentro del consejo de cuenca del Pánuco.

El comité de cuenca del Río Valles debería reunir a los gobiernos municipales de Ciudad Valles y El Naranjo, dependencias de gobierno federal y estatal en materia ambiental, así como a los diversos usuarios del agua, además podrían participar centros de investigación, universidades y organizaciones no gubernamentales interesados como invitados (figura 37).



**Figura 37.- Estructura del Comité de Cuenca del Río Valles.**

Actualmente el comité de cuenca del Río Valles incluye a representantes de la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental, SEMARNAT, SAGARPA, SEDARH, PROFEPA, Secretaría de Salud, Secretaría de Educación, presidentes municipales, representantes del sector agrícola-pecuario, Público-urbano e Industrial, Secretaría de Turismo y ONG's.

#### **4.13 Actividades, compromisos y logros**

De acuerdo con los reportes de la Comisión Nacional del Agua (2002), al momento de la instalación del comité, las acciones prioritarias definidas dentro de su programa de trabajo a mediano y largo plazo fueron:

- Realizar el programa de ordenamiento
- Obtener el balance hidráulico detallado
- Elaborar el reglamento para la distribución del recurso

- Rehabilitar y modernizar la red de medición (información hidroclimática y de calidad del agua)
- Realizar programa de saneamiento del agua del Río
- Establecer programas de vigilancia y control de la calidad del agua del Río
- Aplicar la legislación y normatividad ambiental correspondientes
- Tratar las descargas de agua residuales
- Establecer programas de uso eficiente del agua
- Tecnificar el riego
- Aplicar programas de tandeo agrícola
- Promover técnicas de bajo consumo de agua en la industria
- Fomentar el uso adecuado de fertilizantes y herbicidas
- Establecer programas de reforestación
- Realizar acciones encaminadas al control de la erosión
- Fomentar programas de conservación de cuencas
- Difusión de información

Como parte de estos objetivos planteados durante la reunión efectuada en enero del 2006 se reportaron las actividades realizadas, entre ellas las supervisiones técnicas a los ingenios de la región, lo cuales habían instalado equipos anticontaminantes logrando reducir a cero sus descarga al Río, se presentaron los avances de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad Birmania a las afueras de Ciudad Valles, con la finalidad de dar tratamiento a un mayor volumen de las descargas municipales. La instalación y puesta en marcha de esta planta de tratamiento está a cargo del organismo operador de agua (DAPAS), como parte de programa de saneamiento a nivel nacional promovido por la CNA, los gobiernos estatal y municipal.

De igual modo, se habían iniciado programas de tandeo, que originalmente fueron propuestos por los usuarios, bajo la premisa: el que use más agua, será a quien se le aplique mayor tiempo el tandeo, es decir, *quién haga un uso más eficiente del agua, podrá disfrutar más de los recursos*; con la intención de que todos los usuarios agrícolas implementen nuevas tecnologías de riego.

Posteriormente, durante la reunión efectuada en octubre del 2007 realizada en el contexto de “cuenca hidrológica limpia”, se planteó la participación de los dos municipios y los tres ingenios en el programa de Auditorías ambientales promovido por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), con la finalidad de lograr un manejo integral del agua y sus residuos. Dentro de los reportes se mencionó que el 22 de octubre se había iniciado la auditoria de campo para el municipio de Ciudad Valles y a partir de los resultados se diseñarían estrategias y planes de trabajo para aquellas acciones que resultarán prioritarias.

Por su parte, el ingenio San Miguel el Naranja inició su auditoria los primeros meses del 2007, mientras que los ingenios Plan de Ayala y Plan de San Luís aún no tenían establecidas las fechas para ésta evaluación.

Otro de los puntos relevantes de la reunión fue el reporte de las acciones de saneamiento de la cuenca, para lo cual se pretende trabajar de manera conjunta con los gobiernos de Hidalgo y Guanajuato como parte de la cuenca del Pánuco.

Los representantes de cañeros manifestaron estar realizando estudios de factibilidad para la instalación de presas en tres sitios, uno de los cuales ya ha sido descartado por la naturaleza calcárea de zona; los otros dos sitios están pendientes. Se mencionó también que de no ser

factibles ninguno de los sitios propuestos se buscarán nuevos lugares o bien se estudiaría la posibilidad de extraer agua del subsuelo.

Por otro lado, se señaló la integración del “comité de seguimiento” integrado por CNA, SEGAM, Organizaciones no gubernamentales e Ingenios que se encargarán de elaborar y distribuir boletines informativos en torno a los resultados de las Auditorías ambientales y acciones posteriores.

Se manifestó también la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales Birmania en los próximos meses, la cual reforzará las operaciones de la antigua planta de tratamiento del municipio de Ciudad Valles, paralelo a esto se están realizando acciones para la reactivación de la planta del municipio de El Naranjo, la cual había estado fuera de operación por tres años.

También se manifestó la intención de fomentar el desarrollo turístico en la región y la posibilidad de establecer sitios para la disposición de los residuos sólidos del municipio de Ciudad Valles.

Por su parte CONAFOR reportó las acciones de fomento, cuidado y protección de los bosques, a través de programas de pago por servicios ambientales; actualmente 8,000 ha son beneficiadas por este programa.

#### **4.14 Observaciones y Recomendaciones**

Si bien es cierto que el Comité de Cuenca del Río Valles está constituido por representantes de los diferentes grupos interesados y que se han integrado esfuerzos para definir acciones y estrategias encaminadas a una adecuada gestión del recurso agua, aún se requiere de una visión global e integral al momento de la toma de decisiones.

El comité ha presentado muchas e importantes actividades conjuntas en favor de la gestión del recurso, y su estructura podría propiciar un manejo integral de la cuenca, con todos sus componentes; tal vez lo más difícil para una gestión integral sea además de reunir a un grupo de actores con diferentes intereses, el desarrollar estrategias de trabajo con un fin común y lograr llevarlas a cabo.

No obstante, aún se tienen que vencer algunos problemas, como son la escasa accesibilidad e influencia que tienen los diversos actores en las políticas macro-económicas, así como en la asignación de recursos o designación de funcionarios a cargo de dependencias ambientales.

Por otro lado, el Comité de Cuenca no posee autonomía financiera y jurídica necesaria, a lo que se suma la población poco o mal informada, lo que deriva en una escasa participación en los procesos de gestión. Otro asunto es la falta de estrategias coherentes con los mecanismos de acción, ya que es muy común el voluntarismo que muestran la mayoría de los actores en las reuniones de trabajo, sin embargo, en la práctica no se logra llevar a buen fin dichas estrategias, o peor aún, no se llevan a cabo. Por último hay que considerar el poco o nulo uso que se hace de la información científica especializada y de los resultados de las consultas y reuniones con especialistas.



Otra cuestión deficiente es la forma de trabajo del Comité de Cuenca del Río Valles, si bien el manejo adecuado de los todos los recursos depende de acciones políticas, sociales y económicas, éstas deben realizarse con la participación conjunta de los diferentes actores involucrados, sin embargo el municipio determinante e influyente en la mayor parte de los procesos de gestión, es Ciudad Valles. Por otro lado, aún se tienen muchas deficiencias al momento de integrar la información, además de seguir trabajando en el contexto de divisiones políticas.

Por otro lado existen algunos usuarios importantes, específicamente los representantes de los ganaderos y cañeros que cuentan con poder económico, y por tal, influyen en los asuntos políticos. Estos actores sólo consideran acciones que beneficien a sus propios intereses, rehusándose a trabajar en un contexto integral que permita una adecuada gestión de todos los recursos, esta resistencia a considerar que sus actividades se desarrollan y benefician de un sistema con complejas interrelaciones, frena los estudios y acciones encaminadas a un manejo integral, situación que empeora cuando estos usuarios influyen en la toma de decisiones en un sistema de gobierno transitorio, por lo que resulta complicado definir sistemas estables de gestión de los recursos.

Otra cuestión a considerar es que si bien todas las acciones realizadas están encaminadas a una mejor gestión del recurso agua, no se han desarrollado estudios de balances hídricos; es decir se está tratando de gestionar algo que aún no se conoce bien, por lo que una de las acciones prioritarias debería ser la estimación del balance hídrico anual, además de considerar los servicios ecológicos y ambientales, para así establecer eficazmente cuotas de consumo, entre otras acciones.

Caso similar y quizá más complejo es el desconocimiento del estado de cada uno de los elementos que forman parte de la cuenca, ya que al considerarse sólo un recurso para la

gestión, se deja fuera al resto de los elementos que conforman a la cuenca hidrográfica. Si se desconocen los procesos naturales e interrelacionados que favorecen la presencia de agua disponible, lo más probable es que a largo plazo las acciones en pro del recurso no sean del todo exitosas, de ahí la importancia de integrar no sólo a las dependencias gubernamentales, sino también a centros de investigación que ayuden a comprender la complejidad del ecosistema y su problemática, como un todo integrado, y que no es posible separar a un elemento para su gestión, sin considerar al resto.

También es necesaria la cooperación de centros de investigación en estrecha comunicación con las dependencias gubernamentales para que las decisiones dejen de tomarse sólo con la información generada por los organismos oficiales, lo que sería de gran ayuda, ya no para una “gestión integral y sustentable de las cuencas”, sino simple y sencillamente, para una “razonable gestión del agua, de los bosques, de los suelos, de la biodiversidad y de los ecosistemas que componen cada una de las cuencas” (Dourojeanni, 1999).

## **CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES**

La zona de la cuenca que presenta pendientes mayores a 60°, se considera como la parte alta de la cuenca, y se caracteriza por poseer suelos muy delgados con presencia de selva baja caducifolia y perennifolia, así como una fuerte presión por cultivo de caña, como puede observarse en las figuras 6, 13, 22 y 24; en tanto que la calidad del agua del río en esta parte alta de la cuenca, en general es buena de acuerdo con los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites máximos permisibles para la “salud ambiental, agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, así como los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, establecidos por el INE, CE-CCA-001/89.

Por otro lado, al considerar los resultados obtenidos en el “Mapa de Vulnerabilidad”, en la parte alta de la cuenca se interrelacionan diversos factores como los analizados: geomorfología, edafología, cobertura vegetal e hidrología, que favorecen la presencia de un ecosistema complejo, con pendientes abruptas, suelos delgados o poco evolucionados, que soportan masa forestal compleja, como lo es el bosque de encinos, que si bien es un ecosistema estable es muy susceptible a las alteraciones; la complejidad ambiental en esta área brinda una gran variedad de servicios y funciones ambientales al resto de la cuenca, principalmente la captación de agua. Otro punto a considerar es que las condiciones del terreno no favorecen la presencia de asentamientos humanos importantes, asimismo, el desarrollo de actividades agrícolas se ve de algún modo limitado, ya que en general es un área de difícil acceso, razones por las cuales se considera un zona de alta vulnerabilidad ambiental.

De acuerdo con el mapa de “Impactos ambientales” se observa que la cuenca alta presenta una “buena calidad”, es decir, se aprecian extensiones de cobertura vegetal poco perturbadas; sin embargo se puede constatar el avance de la frontera agrícola, en especial el cultivo de caña de azúcar, predominante en la región. Por lo que es necesario crear

programas de manejo integral y/o conservación que eviten la expansión o control de las zonas agrícolas, manteniendo así la integridad y funcionalidad ecológica los ecosistemas que aún existen como lo son la selva y el bosque.

El área con pendientes entre los 45° y 30 °, denominada en éste trabajo como “parte centro o región media de la cuenca”, se caracteriza por ser una zona de depositación de materiales, los suelos en esta porción tienden a ser más evolucionados, lo que se traduce en mayor fertilidad, por lo que es aquí donde se encuentra la mayor extensión de cultivo de caña, sin embargo esto tiene consecuencias adversas en el entorno ya que el uso y manejo de fertilizantes provoca efectos secundarios, como son la contaminación de fuentes de agua, aire, destrucción de biodiversidad, erosión, alteraciones en los ciclos de vida de la fauna, eutrofización y el desarrollo de plagas pero, sobre todo, la destrucción del capital biológico natural del suelo.

La suma de estos factores hace que esta zona presente un grado de vulnerabilidad medio y al mismo tiempo se muestra como una superficie fuertemente impactada. Si bien en esta región las características ambientales permiten desarrollar ciertas actividades agrícolas, éstas deben ser reguladas de modo que sean más eficientes y que se produzcan las menores alteraciones ambientales posibles.

Por último queda definida como la parte baja de la cuenca, aquella zona que se origina en la planicie costera del Golfo de México, delimitada por pendientes menores a los 30°; es en estas planicies donde se desarrollan las actividades ganaderas, en su mayoría de tipo extensivo, lo que genera grandes volúmenes de estiércol (materia orgánica), los cuales con el agua de lluvias, potencialmente llegan hasta los cuerpos de agua, lo que a largo plazo podría acelerar los procesos de eutrofización; por otro lado, el ganado provoca la compactación del suelo, situación que afecta el crecimiento de la vegetación y lo hace más susceptible a la erosión.

La suma de los factores antes mencionados, propicia que en esta parte de la zona de estudio se reciban los aportes de arrastres provenientes de las parte más alta de la cuenca, por tales motivos resultó la región más impactada, además habrá que agregar que dentro de esta zona que se encuentra el centro poblacional más grande e importante de la región (Cd. Valles).

Por otro lado, vale la pena enumerar las ventajas y desventajas que se presentaron al trabajar la metodología propuesta; el uso de análisis de vulnerabilidad ambiental apoyados en sistemas de información geográfica, permitieron ordenar grandes cantidades de información de manera práctica, donde el orden que estuvo respaldado por elementos teórico-metodológicos obtenidos a través de la interacción con expertos de diferentes disciplinas; vale la pena agregar que una de las potencialidades de la metodología propuesta es la construcción de escenarios, por la capacidad de integrar sinérgicamente las variables que se incluyan en el estudio, y que pueden ser factores físicos, ambientales, sociales, entre otros.

Otra de las ventajas fue la posibilidad de integrar los diferentes enfoques e intereses respecto a la problemática ambiental del territorio estudio, lo que hizo posible incluir en el trabajo una buena parte de los elementos que componen el área, tanto aquellos que definen la estructura de la cuenca, como los de mayor peso tanto en los procesos ecológicos como los procesos económicos y sociales; habrá que añadir que es una metodología flexible que permite adaptarla de acuerdo con los objetivos de la investigación.

Por otro lado resultó ser una herramienta valiosa que puede contribuir a la toma de decisiones informadas, ya que brinda resultados gráficos y de fácil comprensión, simultáneamente, aportó una visión global e integral del ecosistema en estudio, incluyendo las cuestiones socio-políticas, a través de las cuales se establecen las líneas de gestión de los recursos; sin embargo, durante el presente trabajo no fue posible participar de manera

activa dentro del diseño de algún programa de manejo o gestión, por limitaciones de tiempo, no obstante lo anterior, los resultados se dieron a conocer a algunos integrantes del Comité de Cuenca del Río Valles, así como a funcionarios de la CNA, a quienes les pareció importante la información que se obtuvo de esta investigación, en relación a la zonificación de las áreas prioritarias, y afectadas, así como la potencialidad de la metodología propuesta para establecer las líneas y mecanismos de gestión de sus recursos.

Dentro de las posibles desventajas esta la cantidad y calidad de información que fue necesaria para alimentar y construir el SIG, ya que no fue posible obtener datos de ... durante los años solicitados, pues se requirió de contar con fundamento teórico que respaldara las ponderaciones propuestas, ya que de ello dependía la rigurosidad y credibilidad de los resultados, por lo que una de las partes medulares fue la interacción con investigadores de otras disciplinas, quienes contribuyeron a enriquecer las líneas a seguir para alcanzar de forma objetiva y congruente los objetivos propuestos.

## REFERENCIAS

- Bereciartua. 2003. *Vulnerabilidad de Aguas Subterráneas a la Contaminación*. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Pp 20.
- Bojorquez-Tapia L., Juárez L., Cruz-Bello G. 2002. *Integrating fuzzy logic, Optimization, and GIS for ecological impact assessment*. *Environmental Management*. 30 (3): Pp 418-433.
- Brower L. P., Castilleja G., Peralta A., Lóex-García J., Bojorquez-Tapia L., Díaz S., Melgarejo D. y Missrie M. 2002. *Quantitative changes in forest quality in a principal overwintering area of the Monarch Butterfly in México 1971-1999*. *Conservation Biology*. 16 (2): Pp 346-359.
- Cáceres Jonson. 2001. *Metodologías para estimar degradación y vulnerabilidad a desastres naturales: aplicación a la microcuenca Los Naranjos, Lago de Yojoa, Honduras*. Tesis de Maestría. Turrialba (Costa Rica). Pp 124.
- Câmara, Monteiro, Druck-Fucks, Sá Carvalho. 2005. *Spatial Analysis And GIS: A Primer. Image Processing Division*. National Institute For Space Research (INPE). Rio De Janeiro, Brazil. Pp 30. Disponible en: [http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/Tutorials/Spatial\\_Analysis/Spatial\\_Analysis\\_Primer.Pdf](http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/Tutorials/Spatial_Analysis/Spatial_Analysis_Primer.Pdf).
- Canter L., Sadler, B., 1997. *A Tool Kit For Effective EIA Practice Review Of Methods And Perspectives On Their Application A Supplementary Report Of The International Study Of The Effectiveness Of Environmental Assessment*. International Association for impact assessment. Disponible en: <http://www.egs.uct.ac.za/docs/canter/eiacover.html>
- Castro, M. 1999. *Cooperación regional para reducir la vulnerabilidad ambiental y promover el desarrollo sostenible en Centroamérica*. En Uribe, A., Franklin, H. Eds. *Memorias del taller sobre vulnerabilidad ecológica y social*. Estocolmo, Suecia. Pp 59 – 88.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 1996. *Progresos en América Latina y el Caribe en materia de implementación de las recomendaciones contenidas en el Capítulo 18 del Programa 21 sobre gestión integral de recursos hídricos, LC/G. 1917*. Santiago, Chile.

- CEPAL. 1999. *Informe del III Taller de Gerente de Organismos de Cuenca en América Latina y el Caribe LC/R. 1926*, Santiago, Chile.
- Clark Mary E. 1978. *Biología Básica., Conceptos fundamentales y aplicaciones prácticas*. Salvat Editores. Barcelona España. Pp 39- 43.
- Cloter y Priego A. 2002. *El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma Chapala*. En *Gestión integral de cuencas en México*. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. SEMARNAT- INE. Pp 63-64.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. 1994. *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental; conceptos y antecedentes básicos*. Santiago, Chile.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Publicada en el Diario Oficial de la Federación. el 5 de febrero de 1917. Pp 121.
- Contreras E F. 1994. *Manual de Técnicas en Hidrobiología*. Editorial Trillas. México. Pp 20.
- Curtis H. 1990. *Biología*. Editorial Médica Panamericana. México. Pp 967-968.
- Chuvieco E. 1985. *Aportaciones de la teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. No. 5: Pp 29-48.
- Chuvieco E. 1998. *El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios*. *Revista de teledetección*. Departamento de geografía, Alcalá, España. Pp 10.  
Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=942614>
- De Pedraza-Gilsanz J. 1996. *Geomorfología, Principios, Métodos y Aplicaciones*. Editorial Rueda. Alarcón, Madrid. Pp 414.
- Dickson M.H y Fanelli M. 2007. *¿Qué es la Energía Geotérmica?*. Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italia. Disponible en: <http://iga.igg.cnr.it/documenti/geo/Geothermal%20Energy.es.pdf>



- Dourojenni A. 1997. *Conceptos para la gestión del agua: temas de debate*. Informe del segundo taller de gerentes de organismos de cuencas en América Latina y el Caribe. Informe elaborado por la División de Medio Ambiente y Desarrollo de la CEPAL. Santiago de Chile. *In press*. Pp 48. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/4479/lcr1802s.pdf>
- Dourojeanni, A. 1997b. *Procedimientos de Gestión para un Desarrollo Sustentable (aplicables a municipios, microrregiones y cuencas)*. CEPAL. Publicación de las Naciones Unidas. Santiago de Chile. Pp 374.
- Dourojeanni A. y Jouravlev A. 1999. *Gestión de cuencas y ríos vulnerables con centros urbanos*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/R 1948, Santiago, Chile. Pp 181. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/5668/LCR1948-E.pdf>
- Dourojeanni A. y Jouravlev A. 2001. *Crisis de Gobernabilidad en la gestión del agua (Desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del programa 21)*, Natural Resources and Infrastructure Division, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Serie Recursos Naturales e Infraestructura No.35: Pp 83.
- Dourojeanni, A 2002. *Si sabemos tanto sobre que hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas. ¿Por qué no lo podemos hacer?. En Gestión integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. SEMARNAT-INE. Pp 135-174.
- Dourojeanni A. Jouravlev A. y Chavez G. 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL. Publicación de las Naciones Unidas. 83 Pp. Disponible en: <http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/5/11195/P11195.xml&xsl=/dtni/tpl/p9f.xsl&base=/dtni/tpl/top-bottom.xsl>
- Douroenjanni A. 2004. *Manejo Integral de aguas por cuencas: una forma de gobernabilidad*. Presentación en power point. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/manejo\\_integral\\_cuencas.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/manejo_integral_cuencas.pdf)

- Duchaufour. P., Bonneau M., Jacquin F., Souchier B., 1978. *Manual de Edafología*. Toary-masson s.a. Barcelona, España. Pp 27-160.
- Drew, D. 1993. *Man-Environment Process*. George Allen and Massachusetts and Unwind Publisher. London. Pp 32.
- Enciclopedia de los Municipios de México. 2002. *Estado de San Luis Potosí- Ciudad Valles*. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de San Luis Potosí. Disponible en: [http://www.emexico.gob.mx/work/EMM\\_8/sanluispotosi/municipios/24013a.htm](http://www.emexico.gob.mx/work/EMM_8/sanluispotosi/municipios/24013a.htm)
- Enciclopedia de los Municipios de México. 2002. *Estado de San Luis Potosí- El Naranjo*. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de San Luis Potosí. Disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sanluispotosi/municipios/24058a.htm>
- Espinoza G. 2001. *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Banco interamericano de desarrollo. Santiago de Chile. Pp 183. Disponible en: <http://www.iadb.org/sds/doc/ENVFundamentosEvalImpactoAmbiental.pdf>
- FAO. 1991. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. *Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico*. Washington D.C. Pp 75.
- Florenzano T. 2002. *Imagens De Satélite Para Estudos Ambientais*. Oficina De Textos. São Paulo, Brazil. Pp 97.
- Galindo, G., y Olvera, L. 2005. *Mapas de uso de suelo - Huasteca Potosina*. Escala 1:50,000. SAGARPA - CONACYT C01-186/A-1.
- García Leyton L. A. 2004. *Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. Tesis doctoral. Programa de doctorado de ingeniería ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 230Pp.
- Gaucher G. 1971. *El suelo y sus características agronómicas*. Editorial Omega. Barcelona. Pp 647.

González Piedra. 2002. *Gestión integral de cuencas en México*. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, SEMARNAT-INE 2002. Pp 40.

González Piedra. 2005. *Estudios ambientales en cuencas el manejo de cuencas en cuba: actualidades y retos*. Instituto Nacional de Ecología (INE). Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/452/gonzalez.html>

Goudie, A. 1986. *The Human Impact on the Natural Environmental*. Basil Blackwell. Oxford, England. Pp 246.

Herrera-Bravo M.A., *Vegetación En La Huasteca Potosina*. Ensayo. Participación En El Seminario “Las Huastecas”. El Colegio de San Luis, A.C. Disponible en: [http://www.universidadabierta.edu.mx/Biblio/H/HerreraMiguel\\_VegetacionHuasteca.htm](http://www.universidadabierta.edu.mx/Biblio/H/HerreraMiguel_VegetacionHuasteca.htm)

Hutchinson G.E. 1957. *A Treatise on Limnology*. John Wiley and Sons. New York. Tomo 1. Pp 223.

Instituto Nacional de Ecología (INE) 2003. *Informe de la situación del medio ambiente en México 2002*. México. Primera edición. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaPublicacion.php>

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005. *Dirección de Manejo Integrado de Cuenca Hídricas*. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html#B>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. *Tabulados de Muestra Censal. XII Censo General de Población y Vivienda 2005*. Aguascalientes, México.

Jensen R.J. Y Hodgson E.M.. 2004. *Remote sensing of selected biophysical variables and urban/suburban phenomena*. En *Geography And Technology*. Kluwer Academia Publisher. Printed in the Netherlands. Pp109-154.

Jiménez, F. 2002. *Apuntes de clase del curso Manejo de Desastres Naturales*. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pp 235. Disponible en: <http://www.url.edu.gt/PortalURL/Archivos/51/Archivos/09-Vulnerabilidad-Socioambiental.pdf>

Ley Ambiental del Estado de San Luís Potosí, publicada en la Sección Tercera Edición Ordinaria del Periódico Oficial, el miércoles 15 de diciembre de 1999. Pp 98.

Ley de Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación. 1 de diciembre de 1992. Pp 103.

Ley Forestal. 1992, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre de 1992. Pp 24.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Publicada en el Diario Oficial de la Federación, el fecha 28 de enero de 1988. Pp 97.

Linstone, H., Turoff, M. 1975. *The Delphi Method. Techniques and Applications*. Addison-Wesley. Pp 138.

Norma CE-CCA-001/89. *Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua*. Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/191/criterios.html>

Norma NOM-127-SSA1-1994. *Establece los criterios de salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*.

Mass J.M. 2002. *La investigación de procesos ecológicos y el manejo integrado de cuencas hidrográficas: un análisis del problema de escala*. En *Gestión integral de cuencas en México*. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. SEMARNAT-INE. Pp 49-62.

Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico. 2006. SEMARNAT. México. Pp 360.

Organización Mundial de la Salud. 2004. *Drinking-water Quality, Guidelines for drinking-water quality*. tercera edición. Geneva. Pp 540.

- Pérez-García J.C. 2005. *Manejo Integral De Microcuencas En La Subcuenca Guanajuato, Guanajuato*. SEMARNAT-INE. Pp 325.
- Porta-Casanellas J., Lopez-Acevedo R.M., Roquero DL., C., 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pp 97-233.
- Puig H. México. 1991. *Vegetación de la Huasteca, (México) Estudio Fitogeográfico y Ecológico*. Institut Francais de Recherche Scientifique Pour Le Développement en Cooperation - Instituto de Ecología A.C.-Centre D'Études Mexicaines et Centraméricaines (CEMCA). Traducción Blanca Chacel. Pp 512.
- Ramos-Leal. 2002. *Validación de mapas de vulnerabilidad acuífera e impacto ambiental*. Caso Río Turbio, Guanajuato. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp 105.
- Reyes Sandoval. 2005. *Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del Río Talgua, Catacamas, Honduras*. Tesis de maestría. Escuela de posgrados del centro agronómico tropical de investigación y enseñanza de Turrialba, Costa Rica. Pp 133.
- Rzedowski J. 1961. *Vegetación Del Estado de San Luís Potosí*. Tesis de maestría. México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Pp 228.
- Sienko M.J. y Plane R.A. 1986. *Química, principios y aplicaciones*. McGraw Hill. México. Pp 437-435.
- Smith R.L. y Smith T.M. 2001. *Ecología*. 4ª edición. Editorial Addison Wesley. Madrid, España. Pp 86-88.
- TECNUN. 2007. *Ciclo del carbono*. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, En <http://www.tecnun.com/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/131CicC.htm>

Teutsch-Barros. 2006. *Metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad poblacional a los desastres de la variabilidad y el cambio climático*. Tesis de maestría. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agronómicas escuela de agronomía. Santiago, Chile. Pp 79.

Visionlearning. 2007. Ciclo del Nitrógeno. En:  
[http://www.visionlearning.com/library/module\\_viewer.php?mid=98&l=s&c3](http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=98&l=s&c3)

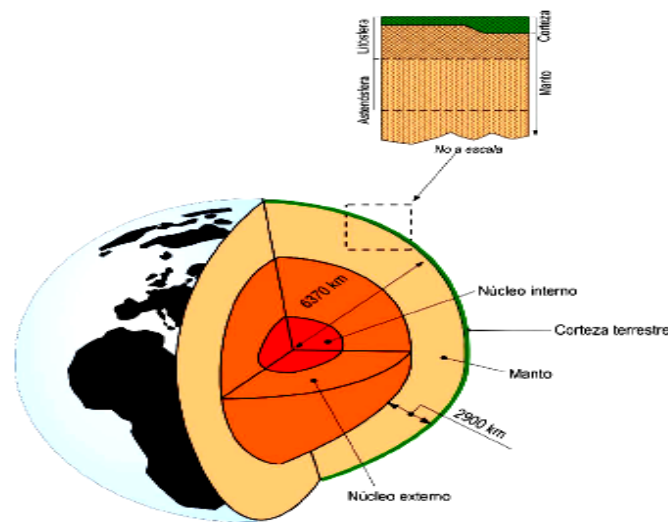
Van Hofwegen P. y Jasper F. 2000 a. *Manejo integrado de recursos hídricos/ Global Water partnership (GWP)*. Tac Background Papers. No. 4. Pp 80.

Van Hofwegen, Paul J.M. Van; Jaspers, Frank G.W. 2000 b. *Marco analítico para el manejo integrado de recursos hídricos: lineamientos para la evaluación de marcos institucionales*. Washington, D.C. Banco Interamericano de Desarrollo. Pp 85.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1.- LITOSFERA**

La litosfera es la capa más superficial de la tierra, con un espesor que varía entre 100 km para los océanos y 150 km para los continentes, y que funciona como soporte de la vida en la tierra (figura 38).



**Figura 38.- Capas de la tierra**

Tomado de: Dickson y Fanelli, 2007

La capa más superficial de la litosfera es el suelo concebido como un sistema abierto, dinámico y constituido por tres fases: **sólida**, formada por los componentes inorgánicos y los orgánicos, entre el material sólido se forman espacios que son ocupados por las fases líquida y gaseosa. El volumen de dichos espacios es parcialmente ocupado por agua, como principal componente de la **fase líquida**, el agua transporta iones o sustancias en solución o en suspensión, o bien pueden estar ocupados por aire, que constituye la **fase gaseosa** o atmósfera del suelo y por las raíces y organismos que viven en el suelo (Gaucher, 1971).



El contenido mineral del suelo depende de la roca madre la cual se formó de factores biológicos en un ambiente no modificado, la mayor parte de los nutrientes permanece dentro del sistema, el propio suelo y las plantas, microorganismos y pequeños animales; en cambio si se elimina la vegetación de forma repetida, como sucede en las actividades agrícolas y ganaderas, la capa superior rica en humus se pierde y el suelo se agota rápidamente lo que obliga al uso de fertilizantes (Curtis, 1990).

Otro factor que influye en el contenido mineral del suelo es su composición, los fragmentos más pequeños de roca se clasifican como arena, limo o arcilla de acuerdo a su tamaño (tabla 11); el agua y los minerales escurren rápidamente a través del suelo compuesto de partículas grandes (suelo arenoso), mientras que en suelos con partículas más pequeñas (arcilla) el agua es retenida contra la gravedad (Curtis, 1990).

**Tabla 11.- Clasificación del suelo**

	Díámetro de las partículas del suelo (micrómetros)
Arena gruesa	200-2.000( 0.2-2mm)
Arena	20-200
Limo	2-20
Arcilla	Menos de 2

Tomado de: Curtis, 1990

De acuerdo con Duchaufour y colaboradores (1978) el agua (principal componente de la fase líquida) contenida en un suelo drenado puede encontrarse en diferentes estados: *agua higroscópica, capilar no absorbible, capilar absorbible y de gravitación.*

“Las interacciones entre las fases sólida y líquida adquieren especial relevancia al existir en la fase sólida partículas cargadas eléctricamente y de elevada superficie específica (las arcillas). Los procesos de adsorción e intercambio iónico son fundamentales para la actuación del suelo como depurador natural, la vida en el suelo y la nutrición de las plantas. Las fases líquida y gaseosa se hallan en cambio constante, tanto en cantidad como en

composición. La lluvia, el riego y las filtraciones incorporan agua al sistema, la evapotranspiración constituye la principal salida en condiciones donde no hay pérdidas por percolación” (Gaucher, 1971).

La fase gaseosa por su parte, tiene una composición semejante a la del aire (79% N<sub>2</sub>, 21 %O<sub>2</sub>, mas CO<sub>2</sub>), las proporciones relativas varían a lo largo del tiempo, según las condiciones existentes en el suelo, el oxígeno resulta indispensable tanto para la respiración de las raíces de las plantas como para la de los microorganismos (Duchaufour *et al.*, 1978).

De acuerdo con De Pedraza-Gilsanz (1996), el suelo compuesto de las tres fases antes descritas y sujeto a procesos de intemperización, movimientos de componentes, humificación, meteorización y erosión actuado a lo largo del tiempo, implican la progresiva diferenciación del material orgánico, lo que conduce a una estratificación en sus propiedades y características, dando lugar a “horizontes”, Curtis (1990) refiere los tres horizontes más comunes:

- El horizonte A o capa superior del suelo es la zona de máxima acumulación orgánica (humus).
- El horizonte B o subsuelo está formado por partículas inorgánicas en combinación con nutrientes minerales que se han filtrado desde el horizonte A.
- El horizonte C está compuesto de roca suelta que se extiende hasta la roca firme subyacente.

El territorio nacional se ha conformado por una gran variedad de procesos, desde la zonas que han emergido del océano, áreas de colisión y zonas de alta actividad volcánica principalmente, todo ello favorece la gran variedad y complejidad geológica, y geomorfológica del país que favorece una gran variedad de rocas de origen y

características, que aunado a la interacción con las diferentes condiciones climáticas y organismos vivos da como resultado que el país cuente con 25 de las 28 unidades de suelo reconocidas por la FAO (INE, 2003).

## **ANEXO 2.- PRINCIPALES TIPOS DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.**

*Leptosoles* (del griego *lepto*, delgado) se caracterizan por su escasa profundidad (menor a 25cm). Una proporción importante de estos suelos se clasifica como leptosoles líticos con una profundidad de 10 centímetros o menos. Otro componente destacado de este grupo son los leptosoles réndzicos que se desarrollan sobre rocas calizas y son muy ricos en materia orgánica. En algunos casos son excelentes para la producción agrícola, pero en otros pueden resultar muy poco útiles por dos razones: su escasa profundidad los vuelve muy áridos y el calcio que contienen puede llegar a inmovilizar nutrientes minerales.

*Regosoles* (del griego *reghos*, manto) son suelos muy jóvenes, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arenas creadas por el agua; de ahí que se encuentren sobre todo al pie de las sierras donde son acumulados por los ríos que descienden de la montaña cargados de sedimentos. Las variantes más comunes en el territorio, los regosoles éutricos y calcáricos, se caracterizan por estar recubiertos por una capa conocida como «ócrica», que al ser retirada de la vegetación, se vuelve dura y costrosa impidiendo la penetración de agua al subsuelo. La consecuente resequedad y dureza del suelo es desfavorable para la germinación y el crecimiento de las plantas. El agua, al no poder penetrar en el suelo, corre por la superficie provocando erosión.

*Calcisoles* (del latín *calx*, cal) se distinguen por presentar una capa de dura de «caliche» a menos de un metro de profundidad, una gran cantidad de calcio y a menudo, una capa ócrica, características que los convierten en suelos secos e infértiles.

*Feozems* (del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemplja*, suelo), por el contrario, son suelos muy fértiles y aptos para el cultivo, aunque son sumamente proclives a la erosión. Con frecuencia son suelos profundos y ricos en materia orgánica.

*Vertisoles* (del latín *vertere*, invertir) son suelos sumamente arcillosos que se desarrollan en climas de subhúmedos a secos. Al igual que los *feozems*, son profundos, muy duros cuando están secos y lodosos al mojarse (debido a su alto contenido de arcillas), por lo que resulta difícil trabajarlos, además su fertilidad es intrínsecamente baja (tabla 12).

**Tabla 12.- Grupos y unidades edáficas en el Mapa Mundial de Suelos**

<b>Fluvisoles</b>	Suelos que presentan propiedades fluvicas, es decir, aluviales o similares (3, 5, 3, 12, 17, 18).
<b>Regosoles</b>	Suelos delgados sobre sustrato no consolidado (3, 5, 6, 9, 18).
<b>Arenosoles</b>	Desarrollados sobre materiales dendríticos-arenosos (1, 3, 8, 11).
<b>Gleysoles</b>	Suelos con hidromorfismo, horizontes moteados o reducidos (2, 5, 6, 12, 17, 18).
<b>Andosoles</b>	Desarrollados sobre material volcánico (8, 12, 18, 20).
<b>Vertisoles</b>	Suelos con fenómenos de inversión por la presencia de arcillas, con propiedades expansivas, en todos sus horizontes (5, 6, 9).
<b>Greyzems</b>	Suelos con un horizonte A mólico y granos de arena y limo son revestimientos (8).
<b>Solonchaks</b>	Suelos con acumulación de sales solubles (8, 9, 12, 16).
<b>Solonetz</b>	Suelo con alto contenido de sodio (8, 12).
<b>Planosoles</b>	Suelo con contacto brusco entre horizontes, por fenómenos mecánicos asociados al entorno fisiográfico; son propios de zonas llanas (5, 6, 12, 18).
<b>Kastanozems</b>	Desarrollados en ambientes esteparios, de tonos superficiales castaños (9,11).
<b>Chernozems</b>	Desarrollados en ambientes de pradera, alto contenido de humus y tonos superficiales negros (8, 11).
<b>Phaeozems</b>	Suelos ligeramente más lixiviados que Kastanozems y chernozems (8, 11).
<b>Cambisoles</b>	Suelos de tonalidad general clara, con frecuencia cambios de estructura, consistencia, incluso composición, sobre todo de horizontes arcillosos con un contenido medio a alto en bases (1, 4, 7, 8, 19).
<b>Luvisoles:</b>	Desarrollo de horizontes arcillosos con un contenido medio a alto en bases (1, 4, 7, 8, 19).

---

<b>Podsoluvisoles</b>	Desarrollo de fenómenos de lixiviación que penetran en el horizonte B arcilloso (5, 6, 8).
<b>Podsoles</b>	Desarrollo de horizontes eluviales de color claro, con acumulación de hierro, aluminio y humus en los horizontes inferiores. (7,8).
<b>Alisoles</b>	Suelos con un horizonte B ártico, alta capacidad y alto contenido de arcillas (7, 8, 10, 13).
<b>Acrisoles</b>	Suelos con horizonte B ártico, baja capacidad y contenido de arcillas (7, 8, 10, 13).
<b>Nitisoles</b>	Suelos con horizontes B ártico, baja capacidad de cambio y alto contenido de arcillas (10, 15).
<b>Ferrasoles</b>	Suelos con arcillas ricas en sesquióxidos (10, 13, 15).
<b>Histosoles</b>	Suelos orgánicos (17).
<b>Leptosoles</b>	Suelos delgados, desarrollados sobre un sustrato rocoso coherente, silíceo (antiguos rankers. Ahora Leptosoles úmbricos), calizo (antiguas redsinas, ahora leptosoles réndricos) o de muy escaso desarrollo (antiguos litosoles, ahora Leptosoles líticos), (5, 6, 12, 14, 18).
<b>Calcisoles</b>	Suelos que presentan una marca acumulada de carbonato (11).
<b>Gypsisoles</b>	Suelos que presentan una marcada acumulación de yeso (11).
<b>Lixisoles</b>	Suelos con un horizonte B ártico, de muy baja actividad (1, 7, 8, 13)
<b>Plintosoles</b>	Suelos con material arcilloso abigarrado que endurece a la intemperie (1, 5, 6, 10).
<b>Antrosoles</b>	Suelos modificados o condicionados en su desarrollo por el hombre.

---

<b>Notas</b>	Cada grupo se compone de una o varias unidades de suelo, definidas según su carácter: álbico (1), ándico (2), calcárico (3), crómico (4), dístrico (5), éutrico (6), férrico (7), gleico (8), gípsico (9), húmico (10), lúvico (11), móllico (12), plíntico (13), réndrico (14), róxico (15), sóxico (16), tiónico (17), úmbrico (18), vértrico (19), vítrico (20), y otros.
--------------	--

---

Tomada de: Pedraza Gilsan, 1996 con datos de FAO (1991)

### **ANEXO 3.- POSIBLES EFECTOS PROVOCADOS POR LA ACTIVIDAD HUMANA SOBRE LOS CINCO FACTORES TÍPICOS DEL SUELO**

<b>Factores de formación</b>	<b>Tipo de efecto</b>	<b>Naturaleza del efecto</b>
<b>Climáticos</b>	<b>Beneficioso</b>	Adición de agua por riego, lluvia artificial, drenaje de agua, desviación de vientos, etc.
	<b>Perjudicial</b>	Exposición del suelo a la insolación excesiva, acción de heladas prolongadas, viento, etc.
<b>Organismos</b>	<b>Beneficioso</b>	Introducción y control de poblaciones de plantas y animales, aporte de materia orgánica incluyendo el estiércol, disgregación del suelo para admitir más oxígeno, dejar en barbecho, eliminación de patógenos por incendios controlados.
	<b>Perjudicial</b>	Eliminación de plantas y animales, reducción de la materia orgánica del suelo por incendios, arado, pastoreo excesivo, cosechado, etc.; aporte o desarrollo de patógenos, aporte de sustancias radioactivas.
<b>Topográficos</b>	<b>Beneficioso</b>	Control de la erosión mediante devastación de la superficie, formación de suelo y construcción de edificios; elevación del nivel del suelo por acumulación de material, nivelación de suelo.
	<b>Perjudicial</b>	Producción de hundimientos por drenaje de zonas húmedas y minería, aceleración de la aceleración; excavación.
<b>Material</b>	<b>Beneficioso</b>	Aporte de fertilizantes naturales, acumulación de conchas y restos, acumulación local de cenizas; eliminación de cantidades excesivas de sustancias como las sales.
	<b>Perjudicial</b>	Eliminación por cosechado de nutrientes vegetales y animales que son reemplazados por otros, aporte de materiales en cantidades tóxicas para las plantas o animales, alteración de los constituyentes del suelo de forma que se reduce el crecimiento de las plantas.
<b>Tiempo</b>	<b>Beneficioso</b>	Rejuvenecimiento del suelo mediante aporte de materia original o mediante exposición al material

---

	original por procesos de erosión, recuperación de terreno a partir de terrenos subacuaticos.
<b>Perjudicial</b>	Degradación del suelo por eliminación acelerada de nutrientes y de la cubierta vegetal.

---

Tomado de: Goudie (1984)



## **ANEXO 4.- EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

<b>Factor de suelo</b>	<b>Cambio benéfico</b>	<b>Cambio neutro</b>	<b>Cambio adverso</b>
<b>Características químicas del suelo</b>	Fertilizantes minerales (aumento de la fertilidad)	Alteración del equilibrio de intercambio de iones	Desequilibrio químico
	Adición de elementos traza	Alteración del pH (Cal)	Herbicidas tóxicos o no salinización
	Desalinización (riego)	Alteración a través de cambios en la vegetación	Eliminación excesiva de nutrientes
	Aumento de la oxidación (aireación)		
<b>Características físicas del suelo</b>	Inducción de estructura en pedazos (cal- hierba)	Alteración de la estructura (arado, escarificación)	Compactación con trailla (estructura pobre)
	Mantenimiento de la textura (fertilizante orgánico o acondicionador).	Alteración del microclima del suelo (cubierta orgánica, plantaciones cortavientos, calentamiento, cambio del albedo)	Estructura adversa debido a cambios químicos (sales)
	Arado en profundidad, después del humedecimiento del suelo (riego o drenaje)		Eliminación de vegetación perenne.
<b>Organismos del suelo</b>	Fertilización orgánica del aumento de pH.	Alteración de la vegetación y microclima del suelo	Eliminación de vegetación y arado (lombrices pequeñas, y microorganismos)
	Drenaje/humedecimiento, aireación		Patógenos (por ejemplo Lodos)  Productos químicos tóxicos.

---

<b>Tiempo (velocidad cambio)</b>	<b>de</b>	Rejuvenecimiento (arado en profundidad, adición de suelo nuevo, recuperación del terreno)	Erosión acelerada
			Utilización excesiva de nutrientes
			Urbanización del terreno

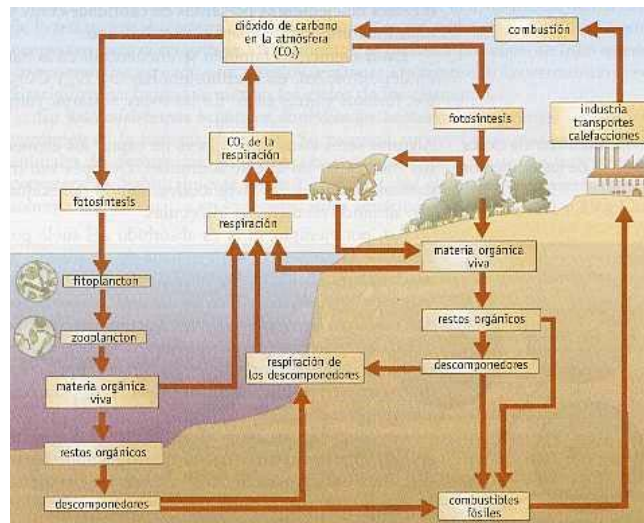
---

---

Tomado de: Drew (1983)

## ANEXO 5.- CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DE LOS NUTRIENTES

Entre los nutrientes más importantes está el carbono (figura 39), que forma parte de los compuestos orgánicos y está implicado en la fabricación de energía por fotosíntesis. Las fuentes del carbono presente en los organismos vivos y en los depósitos fósiles son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico y el que se encuentra disuelto en el agua.



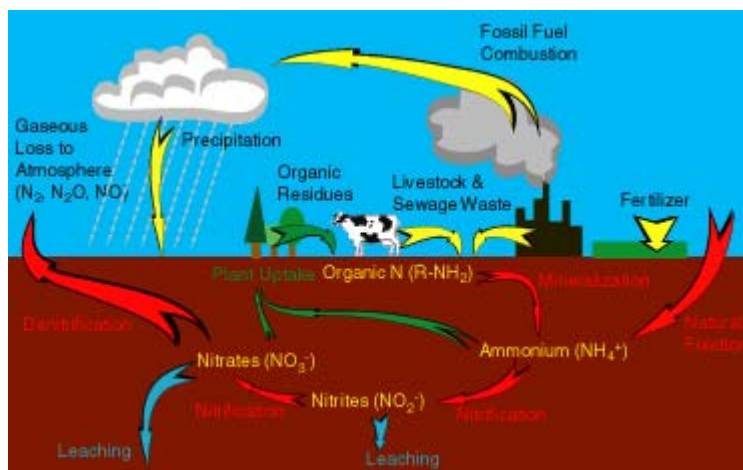
**Figura 39.- Ciclo del Carbono**

Tomado de: TECNUN (2007)

El carbono presente en tejidos de animales y plantas pasa finalmente al reservorio de materia orgánica muerta, y posteriormente los descomponedores lo liberan a la atmósfera mediante respiración. La tasa a la cual el carbono circula a través del ecosistema es determinada por procesos de productividad primaria y descomposición (Smith y Smith, 2001).

El nitrógeno es otro de los nutrientes esenciales como constituyentes de las proteínas, es un elemento básico en todos los tejidos vivos, y es el mayor componente atmosférico (79%); el nitrógeno molecular es fijado a través de reacciones químicas de alta energía donde intervienen radiación cósmica o acción bacteriana, siendo de esta última de donde se

obtiene cerca del 90% del nitrógeno molecular. Otra fuente de nitrógeno es la materia orgánica muerta y en descomposición, libera nitrógeno al ecosistema en forma de amoniaco (amonificación) y es el punto de arranque de otras fases del ciclo del nitrógeno (figura 40): los procesos de nitrificación y desnitrificación (Curtis 1999).



**Figura 40.- Ciclo del Nitrógeno**

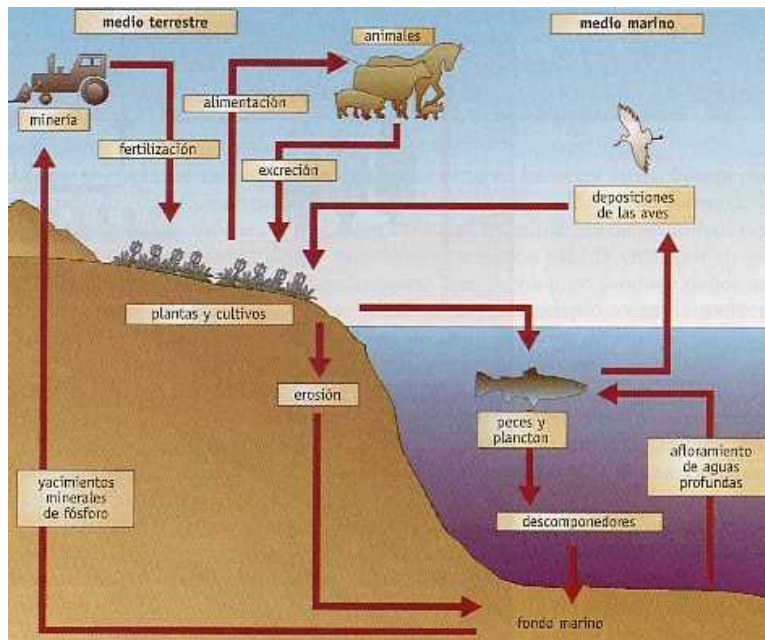
Tomado de: Visionlearning (2007)

Cualquier alteración en los ciclos naturales implica disturbios, siendo las actividades humanas responsables de muchas de ellas; un ejemplo es el nitrógeno usado en actividades agrícolas, los nitritos pueden estar presentes en los cuerpos de agua como consecuencia del uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos; por otro lado el amonio, incluyendo formas ionizadas ( $\text{NH}_4^+$ ) y no ionizadas ( $\text{NH}_3$ ), se encuentra en el ambiente como resultado de procesos metabólicos de los organismos vivos, de la agricultura y algunos procesos industriales, además de ser un indicador de contaminación bacteriana de aguas residuales y desechos animales (OMS, 2004).

Continuando con la revisión de los principales nutrientes dentro de un ecosistema es necesario hablar del fósforo, cuyo reservorio principal son las rocas y los depósitos de fosfatos, y es liberado por lixiviación, erosión y extracción minera para usos agrícolas; el fósforo pasa a través de los ecosistemas terrestres y acuáticos por medio de la cadena

alimenticia y regresa al agua y al suelo por excreción, muerte y descomposición de los organismos (figura 41).

En los ecosistemas terrestres los fosfatos orgánicos, que no pueden ser degradados por plantas, son transformados por bacterias en fosfatos inorgánicos, mientras que en ecosistemas acuáticos, el fósforo circula a través de tres estados: fósforo orgánico particulado, fosfatos orgánicos disueltos y fosfatos inorgánicos; los fosfatos orgánicos son los de más fácil asimilación por los organismos (Clark, 1978).



**Figura 41.- Ciclo del Fósforo**

Tomado de: TECNUN (2007)

Específicamente, los fosfatos no son considerados propiamente como contaminantes, sin embargo los desechos de fertilizantes y detergentes en las aguas son cada vez mayores, afectando de manera importante la actividad biológica en ríos y lagos. El problema radica en que los fosfatos son de los nutrientes más importantes para el crecimiento vegetal y su presencia excesiva en las aguas de desecho domésticas puede fomentar los procesos biológicos

más allá de los límites de rapidez deseable, causando fenómenos de Eutrofización (Sienko y Plane, 1986).

Contreras (1994) refiere que existe una relación constante de 15:1 entre los átomos de nitrógeno y fósforo en los cuerpos acuáticos, diferente en agua de mar y en agua dulce. El agua de mar tiene una baja proporción N:P lo que indica que el nutriente limitante es el fósforo; una alta proporción N:P involucra limitación por parte del nitrógeno, evento que sucede en aguas dulces, a consecuencia de esta limitación se da un aumento considerable de fósforo en los cuerpos de agua lo que favorece el crecimiento de las poblaciones y productores primarios, que puede derivar en un fenómeno de eutrofización antropogénica.

## **ANEXO 6.- CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA**

El Instituto Nacional de Ecología (INE) tomando en cuenta los niveles de los parámetros, sustancias y propiedades como son color, olor o sabor y potencial de hidrógeno, califica a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, uso pecuario, uso en acuacultura, o bien, para el desarrollo y la conservación de la vida acuática, en la norma CE-CCA-001/89:

*Calidad para la protección de la vida de agua dulce:* Grado de calidad del agua, requerido para mantener las interacciones e interrelaciones de los organismos vivos, de acuerdo al equilibrio natural de los ecosistemas de agua dulce continental.

*Calidad para la protección de la vida de agua marina:* Grado de calidad del agua requerido para mantener las interacciones e interrelaciones de los organismos vivos, de acuerdo al equilibrio natural de los ecosistemas de agua marina.

*Calidad para uso en la acuacultura:* Grado de calidad del agua requerido para las prácticas acuaculturales que garantiza el óptimo crecimiento y desarrollo de las especies cultivadas, así como para proteger su calidad para el consumo humano.

*Calidad para riego agrícola:* Grado de calidad del agua requerido para llevar a cabo prácticas de riego sin restricción de tipos de cultivo, tipos de suelo y métodos de riego.

*Calidad para uso como fuente de abastecimiento de agua potable:* Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo humano,

debiendo ser sometido a tratamiento, cuando no se ajuste a las disposiciones sanitarias sobre agua potable.

*Calidad para uso pecuario:* Grado de calidad del agua requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo por los animales domésticos, que garantiza la protección de su salud y la calidad de los productos para consumo humano.

*Calidad para uso recreativo con contacto primario:* Grado de calidad del agua requerido para ser utilizada en actividades de esparcimiento, que garantiza la protección de la salud humana por contacto directo.

*Cuerpo de agua:* Los lagos; lagunas; acuíferos; ríos y sus afluentes directos o indirectos, permanentes o intermitentes, presas, embalses, cenotes, manantiales, litorales, estuarios, esteros, marismas y en general las zonas marinas mexicanas.

*Fuente de abastecimiento de agua potable:* Todo cuerpo de agua que es o puede ser utilizado para proveer agua para consumo humano.



## **ANEXO 7.- TIPOS DE USO DEL AGUA, SEGÚN CNA**

La Comisión Nacional del Agua (2004) distingue los siguientes tipos de agua según su uso:

**Uso consuntivo:** Es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua.

*Uso agropecuario:* En este rubro se incluyen los usos agrícola, pecuario, acuacultura y otros definidos en el artículo 2 del reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Cabe aclarar que los usos pecuario, acuacultura y otros sólo representan el 6.3% del volumen de agua empleado en este rubro.

*Uso para abastecimiento público:* En este rubro se incluyen los usos público urbano y doméstico definidos en el artículo 2 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. El uso doméstico sólo representa el 0.4 % del volumen de agua empleado, en este rubro se incluyen todas las industrias y servicios que toman agua de las redes municipales de agua potable.

*Uso para industria autoabastecida:* En este rubro se incluyen los usos industrial, agroindustria, servicios y generación de energía eléctrica (excepto hidroeléctricas) definidos conforme al Artículo 2 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, así como el uso en comercios definido en el Registro Público de Derechos de Agua.

**Uso no consuntivo:** El agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, como es el caso de las centrales Hidroeléctricas.

## **ANEXO 8.- RESPONSABILIDADES Y FUNCIONES DE LA CNA, EN MATERIA DE GESTIÓN DEL AGUA**

La ley de aguas nacionales también define en los artículos 6, 9, 13 y 13 BIS que el ejecutivo federal será el responsable de reglamentar las extracciones, uso, explotación y aprovechamiento por cuenca hidrológica, de las aguas subterráneas al tiempo que faculta a “la Comisión” (Comisión Nacional del Agua) como un órgano desconcentrado de “la Secretaría” (SEMARNAT) para realizar la gestión integrada de los recursos hídricos del país, para ello se organizará de dos maneras:

a) **A nivel nacional.-** donde sus principales atribuciones son:

- Fungir como autoridad en materia de calidad y cantidad del agua y su gestión en el país.
- Formular la política hídrica nacional, proponerla y evaluarla periódicamente.
- Integrar, formular y proponer el programa nacional hídrico, actualizarlo y vigilar su cumplimiento
- Atender los asuntos y proyectos estratégicos, y de seguridad nacional en materia hídrica.
- Formular y aplicar lineamientos técnicos y administrativos para jerarquizar inversiones en obras públicas federales de infraestructura hídrica.
- Programar, estudiar, construir, operar, conservar y mantener las obras hidráulicas federales para el aprovechamiento integral del agua, su regulación, su control y la preservación de su cantidad y calidad.

- Fomentar y apoyar los servicios públicos urbanos y rurales de agua potable, alcantarillado, saneamiento, recirculación y reúso en el territorio nacional de manera coordinada con los gobiernos estatales y los municipios.
- Fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado, saneamiento, tratamiento y reúso de aguas, los de riego o drenaje, los de control de avenidas y protección contra inundaciones.
- Regular los servicios de riego en distritos y unidades de riego en el territorio nacional de manera coordinada con los organismos de cuenca.
- Administrar y custodiar las aguas nacionales.
- Establecer las prioridades nacionales de administración y gestión de las aguas nacionales y de los bienes nacionales.
- Acreditar, promover y apoyar la organización y participación de los usuarios en el ámbito nacional, apoyarse en lo conducente en los gobiernos estatales para la realizar lo propio en los estados.
- Expedir títulos de concesión del recurso y la asignación o permisos de descarga.
- Promover en el ámbito nacional el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases de su ciclo, así como impulsar el desarrollo de una cultura del agua que considere a este elemento como recurso vital.
- Proponer a “la Secretaría” las normas oficiales mexicanas en materia hídrica.

b) **A nivel regional hidrológico-** administrativo a través de los Consejos de Cuenca. Estos deberán estar integrados por un presidente, un secretario técnico y vocales con voz y voto que representen a los tres órdenes de gobierno, usuarios del agua y organizaciones civiles, y sus principales responsabilidades serán:

- Contribuir a la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca hidrológica, así como contribuir a restablecer o mantener el equilibrio entre la disponibilidad y aprovechamiento de los recursos hídricos considerando los diversos usos y usuarios.
- Concertar las prioridades de uso del agua.
- Conocer y difundir los lineamientos generales de política hídrica nacional, regional y por cuenca, proponer aquellos que reflejen la realidad del desarrollo hídrico a corto, mediano y largo plazo.
- Participar en la formulación de los programas de gestión del agua de la cuenca de acuerdo con los criterios generales de la programación hídrica nacional.
- Promover la participación de las autoridades estatales y municipales, y asegurar la instrumentación de los mecanismos de participación de los usuarios de la cuenca y las organizaciones civiles.
- Promover la coordinación de inversiones en materia hídrica y apoyar las gestiones necesarias para apoyar acciones previstas en la programación hídrica.
- Participar en el análisis de los estudios técnicos relativos a la disponibilidad y uso del agua, el mejoramiento y conservación de su calidad, y la de los ecosistemas vitales vinculados con está, la adopción de los criterios para seleccionar los proyectos y obras hidráulicas que se lleven a cabo en la cuenca.
- Contribuir al saneamiento de las cuencas, subcuencas, microcuencas, acuíferos y cuerpos receptores de aguas residuales para prevenir, detener o corregir su contaminación.
- Contribuir a la valoración económica, ambiental y social del agua.
- Apoyar los programas de usuario del agua-pagador y de contaminador-pagador; impulsar las acciones derivadas del establecimiento de zonas de veda, de zonas reglamentadas y de zonas de reserva, y fomentar la reparación del daño ambiental en materia de recursos hídricos y de ecosistemas vitales en riesgo.

- Apoyar el financiamiento de la gestión regional del agua y la preservación de los recursos de la cuenca incluyendo ecosistemas vitales.
- Impulsar el uso eficiente y sustentable así como el reúso y la recirculación de las aguas.

Colaborar con “la Comisión” en la prevención, conciliación, arbitraje, mitigación y solución de conflictos en materia del agua y su gestión. Así como en la vigilancia del aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas.