



**UNIVERSIDAD MICHOACANA SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“Evolución de algunos parámetros de la calidad del agua
en un tramo del río Cupatitzio”

TESIS

Para obtener el título de ingeniero civil

PRESENTA:

ITZEL LUVIANO SOTO

ASESOR:

Dr. Ezequiel García Rodríguez

MORELIA, MICHOACÁN, MAYO 2013



AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Le agradezco a Dios que siempre me ha protegido, gracias por ser mi fortaleza en momentos de debilidad, por su amor, por mi salud y por el poder estar aquí.

A MIS PADRES

Gracias a **MA. ISABEL SOTO GARDUÑO** y a **JUAN LUVIANO AGUIRRE**, por darme la vida, guiarme en el camino por haber confiado en mí, son ustedes los que siempre me han ayudado a levantarme, les agradezco todo el esfuerzo y sacrificio que han tenido que pasar para que yo pueda realizar este sueño, por ellos soy quien ahora soy, son mi mayor bendición, los amo.

A MIS HERMANOS

Por ser parte importante de mi vida y estar en los momentos más adversos que he tenido que pasar, gracias por ser una fuente de apoyo. Le agradezco a **Argelia** el guiarme con su ejemplo profesional, a **Bryan, Litzia** y **Jerzain** por llenar mi vida de alegrías y de amor.

A MI ASESOR

Gracias a Doctor Ezequiel García Rodríguez, por su tiempo, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar esta tesis profesional y de crecer profesionalmente.

A MIS AMIGOS

Le agradezco a todos mis amigos por creer y confiar en mí, por haber hecho todas las etapas de mi vida un trayecto de vivencias que no olvidaré, gracias a mis amigos especialmente a **Ma. Guadalupe** y a **Fatima** que siempre me han animado en los peores momentos, gracias a la familia **Boyzo Correa** por su apoyo.

A MIS MAESTROS

A todos los maestros que me han impartido clases, por haber sido una guía y haberme corregido cuando lo necesitaba.

A MI PUEBLO

A toda la comunidad de Poturo, la que siempre me ha enseñado con el ejemplo, tantos valores, especialmente la humildad.

1.-INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.-Distribución del agua en la Naturaleza.....	2
1.2.- Usos Del Agua.....	4
1.3.- La importancia de la calidad del agua.....	5
2.- ANTECEDENTES.....	7
3.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	9
3.1.-Justificación.....	10
3.2.- Objetivo.....	11
4.- METODOLOGÍA.....	12
4.1.-Descripción fisiográfica de la zona de estudio.....	12
4.1.1.-Localización.....	12
4.1.2.- Fisiográfica.....	16
4.1.3.- Climatología.....	17
4.1.4.- Suelo.....	17
4.1.5.-Uso de suelo.....	18
4.1.6.-Flora.....	19
4.1.7.-Fauna Silvestre.....	20
4.2.-Caracterización socioeconómica de la cuenca.....	22
4.2.1.- Población.....	22
4.2.2.-Economía.....	22
4.2.3.- Contaminación del agua en los ríos.....	23
4.2.3.1.- Contaminantes químicos.....	23
4.2.3.2.-Contaminantes físicos.....	24
4.2.3.3.-Contaminantes biológicos.....	24
4.2.4.-Principales agentes contaminantes de los ríos.....	25
4.3.-Parámetros de calidad del agua.....	26
4.3.1.- Oxígeno disuelto.....	26
4.3.2.- Demanda química de oxígeno.....	27
4.3.3.- Demanda bioquímica de oxígeno.....	28
4.3.4.-Temperatura del agua.....	30
4.3.5.-Salinidad.....	31
4.3.6.- Turbidez.....	32
4.3.7.- Sólidos sedimentables.....	32
4.3.8.- Sólidos disueltos totales.....	33
4.3.9.- Sólidos suspendidos totales.....	33
4.3.10.- Grasas y Aceites.....	34
4.3.11.-Coliformes Fecales.....	35
4.4.- Procedimiento.....	35
4.4.1.- Generación de información georeferenciada.....	37
4.4.2.- Selección de puntos de muestreo.....	39
4.4.3.-Obtención de muestras.....	50

4.4.4.-Análisis de muestras	51
4.4.5.- Elaboración de Mapas de evolución de parámetros contaminantes. ...	52
5.-RESULTADOS	54
5.1.- Oxígeno Disuelto	55
5.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno	59
5.3.- Demanda química de Oxígeno.....	62
5.4.- Potencial Hidrógeno	63
5.5.- Sólidos Suspendidos totales	64
5.6.- Sólidos Sedimentables	68
5.7.- Grasas y Aceites	71
5.8.- Coliformes Fecales	74
5.9.- Comparación de los resultados de 1993 y 2010.....	77
5.9.1.- Oxígeno Disuelto	78
5.9.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	79
5.9.3.- Demanda química de Oxígeno.....	81
5.9.4.- Potencial Hidrógeno	81
5.9.5.- Sólidos Suspendidos totales	83
5.9.6.- Sólidos Sedimentables	85
5.9.7.- Grasas y Aceites	85
5.9.8.-Coliformes Fecales	87
5.10.- Diagnostico de la calidad de agua para distintos usos.....	89
6.- CONCLUSIONES.....	90
6.1.- Recomendaciones.	92
7.-Bibliografía	93

1.-INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia más importante para la supervivencia, ya que se utiliza día a día como bebida, en la preparación de alimentos, y en la generación de energía, etc. El ser humano la usa para el desarrollo de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas y pecuarias, entre otras, y si bien esta sustancia es indispensable para la vida humana, también lo es para todas las especies que habitan la Tierra, es decir la flora y la fauna, sin las cuales, y principalmente sin el agua, evidente la humanidad no existiría.

A través del tiempo, el hombre ha buscado satisfacer sus necesidades de la mejor manera posible, y en este proceso ha logrado avances tecnológico, industriales y médicos, sin embargo, también se han generado graves problemas relacionados con la contaminación de los recursos naturales, tales como el agua.

Durante los últimos años se han sido más notorios los cambios negativos sobre el medio ambiente y las repercusiones que han causado ya son evidentes en nuestro planeta; tal es el caso de la excesiva contaminación y escases del agua. Si bien, el agua es la sustancia más abundante en nuestro planeta, puesto ya que existen tres cuartas partes de mismo constituidas por agua, ya sea en fase sólida, líquida o gaseosa; sin embargo, de esta cantidad de agua, la disponible como agua dulce para el desarrollo de las actividades del ser humano es muy poca (*i.e.* 2.5%).

El agua superficial, por consecuencia, es la fuente principal del abastecimiento del agua alrededor del mundo, en especial los ríos, ya entorno a los recursos de los mismos se realizan diversas actividades como la ganadería, la pesca, la agricultura, e inclusive, actividades industriales y, incluido el uso de agua para consumo humano, destacando los usos para consumo humano y para la agricultura como los más importantes.

Uno de las actividades de la explotación de recursos hídricos que es indispensable para las necesidades humanas la pesca, ya que es una fuente de alimento, y esta

actividad ha sido alcanzada por los efectos de la contaminación, ya que en diversos ríos se ha disminuido notablemente la vida acuática, causada por agentes contaminantes, he aquí la importancia de la evaluación de ciertos parámetros de contaminación como lo es el oxígeno disuelto y la demanda biológica de oxígeno que imperan la vida acuática.

El río Cupatitzio es uno de los casos de los que se aprovechan los recursos hídricos para satisfacer las necesidades de la región, fungiendo como una fuente de vida y desarrollo económico en la zona, particularmente para el municipio de Uruapan y la región de Tierra Caliente en materia de abastecimiento de agua para uso agrícola, así como en materia de pesca, además de ser un río único por su belleza y riqueza natural.

El río Cupatitzio nace en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, en la parte noreste de Uruapan, y a lo largo de la ciudad recibe descargas de aguas residuales que lo contaminan, reduciendo la calidad del agua. Es por esto y por la importancia que tiene la pesca y la vida acuática presente en este río, que es indispensable caracterizar sus aguas mediante algunos parámetros que permitan evaluar su estado y, por lo tanto, que se cuente con la información necesaria para que se realicen las acciones para sanear las aguas del río mencionado.

1.1.-Distribución del agua en la Naturaleza.

La mayor parte de agua que existe en la naturaleza (*i.e.* el 97.5%), es agua salada almacenada en océanos y algunos lagos. Sólo el 2.5% restante es el agua dulce que se encuentra almacenada en casquetes y glaciares, ríos, lagos, biomasa y atmosfera en forma de vapor.

El agua dulce se raparte en la hidrosfera como se muestra en el cuadro 1.1 y la figura 1.1.

Cuadro 1.1 Distribución del agua en la tierra (Martínez Alfaro *et al*, 2006).

Glaciares y casquetes polares	68.70%
Aguas subterráneas dulces	30.10%
Lagos de agua dulce	0.26%
Ríos	0.006%
Biomasa	0.003
Vapor en la atmósfera	0.04%
Ciénagas y suelo	0.891%

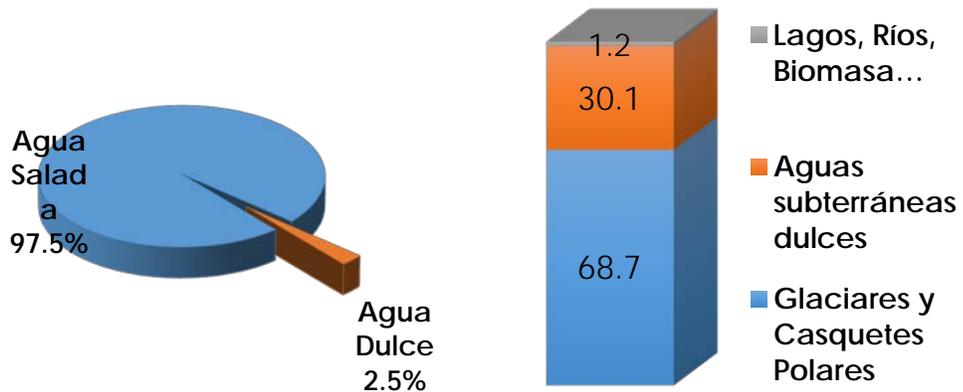


Figura 1.1 Distribución del agua en la Tierra (Martínez Alfaro *et al*, 2006).

El volumen de agua dulce en la naturaleza es, pues, muy inferior al del agua salada. Además, la mayor parte del agua dulce se encuentra congelada en glaciares y casquetes polares por lo que el volumen de agua dulce disponible es aún menor.

1.2.- Usos Del Agua

El agua en sus diversas formas, se emplea en prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para beber y para producir bienes y servicios, entre otras.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2010), el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), tiene registrados los volúmenes concesionados a los usuarios de aguas nacionales. En dicho registro se tiene clasificados los usos del agua en 12 rubros, mismo que para fines prácticos se han agrupado en 5 grupos, cuatro de ellos corresponden a usos consuntivos, es decir el agrícola, el abastecimiento público, industrial autoabastecida y las termoeléctricas, y por último el hidroeléctrico que se contabiliza como uso no consuntivo.

En el cuadro 1.1 se muestra el porcentaje de uso consuntivo, según del tipo de fuente de extracción (miles de millones de metros cúbicos, km³).

Cuadro 1.2 Porcentaje de uso de agua en México en actividades consuntivas (CONAGUA, 2010).

Uso	Origen		Volumen Total	Porcentaje de extracción
	Superficial	Subterráneo		
Agrícola ^a	40.7	20.5	61.2	76.9
Abastecimiento Público ^b	4.2	7.0	11.2	14.1
Industria autoabastecida ^c	1.6	1.6	3.2	4.0
Termoeléctricas	3.6	0.4	4.0	5.0
Total	50.1	29.5	79.6	100.0

Nota: 1 km³ a 1000 hm³ a mil millones de m³

Los datos corresponden a volúmenes concesionados al 31 de diciembre de 2008

*Incluye los rubros agrícolas, pecuarios, acuacultura y otros de la clasificación REPGA

^a Distintos riegos pendientes de inscripción

^b Incluye los rubros público, urbano y doméstico de la clasificación del REPGA

^c incluye los rubros industrial, agroindustrial y comercio de la clasificación del REPGA

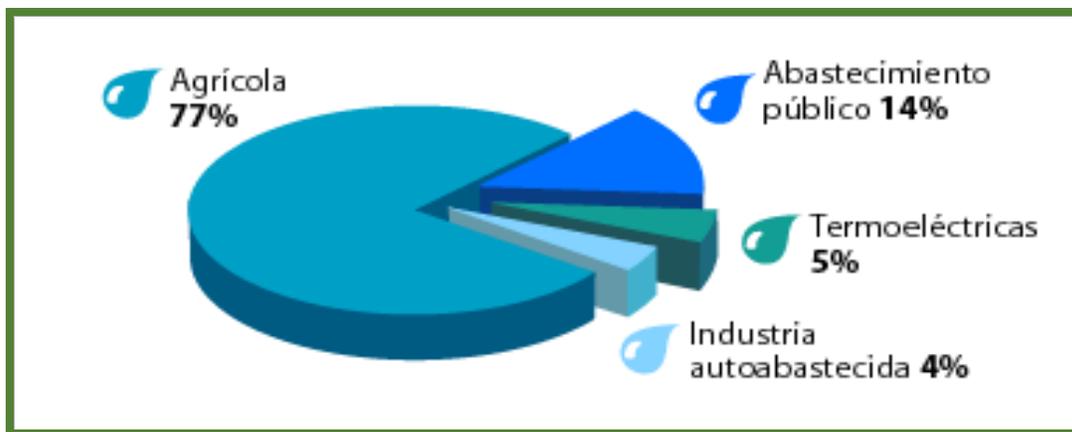


Figura 1.2 Distribución del consumo del agua en usos consuntivos en México (CONAGUA, 2010).

El uso agrícola se define como el agua que se utiliza para el riego de cultivos, el de abastecimiento público es el correspondiente al agua que se distribuye a través de las redes de agua potable (domicilos, industrias y, en general, a quienes estén conectados dichas redes), el uso de agua para industria abastecida son todas aquellas empresas que toman el agua directamente de los ríos, arroyos, lagos y acuíferos del país, y finalmente el uso de agua para las termoeléctricas la que se utiliza para producir electricidad.

En lo que respecta a centrales hidroeléctricas, que representan uso no consuntivo del recurso, se utilizaron en el país 150.7 miles de millones metros cúbicos de agua en el 2008. (CONAGUA, 2010)

1.3.- La importancia de la calidad del agua

La contaminación de las aguas superficiales es un problema para la salud de todos los seres vivos que habitan en las diferentes zonas geográficas. La mayoría de las actividades diarias del ser humano dependen del agua y, por tanto, deberíamos de considerarla como un recurso estratégico cuya conservación es indispensable para el presente y el futuro.

Los ecosistemas acuáticos han sufrido los impactos causados por la actividad humana en las últimas décadas, porque los desechos industriales y domésticos de las poblaciones humanas en crecimiento, y actividades en general, tienen como destino final los ríos. Los ecosistemas acuáticos han sido empleados desde la antigüedad por los humanos como fuente de recursos y para la eliminación de residuos, lo cual ha producido una degradación histórica de los cuerpos de agua superficiales.

Es importante señalar que los cuerpos de agua: ríos, lagos, lagunas, etc., que se constituyen como suministros naturales de agua, no cuentan, generalmente, con agua potable. Por ello es necesario determinar la calidad de un agua, es un término de las condiciones en que se encuentra con respecto a las características físicas, químicas y biológicas que debe tener para su utilización en determinado uso, es decir, se puede utilizar el agua con cierto contenido de contaminantes para ciertas actividades y este contenido de contaminantes varía de acuerdo al uso que se le da al agua.

En este contexto, se considera que el agua tiene buena calidad para consumo humano, cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de enfermedades que afectan a los seres humanos.

Sin embargo, es muy difícil encontrar agua libre en su totalidad de sustancias contaminantes y microorganismos, por lo que existen normas que fijan los valores máximos permitidos para las concentraciones de ciertos constituyentes, a los que se les conoce como límites máximos permisibles, los cuales varían, como ya se mencionó, dependiendo del usos que se le dará al agua.

Los parámetros físicos, químicos y biológicos son aquellos que permiten evaluar si un agua es apta para ser destinada a ciertos usos y conocer los cambios que estos pueden provocar en su calidad. Los parámetros físicos definen características del agua que responden a los sentidos del tacto, el gusto, el olfato; los parámetros biológicos se refieren a la ausencia o presencia de los microorganismos.

2.- ANTECEDENTES

La importancia del monitoreo constante de la calidad de las aguas fluviales radica en la vulnerabilidad a la contaminación de los recursos hídricos de los cuerpos de agua superficiales.

Las fuentes de agua se contaminan rápidamente pero, al mismo tiempo, son relativamente fáciles de limpiar cuando existe la voluntad social de hacerlo, por ello se presentan tesis que justifican la importancia de los parámetros en estudio en caso de las aguas fluviales y, particularmente del río Cupatitzio.

Dada la importancia de conocer la calidad de las aguas de los ríos en particular y de los cuerpos de agua en general, se han realizado diferentes trabajos relacionados con este fin. En el caso del río Cupatitzio existen algunas publicaciones, las cuales se mencionan a continuación.

En la tesis denominada “Evaluación de calidad del agua en el río Cupatitzio” (Garfias Chávez, 1993) se da a conocer la variación en espacio y tiempo de las principales características fisicoquímicas del agua del río Cupatitzio, además se identifica los niveles de contaminación bacteriológico mediante la presencia de los coliformes totales y fecales. En el mismo trabajo se calculan los índices de calidad del agua a lo largo de la corriente y se determinan las posibilidades de uso en función de las características que ésta tenga. En la tesis, las concentraciones encontradas para distintos parámetros como DBO, coliformes totales y fecales, grasas y aceites, revelaron que en 1993, se tienen las condiciones más severas de deterioro pues se acumulan los efectos adversos altamente significativos de las intensas actividades humanas que tienen lugar en los poblados de la parte alta de la cuenca del Cupatitzio. En el mismo trabajo se divide la cuenca en 3 zonas: *zona de degradación*, caracterizada por las incorporación de grandes cantidades de compuestos orgánicos a través de las numerosas descargas residuales, incrementando la DBO y coliformes totales y fecales así como la disminución de oxígeno; *zona de descomposición*, que tiene una caída progresiva tanto de las cargas orgánicas medidas como función de DBO, como en coliformes fecales,

así como el incremento significativo entre las concentraciones de oxígeno y, *la zona de recuperación*, en la que se tiene una estabilización de la DBO y las coliformes en valores relativamente bajos, así como un incremento del oxígeno disuelto. Cabe señalar que en la fecha de la publicación de esta tesis aún no se contaba con planta de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de Uruapan.

En la tesis denominada “Estudio y Manejo Hidrológico de La Cuenca Río Cupatitzio” (Morales Prieto, 2007) se generan, analizan y estudian los datos hidrogeológicos de la cuenca del río Cupatitzio, cuya finalidad es contar con estudios de calidad del agua actualizado de este río, para poder llevar a cabo una evaluación de la degradación o mejoramiento como resultado de las acciones efectuadas dentro de la cuenca. El resultado de este proyecto es que al igual que la calidad, la cantidad de agua se ha visto disminuida considerablemente debido a la deforestación de grandes superficies en la parte alta de las cuencas, ya que las extracciones son cada vez mayores para abastecimiento público urbano.

En el documento denominado “Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cupatitzio”, se monitoreó el agua en 8 estaciones mediante la toma de muestras y la determinación de algunos parámetros de calidad del agua, y así poder hacer la propuesta del plan de gestión de recursos hídricos. Los sitios muestreados fueron los siguientes: E1.- Rodilla del Diablo, E2.- Aguas Abajo Del Parque Nacional, E3.- Aguas Abajo Del Arroyo Tarecho; E4.- Hidrométrica Cupatitzio; E5.- Tzaráracua; E6.- Presa Cupatitzio; E7.- Presa Jicalán; E8.- Puente Marqués.

Como resultado, que era de esperarse, se obtuvo que las mejores condiciones de calidad del agua se tienen en el manantial Rodilla del Diablo, aunque algunos parámetros muestran variaciones poco significativas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, después de la descarga del arroyo Tarecho, es donde se obtiene las peores condiciones de calidad del agua en todo el río.

Un parámetro más o menos alto que surgió en este estudio fue el de SAAM (detergentes), debido a la baja biodegradabilidad de sus constituyentes; otro fue la turbiedad, la cual tiene un gran incremento en la estación del Marqués; con respecto a los fosfatos y nitrogenadas, estos tienen sus máximos niveles en la hidrométrica Cupatitzio y la Tzaráracua, respectivamente.

3.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

3.1.-Justificación

Uruapan es una de las ciudades más grandes del estado de Michoacán, esta misma ciudad constituye una fuente esencial de ingresos para Michoacán por su dinámica comercial. Cabe mencionar que, por su gran producción de aguacate, es considerada como “La Capital Mundial del Aguacate”.

Además de la gran producción aguacatera, en Uruapan se encuentra el Parque Nacional Barranca de Cupatitzio en el cual la captación de aguas fluviales juegan un papel importante, pues en el parque se alimentan y recargan los mantos acuíferos que dan origen al río Cupatitzio, y éste constituye una fuente de riqueza, aportando beneficios directos e indirectos para los habitantes, ya que su agua se aprovecha para abastecer de agua potable a la ciudad de Uruapan y en la parte más baja de la subcuenta para generar energía eléctrica y regar campos de cultivo; siendo importante mencionar, también, su riqueza ecológica.

Sin embargo, a lo largo de los años, el río Cupatitzio ha sido severamente degradado por la contaminación, principalmente por las descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial.

Por lo antes mencionado, es preciso conocer y analizar los parámetros e indicadores que ayuden a determinar la calidad del agua del río Cupatitzio, ya que representa información básica para hacer las recomendaciones que permitan mejorar la gestión del cuerpo de agua y el recurso hídrico para sus diferentes usos, de tal manera que se implementen los planes correspondientes que permitan mejorar la calidad del agua para que la población relacionada viva en un ambiente saludable y se preserve la riqueza ecológica del mismo río.

3.2.- Objetivo

Conocer el comportamiento de algunos parámetros de la calidad del agua del río Cupatitzio, así como hacer el análisis correspondiente y recomendaciones necesarias para mejorar la gestión de las aguas de la corriente fluvial en el tramo situado en la zona urbana de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

4.- METODOLOGÍA

4.1.-Descripción fisiográfica de la zona de estudio

4.1.1.-Localización

México posee 314 cuencas hidrológicas en las cuales fluyen numerosos ríos y arroyos del país. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha agrupado tales cuencas en 37 regiones hidrológicas para hacer más eficaz la administración de los recursos hídricos, las que a su vez se agrupan en trece regiones mayores de tipo administrativo (Figura 4.1), de las cuales la región IV corresponde a la cuenca del río Balsas, la cual, a su vez, está dividida en tres regiones: bajo Balsas, medio Balsas y Alto balsas.



Figura 4.1 División de las trece cuencas hidrológicas-administrativas de México.

La cuenca del río Cupatitzio es parte de la cuenca del Balsas, en la que el río Cupatitzio se encuentra en la región bajo Balsas, localizada en el centro-occidente de Michoacán, teniendo como coordenadas geográficas 18° 38' 14" y 19° 45' 24" latitud

norte y $101^{\circ} 36' 15''$ y $102^{\circ} 17' 30''$ longitud oeste y se encuentra delimitada por las cuencas hidrológicas siguientes: al Norte cuenca del río Paracho y río Zirahuén; al sur por la cuenca Bajo Balsas; al oeste por la cuenca del Río Tepalcatepec y al Este por la cuenca de Tacámbaro (Figura 4.2).



Figura 4.2 División de la cuenca Río Balsas en sub cuencas.

La cuenca del Balsas está integrada por 15 municipios del estado de Michoacán, los cuales son: Ario de Rosales, Gabriel Zamora, La Huacana, Mújica, Nuevo Parangaricutiro, Nuevo Urecho, Paracho, Parácuaro, Salvador Escalante, Tacámbaro, Taretan, Tingambato, Turicato, Uruapan y Ziracuaretiro, abarcando un total de 2,851.73 km² o 285,173.23 has (Morales Prieto, 2007).

En el cuadro 4.1 se encuentra información relativa a la extensión territorial de los municipios dentro de la cuenca del río Cupatitzio.

Cuadro 4.1 Porcentaje territorial de la cuenca del Río Cupatitzio (Morales Prieto, 2007).

	Municipio	Superficie Total (Ha)	Superficie en la cuenca (Ha)	% respecto a la cuenca	% respecto al municipio
1	Uruapan	95,163.00	65,803.70	23.07	69.15
2	Gabriel Zamora	43,826.00	43,826.00	15.37	100.00
3	Ario	70,283.00	34,870.00	12.23	49.61
4	Nuevo Urecho	32,704.00	28,647.39	10.05	87.60
5	Salvador Escalante	49,400.00	21,025.73	7.37	42.56
6	Taretan	18,507.00	18,507.00	6.49	100.00
7	Ziracuaretiro	15,976.00	15,976.00	5.60	100.00
8	La Huacana	194,255.00	15,349.98	5.38	7.90
9	Mújica	37,881.00	13,561.88	4.76	35.80
10	Tingambato	18,870.00	13,540.53	4.75	71.76
	Nuevo				
11	Parangaricutiro	21,490.00	9,047.74	3.17	42.10
12	Parácuaro	50,528.00	4,110.64	1.44	8.14
13	Turicato	154,167.00	596.79	0.21	0.39
14	Tacámbaro	78,982.00	259.68	0.09	0.33
15	Paracho	24,282.00	50.17	0.02	0.21
	Sumatoria		285173.23	100.00	



Figura 4.3 Cuenca del Río Cupatitzio y división de municipios.

En el área del río Cupatitzio, en estudio, el grupo de manantiales más importantes está representado por los que afloran en el Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, conocidos con los nombres de: Riyitos, Rodilla del Diablo, Revelero, Yerbabuena y Gandarillas 1 y 2. Tal grupo de manantiales dan origen del río Cupatitzio, proporcionándole a su escurrimiento el carácter de permanente desde este sitio.

El área de estudio de este trabajo se localiza en el tramo del río Cupatitzio ubicado en la zona urbana de la ciudad de Uruapan, por lo que, para dar inicio a las actividades de esta tesis, se optó, para conocer el área de influencia de las descargas de contaminantes, por delimitar la subcuenca del río Cupatitzio a partir de la entrada de la presa del Cupatitzio, ubicada entre las coordenadas geográficas $19^{\circ}20'00''$ y $19^{\circ}35'42''$ de latitud norte y $101^{\circ}59'06''$ y $102^{\circ}13'10''$ de longitud oeste, como se muestra en la figura 4.4.

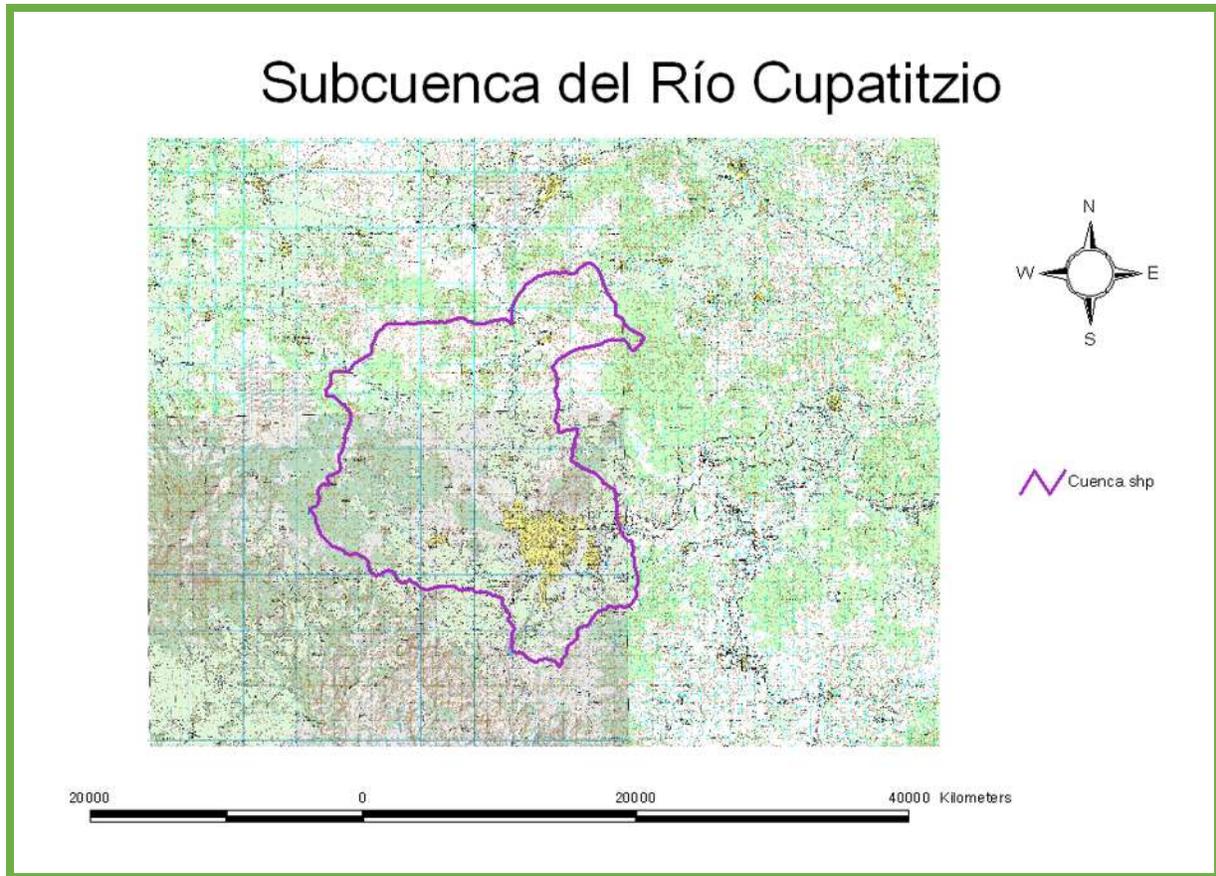


Figura 4.4 Subcuenca del Río Cupatitzio a partir de la entrada de la presa del Cupatitzio.

4.1.2.- Fisiográfica

En esta cuenca se presenta una fisiografía típica de zonas de sierra, en la que existen importante número de accidentes orográficos, aunque por formar parte de la transición hacia los valles de la zona de tierra cliente, existen planicies con pendientes regulares formadas por suelos productos del intemperismo de la roca que forma los cerros. Esta topografía accidentada es originada por la existencia de una gran cantidad de volcanes cuya altura varía entre los 3,600 y 1,800 msnm, como el Tancitaro y el Cerro Prieto. Hacia el suroeste del área se pueden apreciar una serie de mesetas con alturas que

varían entre los 1,400 msnm, cortadas por cañadas labradas por tributarios del Río Cupatitzio, principal escurrimiento superficial de la cuenca. (CONAGUA e.t.a.l.2006)

4.1.3.- Climatología

En la cuenca del río Cupatitzio se identifica una diversidad de climas debido a su extensión territorial. En la zona norte de la cuenca predomina el clima templado-húmedo-semifrío (Köppen) y en la Porción media y sur se definen los climas tipo seco, semiseco-semicálido, cálidos semihúmedos y cálidos subhúmedos, y las temperaturas medias anuales oscilan entre 14° y 28° C a lo largo de la cuenca.

El clima del municipio de Uruapan es uno de los más variados del estado de Michoacán pues se ve influenciado por las diferencias de altitud en el terreno. Existen cinco tipos diferentes de clima. La zona norte tiene un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano, en la zona central del municipio, la más elevada, tiene un clima Templado húmedo con abundantes lluvias en verano, en la misma zona central otro sector tiene clima semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, hacia el sur otra zona registra clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano y, finalmente, en el extremo sur del municipio el clima se clasifica como Cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual del territorio también se encuentra dividida en tres zonas, la zona norte del municipio tiene un rango de 12 a 16 C, la zona centro y sur tiene un promedio de entre 16 y 24 C, y finalmente dos porciones del extremo sur registran temperaturas comprendidas entre los 24 y 28 C.

4.1.4.- Suelo

Los principales tipos de suelos que se registran en la cuenca se han formado a partir del transporte y depósito de productos piroclásticos provenientes de aparatos volcánicos del periodo cuaternario, así como de la acción del transporte fluvial de arcillas lateríticas, predominando en superficie los suelos tipo Andosol, Litosol, Vertisol y Acrisol.

El tipo de suelo andosol ocupa de manera predominante amplias superficies en la parte alta de la cuenca, teniendo 29% del territorio total de la cuenca (CONAGUA *e.t.a.l.* 2006), originados a partir de cenizas volcánicas. En áreas bien definidas del extremo norte, sobre relieves montañosos en donde aún prevalece a escasa profundidad grandes afloramientos rocosos, es posible encontrar suelos someros de tipo litosol y regosol.

4.1.5.-Uso de suelo

El uso de suelo en la subcuenca del río Cupatitzio ha ido cambiando a lo largo del tiempo con el incremento de la población, sin embargo los usos de suelos que se tienen registrados actualmente, de acuerdo a los datos edafológicos del INEGI, son los que se muestran en la Figura 4.2.

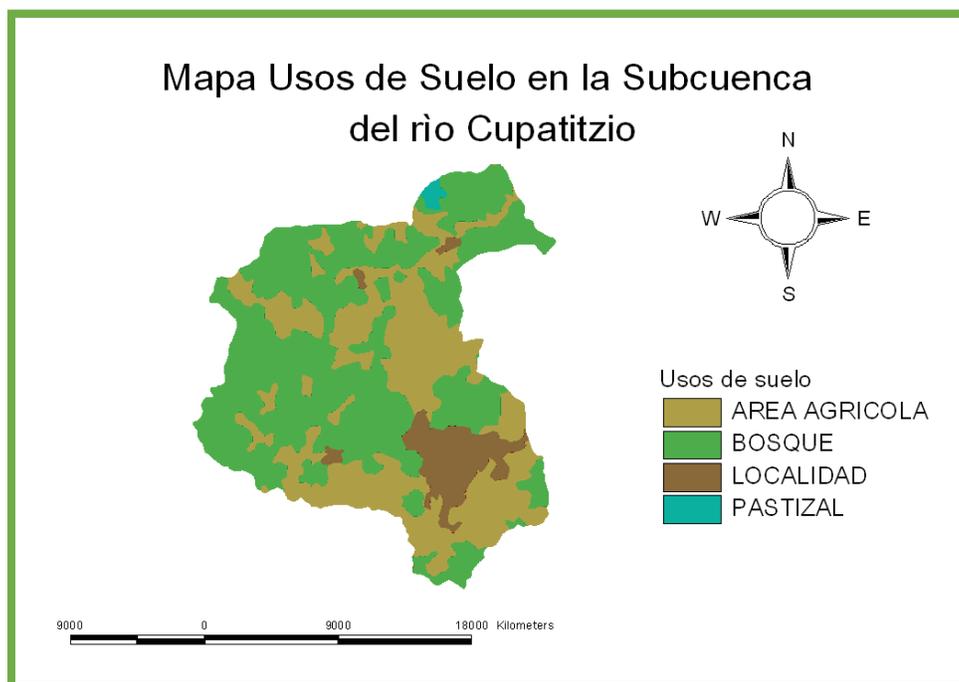


Figura 4.5 Uso de suelo de la subcuenca del río Cupatitzio.

Contando con los porcentajes de áreas que se muestran en el cuadro 4.2:

USOS DE SUELO	% DE ÁREA DE LA SUBCUENCA
BOSQUE	85.17
AGRICOLA	3.98
PASTIZAL	8.34
LOCALIDADES	2.51

Cuadro 4.2 Porcentajes de los diferentes usos de suelo en subcuenca río Cupatitzio.

En el uso de suelo, predomina la agricultura de temporal con cultivos anuales, así como una amplia superficie con bosque pino-encino. El riego agrícola destaca sobre todo en la parte media y baja de la cuenca. Sin embargo, en los últimos años se ha sustituido el bosque con uso agrícola destacando principalmente el cultivo del aguacate, maíz, mango, sorgo, avena, caña de azúcar y frijol.

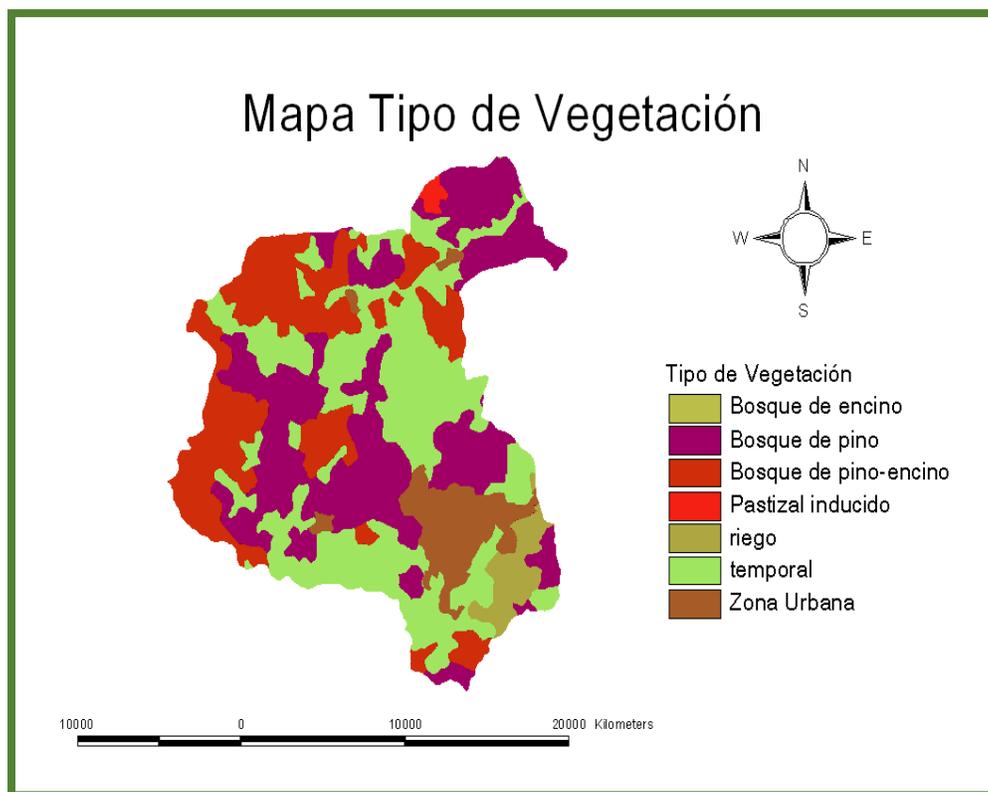
4.1.6.-Flora

Específicamente dentro de la cuenca del Cupatitzio, solo se ha reportado trabajos botánicos en la región boreal de la cuenca, por Bello y Madrigal (1996), Ontiveros (2000) y Chávez-León (2006). En estos estudios se han reportado en conjunto 495 especies nativas de plantas vasculares, de las cuales 435 son angiospermas, 50 son helechos y 10 son coníferas.

La cuenca del río Cupatitzio cuenta con gran superficie arbolada. De modo que la vegetación de la región se caracteriza por tener bosques de pino, encino, oyamel, relictos de bosque mesofólico de montaña, selva baja caducifolia y subcaducifolia, además de grandes extensiones de vegetación arbustiva, herbácea y pastizales (Morales Prieto, 2007).

De acuerdo con los datos edafológicos del INEGI, en la figura 4.3 se muestra de manera general, la vegetación predominante en la subcuenca del río Cupatitzio.

Figura 4.6 Tipo de vegetación de la subcuenca.



4.1.7.-Fauna Silvestre

Respecto a la fauna que se encuentra a lo largo de la cuenca del Cupatitzio se han registrado 69 especies de mamíferos en total, 4 de ellas en riesgo (FOMIX-Michoacán 2011).

En Uruapan, la diversidad animal se conforma principalmente por el coyote, el zorrillo, el venado, la zorra, el cacomiztle, la liebre, el tlacuache, el conejo, el pato, la torcaza y la chachalaca.

Sobre la fauna en el río Cupatitzio sólo se ha publicado el inventario Taxonómico de los mamíferos del Parque Nacional (FOMIX-Michoacán 2011), en el cual se publican 41 especies de éstos y dos roedores introducidos. Sin embargo, de Marzo a Julio del 2010 se encontraron 4 especies más (FOMIX-Michoacán 2011). Para la cuenca se generaron además registros de 16 especies no reportadas, 12 de estas tampoco registradas en el parque nacional, destacando para la cuenca 15 especies del Orden Quiróptera, y una especie para el orden Carnívora, la nutria de río neotropical (*Lutra longicaudis*). Se destaca al tigrillo -*Leopardus wiedii*, el cual se reporta en el Parque Nacional, registrándose además para la localidad cercana de “El Marqués”. En estatus de Amenazadas encontramos al murciélago *Leptonycteis curasoae*, y la nutria *Lutra longicaudis* la cual se registró en tres localidades de la Cuenca (Jucutacato, El Marqués, y Tequecarán) (FOMIX-Michoacán 2011).

La comunidad de las aves representa una gran importancia en el río Cupatitzio ya que en la subcuenca del río Cupatitzio se encuentra casi el 70% de las aves endémicas que se han reportado para el estado de Michoacán. Las familias con mayor número de especies son Parulidae, Tyrannidae, Emberizidae, Icteridae, Turdidae, Cardinalidae y Accipitridae. Además, se adicionaron nuevos registros para el estado y la extensión en rangos de distribución de siete especies (chipe gusanero – *Helmitheros vermivorum*; garceta rojiza – *Egretta rufescens*; chipe de roca – *Euthlypis lachrymosa*; paloma morada – *Patagioenas flavirostris*; tapacamino prío – *Nyctiphrynus mcleodii*; bienparado norteño – *Nyctibius jamaicensis*; chipe rabadilla rufa -*Oreothlypis luciae*).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP, 2006) se han registrado 14 especies de reptiles, lo cual representa un 9.6% de las 146 especies de reptiles reportadas en Michoacán Ocho de esas especies son endémicas de México, de las que cinco están consideradas como sujetas a protección especial por la NOM-059-

SEMARNAT-2001 (*Crotalus basiliscus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *Geophis petersii* y *G. tarascae*) y tres como amenazadas (*Lampropeltistriangulum*, *Pituophis deppei* y *Thamnophis cyrtopsis*). ((CONANP, 2006)

Aunque en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio nace el río más importante del municipio de Uruapan, no se han reportado especies de peces nativos, ni se observa presencia en el río (CONANP, 2006).

4.2.-Caracterización socioeconómica de la cuenca

4.2.1.- Población

El crecimiento demográfico registra características variables en cada uno de los municipios dentro de los que se encuentra la cuenca, siendo los municipios de Uruapan, Gabriel Zamora y Ario de Rosales los que abarcan mayor territorio de la cuenca del río Cupatitzio. De acuerdo con las cifras reportadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI) del censo realizado en el 2010, la población total por municipios reporta datos de 315,350 habitantes para el municipio de Uruapan, que es donde se ubica la zona de estudio de este trabajo de tesis.

4.2.2.-Economía

La agricultura es la actividad económica de mayor importancia en el municipio, en particular la producción de aguacate, durazno, zarzamora, naranja y nuez de macadamia. La fruticultura ocupa el 20% de la superficie total del municipio, destacando el cultivo de aguacate con 16,588 has, por ende constituye la base de la economía de éste tipo. En la temporada 2001-2002 se generó una derrama económica de 82.5 millones de dólares por el fruto fresco y 56 millones de dólares por el fruto procesado, exportándose a EUA, Canadá, Centro América, Unión Europea, Japón, China, Norte de África, Marruecos y Sudamérica (CONANP, 2006).

4.2.3.- Contaminación del agua en los ríos

El acelerado crecimiento de la población y la industrialización conjuntamente con una inadecuada planeación en el uso y conservación del agua, ha propiciado que los residuos, líquidos y sólidos, se viertan sin ningún control en los ríos, lagos lagunas y mares provocando la contaminación de estos cuerpos de agua.

Los ríos por su capacidad de arrastre y el movimiento de las aguas, son capaces de soportar mayor cantidad de contaminantes. Sin embargo, la presencia de tantos residuos domésticos, fertilizantes, pesticidas y desechos industriales alteran la flora y fauna acuática. En las aguas no contaminadas existe cierto equilibrio entre la flora y fauna, que se rompe por la presencia de materiales extraños. Así algunas especies desaparecen mientras que otras se reproducen en exceso.

Los ríos constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable de las poblaciones humanas, su contaminación limita la disponibilidad de este recurso imprescindible para la vida.

Los contaminantes del agua pueden ser divididos en tres categorías básicas: contaminantes químicos, contaminantes físicos y contaminantes biológicos.

4.2.3.1.- Contaminantes químicos.

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos orgánicos como inorgánicos. La contaminación por compuestos orgánicos es la causa fundamental de la disminución de oxígeno en el agua como resultado de la utilización del mismo en el proceso de biodegradación de dichos compuestos.

Los compuestos orgánicos provienen tanto de fuentes naturales como antropogénicas. Muchas de las fuentes industriales y urbanas consisten de materia orgánica inestable, sujeta a descomposición, de igual forma la materia orgánica generada en la muerte de plantas y animales es oxidada por las cadenas biológicas a formas minerales estables sujetas a ser usadas por otros eslabones en la cadena alimenticia.

Para la contaminación por compuestos inorgánicos, el resultado más importante es el efecto tóxico, más que la disminución del oxígeno. Sin embargo existen compuestos inorgánicos como los sulfitos y nitritos que toman oxígenos para oxidarse a sulfatos y nitratos respectivamente. Los metales pesados, corresponden el agrupo de los inorgánicos, y su presencia aún en pequeñas cantidades pueden causar problemas serios de toxicidad.

4.2.3.2.-Contaminantes físicos

Los parámetros físicos definen características del agua que responden a los sentidos del tacto, el gusto, el olfato y la vista. Entre los contaminantes físicos se incluyen los cambios térmicos, el color, la turbidez, las espumas y la radiactividad. El agua caliente como residuo se asocia con fuentes industriales, principalmente las termoeléctricas, donde se utilizan grandes cantidades de agua condensada como resultado en la generación de agua caliente como residuo (Ruiz Chavez *e.t.a.l.*, 2012).

4.2.3.3.-Contaminantes biológicos.

Los contaminantes biológicos son responsables de la transmisión de enfermedades como el cólera, tifoidea, salmonelosis, etc. Entre los principales contaminantes encontramos diferentes agentes patógenos, como pueden ser bacterias, virus, protozoos y parásitos que entran en contacto con el agua y que provienen en si mayoría de residuos orgánicos.

Los virus pueden ser patógenos para el hombre y hay ciertos tipos que se eliminan por las heces del hombre. Las bacterias, las cuales encontramos en el intestino, son muchas veces benéficas y con una función determinada para nuestro organismo, pero otras veces son causantes de diferentes enfermedades. Por ello, la presencia de bacterias intestinales en el agua la convierten en no potable. Los protozoos pueden vivir también en el intestino de los animales y el hombre y son causantes de problemas médicos como la diarrea o disentería.

En el agua también encontramos desechos que requieren oxígeno para su descomposición y cuando el número es demasiado grande pueden llegar a agotar el

oxígeno presente en el agua, haciendo que la autodepuración resulte imposible. El agotamiento del oxígeno produce olores desagradables.

En el Cuadro 4.3 se presentan los Parámetros físicos, químicos y biológicos característicos del agua residual (Ruiz Chavez *e.t.a.l.*, 2012).

FÍSICAS	QUÍMICAS			BIOLÓGICAS
	Orgánicos	Inorgánicos	Gases	
Color	Carbohidratos	alcalinidad	Sulfuro de Hidrógeno	Hongos
Olor	Grasas y Aceites	Cloruros	Metano	Bacterias
Sólidos	Pesticidas	Metales Pesados	Oxígeno	Protistas
Temperatura	fenoles	Nitrógeno		Virus
otros	otros	otros		

Cuadro 4.3 Parámetros físicos, químicos y biológicos.

4.2.4.-Principales agentes contaminantes de los ríos

Desde que el agua llega a los ríos en forma de lluvia, en ocasiones, puede verse con cierta cantidad de contaminantes, ya que en el proceso de la precipitación puede haberse disuelto sustancias como óxidos de azufre y nitrógeno que la pueden convertir en lluvia ácida. Sin embargo, además de estos contaminantes difusos, existen contaminantes puntuales que provienen de fuentes localizadas o concentradas en un punto fijo como descargas de aguas residuales ya sean de tipo industrial, comercial o doméstico.

Entre los más comunes contaminantes de los ríos están:

- Desechos consumidores de oxígeno, generalmente provenientes del drenaje doméstico y desechos industriales de origen vegetal y animal.
- Nutrientes vegetales que pueden estimular al crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua

y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

- Minerales y sustancias inorgánicas, provenientes de compuestos inorgánicos procedentes de operaciones industriales, minería campos de petróleo y agricultura.
- Sustancias químicas, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensoactivas contenidas en los detergentes, jabones y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.
- Sedimentos o materia suspendida formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección y explotación del minera que enturbian el agua y que generan mal aspecto en ella.
- Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería, las centrales nucleares, el uso industrial, médico y científico de material radioactivo.
- El calor también es considerado un contaminante ya que al aumentar la temperatura hay una disminución del contenido de oxígeno, afectando la vida acuática.

4.3.-Parámetros de calidad del agua.

Los parámetros de calidad del agua son aquellos que nos permiten evaluar si el agua es o no apta para ser utilizada en diferentes usos. Estos parámetros se encuentran normados y nos dan un diagnostico general de las características del agua.

4.3.1.- Oxígeno disuelto

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua expresada en ppm o en mg/l. Es un indicador de la calidad del agua, y principalmente determina la calidad de vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que influye mucho las características de los ríos como turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD).

Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos, con muchas plantas, en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, temperatura y la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD.

Si bien el oxígeno disuelto es un indicador para determinar la contaminación de aguas residuales, no hay un parámetro normado que determine que concentraciones son o no adecuadas; sin embargo el oxígeno disuelto está directamente relacionado con la demanda bioquímica de oxígeno.

Actualmente, pese a que el oxígeno disuelto no está normado, existen normas con las cuales se regula la determinación en campo y laboratorio de éste mismo. La norma NMX-AA-012-SCFI-201 es la que determina el procedimiento necesario en laboratorio para la obtención del oxígeno disuelto.

4.3.2.- Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno conocida por sus iniciales DQO, es la medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto los orgánicos como los inorgánicos, por medio de la acción de agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L).

Las normas oficiales mexicanas, en materia de agua no han normado este parámetro, por lo que no se le tiene asignado un límite máximo permisible.

Para conocer el DQO, de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-030-SFCI-200

1, se usa el método espectrofotómetro, que se basa en la digestión de una muestra de dicromato de potasio en medio fuertemente ácido, en presencia de un catalizador y

posterior titulación del exceso de oxidante con agente reductor o medición de espectrofotometría de la intensidad del color remanente como del dicromato de potasio.

4.3.3.- Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno, también llamada DBO, es un parámetro de polución que mide la materia orgánica presente en una descarga y esta expresada por la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la descomposición de materia orgánica contenida en un líquido, por acción bacteriana aeróbica o anaeróbica, cuya unidad de medida se expresan como mg/l.

Este parámetro es indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

En resumen, la demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno puro que requieren los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica.

Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20° C; esto se indica como DBO₅.

Gracias a este parámetro podemos calcular los efectos de las descargas de las aguas residuales domésticas e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (ríos, lagos, etc.). Los datos resultados de este análisis son de gran importancia para poder diseñar plantas de tratamiento.

Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm. Un contenido superior es indicativo de contaminación. En aguas superficiales su contenido es muy variable. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En las aguas residuales industriales su concentración es totalmente dependiente del proceso de fabricación pudiendo alcanzar varios miles de ppm (Rigola Lepeña, 1999)

La Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001, determina el procedimiento llevado en laboratorio para poder llevar a cabo el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.

De acuerdo a la CONAGUA los valores de DBO en la escala de clasificación de aguas se muestran en el cuadro 4.4:

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE No contaminada	AZUL
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	VERDE
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas	ROJO

Cuadro 4.4 Clasificación de la calidad del agua por DBO5, según CONAGUA.

En México la norma NOM-001-SEMATNAT-1996 establece una concentración de 30 mg/l, en promedio mensual para aguas destinadas a la preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 4 mg/l de DBO para aguas superficiales de calidad adecuada para la prevención de comunidades acuáticas.

La Norma Técnica Nacional para Aguas de Honduras, establece una concentración de 15 mg/l de DBO para aguas destinadas a la prevención de flora y fauna.

La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental de Uruguay, establece una concentración de DBO de 10 mg/l para aguas destinadas a la prevención de los peses en general y otros integrantes de la fauna y fauna hídrica. (Anónimo http://www.digesa.sld.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%204.pdf, s.f.)

4.3.4.-Temperatura del agua

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando los sólidos disueltos y disminuyendo los gases. Una temperatura elevada implica la aceleración de putrefacción, y por tanto, un aumento de la demanda de oxígeno; paralelamente, disminuye la solubilidad de éste. Las aguas residuales presentan mayor temperatura que las naturales. Las urbanas están en torno a 15°C y las industriales dependen del tipo de proceso utilizada y el volumen del agua (Ros Moreno, <http://www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-1-2/parametros-fisicos-calidad-aguas-conductividad-resistividad-temperatura> 2011).

Su efecto principal sobre el medio receptor como consecuencia de elevar la temperatura del agua es la disminución de la solubilidad de oxígeno en la misma provocando alteraciones tanto químicas como biológicas que podrían originar la desaparición algunas especies ,como los salmónidos que requieren gran cantidad de oxígeno para subsistir, y pudiendo favorecer otras ,como los hongos.

Múltiples factores, principalmente ambiental, pueden hacer que la temperatura varíe continuamente. Un aumento anormal de la temperatura del agua suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en los procesos industriales de intercambio de calor.

La determinación de la temperatura en las aguas naturales y residuales tratadas, se encuentran en la norma NMX-AA-007-SCFI-2000.

Para realizar las pruebas se debe realizar la medición directamente en el cuerpo de agua, se debe tomar en un volumen suficiente de muestra tal que el instrumento quede debidamente inmerso, esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes y por último enjuagar con agua destilada el instrumento de medición (NMX-AA-007-SCFI-2000).

La norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales en aguas y bienes nacionales donde nos indica que el límite máximo permisible para la protección de la vida acuática es de 40°C.

4.3.5.-Salinidad

La salinidad es una propiedad importante en las aguas usadas industriales y de cuerpos naturales. Este parámetro es una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua y su medida está dada en partes por millón (ppm) o gramos de sal por litro. Dado que la determinación del contenido total de sales requiere análisis químicos que consumen mucho tiempo, se utilizan en substitución métodos indirectos para estimar la salinidad. Se puede determinar la salinidad en un cuerpo de agua a base de determinaciones de conductividad, densidad, índice de refracción o velocidad del sonido del agua.

La importancia de este parámetro radica en que la presencia de sales en el agua reduce la solubilidad de los gases. Las sales disueltas en el agua reducen los espacios

intermoleculares disponibles para la disolución de oxígeno (Anónimo <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf> s.f.).

4.3.6.- Turbidez

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos que se presentan principalmente en aguas superficiales. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad (Rigola Lepeña, 1999)

Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y reduciendo así la concentración de oxígeno en el agua. Además algunos organismos no pueden sobrevivir en agua más caliente, mientras que se favorece la multiplicación de otros. Las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decreciendo la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, el límite máximo permisible en el agua potable es de 5 unidades de turbiedad nefelométrica (UTN) o su equivalente en otro método, no obstante, aunque la OMS (Organización Mundial para la Salud) coincide con este número.

4.3.7.- Sólidos sedimentables

Cuando se habla de sólidos se habla de toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. El término sólidos sedimentables aplica solo a los sólidos en suspensión que se sedimentan por influencia de la gravedad, solo se sedimentan los sólidos suspendidos más gruesos con la densidad relativa mayor que la del agua. Los lodos son acumulaciones de sólidos sedimentables. Su medida es importante en ingeniería práctica para determinar la conducta física de las corrientes residuales que entran a las masas de aguas naturales.

La determinación de los sólidos sedimentables tiene aplicaciones muy importantes. Primero se usa extensamente en el análisis de aguas residuales industriales, para

determinar la necesidad y el diseño de tanques de sedimentación primaria en plantas que emplean procesos de tratamiento biológico.

La Norma NMX-AA-004-SCFI-2000, nos indica el procedimientos para la determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Los sólidos sedimentables se encuentran normados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, en la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los ríos los sólidos sedimentables no pueden ser mayores a 2 ml/l en promedio diario para la protección de vida acuática.

4.3.8.- Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos son todas las sustancias que se encuentran disueltas en el agua, no se pueden determinar de una sola forma directa sino que se tiene que calcular su cantidad numéricamente restando a los sólidos totales los sólidos en suspensión.

Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para consumo humano, con alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir a una reacción fisiológica adversa en el consumidor.

En aguas potables la mayoría de la materia está en forma disuelta y consiste principalmente en: sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos. La determinación de las cantidades de materia disuelta e insoluble se afectan haciendo pruebas en las porciones de muestras filtradas y no filtradas.

La determinación de los sólidos disueltos se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-034-SFCI-2001.

4.3.9.- Sólidos suspendidos totales

El término sólidos suspendidos se refiere a la materia suspendida en un medio acuoso. “La determinación de sólidos suspendidos es extremadamente valiosa en los análisis de aguas contaminadas y de aguas residuales. Es uno de los mejores parámetros

usados para valorar la concentración de las aguas domésticas y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento. En el trabajo de control de la contaminación de corrientes, se considera que todos los sólidos suspendidos, son los sólidos sedimentables, no siendo el tiempo un factor limitante la sedimentación se espera que ocurra a través de la floculación biológica y química; de aquí que la medida de los sólidos suspendidos se considere tan significativa como la DBO" (Ruiz Chavez *e.t.a.l.* 2012).

Este tipo de sólidos se puede determinar por diferencia de masas, para conocer el valor de sólidos disueltos totales, es necesario conocer los sólidos suspendidos fijos y los sólidos suspendidos volátiles.

4.3.10.- Grasas y Aceites

Las grasas y aceites son compuestos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como hidrocarburos del petróleo.

El hecho de que sean menos densos que el agua e inmiscibles con ella, hace que difundan por la superficie, de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites puedan cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interface aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Encarecen los tratamientos de depuración, y en algunos aceites, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos (Comisión Estatal Del Agua De Jalisco, 2013)

Las grasas y aceites de aguas residuales están normados por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 en la cual cita que el límite máximo permisible de éstos es de 15 a 25 mg/l promedio mensual y diario respectivamente; para la protección de la vida acuática.

La norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000 determina el método de obtención de ésta muestra así como su cálculo.

4.3.11.-Coliformes Fecales

Los coliformes fecales, son microorganismos patógenos que provienen principalmente de los excrementos humanos, pero también se originan de los animales y desechos del suelo.

Los coliformes fecales son bacilos cortos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a temperatura de 44° C en periodos de 24 a 48 horas (Ruiz Chávez *e.t.a.l.*, 2012).

La Norma Mexicana NMX-005SCFI-2001, establecen el método microbiológico para determinar el número de microorganismos coliformes totales presentes en diferentes productos por medio de la técnica del número más probable o de técnica en placa.

El método permite determinar el NMP de bacterias coliformes en una muestra, y se hace a partir de la técnica de los tubos múltiples, en la cual volúmenes decrecientes de la muestra (diluciones decimales consecutivas) son inoculados en un medio de cultivo adecuado, en el que se desarrollan bacterias a 44°C en aproximadamente 24 hrs, dando como resultado la producción de gas y ácidos orgánicos (Ruiz Chávez *e.t.a.l.*, 2012).

4.4.- Procedimiento

Para la realización de este trabajo, lo primero que se realizó fue una visita a la zona de estudio, en la ciudad de Uruapan, recorriendo el río desde aguas arriba del parque nacional, hasta la entrada de la presa del Cupatitzio, gracias a este recorrido inicial se pudo observar el trayecto del cauce y su comportamiento a lo largo del mismo, así mismo se observaron los tipos de descargas de aguas residuales, así como la ubicación de las mismas y se referenciaron los puntos más importantes y/o críticos sobre el río.

Seguido de esto y con el auxilio de un sistema de información geográfica se creó el mapa topográfico de la zona de estudio, así como el conjunto de ríos de este lugar y se

ubicaron las zonas de descarga de agua residual. Posteriormente se determinaron los puntos de muestreo.

Una vez que se sabían los puntos de muestreo, se procedió a ir a la toma de muestra, una vez teniendo la muestra se llevaron al laboratorio para analizarlas. Después de esto se depuraron los resultados de los análisis de laboratorio se elaboraron cuadros y gráficas, luego se seleccionaron los parámetros más significativos para presentarlos en esta tesis y se hicieron las gráficas de los resultados de la evolución de estos parámetros a lo largo del río y, posteriormente estas mismas comparadas con los límites máximos permisibles que establecen las normas establecidas en México, en seguida de esto, y con la información obtenida en relación a la tesis “Evolución de Calidad del Agua en el Río Cupatitzio” de 1993, se confrontaron los datos que se obtuvieron hace 20 años con los que se obtuvieron con este trabajo, a reserva de que es una comparación no del todo fiable ya que los puntos de muestreo son diferentes, así mismo se elaboró un diagnóstico de calidad de agua para sus diversos usos y por último se redactó las conclusiones y recomendaciones.

En general, se llevó el procedimiento que se describe a continuación.

1. Visita preliminar a campo.
2. Generación de información georeferenciada.
3. Selección de puntos de muestreo.
4. Obtención de muestras.
5. Análisis de muestras en laboratorio.
6. Elaboración de cuadros de resultados, mapas y gráficas comparativas con los límites máximos permisibles.
7. Confrontación de datos de 1993 y los obtenidos en 2010.
8. Diagnóstico de calidad del agua de acuerdo a su uso.
9. Conclusiones y recomendaciones.

4.4.1.- Generación de información georeferenciada.

Para poder georeferenciar el sitio de estudio y crear una base de datos fue necesaria la ayuda de un sistema de información geográfica, en este trabajo el software utilizado para la generación de base de datos fue el software Arcview 3.2.

Lo primero que se hizo fue obtener las cartas topográficas digitalizadas, en las que encuentra la zona de estudio, de las cuales fueron necesarias cuatro cartas a escala 1:50,000, las cuales fueron adquiridas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Las cartas necesarias fueron las de Paracho (4.7), Cherán (4.8), Uruapan (4.9) y Taretan (4.10) como se muestran a continuación:

Figura 4.7 Paracho (EB1329)

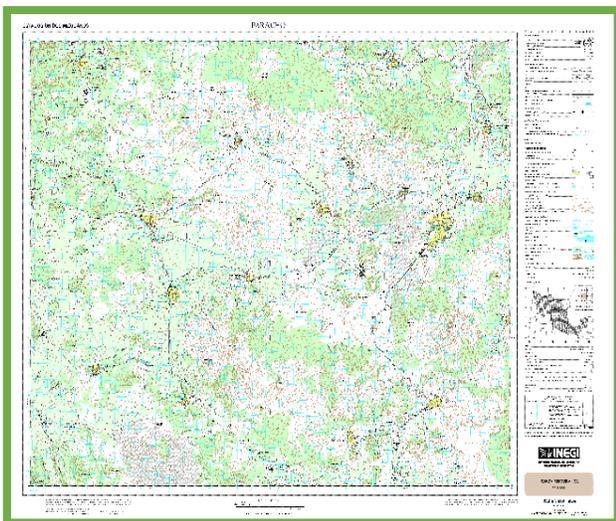


Figura 4.8 Cherán (E14A21)

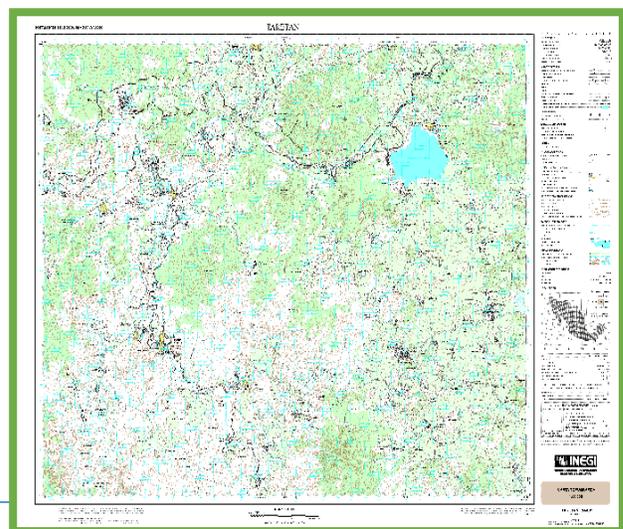
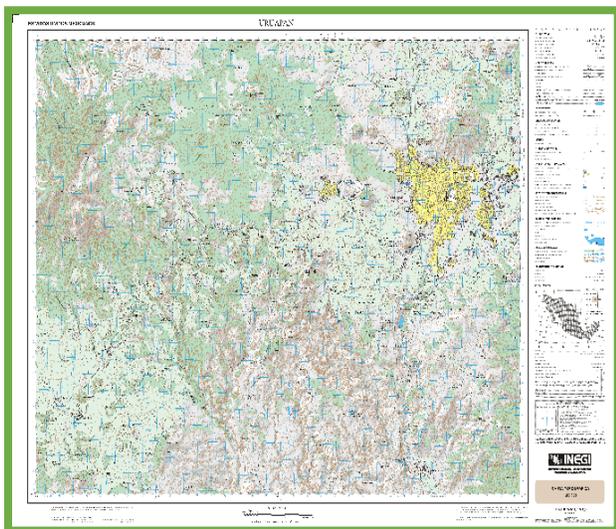
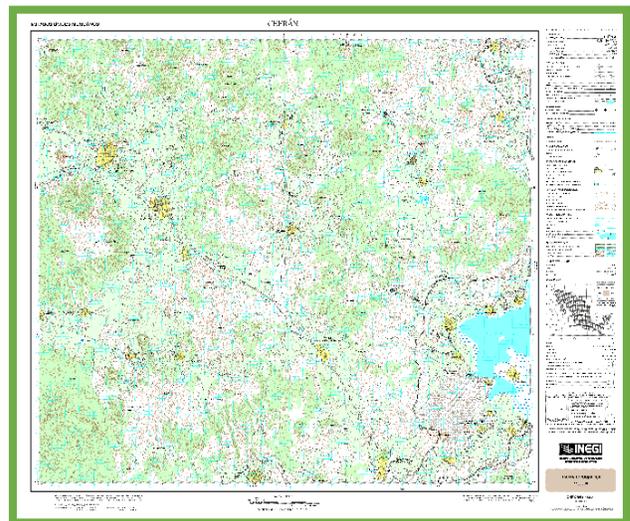


Figura 4.9 Uruapan (E13B39)

Figura 4.10 Taretan (E14A31)

Para un mejor manejo de estas cartas, con el uso del programa Global Mapper, se cortaron los bordes de éstas y se unieron, con el fin de que quedase solo una carta topográfica, en la cual cupiera totalmente la zona de estudio, para esto fue necesario pasar las cartas topográficas a coordenadas geográficas, cortarlas y unir las, posteriormente pasarlas a coordenadas UTM zona 13 Norte y exportarlas a un formato .TIF que es el formato que reconoce el programa Arcview 3.2.

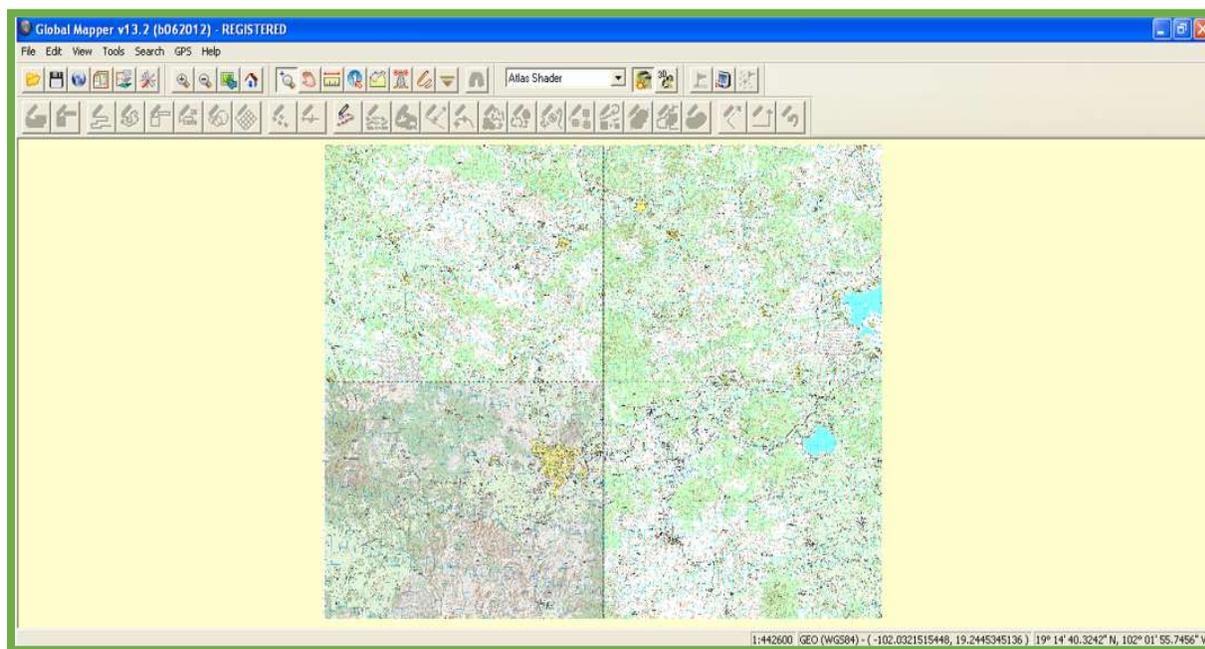


Figura 4.11 Cartas topográficas cortadas y unidas por Global Mapper.

Para poder realizar el trazo de la subcuenca del río Cupatitzio fue necesario realizar el trazo del parteaguas que delimita a ésta, evidentemente en este proceso fue necesario la utilización de la topografía y de manera manual se trazó la cuenca teniendo como punto de salida la presa del río Cupatitzio y posteriormente se digitalizó para poder manejarla en el sistema de información geográfica (SIG), que en este caso fue el ArcView.

Para generar el mapa de corrientes fue necesario descargar el Modelo Digital de Elevaciones de la página de INEGI de descargas gratuitas cuya página es:

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx> el cual se descargó carta por carta y posteriormente en ayuda de ArcView se juntaron los cuatro MDE y se pasaron a coordenadas UTM y después a formato .grid para obtener las corrientes con ayuda de la extensión Hec-GeoHMS 1.1.

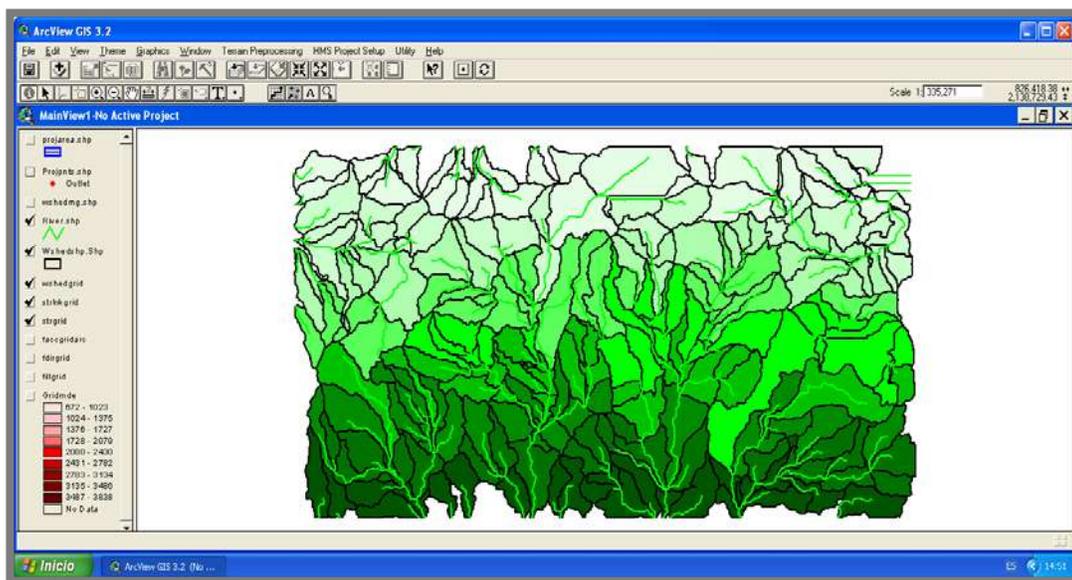


Figura 4.12 Generación de Corrientes con ArcView 3.2 y Hec-GeoHMS 1.1

Para la ubicación de los puntos de muestreo fue necesario la ayuda del software AutoCAD, ya que con éste las coordenadas obtenidas con el GPS son más exactas. En AutoCAD se trazaron los puntos de muestreo y se guardaron en formato .dxf compatible con ArcView, una vez abierto el archivo los puntos trazados se convierten a formato .shp (sheep).

4.4.2.- Selección de puntos de muestreo

Con la información de la visita de campo preliminar y con la información geográfica obtenida, se determinaron los puntos de muestreo. Para esto fue necesario localizar las descargas residuales más importantes que había en el río, de modo que al analizarla nos arrojará los datos más representativos éste mismo y de los afluentes que se incorporan a él.

Las descargas de aguas residuales que se seleccionaron para tomar las muestras y que se incorporan al río Cupatitzio se muestran en el cuadro 4.5.

MUESTRA	COORDENADAS		TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DE UBICACIÓN
	X	Y		
1	807937.42	2149739.88	SIMPLE	Descarga frente al salón Los Telares
2	808179.80	2143517.75	SIMPLE	Descarga tubería metálica entre puentes Ocaranza y Cupatitzio
3	808210.79	2149464.51	SIMPLE	Descarga incorporación Alcantarilla calle Abigai Patiño
4	808245.91	2149419.23	SIMPLE	Descarga el Vergel
5	808299.96	2149389.81	SIMPLE	Descarga puente 5 de Febrero
6	808817.85	2148930.96	SIMPLE	Descarga rectangular muy grande puente Tarecho
7	808712.89	2147043.02	SIMPLE	Descarga puente Jicalán (tubo negro)
8	808728.05	2146406.93	SIMPLE	Descarga en B. Juntas de Cupatitzio
9	807875.22	2143246.39	SIMPLE	Descarga Sta Bárbara presa Zumpimito
10	807372.85	2145227.09	SIMPLE	Pozo de visita (Canchas) Ignacio Zaragoza y Pinirita
11	802123.16	2149079.42	SIMPLE	Descarga Curva San Juan Nuevo
12	802393.21	2149074.98	SIMPLE	Descarga Rastro San Juan Nuevo
13	802612.48	2149002.02	SIMPLE	Descarga Escuela San Juan Nuevo

Cuadro 4.5 Ubicación de las descargas muestreadas

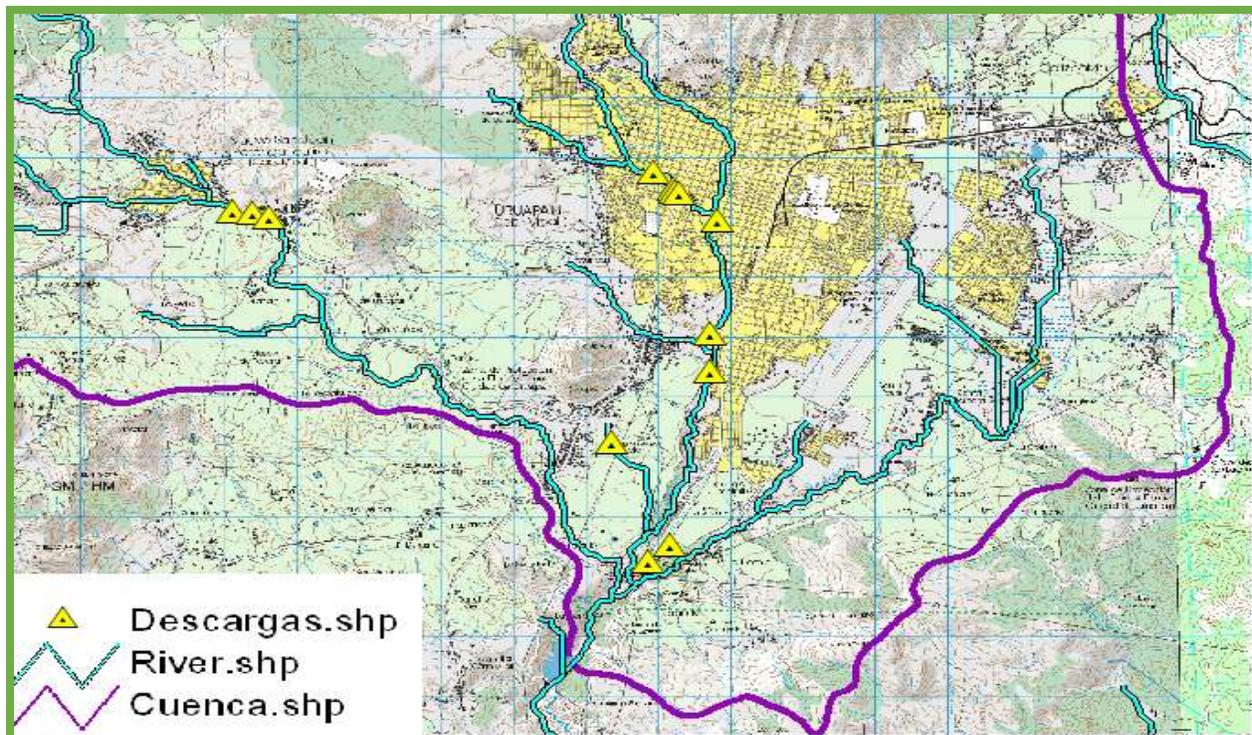


Figura 4.13 Localización de las descargas en la subcuenca.

Las anteriores descargas fueron las más representativas a lo largo del río, sin embargo, también se muestrearon puntos estratégicos, aguas debajo de estas descargas para poder analizar la influencia que tienen éstas sobre el río, además de éstas, también se tomaron muestras en el nacimiento del río Cupatitzio, en la Rodilla del Diablo, en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, y aguas debajo de éste en el Puente del Recuerdo, para así conocer la calidad de agua con la que empieza y como va evolucionando a lo largo de su recorrido.

A continuación en el cuadro 4.8 y la figura 4.14 se muestra la ubicación de las estaciones o puntos donde se extrajeron las muestras.

ESTACION	COORDENADAS		TIPO DE MUESTRAS	DESCRIPCION DE LA UBICACIÓN
	X	Y		
1	807167.763	2150981.403	SIMPLE	Río Cupatitzio, Manantial Rodilla del Diablo
2	807291.065	2150568.402	SIMPLE	Río Cupatitzio, Puente del Recuerdo

3	807777.214	2149765.198	SIMPLE	Río Cupatitzio, Puente Calle Jesús García
4	808210.790	2149464.508	SIMPLE	Río Cupatitzio Aguas Abajo Alcantarillado Abigail Patiño
5	808664.394	2148681.197	SIMPLE	Río Cupatitzio, Puente La Tamacua
6	808874.676	2148160.513	SIMPLE	Río Cupatitzio, Puente Del Terror
7	808731.714	2147011.686	SIMPLE	Río Cupatitzio, Puente Jicalán, Aguas Abajo Tubo Negro
8	808731.107	2146383.098	SIMPLE	Río Cupatitzio Aguas Abajo de Confluencia Con Infiernillo
9	808591.808	2146014.949	SIMPLE	Río Cupatitzio Aguas Arriba de Obra de Toma Del Canal Zumpimito
10	807638.160	2142856.392	SIMPLE	Río Cupatitzio Aguas Arriba de Unión Con Zumpimito
11	807042.355	2142223.750	SIMPLE	Río Cupatitzio, Entrada A La Presa Cupatitzio (Tzararacuita)

Cuadro 4.6 Ubicación de las estaciones muestreadas sobre el río Cupatitzio

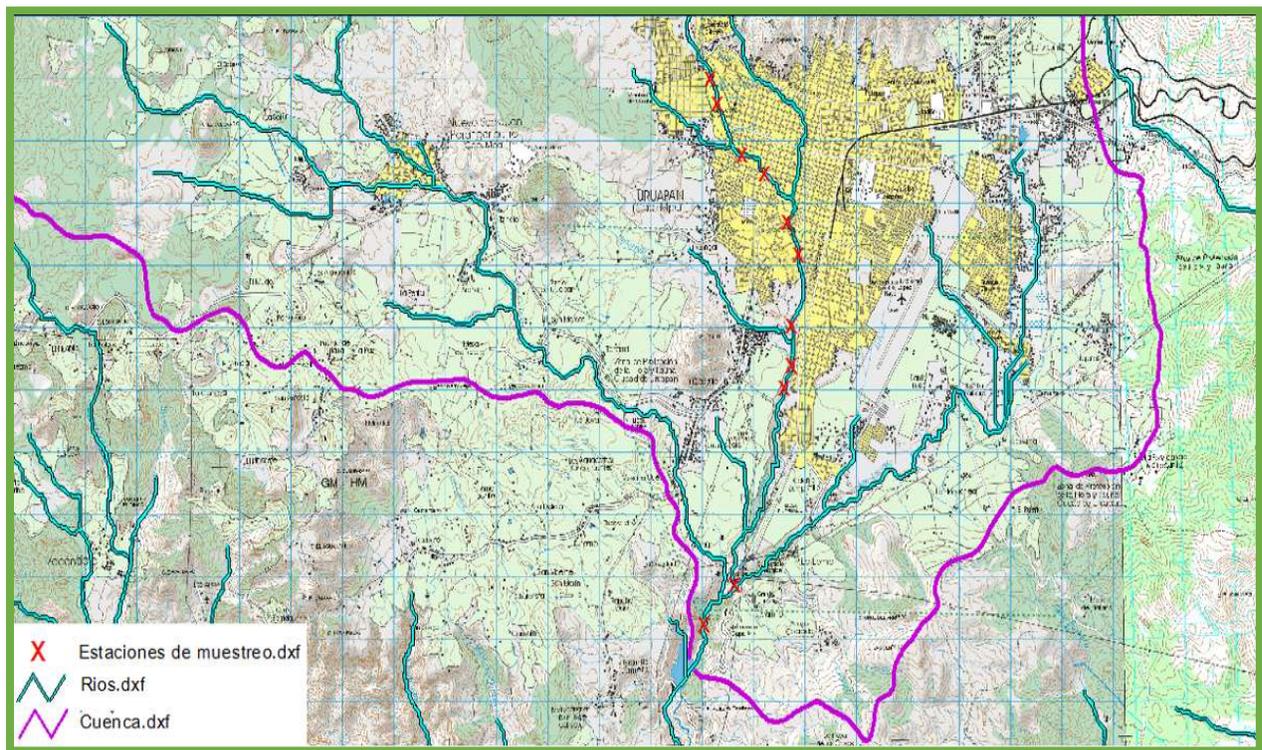


Figura 4.14 Localización de las estaciones de muestreo sobre el río Cupatitzio

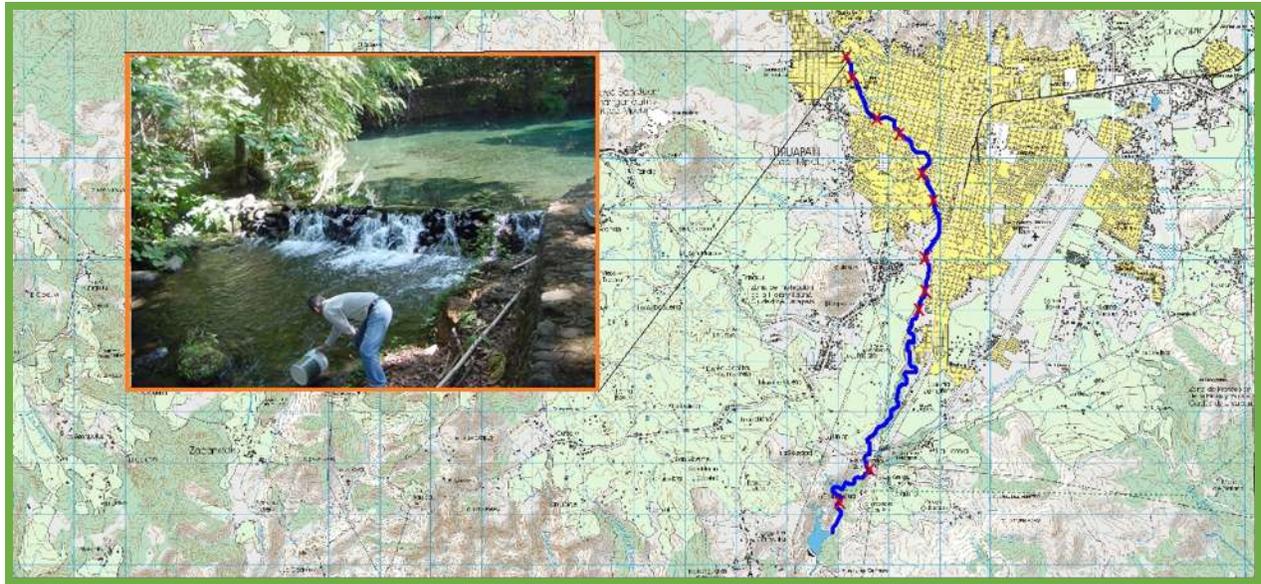


Figura 4.15 Macro y micro localización de la estación 1, "Rodilla del Diablo"

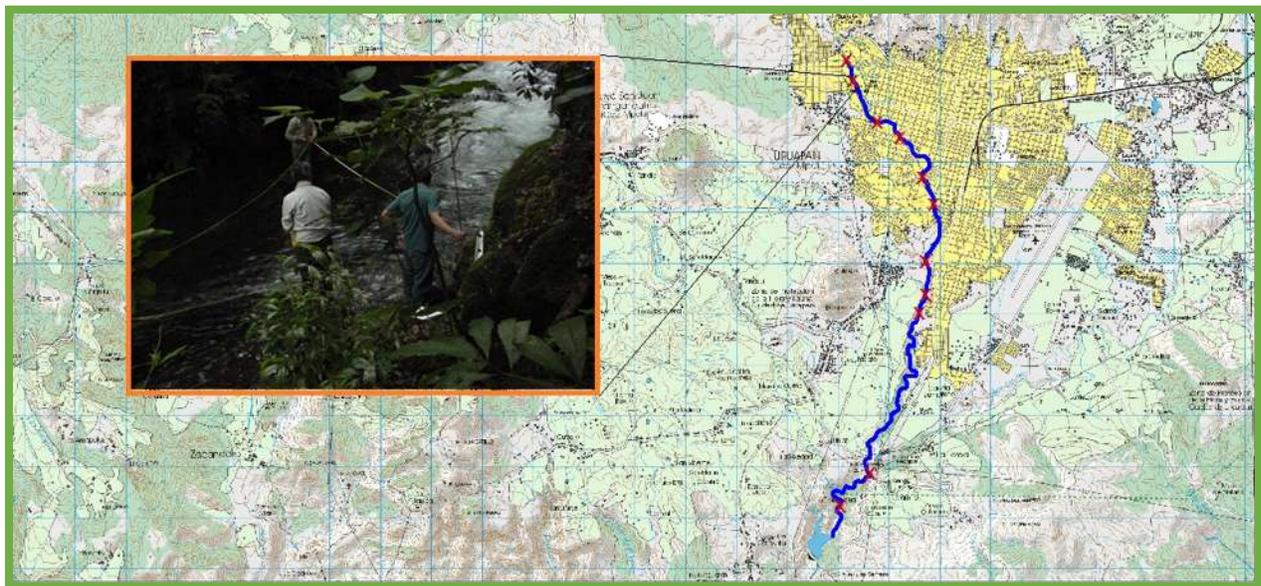


Figura 4.16 Macro y micro localización estación 2: "Puente del Recuerdo"

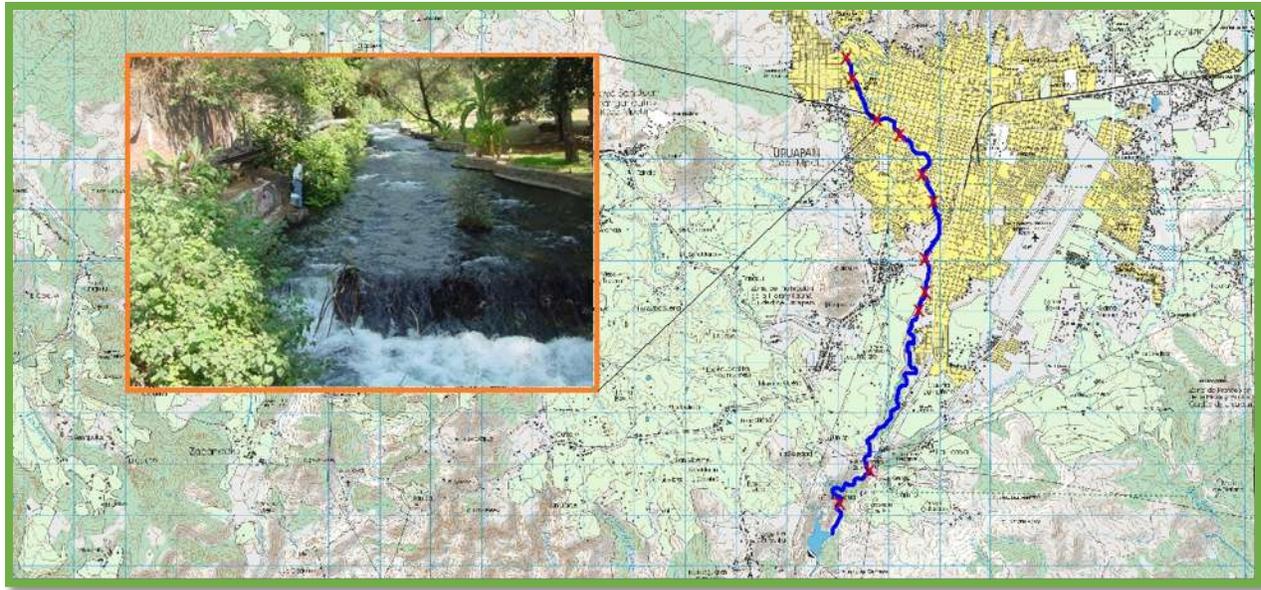


Figura 4.17 Macro y micro localización estación 3: Puente entre el Salón Los Telares y Hotel Los Cedros (Calle Jesús García).

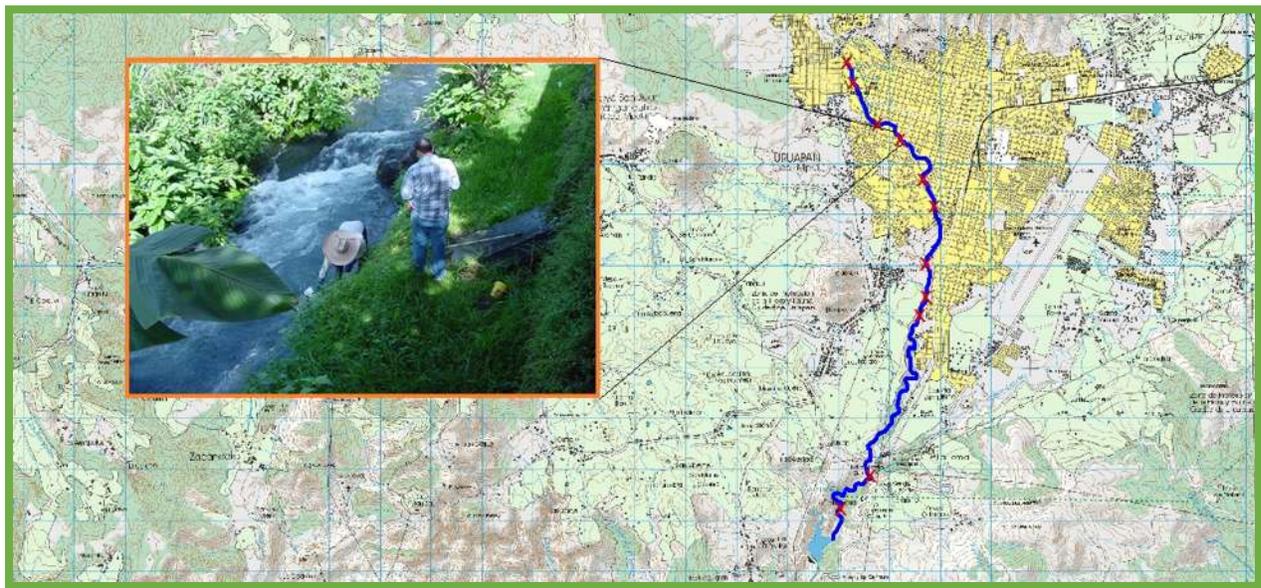


Figura 4.18 Macro y micro localización estación 4: Aguas debajo Incorporación Alcantarilla Calle Abigail Patiño.

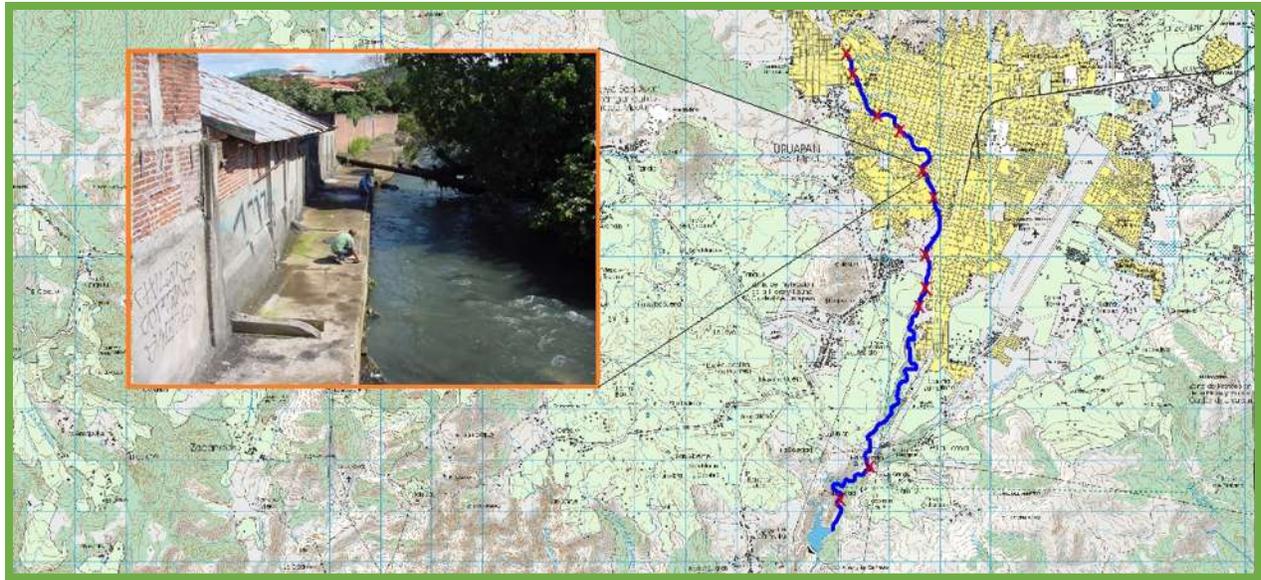


Figura 4.19 Macro y micro localización estación 5: En el Puente La Tamacua

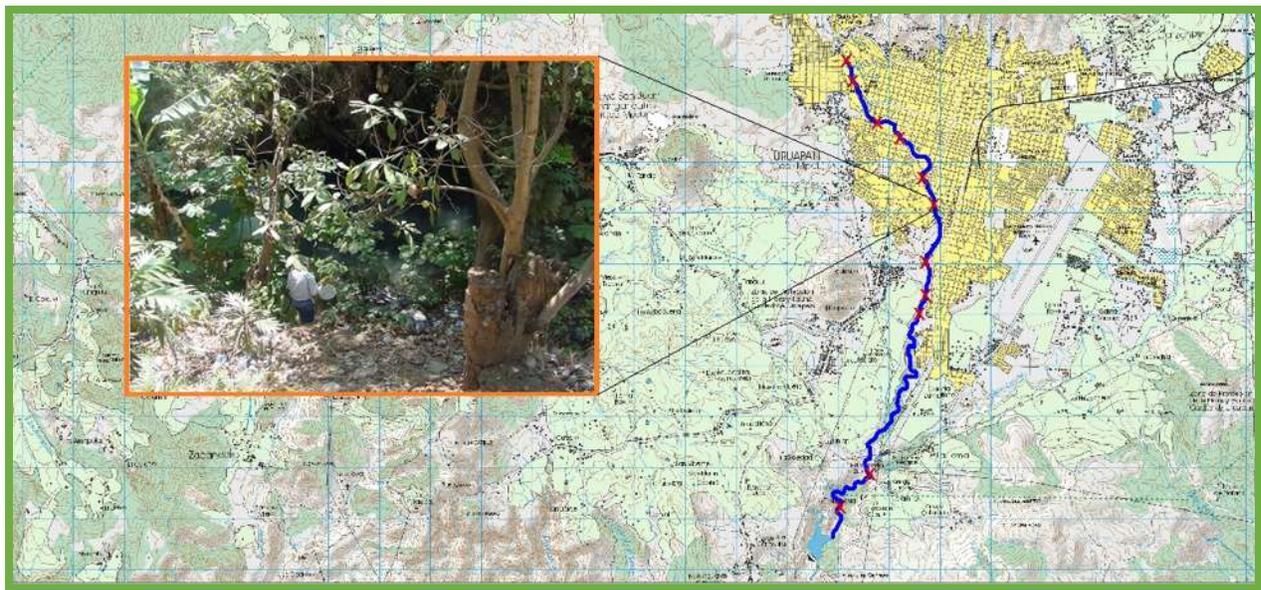


Figura 4.20 Macro y micro localización estación 6: Aguas abajo del Puente del Terror

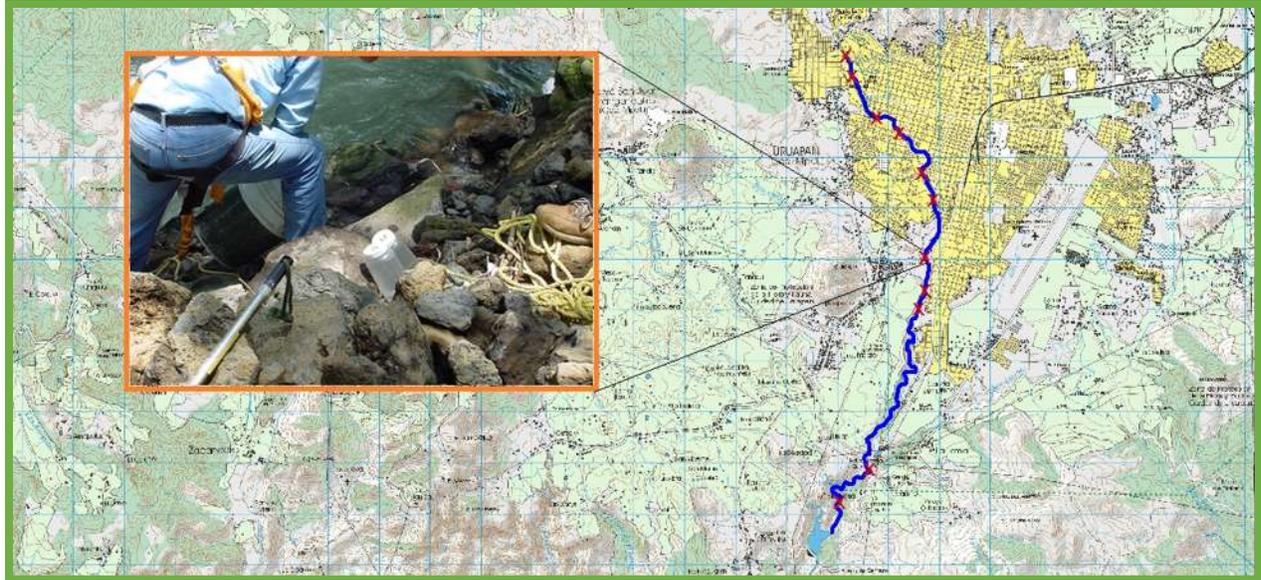


Figura 4.21 Macro y micro localización estación 7: Puente Jicalán, Aguas debajo de descarga del tubo negro.

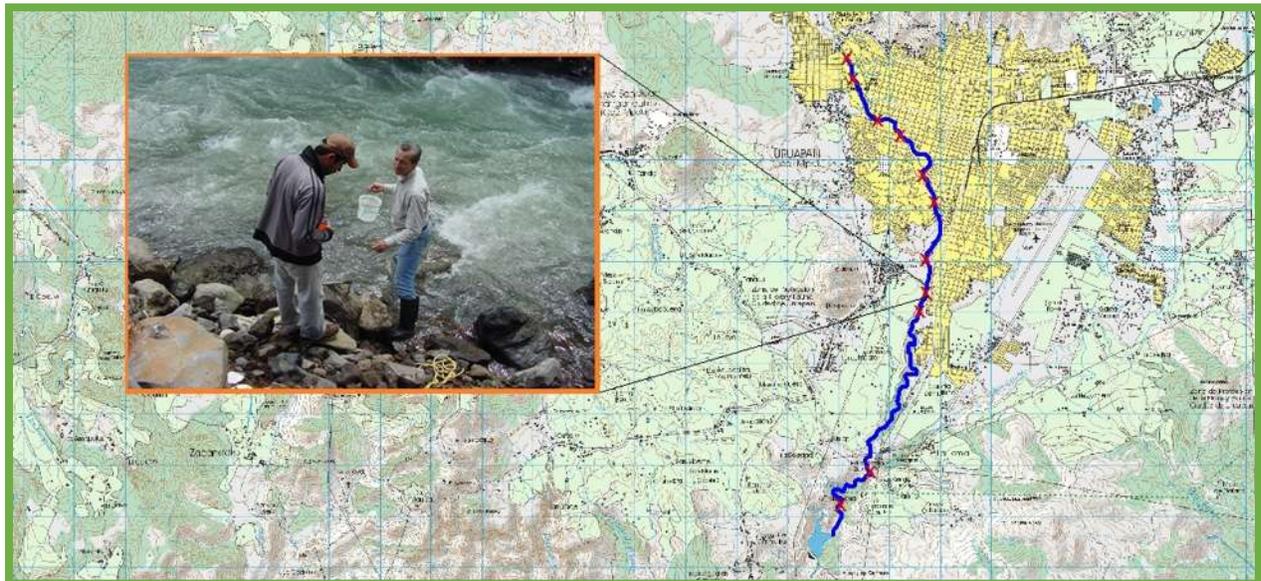


Figura 4.22 Macro y micro localización estación 8: Aguas debajo de confluencia con Infiernillo.

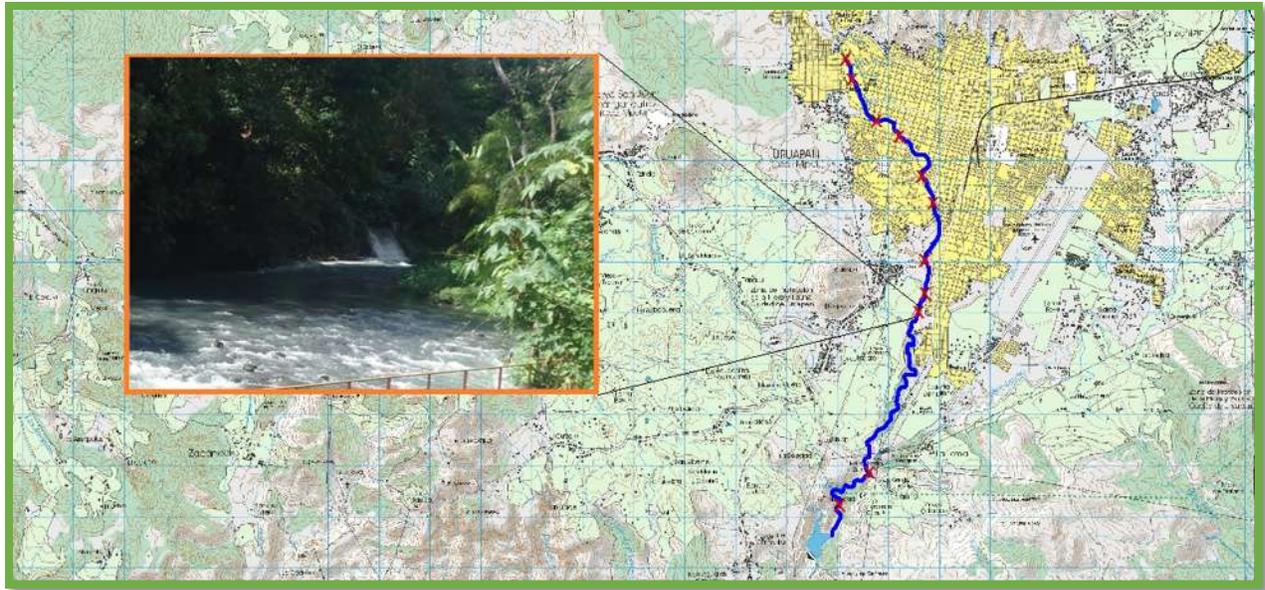


Figura 4.23 Macro y micro localización estación 9: Aguas arriba de la obra de toma del canal Zumpimito.

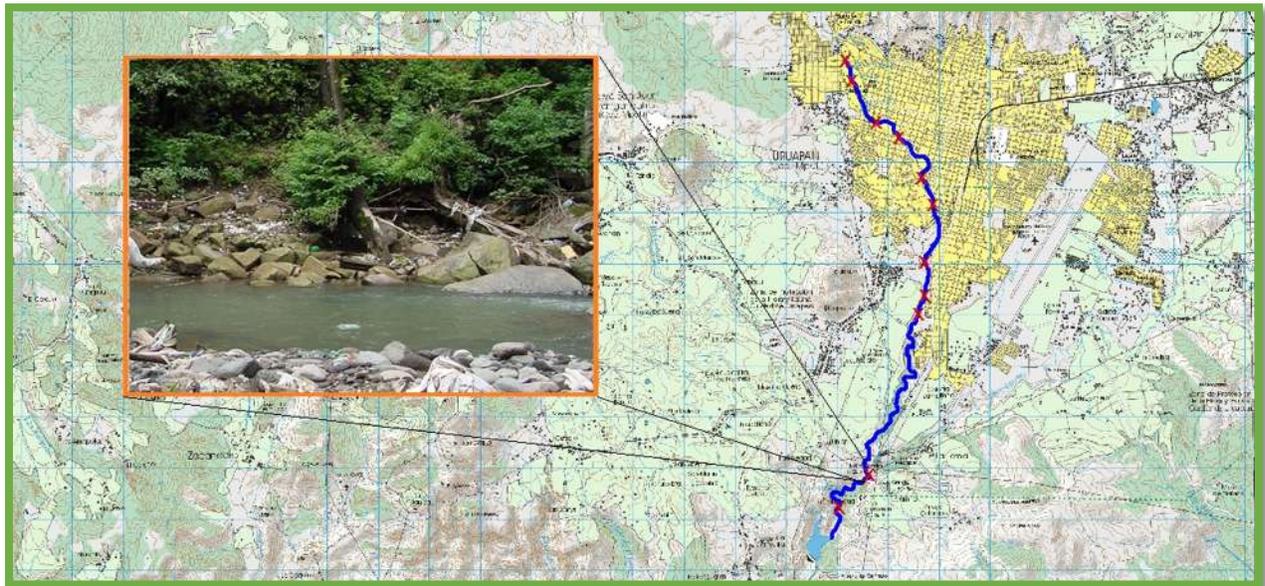


Figura 4.24 Macro y micro localización estación 10: En Generadora Zumpimito (Aguas arriba de unión con Zumpimito).

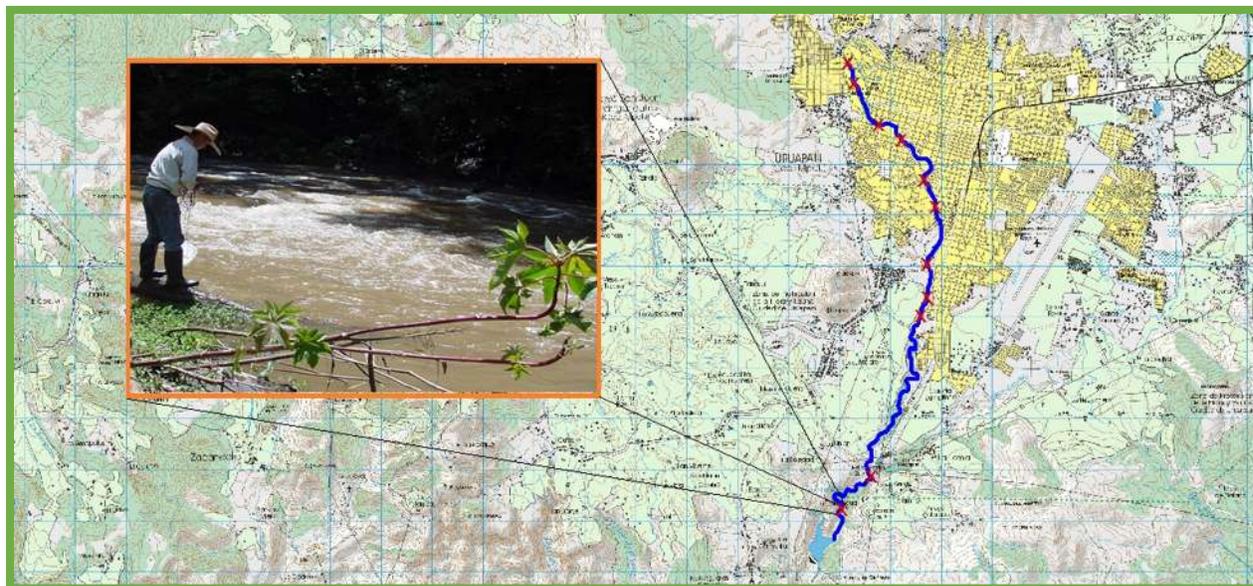


Figura 4.25 Macro y micro localización estación 11: Entrada Presa Cupzititio.

Además de los puntos de muestreo sobre el río también se muestrearon los afluentes que se incorporan al río Cupatitzio, en seguida se muestra su ubicación cuadro 4.7 y en la figura 4.26.

MUESTRA	COORDENADAS		TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DE UBICACIÓN
	X	Y		
1	808704.46	2146453.89	SIMPLE	Río Jicalán (o Infiernillo)(colector) antes de union con el Río Cupatitzio
2	807733.81	2143127.99	SIMPLE	Presa Zumpimito obra de toma Zopilotes (aguas debajo de la cárcava)
3	807743.72	2142937.11	SIMPLE	Cause artificial generado por Zumpimito antes de unión con el Río Cupatitzio
4	808265.01	2143296.68	SIMPLE	Río San Antonio aguas abajo, antes de unión con el Río Cupatitzio
5	813162.77	2149832.41	SIMPLE	Río Sta Bárbara aguas abajo de la presa de Caltzonzin
6	813251.01	2149072.40	SIMPLE	Río Sta Bárbara aguas abajo de la presa de Caltzonzin
7	813302.62	2149082.40	SIMPLE	Río San Marcos
8	813632.59	2146576.19	SIMPLE	Río Sta Bárbara (Tejerías)
9	813666.93	2146562.40	SIMPLE	Río San Marcos (Tejerías)
10	809453.87	2144363.03	SIMPLE	Río San Antonio a la altura de Lomas de Zumpimito
11	806446.12	2144762.58	SIMPLE	Río de Jucutacato 1 aguas abajo antes de unión con el Río Cupatitzio
12	807372.85	2145227.09	SIMPLE	"Jucutacato 2 " (Canchas, Fraccionamiento)

Cuadro 4.7 Ubicación de afluentes muestreados

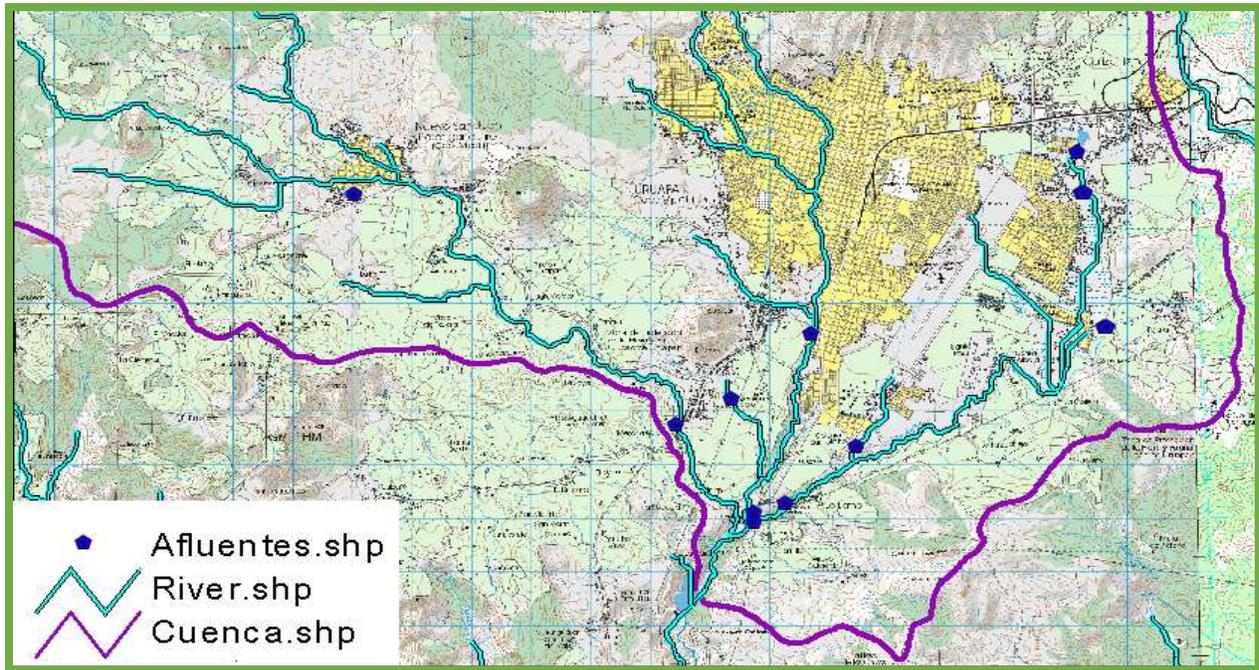
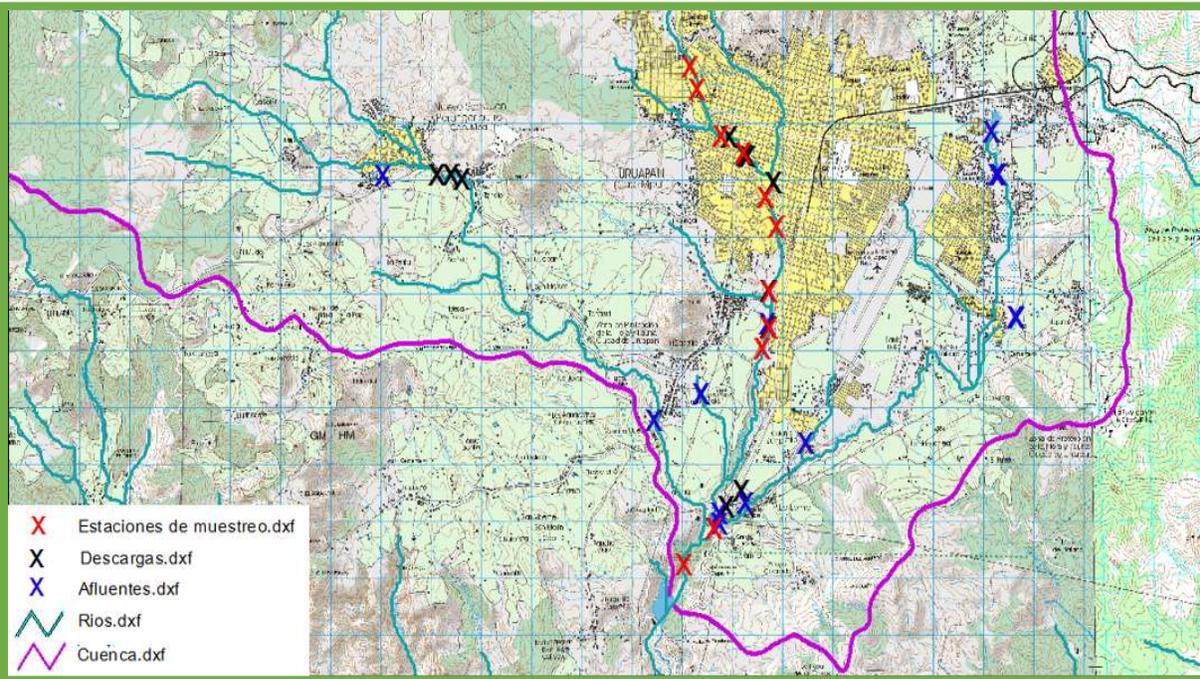


Figura 4.26 Localización de los afluentes muestreados que llegan al río Cupatitzio.



De modo que todos los puntos de muestreo se muestran en la figura 4.27.

Figura 4.27 Puntos de muestreo

4.4.3.-Obtención de muestras

Una vez definidos los puntos de muestreo se volvió a desplazarse a la zona de estudio en donde, para la obtención de las muestras se requirió el equipo que se describe a continuación:

1. Vehículo de transporte
2. Navegador GPS
3. Medidor de Flujo con sus varitas complementarias
4. Cuerda con arnés
5. Metro
6. Barra
7. Machete
8. Recipientes de plástico

9. Recipientes de Vidrio
10. Lámparas
11. Termómetro
12. Hielera

4.4.4.-Análisis de muestras

Ciertos de los parámetros que en esta tesis se presentan se determinaron en el sitio de muestreo, estos son los parámetros de campo, que sin necesidad de laboratorio se pueden obtener los resultados en el sitio, el siguiente listado muestra los parámetros determinados in situ.

Parámetros organolépticos obtenidos in situ

1. Olor
2. Color
3. Presencia de materia flotante
4. Presencia de burbujas
5. Cielo

Parámetros físico-químicos obtenidos en campo

1. Conductividad eléctrica
2. Oxígeno disuelto
3. Salinidad
4. Sólidos disueltos totales
5. pH
6. Temperatura de la muestra
7. Temperatura del ambiente

Obtenidos estos resultados las muestras se trasladaron al laboratorio para determinar los parámetros restantes, para transportar estas muestras fue necesario refrigerarlas a

una temperatura lo más similar a la temperatura que presentaba el sitio, para no alterarla, y tratando no agitarla para evitar la producción de gases.

Una vez en el laboratorio, cada muestra fue analizada. Para esto se emplearon las normas mexicanas que se muestran a continuación, que son las que marcan el procedimiento establecido para la realización de las pruebas de laboratorio y las de campo.

PARÁMETRO	NORMA MEXICANA
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH	NMX-AA-008-SCFI-2001
Sólidos Sedimentados	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos Suspendidos	NMX-AA-034-SCFI-2001
Coliformes Fecales	NOM-112-SSA1-1994
Grasas y Aceites	NMX-AA-005-SCFI-2001
DBO5	NMX-AA-028-SCFI-2001
DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001
OD	NMX-AA-012-SCFI-2001

Cuadro 4.8 Parámetros de contaminación del agua y la norma que se utilizó para la elaboración de pruebas de laboratorio.

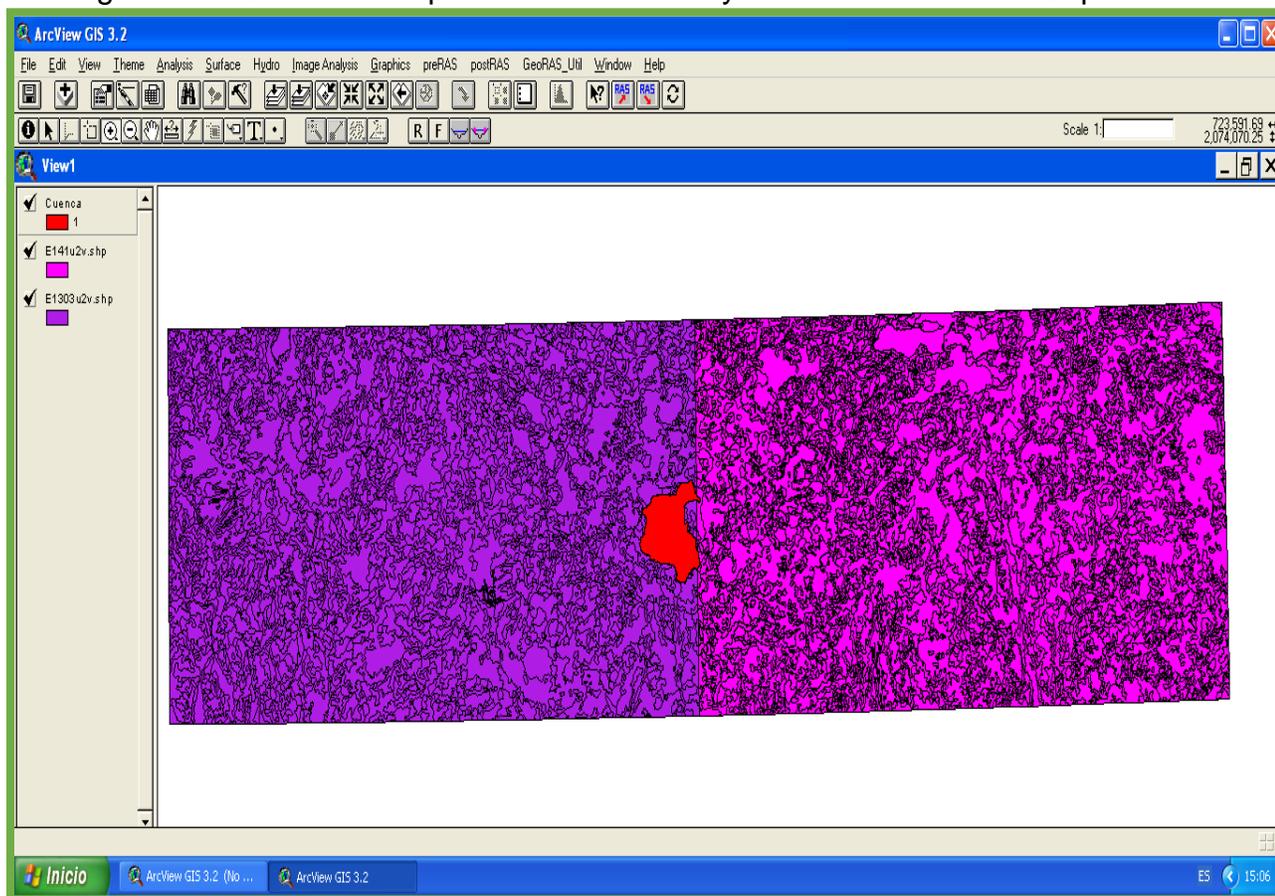
4.4.5.- Elaboración de Mapas de evolución de parámetros contaminantes.

Para la elaboración de los mapas de evolución de parámetros se trazaron las estaciones de muestreo, por lo que para tener una mayor precisión, se trazaron en el programa AutoCad y de ahí se guardaron en formato .dxf el cual se abrió en ArcView, en donde se compararon con las cartas topográficas en formato .TIF, como en el programa ArcView las estaciones de muestreo se notaban un poco desfasadas del trazo del río Cupatitzio, las estaciones de muestreo se exportaron a Global Mapper que tiene mayor precisión de trazo, en donde se corroboró que las estaciones estaban sobre el río. Después, para el trazo de la corriente del río Cupatitzio, con la ayuda de Global Mapper, se georeferenció la carta topográfica de Uruapan a AutoCad, una vez en este programa se llamó al mapa de corrientes, que es la capa de ríos que se trazó

anteriormente y la capa de las estaciones, de modo que con la carta topográfica georeferenciada se trazó la corriente del río Cupatitzio por secciones, que fueran de estación a estación de muestreo, una vez hecho esto se clasificaron las concentraciones de parámetros de contaminantes en alto, medio y bajo, de este modo se le clasificó a cada tramo por capa, una vez hecho esto se guardó el mapa en formato .dxf y se exportó nuevamente a ArcView donde superpuso el mapa de la carta topográfica.

Para los mapas de uso y tipo de suelo se requirieron los mapas digitales más actuales, del 2010, de uso y tipo de suelo en formato shape obtenidas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, como la cuenca está en la división de la zona UTM 13 Norte y UTM 14 Norte, los shapes se unieron y posteriormente se cortaron con la subcuenca del río Cupatitzio, después se elaboró un grid para que graficara el uso de suelo y se elaboró otro grid para el tipo de suelo.

Figura 4.28 Unión de shapes de uso de suelo y la subcuenca del río Cupatitzio.



5.-RESULTADOS

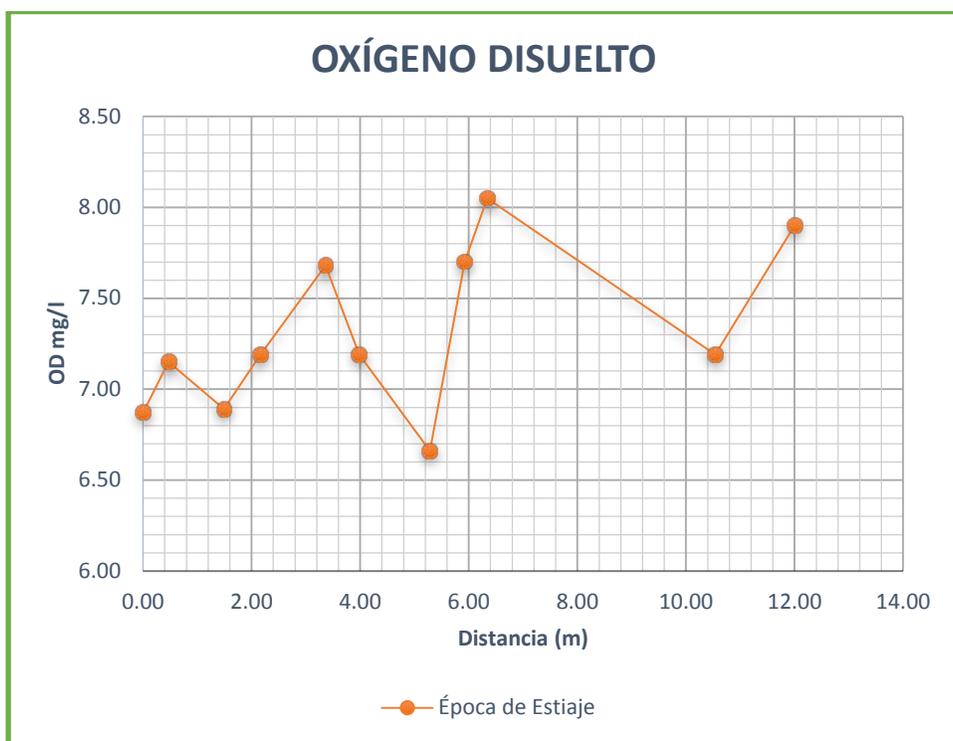
Los resultados obtenidos de los parámetros analizados se concentran en el cuadro T5.1, posteriormente para tener una mejor comparativa de lo evolución de estos parámetros entre las épocas de lluvias y en época de sequía se elaboraron las gráficas y mapas que se muestran a continuación, de mismo modo se comparan con los límites máximos permisibles de los parámetros que están normados en México.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO RÍO CUPATITZIO 2010									
ESTACIÓN	DISTANCIA (Km)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	SST (mg/L)	SSed (mg/L)	GYA (mg/L)	Col. Fecales (mg/L)
1	0.00	6.87	0.18	9.00	7.05	4.00	<0.1	0.00	<3
2	0.47	7.15	0.11	7.00	6.96	12.00	<0.1	0.00	3
3	1.49	6.89	0.18	18.00	7.21	16.00	<0.1	0.00	240
4	2.16	7.19	1.67	9.00	7.55	4.00	<0.1	0.35	1100
5	3.36	7.68	9.81	15.00	6.76	12.00	0.30	21.08	2300
6	3.98	7.19	3.73	9.00	6.94	28.00	0.10	10.49	2300
7	5.28	6.66	13.98	27.00	7.81	4.00	0.10	12.42	2300
8	5.92	7.70	5.10	9.00	7.42	16.00	0.20	3.78	400
9	6.34	8.05	3.84	12.00	6.52	16.00	0.40	12.86	93000
10	10.54	7.19	6.51	21.00	7.08	12.00	0.20	8.45	900
11	12.00	7.90	6.78	31.00	7.13	12.00	0.60	45.61	2300

Cuadro 5.1 Resultado de los parámetros analizados de las muestras a lo largo del río Cupatitzio.

5.1.- Oxígeno Disuelto

En la gráfica 5.1 se muestra la evolución del oxígeno disuelto a lo largo del río Cupatitzio, se puede observar que la concentración más alta está en la estación número 9, que se localiza aguas arriba de la obra de toma del canal Zumpimito (la pinera), contando con 8.05 mg O₂/l, y la más baja en el punto de muestreo 7, donde desciende hasta 6.66 mg O₂/l. De modo general, se puede observar que no hay mucha variación en las concentraciones de oxígeno ya que varían de 6 a 8 mg O₂/l.

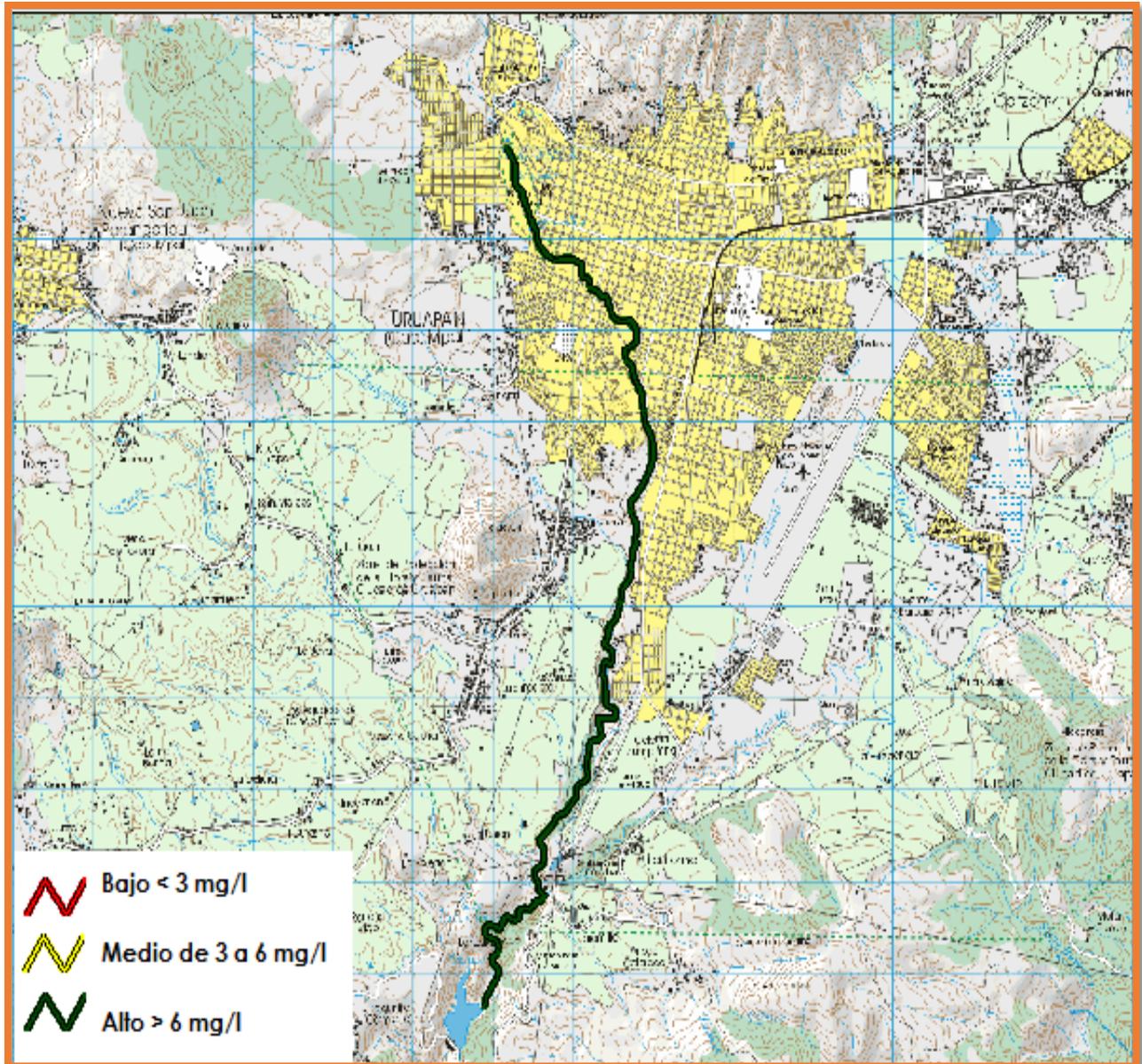


Gráfica 5.1 Evolución del Oxígeno disuelto.

Curiosamente, que se observa que en el nacimiento del río Cupatitzio cuando aún se encuentra libre de descarga en las estaciones 1 y 2 en época de sequía no cuentan con las mayores concentraciones de oxígeno, deduciendo así que conforme la corriente del río avanza, más cantidad de oxígeno se disolviendo.

Sin embargo, este parámetro aún no ha sido normado, pero se conoce que para que la vida acuática pueda sobrevivir satisfactoriamente, es necesaria una concentración arriba de 6 mg O₂/l.

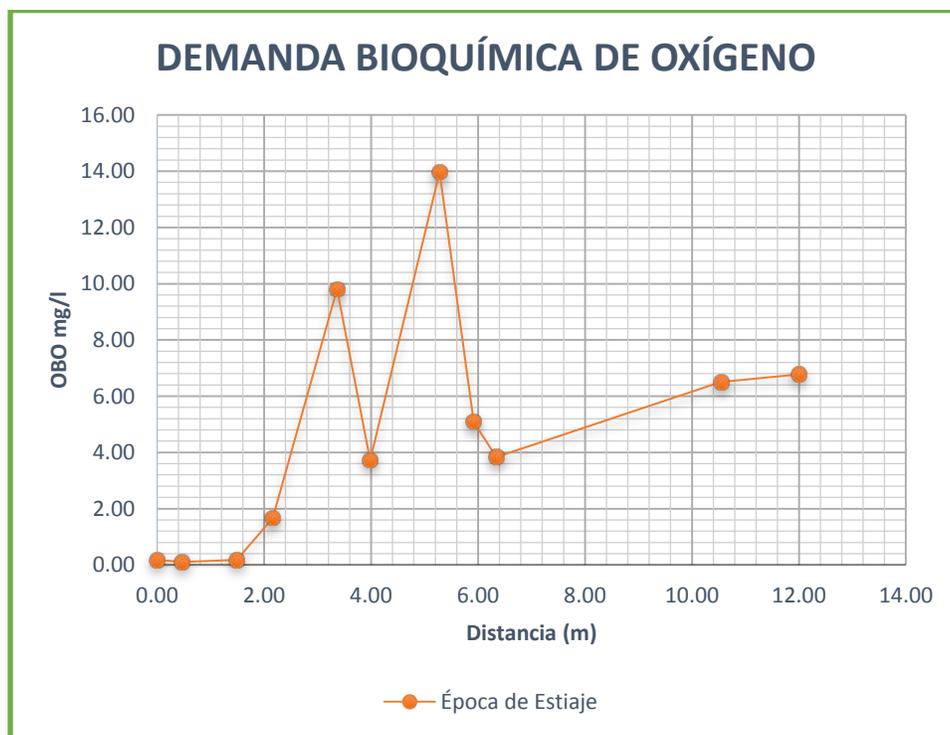
A continuación se muestra el mapa de evolución de oxígeno disuelto a lo largo del tramo de estudio, generando una mejor apreciación de cómo se comporta este parámetro a lo largo del río.



Mapa 5.1 Evolución del Oxígeno Disuelto a lo largo del río Cupatitzio.

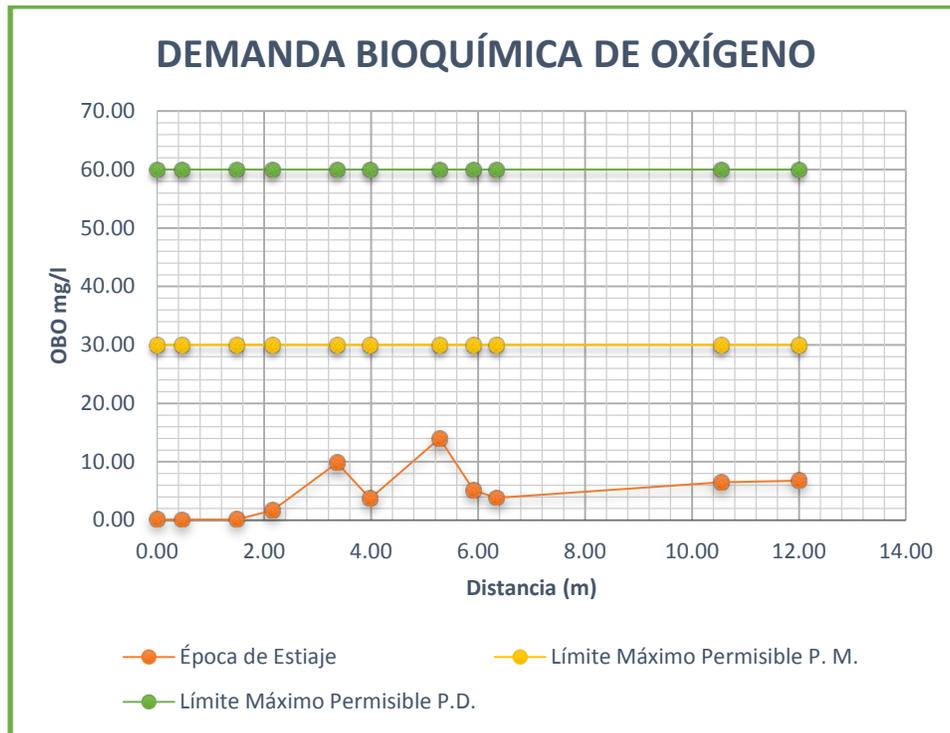
5.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno

En la estación que menor demanda bioquímica de oxígeno se presenta en la estación 2 que se localiza dentro del Parque Nacional, en el Puente del Recuerdo, con una demanda de 0.11 mg O₂/l, pero a lo largo del río se encuentran considerables variaciones alcanzando 13.98 mg O₂/l, en la estación 7 ubicada en el Puente Jicalán, sin embargo, vuelve a descender hasta 3.84 mg O₂/l, aguas arriba de la toma del canal Zumpimito y llegando a la entrada de la presa con una concentración de 6.78 mg O₂/l. Lo que nos indica que en el punto de muestreo 7 existe la mayor cantidad de materia orgánica y en las primeras tres estaciones la materia orgánica es casi nula.



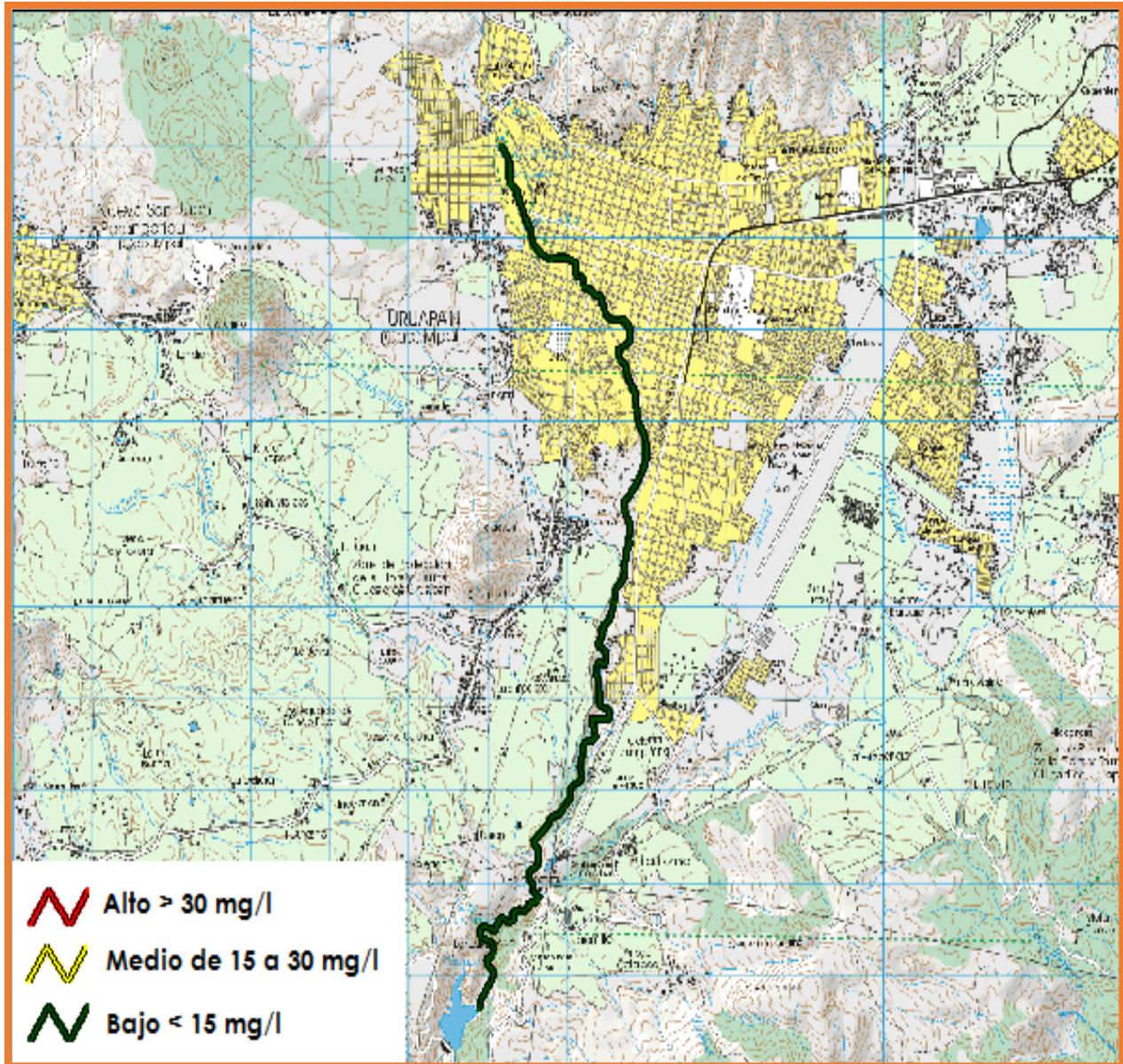
Gráfica 5.2 Evolución de Demanda bioquímica de oxígeno.

Sin embargo de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, se establece que el límite máximo permisible es el de 30 mg O₂/l, promedio mensual y 60 mg O₂/l promedio diario, para la protección de la vida acuática, por lo que este límite no se ha rebasado.



Gráfica 5.3 Comparación de la demanda bioquímica de oxígeno con los límites máximos permisibles promedio mensual y diario.

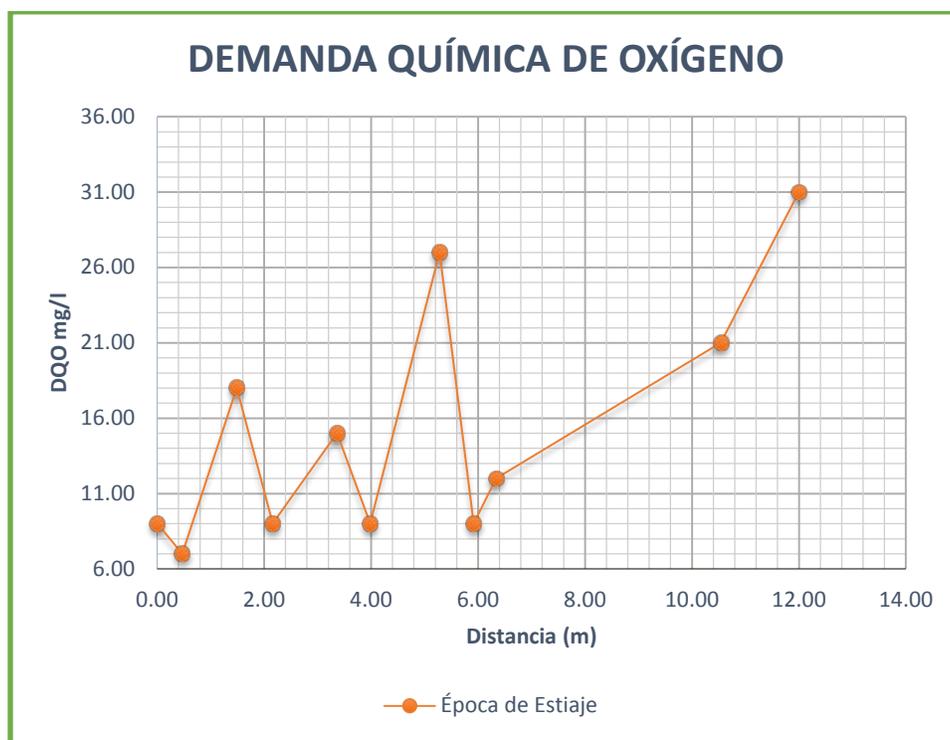
A continuación se muestra el mapa 5.2 de evolución de la demanda bioquímica de oxígeno a lo largo del tramo de estudio, generando una mejor apreciación de cómo se comporta este parámetro.



Mapa 5.2 Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a lo largo del río Cupatitzio de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

5.3.- Demanda química de Oxígeno.

A largo de la corriente en la demanda química de oxígeno alcanza los 31 mg O₂/l, en la estación 11 situada en la presa del Cupatitzio, que es valor más alto en toda la corriente del río, por otro lado, el más bajo se presenta en las estaciones 1, 2, 4, 6 y 9 variando de 7 a 9 mg O₂/l.

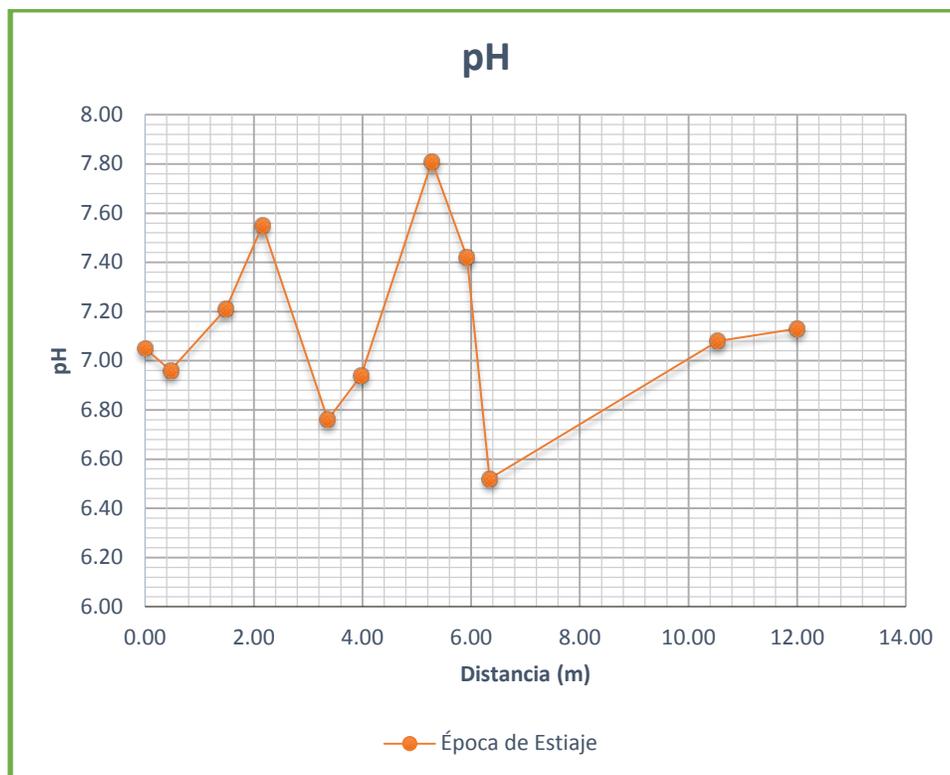


Gráfica 5.4 Demanda química de oxígeno en temporada de lluvias y de sequía.

La demanda química de oxígeno aún no está normada por ninguna norma, sin embargo, éste indicador es indispensable, ya que con éste parámetro se calcula la demanda bioquímica de oxígeno

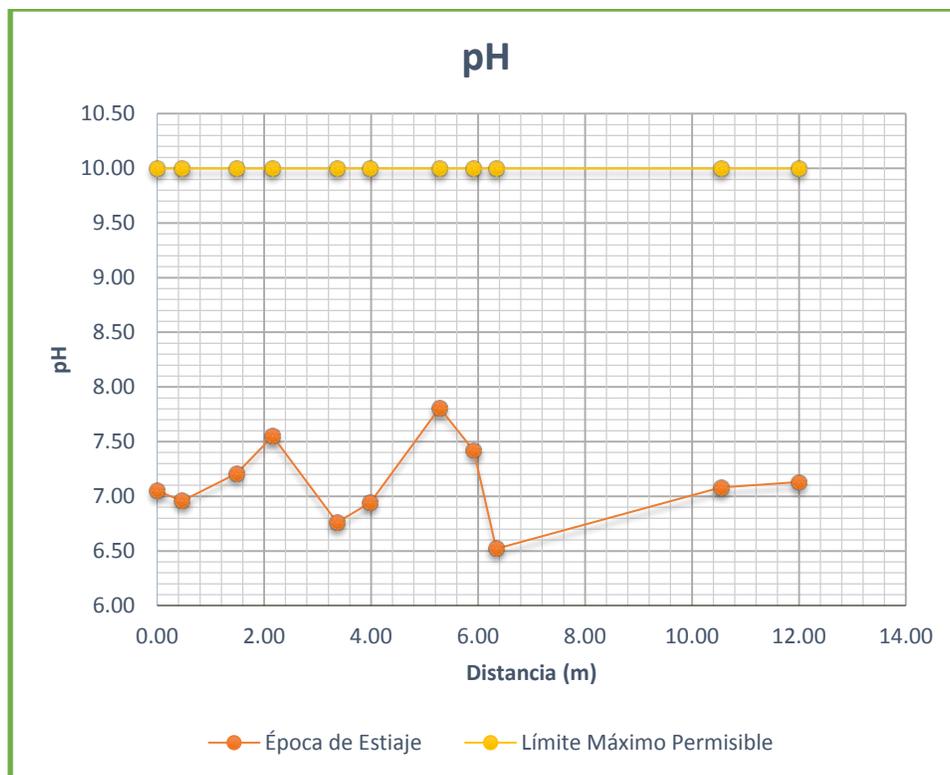
5.4.- Potencial Hidrógeno

A lo largo del río Cupatitzio se encontraron valores que no distan mucho de un valor neutral. Las más distantes serían la estación 7 contando con una concentración de 7.81 y la estación 9 con 6.52. Es preferente que el agua se encuentre en condiciones neutras, ni acida, ni básica.



Gráfica 5.5 Evolución del pH.

A pesar de estas variaciones a lo largo del río, la cantidad de pH no se ve sobrepasando el límite máximo permisible que de acuerdo a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, el rango permisible debe estar dentro de 5 a 10 unidades.



Gráfica 5.5 Comparación del pH con el límite máximo permisible.

5.5.- Sólidos Suspendedos totales

En la gráfica 5.6 se muestra la evolución de los sólidos suspendidos totales a lo largo del río Cupatitzio. En temporada de sequía, los sólidos suspendidos totales están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, teniendo una concentración máxima de 28 mg/l, proveniente del punto de muestreo 6.



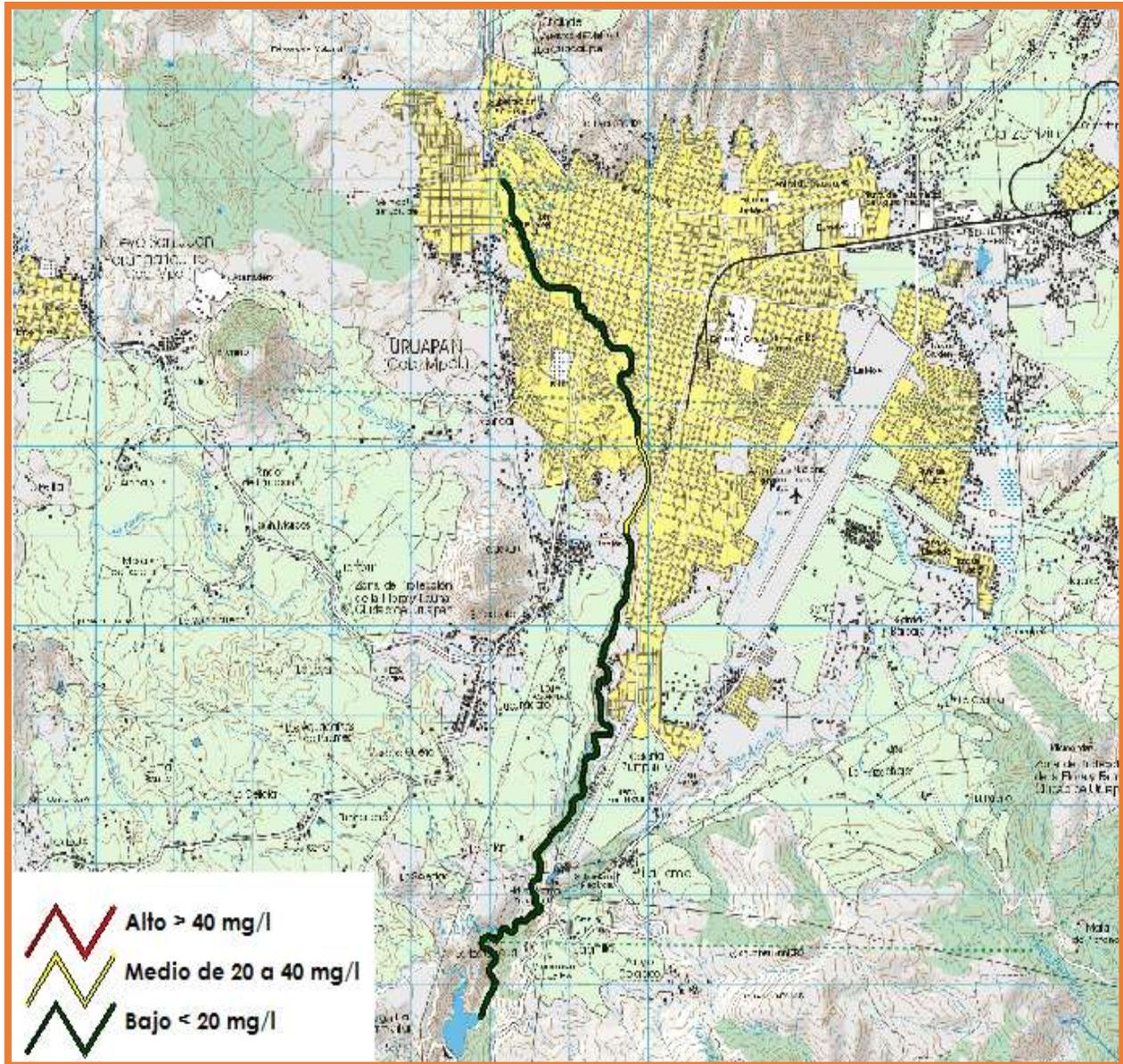
Gráfica 5.6 Sólidos suspendidos totales en temporada de lluvias y de sequía.

En la gráfica 5.7 se muestra como a lo largo del río, en ninguna estación se revasaron los límites máximos permisibles, ni promedio diario, ni mensual, dato de esperarse ya que el análisis fue llevado a cabo en temporada de sequía, en la que hay menos probabilidad de que se resuspendan las partículas sedimentadas.



Gráfica 5.7 Comparación de los sólidos suspendidos totales los límites máximos permisibles.

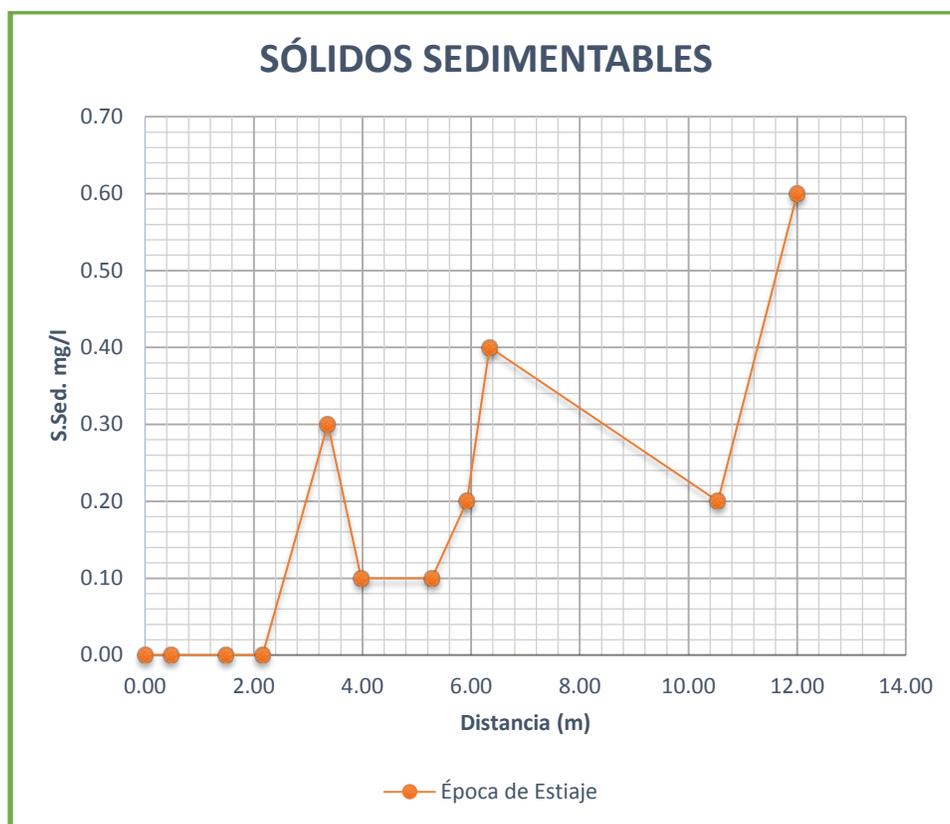
En el mapa 5.3 se muestra la evolución de los sólidos suspendidos totales a lo largo del río Cupatitzio en temporada de lluvias y de sequía.



Mapa 5.3 Evolución de Sólidos Suspendedos Totales a lo largo del río Cupatitzio de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

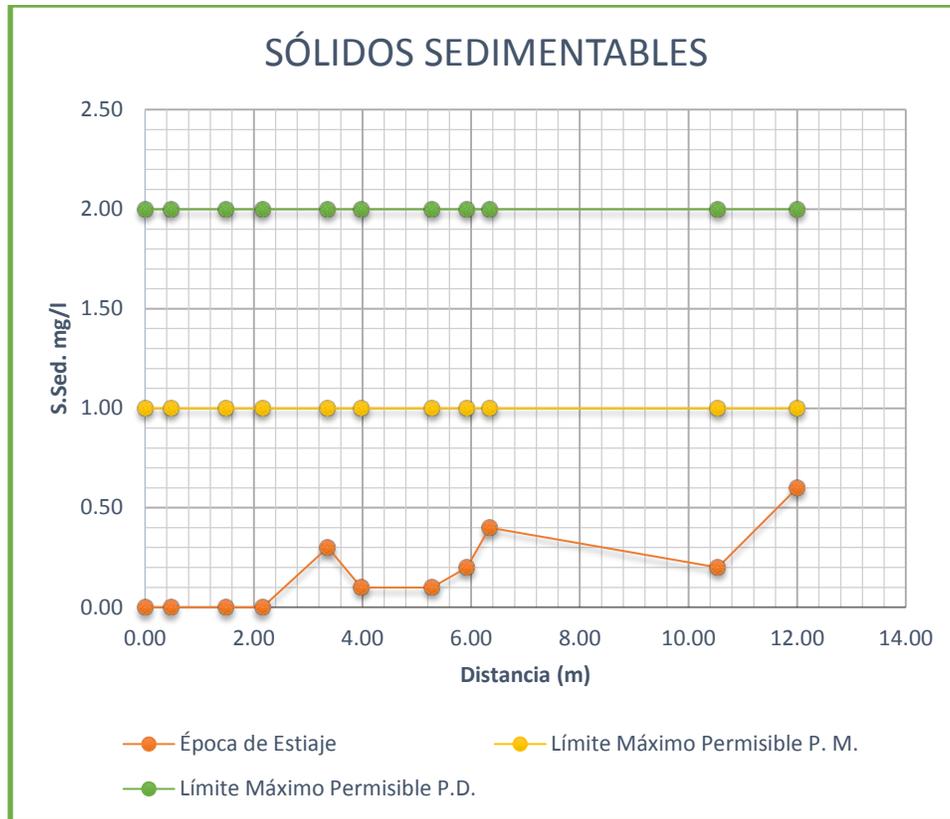
5.6.- Sólidos Sedimentables

Los sólidos sedimentables, en la mayor parte de la corriente, la concentración no exceden los 0.1 mg/l, pero es a partir de la estación de muestreo 8, en la entrada de la Presa, comienza a aumentar la cantidad de sólidos sedimentables alcanzando un máximo de 0.6 mg/l.



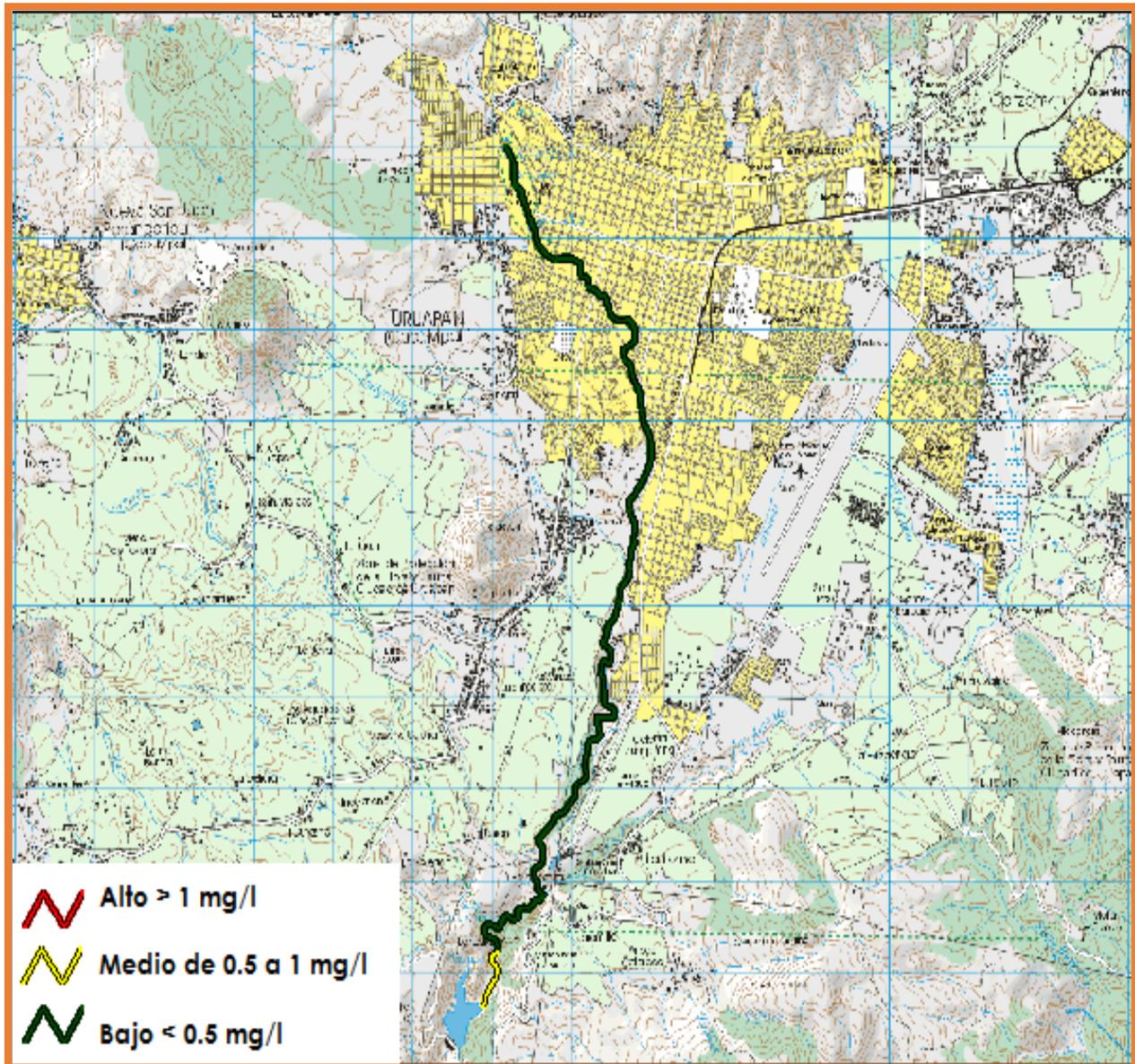
Gráfica G.8 Sólidos sedimentados en temporada de lluvias y de sequía

De acuerdo a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, los límites máximos permisibles para los sólidos sedimentables son de 1mg/l y 2mg/l, para límites promedios mensuales y límites promedios diarios respectivamente, en éste caso no se rebasan ninguno de los anteriores.



Gráfica 5.9 Comparación de los sólidos sedimentados con los límites máximos permisibles.

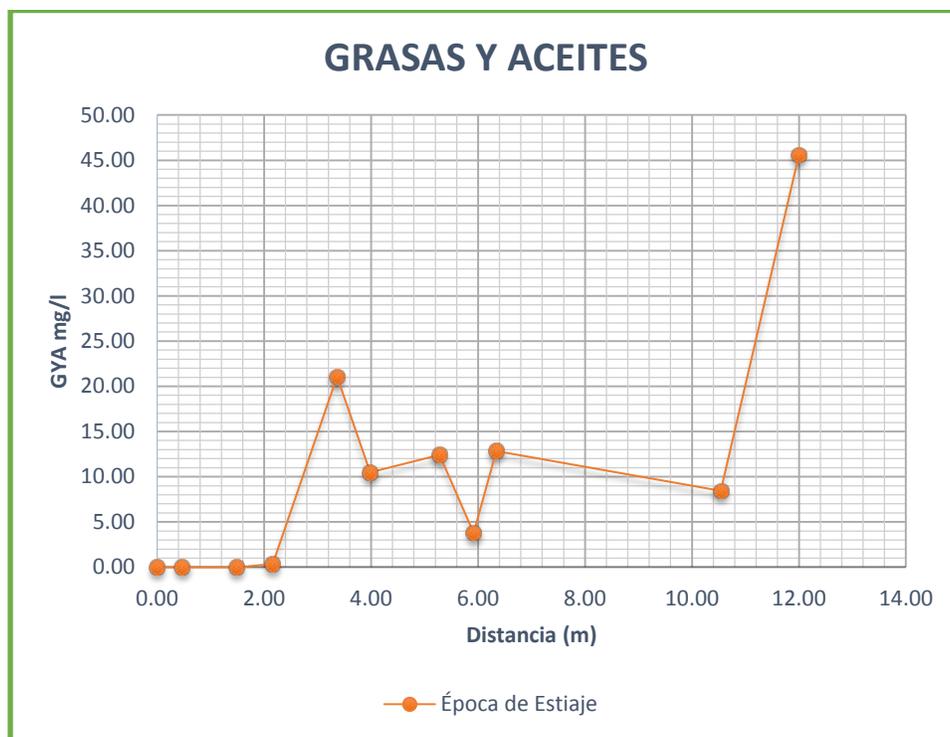
En el mapa 5.4 se observa la evolución de este parámetro a lo largo de la zona de estudio.



Mapa 5.4 Evolución de Sólidos Sedimentados a lo largo del río Cupatitzio de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

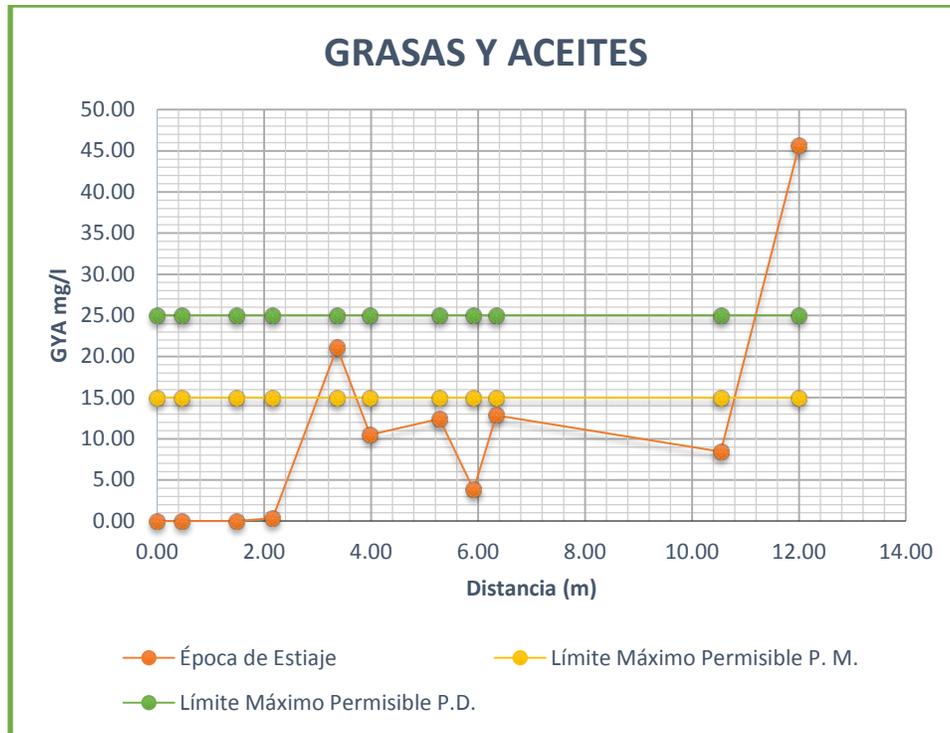
5.7.- Grasas y Aceites

Como se observa en gráfica 5.10, es evidente el aumento de grasas y aceites que se concentran a lo largo del río, ya que en los primeros puntos de muestreo se observa nula concentración de grasas y aceites, no es hasta la estación 5, Puente de la Tacuma, que se comienzan a disparar la cantidad de grasas y aceites, pasando de 0.35 mg/l a 21.08 mg/l, aunque esta no es la estación en la que se registra la mayor concentración de este parámetro; en la estación 11, la entrada a la presa del Cupatitzio, alcanza 45.6 mg/l



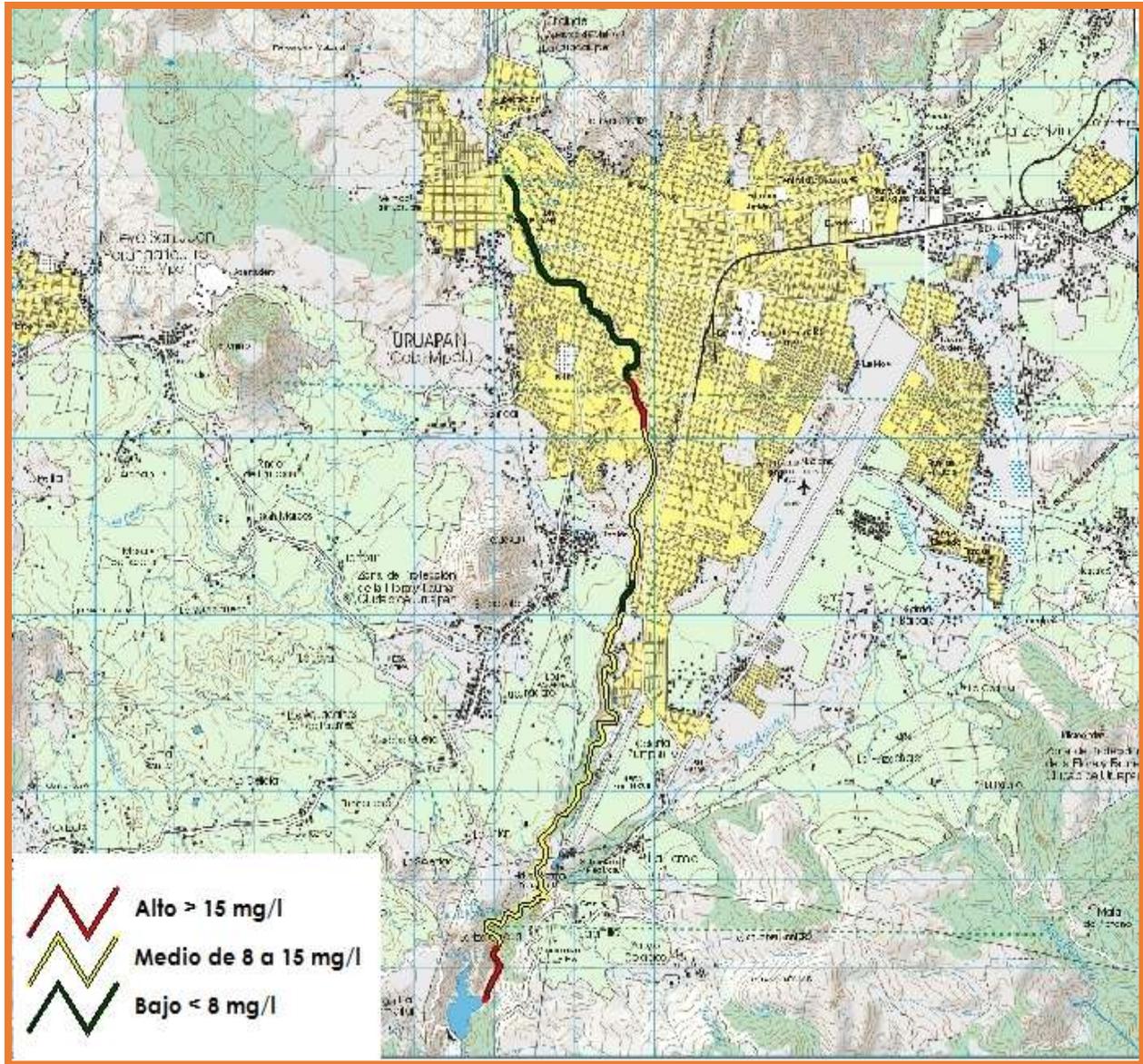
Gráfica G5.10 Evolución de Grasas y aceites

De acuerdo a los los límites máximos permisibles citados en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, teniendo como límite 15 y 25 mg/l promedio mensual y diario respectivamente, límites que se revasan en las estaciones 5 y 11, y que estan muy proximos a sobrepasarse en las estaciones 7 y 9, como se muestra a continuación.



Gráfica 5.11 Comparación de grasas y aceites e con los límites máximos permisibles.

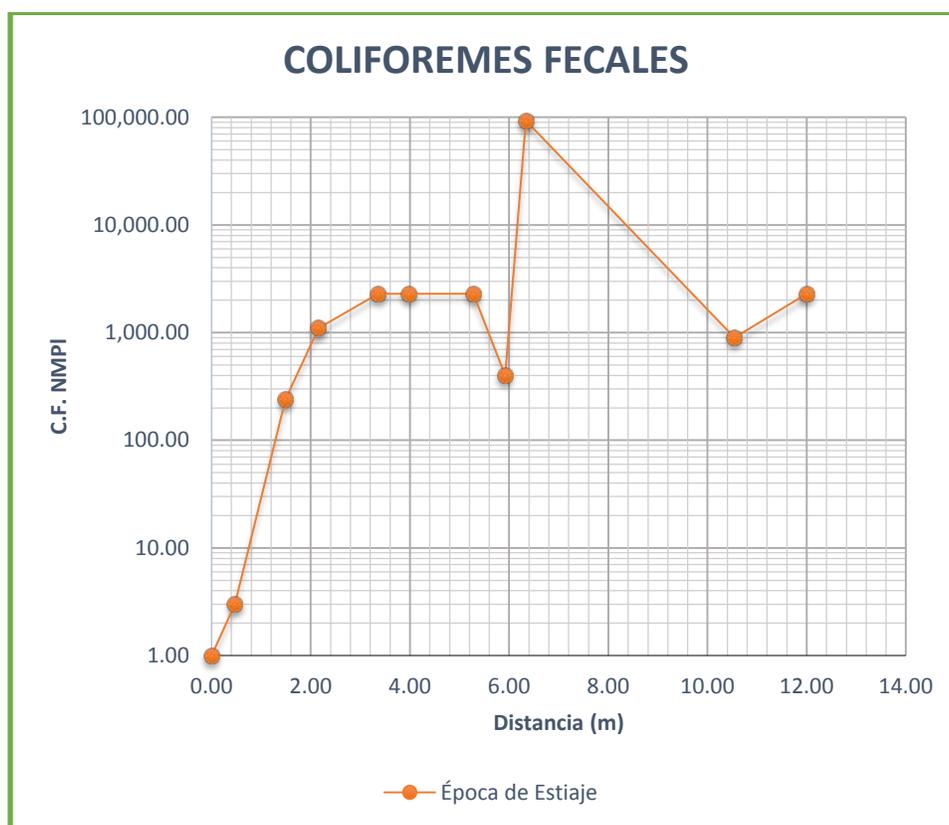
A continuación se muestra el mapa 5.5 de la evolución de las grasas y aceites en el tramo de estudio.



Mapa 5.5 Evolución de Grasas y Aceites a lo largo del río Cupatitzio de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 en época de sequía.

5.8.- Coliformes Fecales

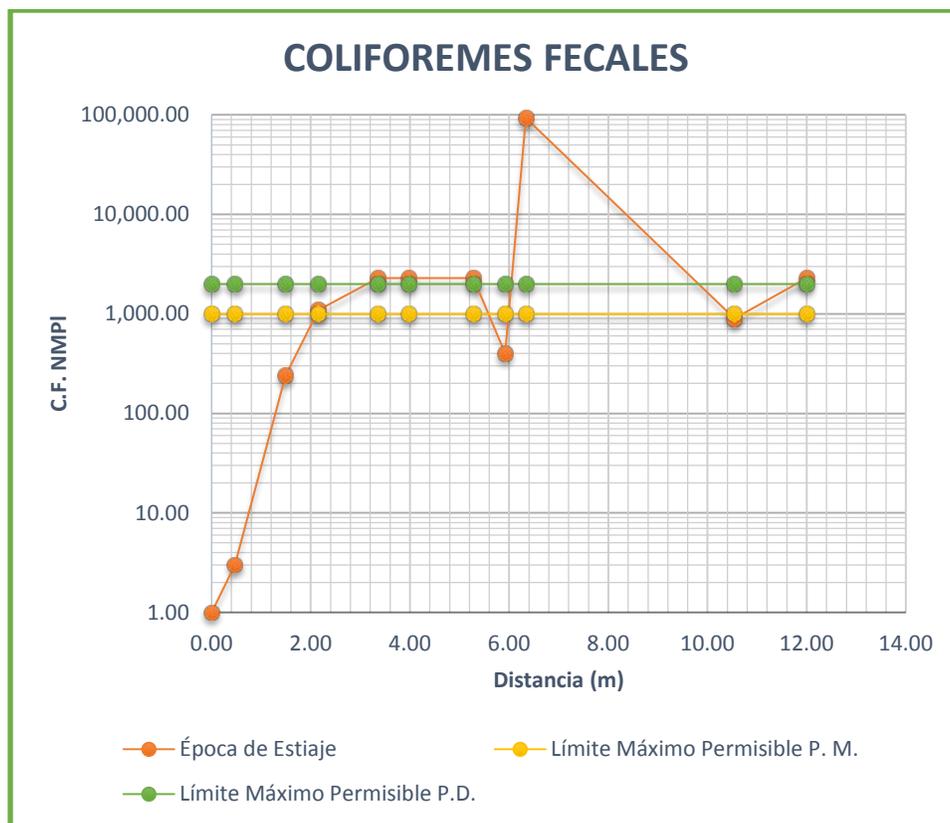
El comportamiento de los coliformes fecales, muestra el grado de contaminación a lo largo de la corriente, ya que en el nacimiento del río se cuenta con menos de 3 NMP/100 ml, sin embargo el aumento de éstos es considerable, ya que en la estación 4 observamos una cantidad de 1100 NMP/100 ml, concentración que continua aumentando a lo largo del río, es sólo en las estaciones 8 que se muestra un descenso de los coliformes fecales de descienden de 2300 (en la estación 7) a 400 NMP/100 ml (en la estación 8).



Gráfica 5.11 Evolución de coliformes fecales.

Existe también una baja de coliformes de la estación 10 a la 11, que va de 93000 NMP/100 ml a 900 NMP/100 ml. Sin embargo en la mayoría las estaciones se sobrepasan límites máximo permisibles, que, de acuerdo a la norma NOM-001-

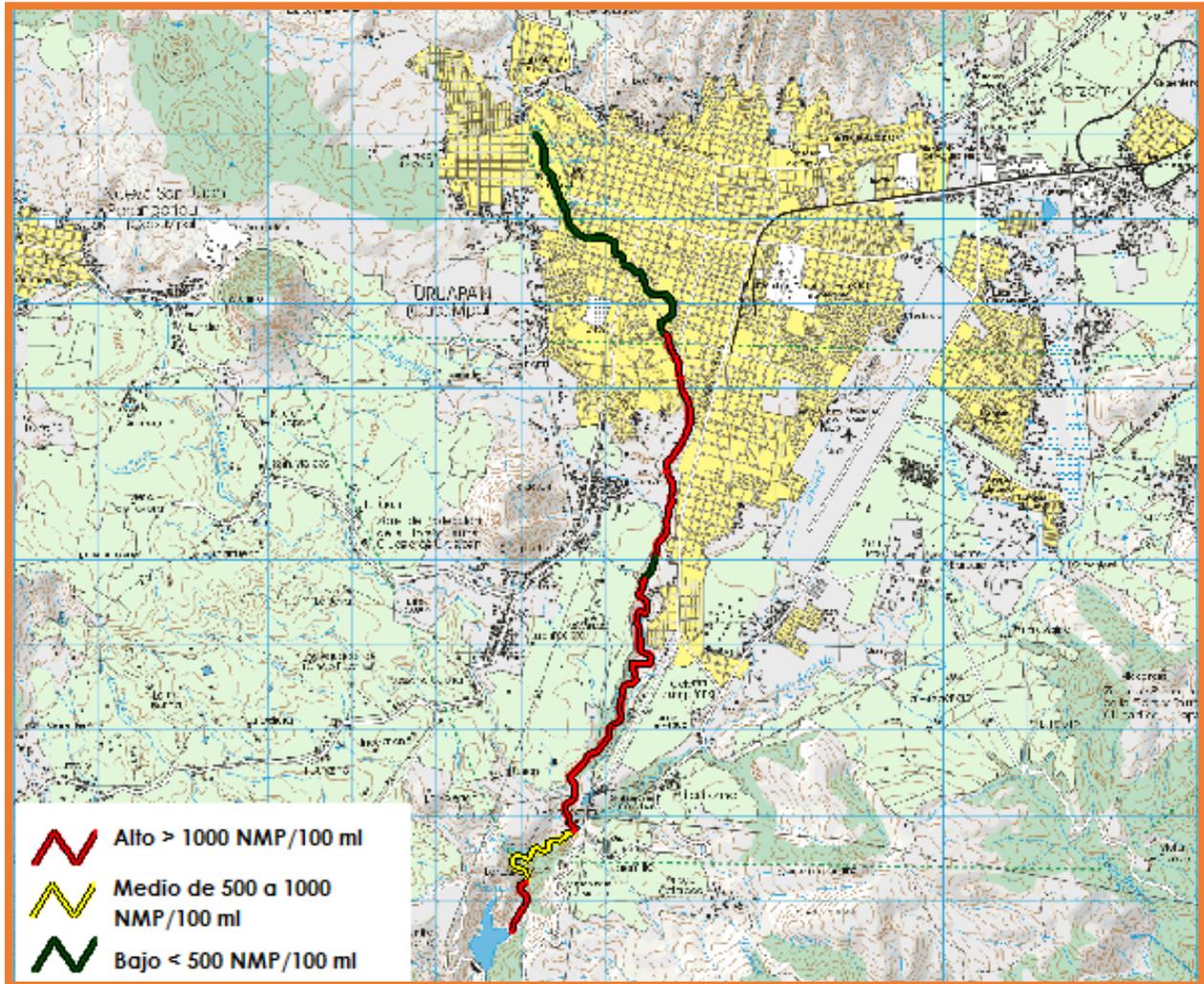
SEMARNAT-1996 que considera 1000 y 2000 NMP/100 ml para el promedio mensual y diario.



Gráfica 5.11 Comparación de coliformes fecales con los límites máximos permisibles.

De manera generica se podría decir que, practicamente, sólo cuando el agua esta dentro del Parque Nacional cumple con los límites permisibles.

En el mapa 5.6 se observa la evolucion del parametros de contaminacion coliformes fecales.



Mapa 5.6 Evolución de Coliformes Fecales a lo largo del río Cupatitzio de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

5.9.- Comparación de los resultados de 1993 y 2010

En 1993 se realizó un estudio similar a éste nombrado, “Evaluación De La Calidad Del Agua En El Río Cupatitzio”, en este trabajo se analizan varios de los parámetros que en esta tesis se han estudiado, en el cual los puntos de muestreo o estaciones empiezan con el nacimiento del río Cupatitzio, Rodilla del Diablo, y finalizando con el Puente El Márquez.

Aprovechando los datos recaudados en 1993, se emplearon para hacer una comparativa de esta información con la recaudada en el 2010, para tomarlos como punto de referencia pero no siendo en su totalidad fiable, ya que las estaciones de muestreo que presenta la tesis de 1993, son deferentes a las que se muestrearon en la presente tesis. De modo, que la comparación que se presenta a continuación sólo se utilizará como referencia de la calidad del agua en ese entonces, a reserva de poder emplearla en cualquier otro proyecto.

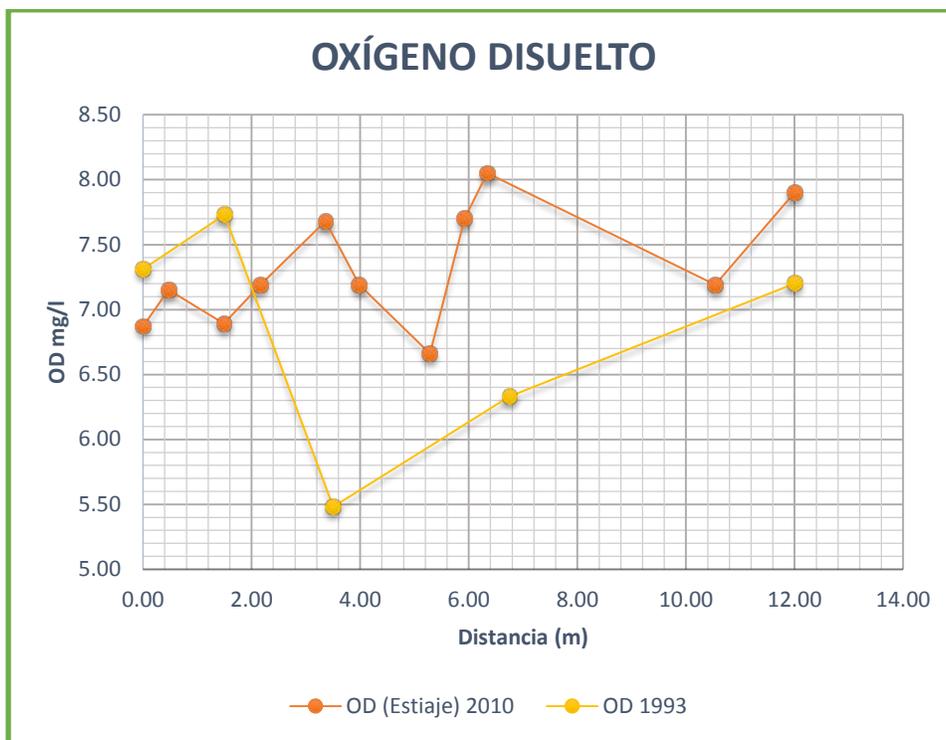
Los resultados del análisis hecho en ese entonces se muestran en el cuadro 5.2.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO RÍO CUPATITZIO 1994									
ESTACIÓN	DISTANCIA (km)	OD 1993 (mg/L)	DBO 1993 (mg/L)	DQO 1993 (mg/L)	pH 1993 (mg/L)	SST 1993 (mg/L)	S Sed. 1993 (mg/L)	GYA 1993 (mg/L)	Col. Fecales 1993 (mg/L)
1.00	0.00	7.31	2.75	3.23	7.42	17.56	0.10	11.18	200.00
2.00	1.50	7.73	4.21	6.90	7.59	22.00	0.09	12.57	360.00
3.00	3.50	5.48	9.16	20.01	7.23	26.58	0.46	13.81	5980000.00
4.00	6.75	6.33	6.01	25.97	7.39	30.44	0.48	15.96	3820000.00
5.00	12.00	7.20	3.58	17.64	7.41	48.11	0.29	14.95	1140000.00

Cuadro 5.2

5.9.1.- Oxígeno Disuelto

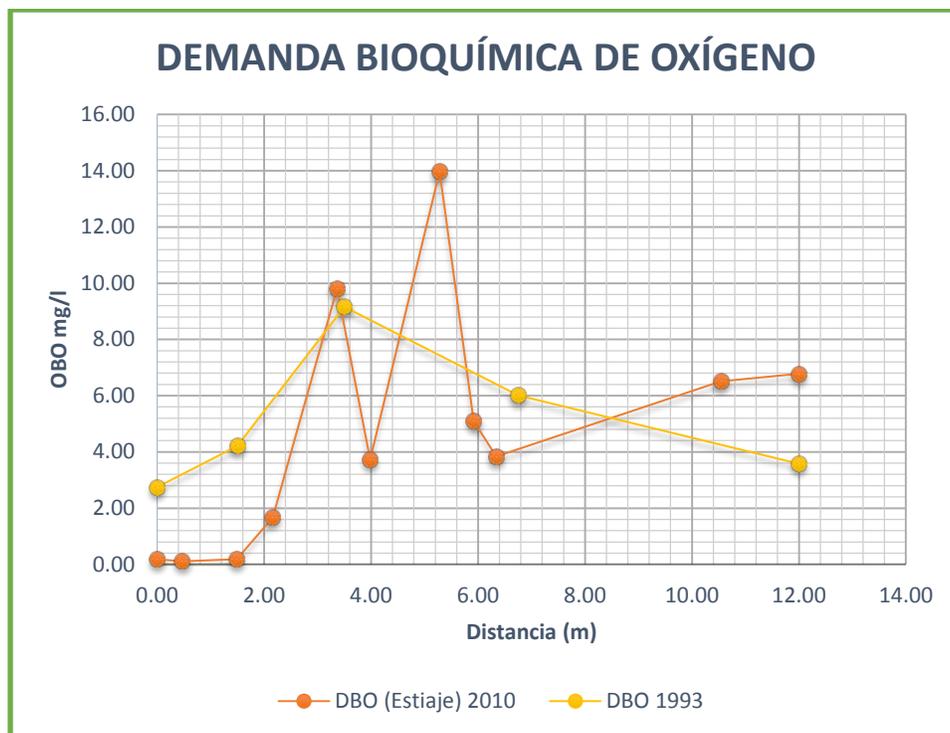
En la gráfica 5.12 se observa que en el muestreo de 2010, la concentración de oxígeno disuelto es mayor que la que se presentaba en 1993, distando con un poco más de 2 mg O₂/l, de la estación 5 y la 3 respectivamente que son las más próximas de ubicación.



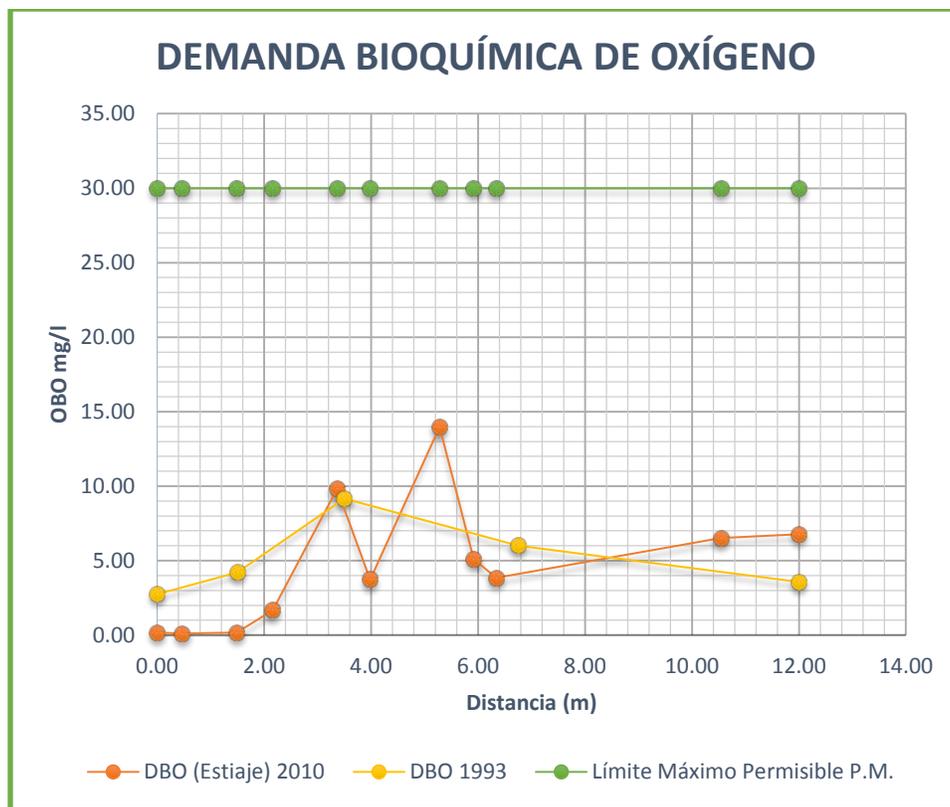
Gráfica 5.12 Comparación de resultados de oxígeno disuelto en 1993 y 2010.

5.9.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se observa que en los primeros 3 kilómetros la DBO5 en 1993 es más alta que la actual, sin embargo en el kilómetro 3.5 comienza a descender llegando a haber una menor demanda que la que existe actualmente. Cabe señalar que igualmente no se rebasan los límites máximos permisibles que es de 30 mg O₂/l y 60 mg O₂/l, promedio mensual y promedio diario respectivamente.



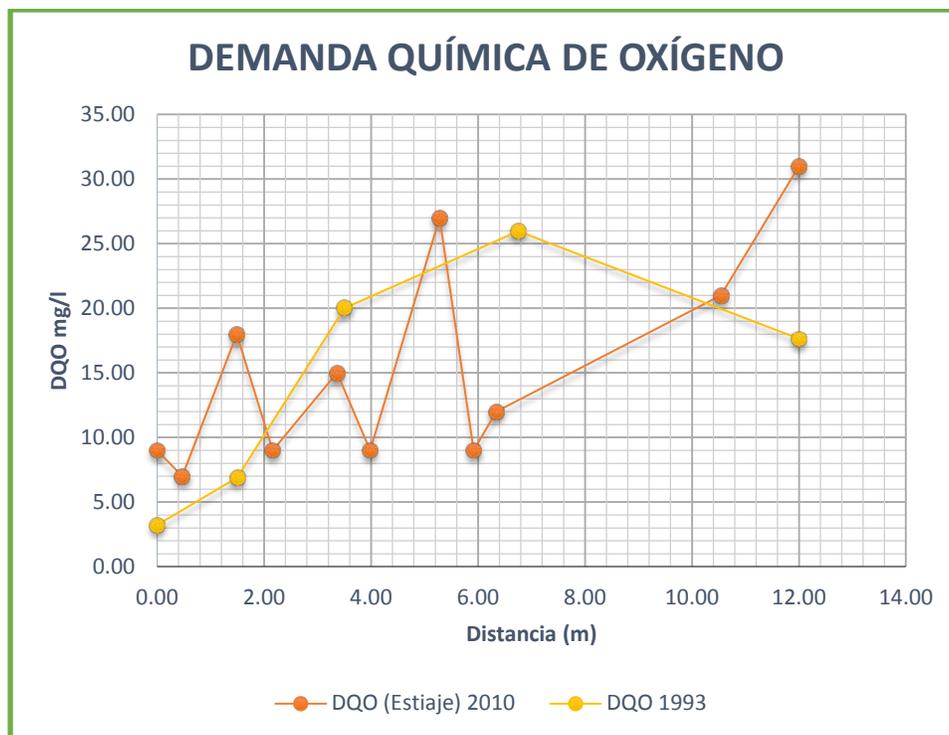
Gráfica 5.13 Comparación de resultados de DBO5 en 1993 y 2010.



Gráfica 5.14 Comparación de resultados de DBO5 en 1993 y 2010, así como de los límites máximos permisibles.

5.9.3.- Demanda química de Oxígeno.

Como se observa en la gráfica 5.15 la demanda química de oxígeno en la actualidad y que la existía en 1993, varía mucho, de tal modo que en los primeros 2 kilómetros se observa que es mayor la DQO actual que la que se presentó en 1993 así como del kilómetro 10 en adelante, sin embargo, del kilómetro 2 al 8 se observa que existía una mayor demanda de DQO.

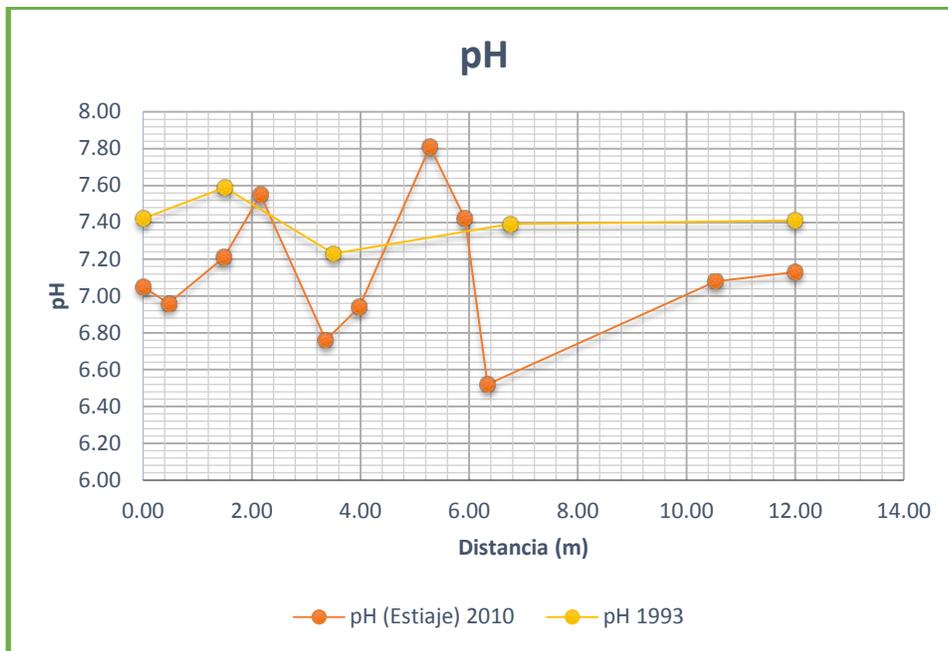


Gráfica 5.15 Comparación de resultados de DQO en 1993 y 2010.

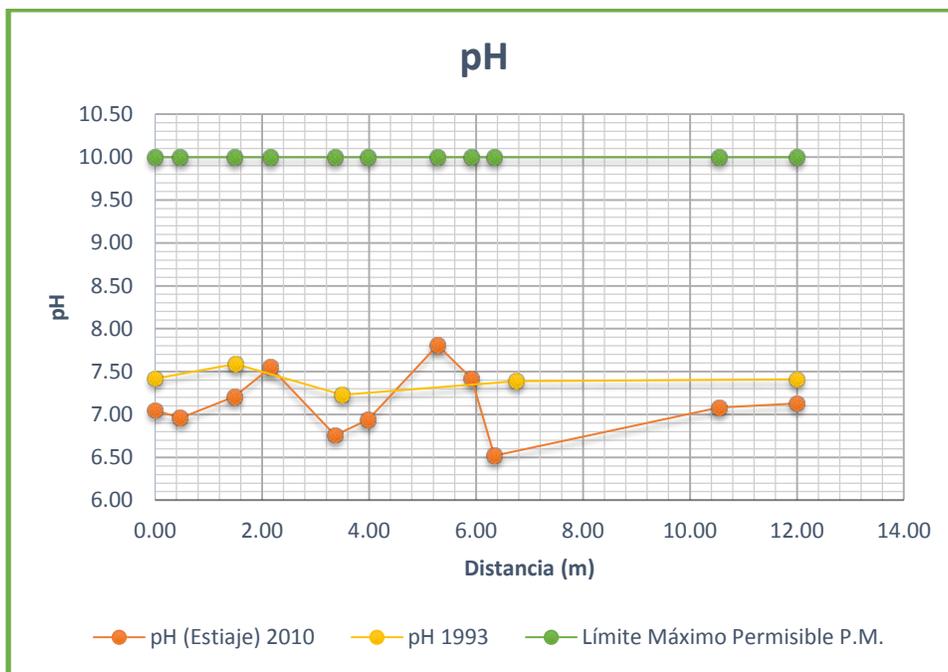
5.9.4.- Potencial Hidrógeno

Las concentraciones de pH obtenidas hace 20 años son mayores que las del 2010, casi a lo largo de todo el río, sin embargo se logró sobrepasar las concentraciones de 1993 en dos ocasiones, así que de manera muy general se podría decir que ha bajado un poco las concentraciones de pH en el río.

De acuerdo a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, la cantidad de pH obtenido en 1993 no rebasa los límites permisibles, situándose dentro del rango de a 10 unidades.



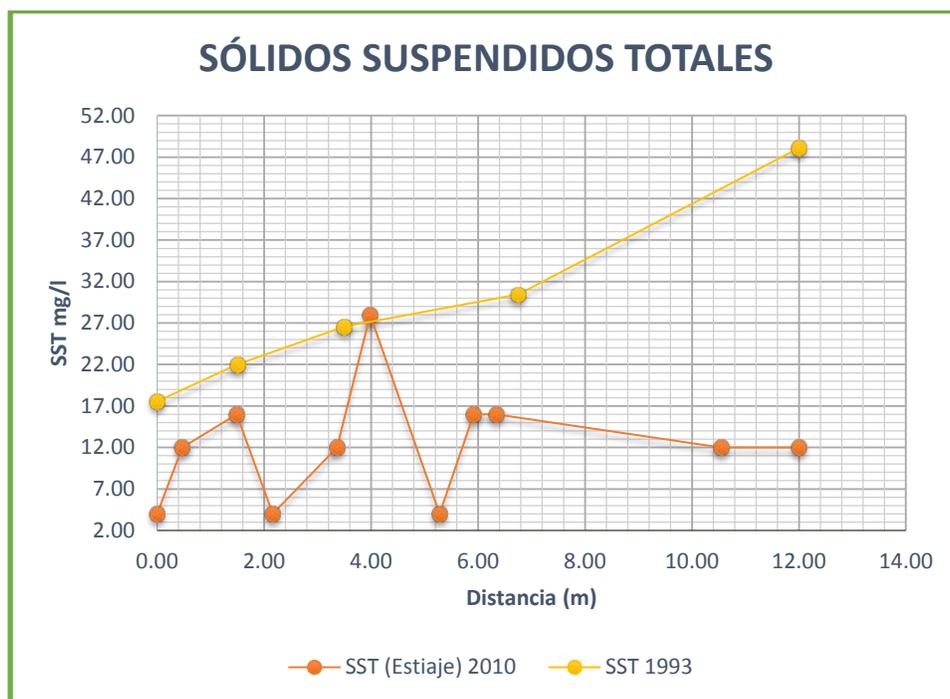
Gráfica 5.16 Comparación de resultados de pH en 1993 y 2010.



Gráfica 5.17 Comparación de resultados de pH en 1993 y 2010 con los límites máximos permisibles.

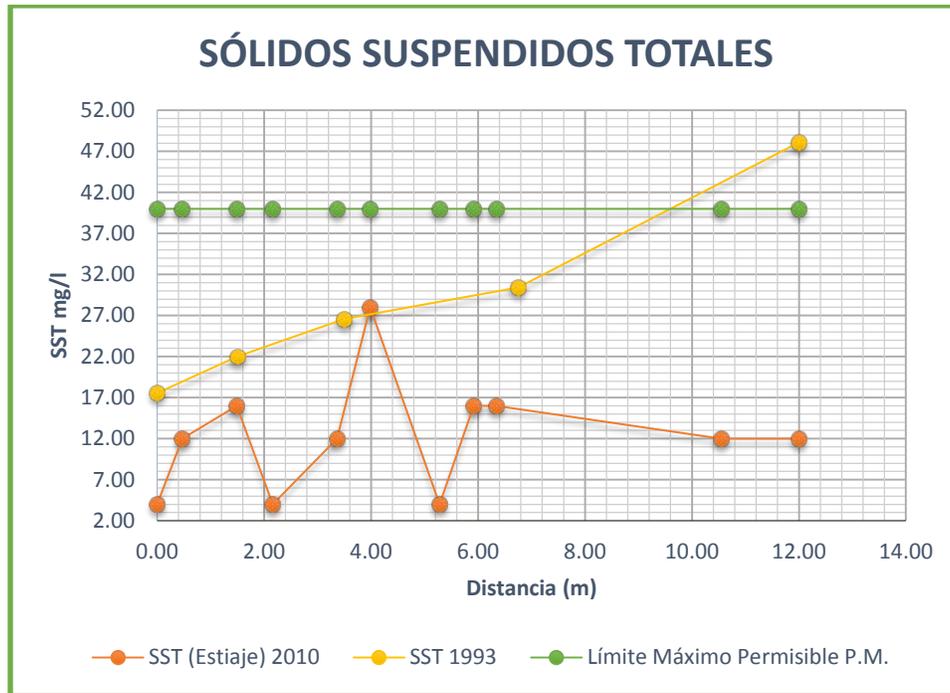
5.9.5.- Sólidos Suspendidos totales

En la gráfica 5.18 se observa que en 1993, y a excepción del kilómetro cuatro, la cantidad de los sólidos suspendidos era mayor a la que actualmente contiene el río. Cabe destacar que los resultados de los muestreos del 93 se hicieron de manera mensual, y en el caso de esta tesis se realizaron sólo en caso de temporada de sequía.



Gráfica 5.18 Comparación de resultados de sólidos suspendidos totales en 1993 y 2010.

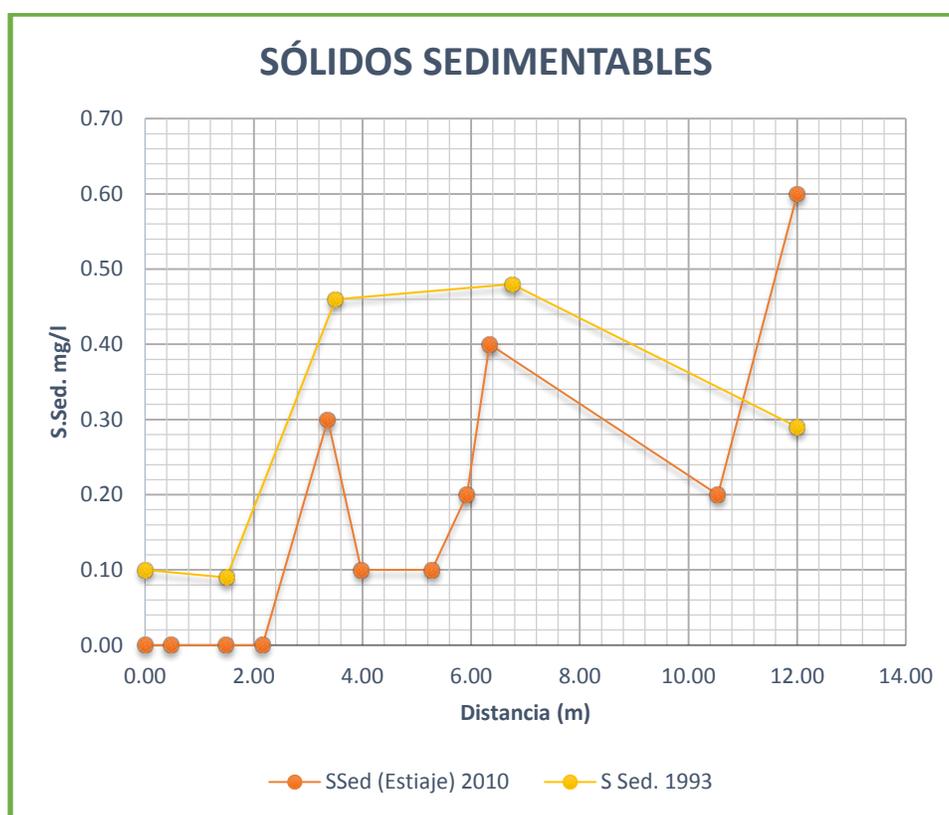
En 1993, no es hasta el kilómetro 9, aproximadamente, cuando se superan el límite máximo permisible promedio mensual que es de 40 mg/l



Gráfica 5.19 Comparación de resultados de sólidos suspendidos totales en 1993 y 2010 con los límites máximos permisibles.

5.9.6.- Sólidos Sedimentables

Como se muestra en la gráfica 5.20, anteriormente existía una mayor cantidad de sólidos sedimentables, siendo mayores las concentraciones de 1993 que las registradas en el 2010 exceptuando el kilómetro 12, superando los sólidos sedimentables con 0.3 ml/l. no obstante en ninguna estación se rebasan los límites máximos permisibles de 1 y 2 ml/l promedio diario y mensual respectivamente, citados en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

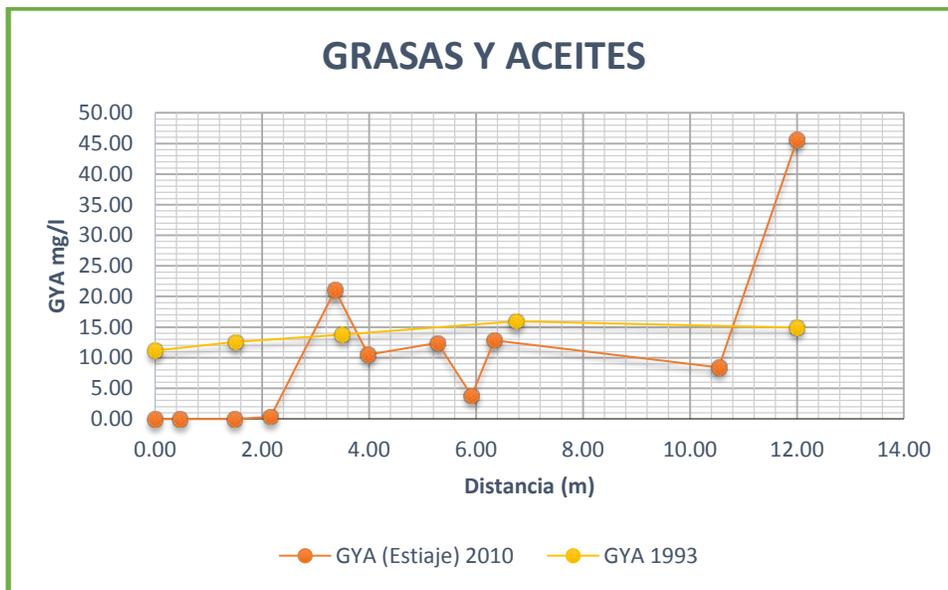


Gráfica 5.20 Comparación de resultados de sólidos sedimentables en 1993 y 2010.

5.9.7.- Grasas y Aceites

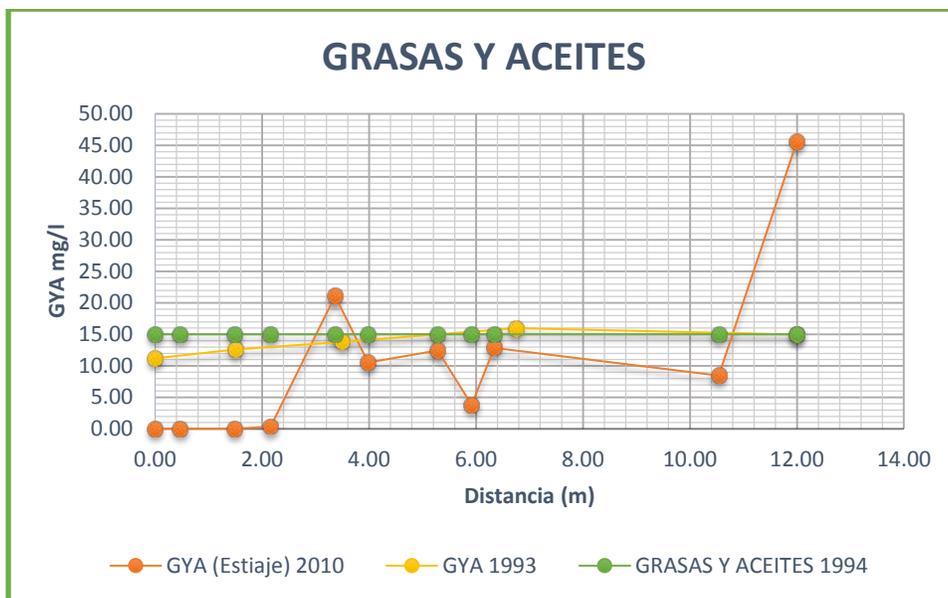
Como se muestra a continuación en la gráfica 5.21, hay una reducción de grasas y aceites de 1993 al 2010, excepto en las estaciones 5 y 12 de 2010, siendo más

evidente la 12 sobrepasando notablemente la cantidad de grasas y aceites presentada hace 20 años.



Gráfica 5.21 Comparación de resultados de grasas y aceites en 1993 y 2010.

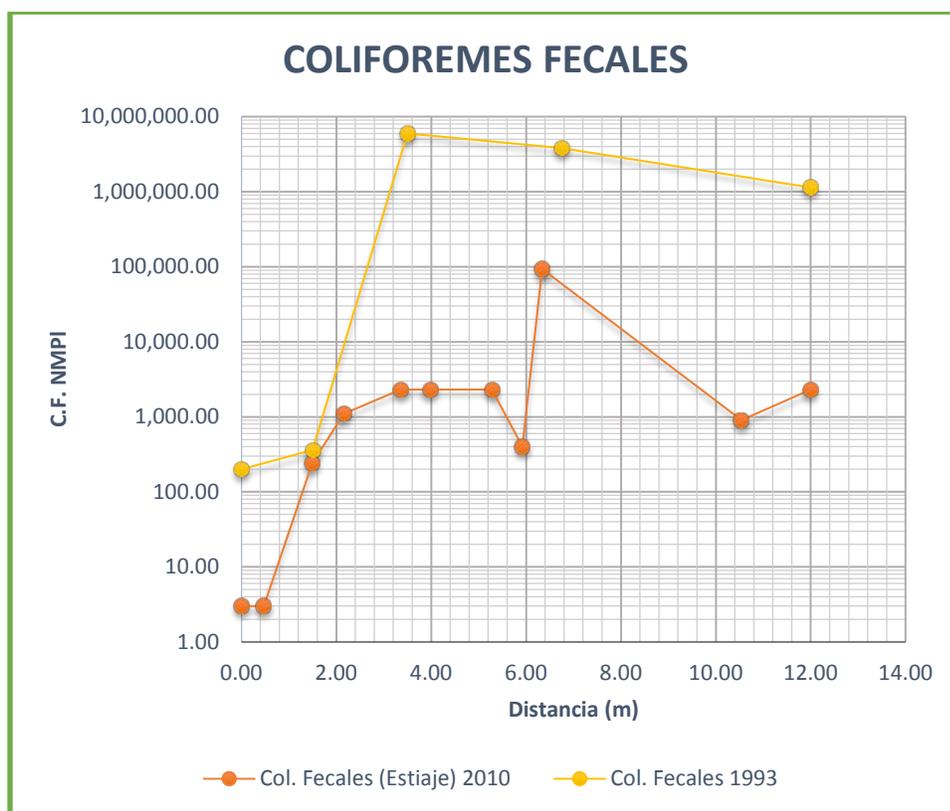
Pese a esto se rebasa, en 1993, el límite máximo permisible promedio mensual del kilómetro 5 al 10.5 aproximadamente, siendo más de 5 kilómetros en los que no se cumple con estos límites.



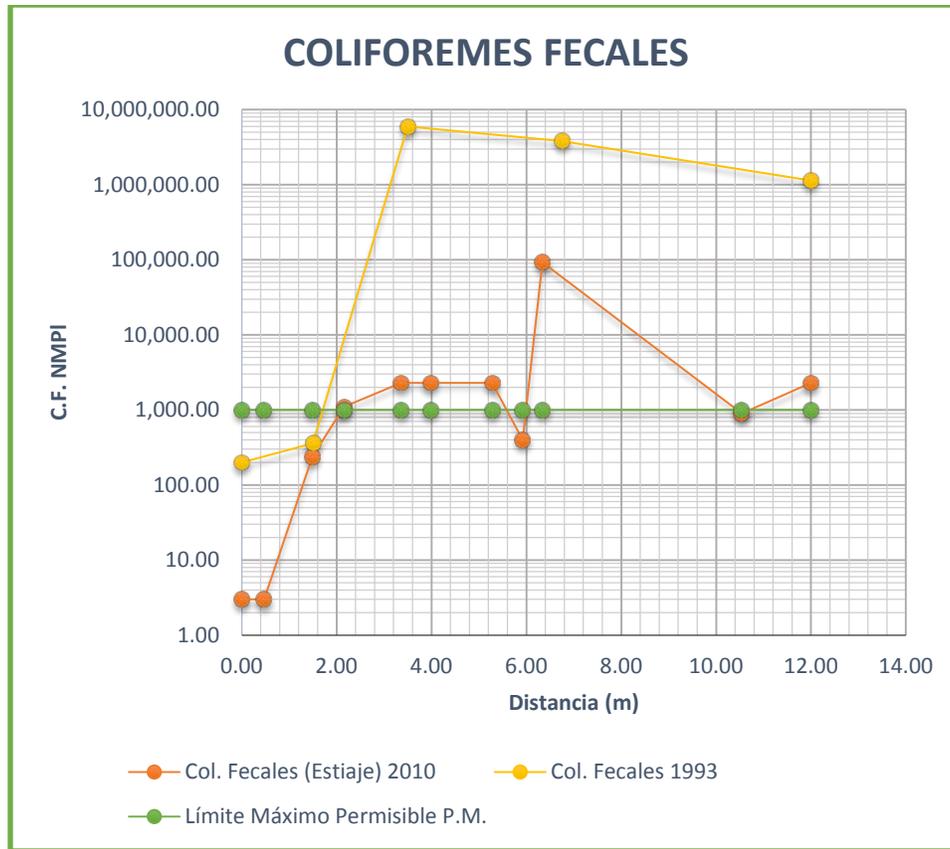
Gráfica 5.21 Comparación de resultados de las grasas y aceites en 1993 y 2010 con los límites máximos permisibles.

5.9.8.-Coliformes Fecales

La concentración de coliformes fecales obtenidas en el año de 1993 era mayor que las concentraciones actuales. En general, se observa que la cantidad de coliformes fecales ha disminuido, sin embargo no ha disminuido lo suficiente ya que aún excede a los límites máximos permisibles tanto promedio diario y mensual. En cuanto a las concentraciones de 1993 comienzan a rebasar estos límites prácticamente desde el kilómetro 2.5.



Gráfica 5.21 Comparación de resultados de coliformes fecales en 1993 y 2010.



Gráfica 5.22 Comparación de resultados de coliformes fecales en 1993 y 2010 con los límites máximos permisibles.

5.10.- Diagnostico de la calidad de agua para distintos usos

Para poder evaluar la calidad del agua y dar un diagnóstico para su uso, se utilizó la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, donde se establecen los límites máximos permisibles para contaminantes básico, empleando los límites máximos mensuales, siendo los límites más estrictos.

Sin embargo, se encontró con la limitante de los coliformes fecales ya que el límite es 1000 NMP/100 ml para cualquier tipo de uso de agua, de modo que resultó que para el uso en riego agrícola, uso público urbano y para la protección de vida acuática pueden ser útiles las mismas estaciones, mismas que se muestra a continuación.

USO EN: RIEGO AGRÍCOLA, PÚBLICO URBANO Y PROTECCIÓN DE VIDA ACUATICO						
estaciones	Grasas y Aceites (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)	Sólidos Suspendidos totales (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Coliformes totales (NMP/100 ml)	pH
1	0	<0.1	4	0.18	3	7.05
2	0	<0.1	12	0.11	3	6.96
3	0	<0.1	16	0.18	240	7.21
8	3.78	0.2	16	5.1	400	7.42
10	8.45	0.2	12	6.51	900	7.08

6.- CONCLUSIONES

Con el conjunto de datos obtenidos y las evaluaciones realizadas en relación al comportamiento de la calidad del agua en el río Cupatitzio, se tienen las conclusiones siguientes:

1. La calidad de original del agua del río Cupatitzio es adecuada para todos los usos, riego agrícola, recreativo, pecuario y de conservación de flora y fauna, incluso puede utilizarse para el suministro de agua potable, con previa desinfección. Sin embargo la mayor parte de tales usos se ven reducidos por los contaminantes inducidos por las descargas de aguas residuales que son vertidas sin tratamiento alguno sobre el río, con la consecuente perturbación de sus características iniciales, particularmente debido a la concentración de coliformes fecales y grasas y aceites, afectando así las actividades en las que se puede utilizar el agua.
2. En la mayoría de los resultados de los parámetros analizados, las mayores concentraciones se encuentran en la estación 11 que es la última estación en la entrada del río Cupatitzio, que se debe al resultado de las constantes descargas de aguas residuales domiciliarias.
3. De la estación 9 a la 10, en donde sólo corre un caudal mínimo, al cual aún siguen llegando varias descargas, es importante la revisión de este “caudal”, así como las descargas que llegan a este tramo.
4. Los puntos de muestreo 5 y 11 son los puntos más alarmantes en este estudio, ya que, especialmente en el punto 11 existen concentraciones excesivas de grasas y aceites, rebasando los límites máximos permisibles mensuales y diarios, aunado a que es la entrada de la presa y muestra la calidad con la que llega el agua a ésta, limitando así su uso.

5. El estudio de los parámetros de contaminación del agua, principalmente las grasas y aceites y coliformes fecales, revelan las condiciones más severas en las que se encuentra el río Cupatitzio, pudiendo ser la razón, además de las constantes descargas, que impiden la autopurificación de la corriente.
6. Como se nota la corriente no presenta recuperación de la calidad del agua, es decir que a lo largo de la ciudad de Uruapan, el río no alcanza a autopurificarse, por lo que el río no completa el ciclo de contaminación y autopurificación, ni cuenta con las tres zonas requeridas para este proceso que son: zona de degradación, zona de descomposición y zona de recuperación.
7. La zona de descomposición corresponde desde la estación cuatro, que corresponde a un poco más de los primeros dos kilómetros de la corriente, hasta la entrada de la presa. Las zonas de descomposición y de degradación no se hacen presentes a lo largo de la zona de estudio debido a dos posibilidades; la primera, es que la corriente sea rebasada por la zona urbana, es decir que la densidad de población contamina el río tanto como para no dejarlo llegar a las zonas de descomposición y posteriormente de degradación; la segunda posibilidad radicaría en el exceso de concentración de grasas y aceites que impiden la reoxigenación a través del aire-agua, disminuyendo así el oxígeno en el agua y dificultando la autopurificación de ésta corriente.
8. En la comparación de 1993, ahora existe una planta de tratamiento en la ciudad de Uruapan, por lo que se esperaría que las condiciones en las que se encuentre el río fueran menos severas que las que anteriormente se registraban, sin embargo en el estudio se muestra que sólo algunos parámetros rebasan las concentraciones que se tenían en 1993 como es principalmente las grasas y aceites, en el que hay un aumento a comparación de 1993.

6.1.- Recomendaciones.

1. Promover el desarrollo de infraestructura necesaria para la captación y tratamiento previo de aguas residuales en el río Cupatitzio antes de ser vertidas sean tratadas.
2. Ejercer un control más estricto sobre las descargas de aguas domiciliarias, especialmente del kilómetro 6 al 12, que es en este tramo donde se encuentran una cantidad alarmante de lloraderas de aguas residuales, así como descargas clandestinas, por no estar conectados al drenaje.
3. Impulsar programas de educación ambiental para concientizar a la gente y para disminuir la contaminación del río Cupatitzio.
4. Monitorear continuamente los puntos de muestreo que se siguieren a continuación:

Tramo de estación 9 a 10.

Justificación: en este tramo en el río no existe mucho caudal y existen constantes descargas hacia éste, aumentar las probabilidades de llegar a ser un foco de infección.

Estación 11.- Entrada a la presa del Cupatitzio

Justificación: es la entrada a la presa y no teniendo más aportaciones de caudal por lo que todo contaminante que llegue a esta zona, llega a la presa, de modo que restringe el uso del agua de la presa.

7.-Bibliografía

CONANP (2006) programa De Conservación Y Manejo Parque Nacional Barranca Del Cupatitzio Primera Edición México D.F. 27-35,37-39 pp.

CONAGUA *e.t.a.l.* (2006) “Plan De Gestión Integral De Los Recursos Hídricos De La Cuenca Del Río Cupatitzio”, México D.F. 29-31, 35, 44-47 pp.

Garfias Chávez Luis Gustavo (1993) “Evaluación De La Calidad Del Agua En El Río Cupatitzio”, tesis profesional, Facultad de Biología de la U.M.S.N.H.

Morales Prieto María Elena, (2007) “Estudio Y Manejo De Hidrológico De La Cuenca Río Cupatitzio” tesis profesional, Facultad de Ingeniería Civil de la U.M.S.N.H.

Martínez Alfaro Pedro E. (2006) “Fundamentos de Hidrogeología” Edición Mundi-presa, España, Barcelona 15-16 pp.

CONAGUA (2010) “Estadística Del Agua En México”, Capitulo 3 Uso del Agua, México D.F. 45 pp.

FOMIX-Michoacán Proyecto 115897 (2011): “Saneamiento, Restauración y Conservación de La Subcuenca del Río Cupatitzio”. Informe Final, producto 8. Área temática I. EVALUACIÓN, RESTAURACIÓN Y CONSERVACION AMBIENTAL. Morelia, Michoacán, México. 494 pp.

Ruiz Chávez Ricardo *e.t.a.l.* (2012) “Manual De Prácticas De Plantas De Tratamiento De Aguas” Laboratorio De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, Morelia, Michoacán 28, 45, 51-52 pp.

Ruiz Chávez Ricardo *e.t.a.l.* (2012) “Apuntes De La Materia De Plantas De Tratamiento De Aguas” Morelia, Michoacán, 6-7 pp.

Anónimo (2000) “Agentes Contaminantes De Aguas” Universidad de Santiago de Chile, Dpto. de Química, <http://html.rincondelvago.com/contaminacion-de-lagos-y-rios.html> accesada en Noviembre 2012.

Ros Moreno (2001) “Agua. Calidad Y Contaminación” Capitulo 7: Parámetros Físicos De La Calidad Del Agua: Conductividad, Resistividad Y Temperatura, <http://www.emagister.com/curso-agua-calidad-contaminacion-1-2/parametros-fisicos-calidad-aguas-conductividad-resistividad-temperatura> accesada en Noviembre 2012.

Rigola Lepeña Miguel (1999) Tratamiento De Aguas Industriales: Aguas De Proceso Y Residuales.

Anónimo (s.f.) “Estándares de Calidad Ambiental del Agua” de http://www.digesa.sld.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%204.pdf accesada en Noviembre 2012

Monroy Mendoza Marcos (2011) “Evolución de Algunos Parámetros de Contaminantes del Agua en el Tramo del Río Cupatitzio en la Zona Urbana de la Ciudad De Uruapan” proyecto de tesis Facultad de Ingeniería Civil, Morelia, Michoacán.

NOM-001-SEMARNAT-1996 (1996) Norma Oficial Mexicana, que Establece los Limites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas Y Bienes Nacionales, Publicada el 6 de enero de 1997 en el Diario Oficial de la Federación.