



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL VASO DE LA PRESA VALLE DE BRAVO A PARTIR DE CAMPAÑAS DE MUESTREO REALIZADAS EN 2010 Y 2011

**T E S I S**

Para obtener el título de

**Ingeniero en Civil**

Presenta:

**Marco Antonio Osorio Hernández**

Asesor:

M.I. Alba Beatriz Vázquez González



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**EVÁLUACIÓN DE LA  
CALIDAD DEL AGUA EN  
EL VASO DE LA PRESA  
VALLE DE BRAVO A  
PARTIR DE CAMPAÑAS  
DE MUESTREO  
REALIZADAS EN 2010  
Y 2011**

Marco Antonio Osorio Hernández  
Facultad de Ingeniería  
UNAM



## Agradecimientos

Antes que nada, agradezco a Dios y a la vida por haberme puesto en este camino, con la familia que tengo. Agradezco que a cada paso que doy, a través de decisiones buenas o malas, cuento siempre con el amor, el cariño, los sabios consejos, el apoyo incondicional, pero muy especialmente el corazón de mis padres y de mi hermana. Siempre en mi mente y en mi corazón están ustedes, en todos y cada uno de mis pensamientos, en el reflexionar y aventurar de la vida siempre los llevo dentro de mí, de eso pueden estar completamente seguros. La familia se acaba en la Tierra con la pérdida de sus miembros en la vida terrenal, pero tenemos que recordar que siempre perdura en la eternidad, en la unión que tendremos con Dios y en la vida eterna, con nuestros demás seres queridos, cuando todos estemos juntos por siempre, con los abuelos, tíos, hermanos, primos. El amor es una marca que llevamos en nuestro corazón por siempre.

Agradezco a mi padre, que a través de todas mis decisiones me ha apoyado con firmeza, que a través de su arduo labor y empeño nos ha permitido a mi hermana y a mí el estudiar, el realizar una gran cantidad de sueños, pero especialmente nos ha infundido las alas para poder volar y llegar a ser las personas que nosotros queramos ser. Muchas gracias papá por tu esfuerzo, tu cariño y tu dedicación.

A mi madre le agradezco infinitamente el que con su dedicación, pero especialmente con una parte importante de su vida, nos regaló la parte importante de nuestra formación, ayudándonos a ser los seres humanos que somos mi hermana y yo. A través de todo lo que ha estado a su alcance, pero muy especialmente de lo que su corazón le ha dictado, ha puesto su fe en que seamos de una semilla, un gran árbol.

A mi hermana que la quiero mucho, por ser la persona que ha vivido prácticamente siempre a mi lado, y la que es el apoyo que mutuamente tendremos en la vida. Mi hermana es la persona con la cual siempre estaré ligado en el presente, pero muy especialmente en el recuerdo del pasado, enalteciendo siempre nuestra vida y unión familiar. Espero que a través de los años que nos queden por vivir, seamos siempre un apoyo.

Agradezco a mis abuelos por estar tan dentro de mí, por lo que aportaron a la formación y superación de sus hijos y sus nietos. A mi abuelita Margarita por quererme y amarme tanto, por siempre preocuparse y ocuparse de mí, y a mi abuelo Luis, que seguramente está orando y velando siempre por nosotros en el cielo; los quiero y amo mucho. A Chella, por haber sido en mi infancia mi amiga, mi compañía, mi consuelo y mi cómplice; quiero que sepas en el cielo que te quiero y que te extraño tanto, y que agradezco que hayas dado tu alma por hacerme feliz durante esos años.

Gracias a todos mis tíos, por creer siempre en mí, por ver siempre por mis padres, y por apoyar a la familia en todos y cada uno de los momentos en que hemos estado juntos. Por estar incondicionalmente con nosotros en los momentos buenos, pero también difíciles. Paty, David y Héctor, gracias por querernos tanto; a los Bonilla, Corona, García, Hernández, Montoya, García

Mercado, recuerden que somos una familia, y que aunque existan diferencias, somos lo que siempre hemos tenido y siempre vamos a tener. El amor pase lo que pase nunca acaba, porque ese ya lo llevamos impregnado en nuestros corazones y siempre estamos muy orgullosos por ello. A mis primos, los estimo mucho, mantengamos siempre la unión y nunca nos separemos.

Agradezco a mi alma mater, por haberme dado otra parte muy importante de mi formación, por dotarme de herramientas, por abrirme un horizonte más amplio en la vida; porque me formaste integralmente, me enseñaste a ver diferentes vidas, a valorar el conocimiento, a saber buscar el conocimiento y aplicarlo, pero especialmente me enseñaste con mucho cariño a personas que pusieron algo de ellos en mí, es decir mis maestros y mis amigos. Agradezco a todos mis maestros que poniendo su trabajo y el alma, ponen en cada uno de nosotros alumnos una huella, y nos impulsan ante nuestro crecimiento y desarrollo personal.

Quiero agradecer de todo corazón a mi maestra Alba que llevaré siempre con un cariño muy especial, ya que siempre me apoyó y guió por el camino correcto. Quiero agradecer sus desvelos, su tiempo, dedicación, esfuerzo, su lucha por apoyarnos, por sacar adelante a todo el equipo y su comprensión que siempre tiene con todos y cada uno de nosotros. Una persona única, la cual se entrega completamente a sus alumnos, a sus proyectos y a su Universidad.

Finalmente, y no menos importante, la familia que uno selecciona en la vida, y de la cual estoy muy orgulloso de tener. Hablo, y con un cariño muy grande y especial, de mis amigos. Gracias amigos, por todas aquellas aventuras que hemos tenido, por compartirme tantas alegrías, tantas emociones, por compartirme sus experiencias, sus malos y buenos momentos, por hacerme partícipe de su vida.

La amistad es uno de los sentimientos y virtudes más grandes que tiene el ser humano; es un tesoro cuyo valor no puede ser medido, que sin embargo aumenta y se fortalece con el pasar de los años. Quiero decirles que el amor de la verdadera amistad queda siempre bendito y reforzado por Dios. Gracias a todos y cada uno de ustedes por ayudarme a seguir en el camino de la vida y enseñarme tantas cosas que tiene. Gracias a mis grandes amigos, por acompañarme en todos estos años y apoyarme en este andar, de antemano saben que tienen en mí a su amigo incondicional, y que juntos llegaremos a ser grandes personas de éxito. Esos amigos saben quienes son, y saben que estamos unidos de corazón por siempre.

Recuerden todos que cuando tratamos de ser mejores, todo mejora a nuestro alrededor.

*Toda hombre, al menos una vez en su vida, debe decidir si comienza a emprender el vuelo o se queda sentada viendo el paso de los triunfadores.*

Proverbio Nórdico



## ***ÍNDICE TEMÁTICO***

## **PREFACIO**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1. Evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses usando la percepción remota**

- 1.1 Antecedentes de percepción remota y procesamiento digital de imágenes
- 1.2 Conceptos y fundamentos de la percepción remota
- 1.3 Sensores y Plataformas
- 1.4 Procesamiento de Imágenes Satelitales
- 1.5 Evaluación de la Calidad del Agua Mediante Percepción Remota

### **2. Caracterización Regional de la Cuenca de Valle de Bravo**

- 2.1 Caracterización Fisiográfica
- 2.2 Usos del Suelo
- 2.3 Caracterización Económica
- 2.4 Caracterización Socio – Demográfica (Principales Indicadores Socio - Demográficos)
- 2.5 Los Usos del Agua

### **3. Revisión bibliográfica de estudios de calidad del agua de la Presa Valle de Bravo**

- 3.1 Estudios Realizados
- 3.2 Conceptos Básicos
- 3.3 Estudios Relacionados con el Balance Hidráulico
- 3.4 Estudios Históricos de la Calidad del Agua
- 3.5 Discusión de Resultados

## ÍNDICE TEMÁTICO

---

### **4. Evaluación de la calidad del agua del vaso de la presa Valle de Bravo a partir de las campañas de muestreo (Proyecto PAPIIT 2010-2011)**

- 4.1 El Proyecto PAPIIT y los Sitios de Muestreo
- 4.2 Trabajos de Campo y Laboratorio
- 4.3 Procesamiento y Análisis de la Información
- 4.4 Discusión de Resultados

### **5. Propuesta de monitoreo de la calidad del agua en la presa Valle de Bravo basada en la distribución de sedimentos usando imágenes satelitales**

- 5.1 Metodología
- 5.2 Desarrollo del Modelo
- 5.3 Resultados

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **ANEXO 1: BALANCE HIDRÁULICO DE LAS PRESAS QUE CONFORMAN EL SISTEMA CUTZAMALA**

### **FUENTES DE CONSULTA**

## PREFACIO

El Ingeniero Civil participa activamente en las etapas de planeación, diseño, organización, construcción, operación y conservación de obras civiles, lo cual indispensablemente significa transformar a la naturaleza.

En nuestro país es necesario generar el desarrollo en todos los sectores económicos para el bienestar, el Índice de Desarrollo Humano y en general la calidad de vida de todos sus habitantes. Sin embargo la humanidad ha caído en la cuenta que el desarrollo debe ser sustentable para las generaciones futuras.

La ingeniería civil al estar relacionada directamente con el aprovechamiento, la transformación y utilización de los recursos de su entorno, por lo que indiscutiblemente debe estar unido a la conservación del medio ambiente, de los ecosistemas y de la biodiversidad.

El aumento de la población humana y el creciente consumo impulsan a una rápida degradación ambiental. La necesidad de tierras para uso agrícola y urbano conduce a la sobreexplotación de los recursos naturales. Para ello, resulta ser que los recursos naturales básicos como el suelo y el agua se renuevan muy lentamente, y su capacidad de depuración y recuperación es menor que la capacidad de los seres humanos que tienen por alterarlo, dando como resultado consecuencias fáciles de predecir.

Se puede afirmar con un 90 por ciento de certeza que los seres humanos somos responsables de los cambios que se han vivido en los últimos cincuenta años. Entre los cambios clave en la transformación que afectan actualmente al mundo están: la urbanización, la transformación del territorio, la división de los ecosistemas, la sobreexplotación de los recursos naturales, la utilización y aprovechamiento de la energía, la guerra y los conflictos, el ocio, la cultura, todo ello finalmente relacionado en algún aspecto con obras civiles, con la visión de cambio y la transformación. El equilibrio natural es delicado y podemos ver las consecuencias desastrosas que han tenido todas nuestras acciones. La pérdida de los recursos prístinos y de los ecosistemas sanos genera incalculables e imprevisibles consecuencias para la humanidad.

El agua es el principal componente de todo aquello que tiene vida, es el recurso por el cual la vida y todas nuestras actividades son posibles. A través de la historia de la humanidad, el agua ha sido un medio de transporte, un medio de desarrollo, de transformación y de supervivencia.

## PREFACIO

---

La humanidad tuvo a los cuerpos de agua como detonadora de las civilizaciones. El agua es un factor que ha generado una sociedad dinámica, permitiéndole el desarrollo de sus actividades primarias, secundarias y terciarias. Su utilización involucra que su retorno al medio ambiente ya no sea igual, cambiando su grado de pureza y propiedades.

El consumo de agua en las poblaciones, en el campo y en las actividades industriales y de transformación es muy grande; en general es un problema que se ha ido solucionando si bien no en su totalidad, por lo menos en un alto porcentaje, ya que existen todavía personas que no cuentan con un suministro adecuado de este vital recurso, pero la situación a través del tiempo ha mejorado. Con los diferentes gobiernos y planes de desarrollo social, se ha logrado invertir el índice de personas que no cuentan con este servicio.

Lamentablemente en países de Latinoamérica y en general países donde el grado de desarrollo y los presupuestos no son suficientes, se carece de las suficientes plantas de tratamiento para retirar los contaminantes de todas las aguas residuales. Dichas aguas residuales son vertidas en crudo a otros cuerpos de agua, creando un riesgo obvio para la salud humana y la ecología.

Evaluar físicamente los parámetros de un ecosistema es costoso, ocupando importantes recursos humanos. Sin embargo, las nuevas tecnologías han permitido ver a nuestro planeta de una forma diferente.

La preocupación por nuestro medio ambiente y su salud han creado métodos de vigilancia constante. Anteriormente sólo se tenía información gracias a las pruebas en campo, sin embargo los avances tecnológicos han permitido recientemente obtener un sinfín de información a través de los satélites y medios digitales. Se permite modelar a los ecosistemas permitiendo:

- ✚ Entender mejor las interacciones entre los ecosistemas y el clima
- ✚ Cuantificar periódicamente los cambios que ocurren en los ecosistemas
- ✚ Tratar de predecir los cambios en los ecosistemas
- ✚ Proveer información útil para un manejo adecuado del medio ambiente y elaboración de planes y acciones para un desarrollo sustentable

Finalmente, la percepción remota ha permitido examinar parámetros que son de nuestro interés para formular ideas acerca del estado en que se encuentra el medio ambiente, y su evolución a través del tiempo.

De los seres humanos dependerá si utilizamos la tecnología y la aprovechamos en beneficio de la humanidad, de un saneamiento del medio ambiente, de mejorar nuestro entorno, proveer y aprovechar los recursos naturales

## PREFACIO

---

adecuadamente, resarcir los daños provocados en el pasado, o simplemente dejar que la naturaleza y nuestro futuro sean cada vez más vulnerables a los cambios.

Como ingenieros civiles y transformadores importantes del medio ambiente, es primordial el que nos generemos la conciencia del cuidado del medio ambiente, la preservación de la biodiversidad existente, y de evaluar los cambios en cada una de las acciones que la transformación de nuestro entorno y de la naturaleza conlleve.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad destacar la importancia de la tecnología denominada percepción remota, para la realización de una evaluación constante de la calidad del agua. Así mismo, muestra la importancia particular de conservar en condiciones favorables el embalse de la presa de Valle de Bravo, la importancia que tiene para los pobladores de dicha cuenca, y las consecuencias que conlleva la alteración de sus ecosistemas.

El presente trabajo de investigación ha sido dividido en cinco capítulos, a través de los cuales el lector notará las bondades que tiene el desarrollo de las nuevas tecnologías, el proceso que conlleva y la importancia involucrada en preservar el medio ambiente.

En el Capítulo I, se mencionan los fundamentos de la percepción remota, más como una introducción para familiarizar al lector con todos aquellos elementos que engloba la tecnología propuesta.

En el Capítulo II, se mencionan todos los factores que alteran el equilibrio ecológico dentro de la Cuenca de Valle de Bravo, la situación en que se encuentran sus habitantes, y la influencia que tienen las actividades económicas y el crecimiento poblacional en el deterioro de la calidad del agua. Así mismo, se denota la importancia que tiene la cuenca no solo para sus habitantes, sino para los residentes de la Ciudad de México y su zona metropolitana. La Cuenca de Valle de Bravo, al ser una de las estructuras primarias que conforman el acueducto conocido como el sistema Cutzamala, debe de ser conservado y monitoreado constantemente, para mantener la viabilidad en la explotación de sus aguas, su tratamiento y el proceso de desarrollo regional.

El Capítulo III muestra la evolución del embalse en cuanto a los volúmenes disponibles y la calidad de las aguas que contiene. Ello conlleva a sensibilizar las acciones perjudiciales que se le han realizado al embalse, y sensibiliza sobre la rapidez de los cambios ocurridos en las últimas décadas.

El Capítulo IV es fundamental para el desarrollo de la tecnología propuesta por parte del equipo del proyecto PAPIIT, ya que evalúa puntualmente a través de los muestreos realizados en el sitio por dicho equipo la calidad del agua, y provee de información para el desarrollo de los modelos matemáticos para la predicción de la calidad del agua a través del uso de la tecnología propuesta.

## Introducción

---

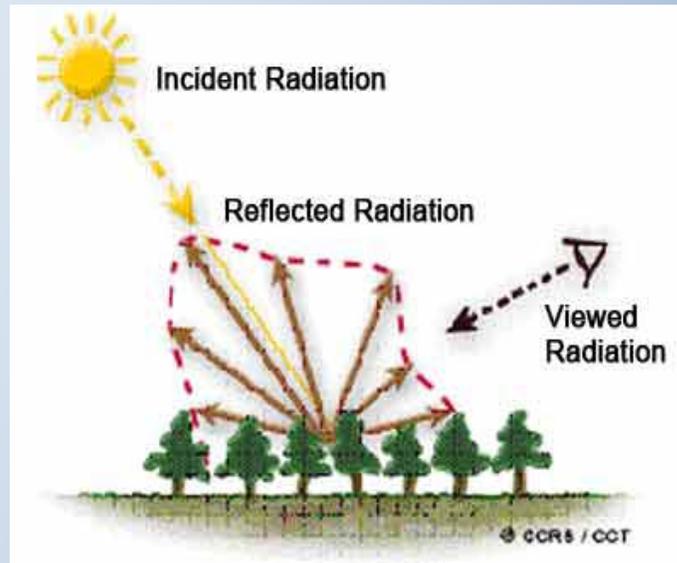
Finalmente, el Capítulo V explica a grandes rasgos cómo es que a través de los datos obtenidos en los muestreos fue posible determinar el modelo matemático adecuado, y habla sobre los resultados generales obtenidos por parte del equipo PAPIIT.

El presente documento es una muestra de la importancia que tiene el buscar y generar nuevas aplicaciones y tecnologías a partir de aquellas existentes, con el fin de preservar el medio ambiente y generar un desarrollo sostenido y sustentable para asegurar una adecuada calidad de vida a las generaciones futuras.

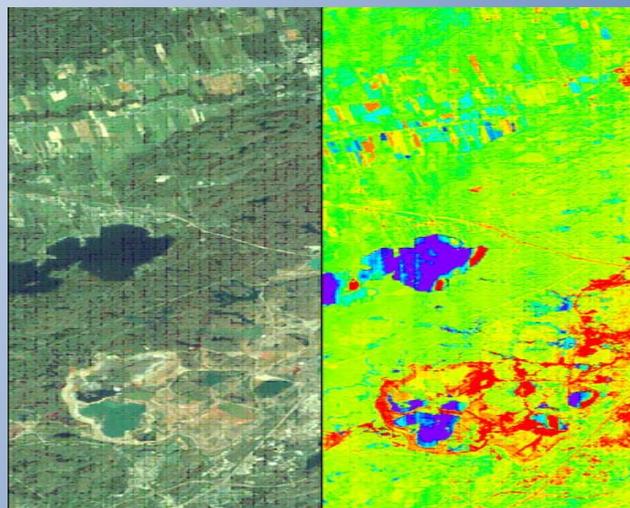
Las mediciones espectrales representadas en los grupos de bandas dependerán de las interacciones que se generan entre las radiaciones incidentes y las estructuras de los átomos o moléculas presentes que componen al objeto en estudio.

Las interacciones entre los materiales y la energía luminosa genera diferentes reflejos, que son posibles de cuantificar a través de los diferentes sensores, y ello constituye la firma espectral de cada uno de los objetos que componen el medio.

Sucede que en muchos casos, al analizar un medio completamente heterogéneo que varía con respecto al tiempo, las ondas reflejadas de algunos puntos de muestreo previamente seleccionados se convierten en puntos estándar de análisis. Dichos puntos ayudan a generar una comparativa entre los diferentes parámetros obtenidos en sitio y los resultados obtenidos a partir de las imágenes o espectros recibidos por medio de sensores.



*Figura 1.39: Las interacciones entre los materiales y la radiación solar permite que parte de dicha radiación sea reflejada, y esta a su vez es factible de ser cuantificable por medio de los sensores. Fuente: Canada Centre for Remote Sensing, Advanced Radiative Transfer Modeling for Information Extraction.*



La cuantificación continua de los parámetros obtenidos en sitio y la intensidad de las radiaciones en las diferentes bandas del espectro electromagnético, permiten obtener una comparativa de los diferentes valores a estudiar, cómo varían y la forma en que dichas variaciones pueden estar relacionadas. El fenómeno anterior produce que matemáticamente se genere un modelo que correlacione los valores físicos cuantificados en sitio y los valores del espectro cuantificados a través de los sensores de las plataformas.

El modelo generado es resultado de un análisis estadístico, y se pone a prueba a través de las variaciones en el tiempo de los parámetros que se obtienen físicamente con pruebas en sitio y aquellos derivados de las mediciones radiométricas de los sensores.

Al determinar la correlación y aproximación de los resultados de ambos datos, significa que el modelo está calibrado para realizar la predicción de los diferentes parámetros únicamente a través de los datos obtenidos por los sensores.

La aplicación de los modelos permitirá el estudio de las regiones con una mayor facilidad. Será fundamental el desarrollo de pruebas de campo al inicio de los estudios, pero al generarse el modelo matemático – estadístico el trabajo se simplificará significativamente.

Finalmente, se puede decir que el medio ambiente y sus factores tanto bióticos como abióticos, podrán ser cuantificados y analizados a través de la generación de diversos modelos fundamentados en los datos obtenidos por medio de la percepción remota.

El proceso se puede simplificar como sigue:



Figura 1.40: El proceso para la predicción de los factores bióticos y abióticos del medio ambiente puede ser determinado a través de la percepción remota, siguiendo los pasos que se ilustran. *Fuente: Elaborado por el autor.*

## 1.5 Evaluación de la Calidad del Agua mediante Percepción Remota

Los cuerpos de agua continentales, como lo son los ríos, los lagos y los embalses, son importantes ecológicamente, y son un factor importante en el desarrollo socioeconómico de las regiones.

Los cuerpos de agua son sistemas que permiten generar desarrollo dentro de una región, permitiendo obtener recursos a través de actividades como la pesca, o bien con su aprovechamiento con fines agropecuarios, industriales o para consumo humano directo.

La forma y la finalidad con que el agua se utiliza modifica en diversas formas los ecosistemas, alterando la calidad original del agua mediante la adición de contaminantes al medio que sustenta. Los contaminantes afectan a los organismos presentes en el bioma, alterando su salud y rompiendo las cadenas tróficas existentes.

La protección al medio ambiente y el mantenimiento de la calidad del agua es uno de los objetivos principales para garantizar un desarrollo sostenido y sustentable.

El mantenimiento de la calidad del agua de los cuerpos existentes es un factor muy importante para garantizar la salud de las comunidades o zonas urbanas aledañas o en la cual ejerce influencia.

El agua es un medio que permite el desarrollo biológico, pero con la característica de la calidad determinará la salud de los biomas y organismos que habiten en ella.



Figura 1.41: La utilización del agua o la alteración de los ecosistemas ejercen una influencia sobre la región, pudiendo dañar la salud de los organismos presentes y las zonas dependientes de dichas aguas. Fuente: Cortesía.

## CAPÍTULO I: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES USANDO LA PERCEPCIÓN REMOTA

---

La calidad del agua está basada en parámetros estándar registrados en normas y reglamentos, los cuales se refieren a las características físicas, químicas y biológicas del agua, de acuerdo al uso para la cual esté destinada.

Los parámetros han sido cuantificados y registrados por medio de los análisis realizados en sitio y laboratorio de las muestras obtenidas en la zona de estudio. Este método tradicional de estudio resulta costoso, ya que involucra muchos recursos en cuanto a horas de trabajo, el desplazamiento al sitio y los recorridos en la zona de estudio.

El método tradicional de muestreo representa en muchas ocasiones una gran desventaja. El muestreo al ser costoso y no existir recursos suficientes, económicos o humanos, provoca que los estudios de una zona no se concluyan satisfactoriamente. Solo se hace factible el análisis de algunos cuerpos de agua en un determinado momento.

El monitoreo de la calidad del agua es determinante para la generación de acciones de mitigación de riesgos a la salud de las personas y del medio ambiente. El análisis constante y confiable de la calidad del agua generará las condiciones para el mantenimiento de los estándares de higiene y sanidad del medio ambiente.

En los últimos años la percepción remota ha sido una herramienta muy útil para el estudio de los ecosistemas, ya que es una tecnología alternativa en el estudio y monitoreo constante de la calidad del agua. La percepción remota es una herramienta potencial, debido a que el monitoreo se puede realizar en grandes áreas o grandes espacios a través de laspasos relativamente constantes de tiempo.



Figura 1.42: La utilización de la percepción remota permitirá mantener bajo vigilancia constante los ecosistemas, y proveer así medidas de mitigación de impacto ambiental u obtener información puntual del sitio en general. Fuente: *Manual de muestreo del agua*, SEMARNAT.

La obtención de la calidad del agua a través de la percepción remota provee información amplia en un pequeño lapso de tiempo, y al realizar el análisis de costos, resulta ser más viable esta tecnología.

En la percepción remota, las propiedades ópticas que se obtengan a través de los satélites dependerá de factores primordialmente como la materia orgánica disuelta, las partículas suspendidas, y compuestos generalmente compuestos de fósforo y nitrógeno presentes en el agua.

Los estudios realizados a diversos cuerpos de agua a nivel internacional por parte de diferentes centros de investigación, como el Centro de Investigaciones de Canadá para la Percepción Remota, el Centro de Administración de Recursos Naturales en Texas, Universidades diversas, por mencionar algunos, han realizado en los últimos años un trabajo extenso con el fin de determinar la relación que existe entre la calidad del agua, es decir los parámetros físico - químicos presentes en ella, y los datos que se pueden obtener a través de los sensores satelitales.

Así mismo, el proyecto que se presenta tiene como finalidad de evaluar y generar un modelo que permita evaluar constantemente la calidad del agua en la Presa de Valle de Bravo, y tomar acciones que permitan evitar el deterioro de este ecosistema.

# CAPÍTULO II

## CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO



## 2.1 Caracterización Fisiográfica

Los pobladores de los alrededores de la presa de Valle de Bravo llaman a su bellissimo lugar *“la gallinita de los huevos de oro”*, ya que es un lugar donde la prosperidad es resultado del gran atractivo turístico que se tiene por el embalse y las montañas que se encuentran a su alrededor, llenas de bosques de coníferas y zonas ecológicas que generan una biodiversidad muy grande.

Los deportes acuáticos y de montaña son un polo de atracción que ha generado un lugar único en su tipo, y aunado a sus vistas espectaculares y sitios de interés entorno al embalse, se contempla a esta región como un Pueblo Mágico.

Es importante mencionar que aunque Valle de Bravo y sus alrededores sean un destino turístico, la cual es una fuerte aportación a la región debido a la derrama económica que esto genera, también es una zona que genera riquezas a través de actividades agropecuarias.



Figura 2.1 Valle de Bravo, zona turística debido a su cuerpo de agua principal. Fuente: Cortesía.

En esta sección se mencionarán algunos de los aspectos más importantes de la región, es decir su marco geográfico, los usos del agua y algunas de las características socio-demográficas, con el fin de analizar y detectar a grandes rasgos los problemas que enfrenta la cuenca y las amenazas que representan los asentamientos humanos y sus actividades.

Una cuenca hidrológica constituye la principal unidad territorial donde el agua es captada y almacenada. Se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida, que puede ser un lago, una presa o el mar. Esto se menciona ya que posteriormente nos referiremos a la Cuenca de Valle de Bravo.

### *LOCALIZACIÓN*

La Cuenca de Valle de Bravo se localiza en el poniente del Estado de México y cuenta con una superficie de 52,590.19 hectáreas, excluyendo la parte de una cuenca cerrada interior denominada la Cuenca de San Simón. Incluyendo la cuenca cerrada de San Simón, se cuenta con una extensión total en la Cuenca de Valle de Bravo de 61,548.47 hectáreas.

Dentro de las coordenadas geográficas extremas, es decir aquellas donde se presentan los puntos más extremos de la cuenca, son:

- ✚ Extremo Norte: 2143.8 N 19° 23´ 05" N
- ✚ Extremo Sur: 2111.3 N 19° 05´ 30" N
- ✚ Extremo oriente: 408.5 E 99° 52´ 00" W
- ✚ Extremo poniente: 374.1 E 100° 11´ 40" W

La Cuenca de Valle de Bravo pertenece a la cuenca del sistema del Río Balsas, y dentro de ésta cuenca a la del Río Cutzamala. Así mismo, orográficamente pertenece a la zona de los lagos y volcanes del Anáhuac, que a su vez forman parte del Eje Neovolcánico Transversal.

Dentro de los municipios que conforman la cuenca se encuentran principalmente: Valle de Bravo y Amanalco, en los cuales se involucra prácticamente toda la extensión de ellos, así mismo parte de los municipios: Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria y Temascaltepec. Finalmente se cuenta con pequeñas regiones predominantemente forestales de Almoloya de Juárez y Zinacatepec.

La cuenca de Valle de Bravo pertenece a la Unidad Territorial Básica de Valle de Bravo, la cual se muestra en la Figura 2.2 además de los municipios que conforman la cuenca:

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

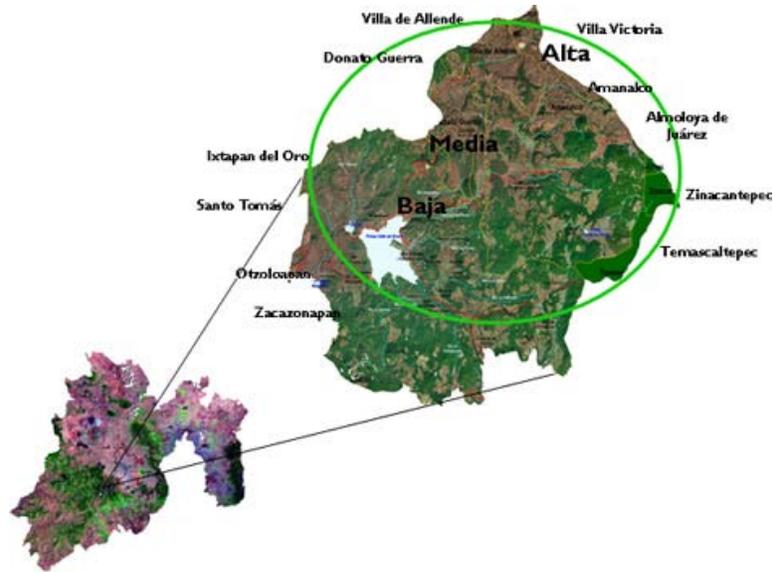


Figura 2.2 Ubicación de la Cuenca de Valle de Bravo y Unidades Territoriales Básicas del Estado de México y municipios que la conforman. Fuente: Colegio Mexiquense, 2002.

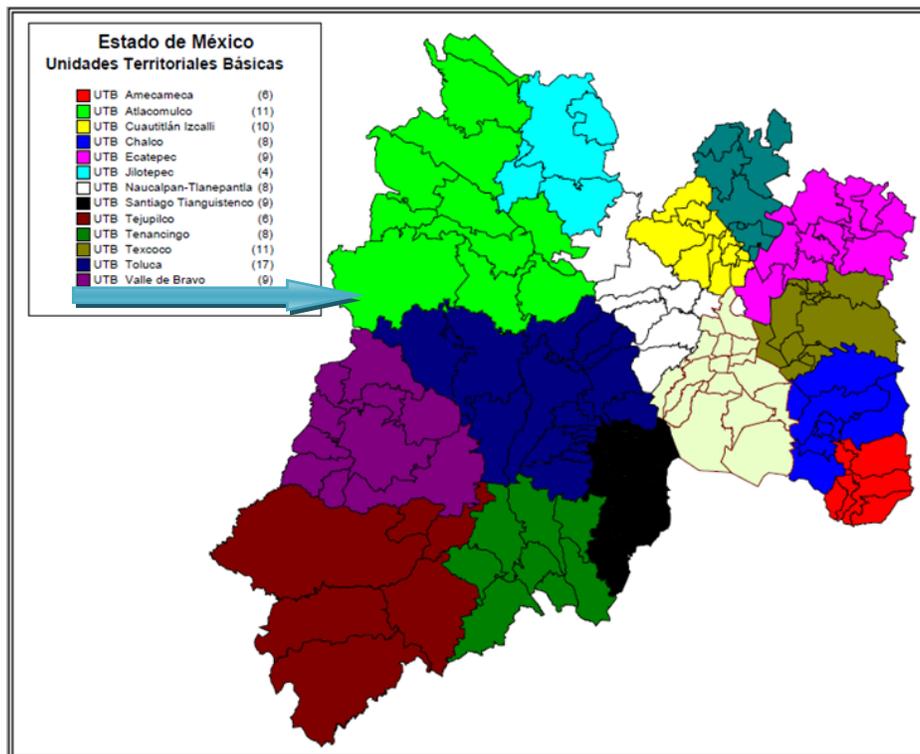


Figura 2.3: Unidades Geomorfológicas Superficiales que conforman la Cuenca de Valle de Bravo. Fuente: Descripción del medio natural de la Cuenca de Valle de Bravo, Estado de México, CONAGUA e Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, IMTA.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

### CARÁCTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

El origen de la Cuenca de Valle de Bravo es principalmente volcánico. La superficie volcánica está constituida por los vestigios de los volcanes o conos en degradación, cenizas, derrames de lava, basaltos y granitos. Estos volcanes distribuidos en las partes más altas de la Cuenca generan en su mayoría el parteaguas que la delimitan.

Dentro de este rubro, podemos mencionar las unidades geomorfológicas superficiales que existen en la región:

Unidad geomorfológica	Superficie (ha)
Cono cinerítico	1,072.56
Depresión volcánica	9,291.15
Derrames basálticos tipo lengua	5,674.18
Derrames lávicos basálticos tipo mesa	3,488.50
Laderas metamórficas	149.44
Laderas y lomeríos riolíticos	1,842.38
Lomeríos basálticos	8,171.64
Piedemonte volcánico	5,023.17
Planicie volcánica	4,037.77
Superficies complejas de lavas y piroclásticos	3,313.03
Valles erosivos y taludes muy inclinados	1,233.88
Volcanes y laderas andesíticas	13,536.19
Volcanes y laderas basálticas	4,714.58
<b>Total:</b>	<b>61,548.47</b>

Tabla 2.1: Unidades Geomorfológicas Superficiales que conforman la Cuenca de Valle de Bravo. Fuente: Descripción del medio natural de la Cuenca de Valle de Bravo, Estado de México, CONAGUA e Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, IMTA.

Dentro de la Cuenca de Valle Bravo, existe una serie de subcuencas, delimitadas entre ellos por los esquistos en la orilla Norte del vaso, el Lomerío al Norte de la Ciudad de Valle de Bravo, entre otras que delimitan el flujo de las aguas hacia diferentes zonas.

## **CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO**

---

Existen algunas Cuencas cerradas, como es el caso de la Cuenca de San Simón, en donde su flujo natural se vio interrumpido por un evento volcánico que formó el Cerro del Coyote, tapando el flujo superficial del agua.

Los valles aluviales, es decir Valles en donde alguna vez existieron lagunas, actualmente son rellenos de azolves de las laderas circundantes de origen Volcánico, como en el caso del Valle de Amanalco. En un futuro la cuenca de Valle Bravo tiene una tendencia a llenarse de azolves, y dependiendo del manejo que se realice en las partes altas de la cuenca será el plazo que se tenga para que queda completamente azolvada.

Finalmente, las altitudes de la Cuenca varían entre los 1792 metros en su parte más baja, donde se encuentra el fondo del desagüe debajo de la cortina de la Presa, o a 1830 metros, donde se localiza el espejo del agua a la altura del vertedor; y la parte más alta se ubica en el extremo oriente, a 3760 msnm.

### *CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y RASGOS GEOLÓGICOS DE LA ZONA*

En la Cuenca que conforma a Valle de Bravo, prácticamente las tres cuartas partes de la superficie total está cubierta por andosoles, es decir suelos derivados de productos piroclásticos, específicamente de cenizas volcánicas.

Así mismo, derivados de productos piroclásticos, existen otros tipos de suelos con una presencia importante en la cuenca, y que se describen brevemente.

### *LOS ANDOSOLES*

Algunas características importantes de los andosoles son su composición mineralógica, donde el alófono compone hasta en un 60% los productos minerales, la alta fijación de fósforo, su alta retención de humedad (que puede llegar hasta un 400%), la alta porosidad, su baja densidad aparente y la alta capacidad de intercambio catiónico.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

Las características de los andosoles permiten que la siembra de los cultivos pueda ser realizada incluso antes de la temporada de lluvias, aunque también resulta ineficiente la aplicación de fertilizantes con fosfatos. Así mismo, la erosión de estos suelos es muy rápida, lo que podría preocupar a los agricultores, sin embargo los depósitos de estos suelos al ser muy profundos, permite que siempre exista suelo disponible para la siembra.



Figura 2.4 Los suelos andesíticos proveen un fuerte apoyo para el desarrollo de la agricultura, aunque generando importantes azolves en el embalse de la Presa. Fuente: Plan para la Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de la Presa Valle de Bravo, Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala.

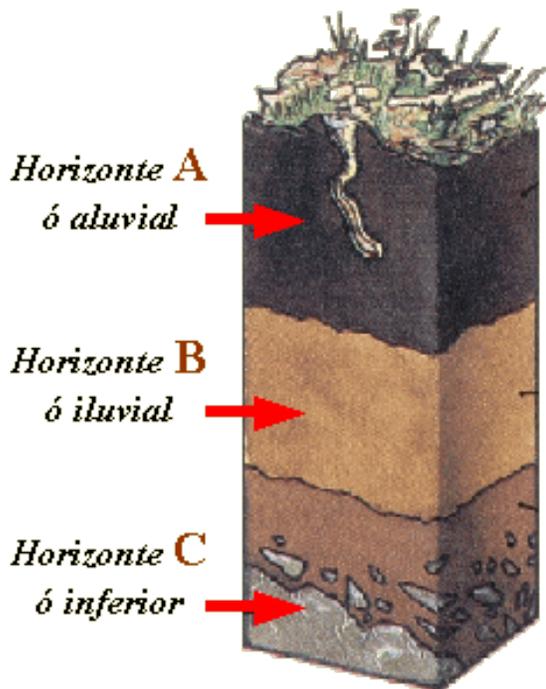


Figura 2.5 Imagen donde se muestra el horizonte del suelo con fines ilustrativos. El horizonte del suelo  
Fuente: Madrid + D, un lugar para la Ciencia y la Tecnología.

La alta erosión de los suelos y la profundidad que pueden llegar a tener, es un factor que preocupante para la conservación del embalse de la Presa de Valle de Bravo, ya que gran cantidad de los suelos es arrastrada hasta dicho cuerpo de agua, provocando que rápidamente quede azolvada. Por ello es importante conservar la estabilidad de los suelos mediante el cuidado de las cubiertas vegetales, o para el caso de la agricultura mediante prácticas de conservación de suelos.

Derivados de los andosoles existen otros suelos denominados cambisoles, los cuales tienen un mayor grado de evolución, y contienen un enriquecimiento de

arcilla en el horizonte B, lo que genera mejores condiciones para el aprovechamiento agrícola. Estos suelos se encuentran en zonas más planas y estables.

Así mismo existe otro grupo de suelos denominado Phaeozem, igualmente relacionado con los andosoles, pero se caracterizan por ser suelos negros con una acumulación en su evolución de materia orgánica, y que se encuentran generalmente en las partes bajas de los valles.

#### *SUELOS DERIVADOS DE OTROS PRODUCTOS PIROCLÁSTICOS*

Existen otros suelos de origen piroclástico, como lo son los luvisoles y los acrisoles, provenientes de materiales piroclásticos de edad posiblemente terciaria, donde se han formado arcillas. Presentan un lavado importante, es decir un desgaste importante en su composición química debido a la erosión del agua principalmente. Los suelos fueron formados en condiciones de humedad importante. Así mismo son suelos que cuentan con una capa superficial delgada debido a la acumulación de materia orgánica proveniente de la vegetación natural.

#### *LOS SUELOS Y LOS MATERIALES VOLCÁNICOS PRESENTES*

Las formaciones de edad terciaria son las más antiguas y corresponden a las partes más altas de la Cuenca. Existen formaciones metamórficas en la ladera Norte de la Presa, lo cual es el basamento sobre el cual se depositaron los materiales debidos a la actividad volcánica. El resto de área es de edad cuaternaria, y esta cuenta con la presencia de los suelos menos desarrollados desde el punto de vista evolutivo.

Dentro de los materiales o formaciones debidos a los fenómenos del vulcanismo, se tienen:

- ✚ Derrames basálticos y sus posteriores aportes de productos piroclásticos a lo largo de miles de años.
- ✚ Edificios volcánicos y lomeríos de brechas volcánicas, caracterizados por ser fragmentos rocosos en una matriz de productos piroclásticos.
- ✚ Conos cineríticos, formados por cenizas volcánicas.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

---

- ✚ Cubrimientos de materiales piroclásticos denominados depósitos de Tefra.
- ✚ Piedemontes y planicies rellenos con los azolves de las laderas circundantes de origen volcánico.
- ✚ Cenizas volcánicas.

### *EL CLIMA*

El Clima que se presenta en la Cuenca de Valle de Bravo es típico del Altiplano Mexicano, es decir es árido en invierno, y húmedo lluvioso durante el verano. Así mismo, se tiene una estimación de precipitaciones entre los 1310 mm en la zona poniente, cerca de la cortina de la Presa, y los 1500 mm, en el extremo oriente.

Las lluvias de verano se encuentran caracterizadas principalmente por los vientos alisios tropicales del este, que llevan la humedad desde el Mar Caribe y el Golfo de México. Así mismo existen movimientos convectivos y fomentos de tormentas eléctricas, con mayor frecuencia sobre las serranías en el Oriente y sur de la Cuenca, dejando el Norte y el Poniente con menos precipitaciones. Existen algunas lluvias en invierno, con mucha menor frecuencia, y son debido a la penetración de masas de aire polar.

Es por ello que se define que el clima es sub húmedo, y la temperatura depende en gran parte de la altitud que se encuentre dentro de la Cuenca. A grandes alturas el clima llega a ser de templado a semifrío, y sin embargo en las partes bajas llega a ser templado a semicálido.

En las zonas con gran altura se pueden presentar heladas frecuentes, y estas dejan de presentarse a medida que se acerca a cotas menores, hasta llegar a aquellas de 2000 msnm, en donde estas prácticamente dejan de estar presentes.

En la Cuenca de Valle de Bravo se presentan tres grandes regiones climatológicas:

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

---

- ✚ El semicálido subhúmedo: se presenta en el poniente de la cuenca, especialmente en elevaciones por debajo de la cota de 2200 msnm
- ✚ El Templado subhúmedo: predominante en toda la cuenca, entre las cotas de 2200 a 3000 msnm
- ✚ El Semifrío Subhúmedo: en cotas mayores a los 3000 msnm

Así mismo, se presenta el mapa de los climas de la Cuenca en la figura 2.6:

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

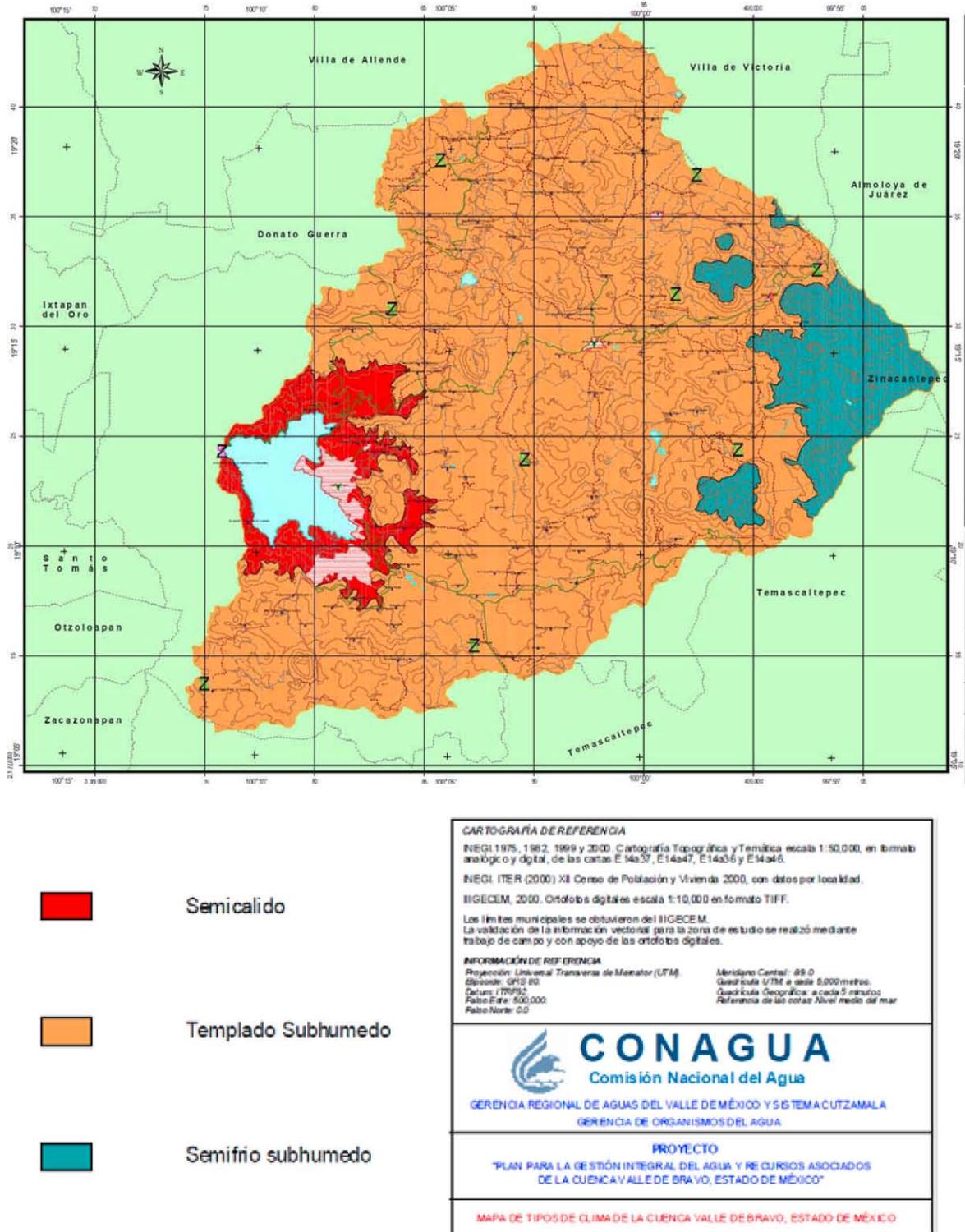


Figura 2.6: Mapa de los climas presentes en la Cuenca de la Presa de Valle de Bravo. Las fuentes se mencionan en el recuadro de la misma imagen.

### *HIDROLOGÍA*

En toda la Cuenca de Valle de Bravo existen manantiales, corrientes permanentes, corrientes intermitentes y sumideros o grietas, que son zonas donde el agua es absorbida rápidamente.

Los manantiales y los cauces perennes son aprovechados generalmente para el riego. Para el aprovechamiento de este tipo de aguas, existen desvíos por tomas y canales, sean estos no revestidos o con revestimiento y cerrados. Los manantiales también son ocupados por las comunidades para su abastecimiento con agua potable.

Durante la época de estiaje las aguas que son aprovechadas para diversos fines son las de los ríos Amanalco, Los Hoyos y la Alameda. Estos ríos al provenir desde las partes más altas y de las partes medias de la cuenca, llevan un volumen de aguas por lo menos suficiente durante todo el año. Los ríos vuelven a ser recargados en los manantiales que se encuentran en las partes bajas de la Cuenca, y finalmente llegan hasta el vaso de la Presa.

El flujo del agua y los cauces que se forman para drenar las partes altas de la cuenca hacia el vaso de la presa dependen principalmente de la topografía, toda vez que ello permite dividir en partes el total de la Cuenca de Valle de Bravo.

Las regiones principales en que se divide la Cuenca de Valle de Bravo – Amanalco, son conocidas como cuencas de tercer orden o subcuencas, y se mencionan a continuación:

-  La Cuenca del Río Amanalco
-  La Cuenca del Río Molino – Los Hoyos
-  La Cuenca del Río San Diego
-  La Cuenca del Arroyo el Carrizal
-  La Cuenca del Arroyo la Hierbabuena
-  La Cuenca del Río las Flores o Tizates
-  La Cuenca de San Simón

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

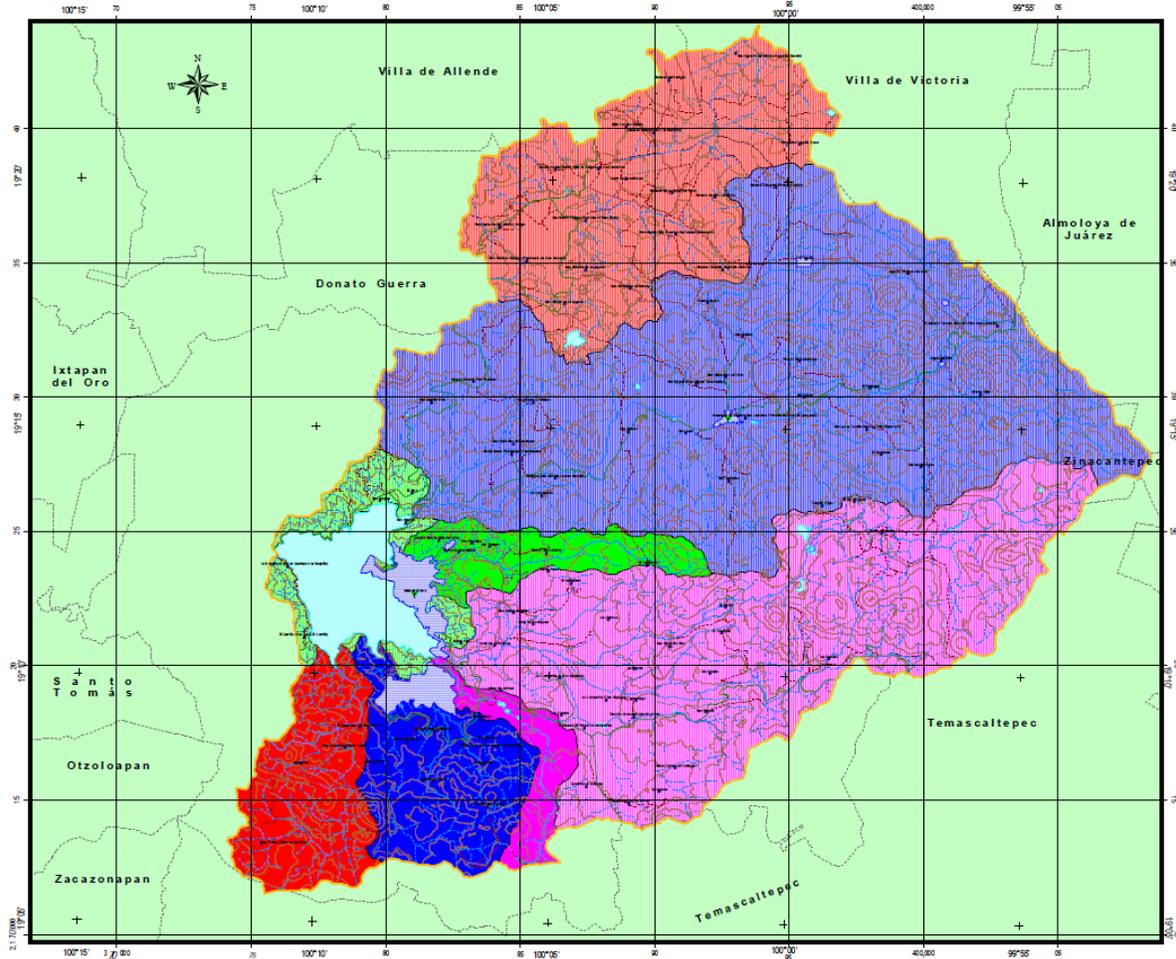
---

A excepción de la cuenca de San Simón, todas las cuencas anteriormente mencionadas tienen como drenaje el embalse de la Presa de Valle de Bravo. Históricamente esta cuenca estaba comunicada a través de un flujo superficial con el río Amanalco, sin embargo como se mencionó anteriormente, los eventos volcánicos interrumpieron su flujo natural. Actualmente esta cuenca sigue comunicada a través del flujo subterráneo y afloramiento de los manantiales Xoltepec, San Bartolo y Mihualtepec.

Dentro de las subcuencas Valle de Bravo, existen otras cuencas cerradas de menor extensión ubicadas en varios sumideros y cráteres, aunque su extensión es muy pequeña y no es representativa para el área total de la cuenca.

A continuación, se muestra un mapa (figura 2.7) donde se aprecian las principales subcuencas de la presa de Valle de Bravo:

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO



**NOMBRE DE LA SUBCUENCA**

- Arroyo El Carizal
- Arroyo Las Flores - Tizates
- Arroyo San Diego
- Arroyo Yerbabuena S. Mónica
- Cerrada San Simón
- Cuerpo Agua Presa
- Laderas
- Río Amanalco
- Río Molino - los Hoyos

Fuente:

<b>CARTOGRAFÍA DE REFERENCIA</b>	
NEGL 1975, 1982, 1999 y 2000. Cartografía Topográfica y Temática escala 1:50,000, en formato analógico y digital, de las cartas E 14a37, E14a47, E14a66 y E14a16. INEGI ITER (2000) XII Censo de Población y Vivienda 2000, con datos por localidad. IIGECM, 2000. Ortofotos digitales escala 1:10,000 en formato TIFF. Los límites municipales se obtuvieron del IIGECM. La validación de la información vectorial para la zona de estudio se realizó mediante trabajo de campo y con apoyo de las ortofotos digitales.	
<b>INFORMACIÓN DE REFERENCIA</b> Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM). Datum: ITRRS2. Falso Este: 500,000. Falso Norte: 0.0	
Meridiano Central: 99.0 Cuadrícula UTM a cada 5,000 metros. Cuadrícula Geográfica: a cada 5 minutos. Referencia de las cotas: Nivel medio del mar.	
 <b>CONAGUA</b> Comisión Nacional del Agua GERENCIA REGIONAL DE AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO Y SISTEMAS CUTZAMALA GERENCIA DE ORGANISMOS DEL AGUA	
<b>PROYECTO</b> "PLAN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA Y RECURSOS ASOCIADOS DE LA CUENCA VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO"	
MAPA DE TIPOS DE CLIMA DE LA CUENCA VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO	

Figura 2.7: Mapa de las subcuencas que forman el sistema de la cuenca de Valle de Bravo. Las fuentes se mencionan en el recuadro de la misma imagen.

### *ECOSISTEMAS (FLORA Y FAUNA)*

En la Cuenca de Valle de Bravo, se mencionó anteriormente que existen diferentes climas y diferentes altitudes dentro de dicha cuenca, por lo que se permite que naturalmente existan una variedad de ecosistemas con diferentes tipos de flora. Los ecosistemas se han visto fuertemente perturbados en una amplia superficie, debido al establecimiento de zonas urbanas, agrícolas, praderas para el pastoreo y plantaciones forestales nuevas, ya sea con especies nativas o introducidas.

Dentro de las masas forestales que sobreviven dentro de esta cuenca, se tiene la característica de contar con una vasta gama de la composición florística original. Entre los ecosistemas que se pueden mencionar, existen:

- ✚ Bosque de pino tipo hartwegii o pino tepecuahuitl: el cual se vuelve dominante a altitudes mayores a los 3500 msnm.
- ✚ Bosques de oyamel y pino – oyamel: en las partes con cotas superiores a los 2800 msnm.
- ✚ Bosques de pino y de pino – encino: se encuentran principalmente entre las cotas de los 2400 a los 2800 msnm. Así mismo, pero de forma muy aislada, se pueden encontrar algunos oyameles.
- ✚ Bosque mesófilo de montaña: en las partes con mayor humedad, existe este tipo de ecosistema, también conocido como bosque de niebla. Es considerado como un ecosistema amenazado por los cambios climáticos, aunado a la deforestación. En el país este tipo de bosque es muy escaso, y su conservación es muy importante debido a que la biodiversidad existente. Dentro de la flora presente están pinos, encinos, arces, madroños, ailes, así como plantas epifitas como musgos, líquenes, helechos, bromelias y algunas clases de orquídeas.
- ✚ Bosque de encino: existen por debajo de la cota de los 2000 msnm, y es una transición hacia la selva baja caducifolia. También existen zonas donde el ecosistema se combina con algunos tipos de pino, formando bosques de pino con encino.
- ✚ Bosque de galería y bosque de pantano: cerca de los cauces de las aguas aumenta la humedad en la zona, por lo que la composición florística cambia, y se generan ecosistemas con gran diversidad. Pueden llegar a existir sauces, álamos, capulines, ahuehuetes, entre otros que se combinan con la vegetación que asemeja el bosque mesófilo de montaña.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

---

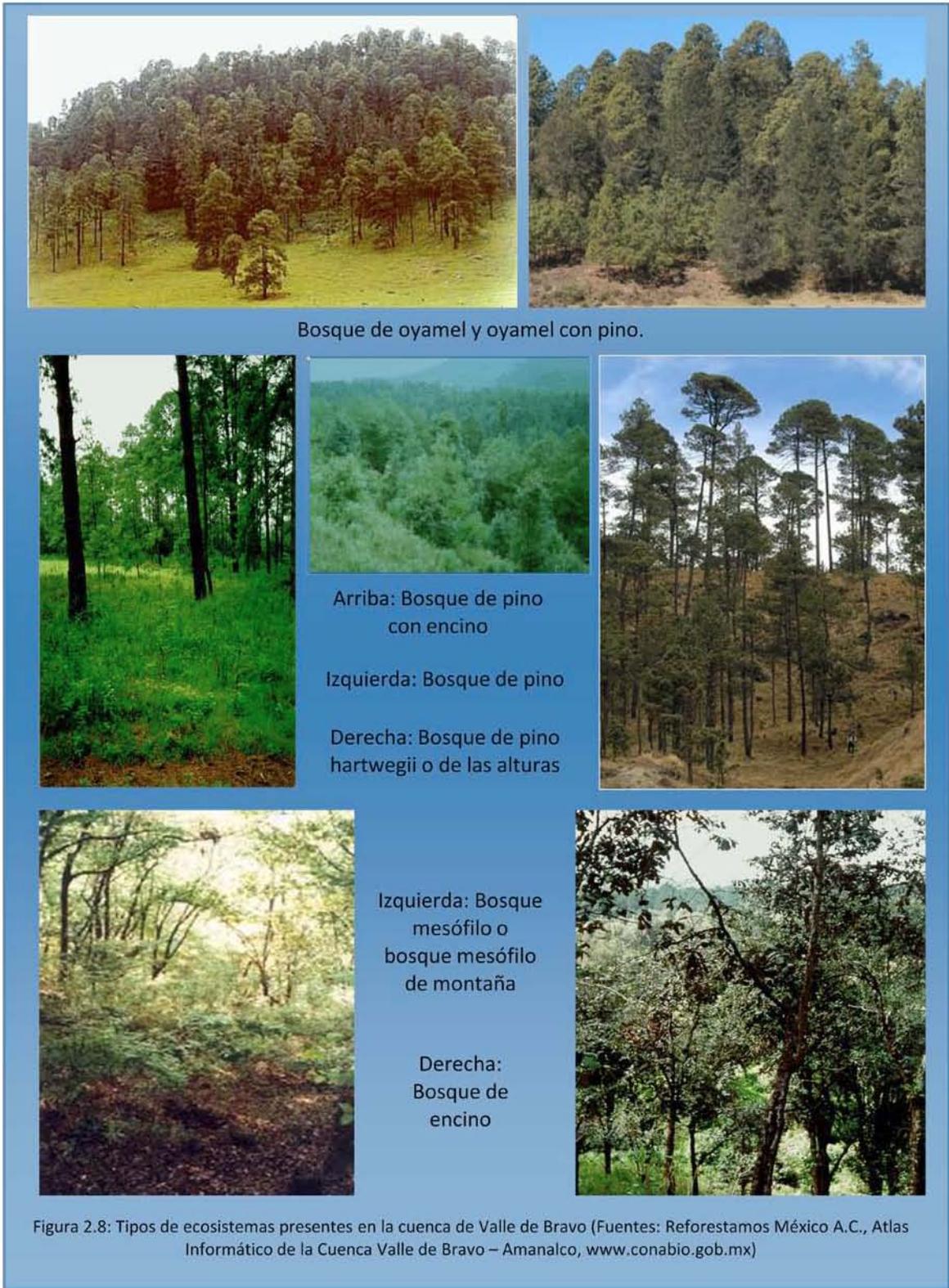
En la Cuenca se han registrado 290 plantas vasculares, es decir plantas que presentan un cuerpo vegetativo diferenciado por raíz, tallo, hoja y poseen vasos de conducción de la savia. También se han reportado en la región 209 especies de hongos que se desarrollan a diferentes alturas. En este mismo tenor, se puede mencionar en cuanto a la fauna que existe el reporte de 92 especies de vertebrados, 6 de ellos anfibios (2 endémicos), 6 reptiles (3 endémicos), 24 mamíferos (2 endémicos) y 56 aves. Existe una colonia de mariposa monarca en el Cerro de Piedra Herrada, registrada desde 1977.

Estos ecosistemas anteriormente mencionados son los que originalmente existían intactos en la Cuenca de Valle de Bravo, aunque actualmente las actividades de la población los han alterado y deteriorado a un ritmo acelerado, por lo que su conservación ahora es un tema fundamental.

Así mismo, existe una gran abundancia de árboles introducidos tales como algunos tipos de pino, cedro y eucaliptos, y recientemente las invasiones de otras especies en el ecosistema como zacatón, escobilla, tejocote y abies religiosa.

Finalmente, se muestran a continuación gráficamente (figura 2.8), los ecosistemas anteriormente mencionados con fines ilustrativos:

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO



## 2.2 Usos del Suelo

El uso de suelo es la utilidad que tiene determinada área, ya sea para la realización de las actividades económicas, para espacio urbano, o para áreas verdes y de conservación. Para la Cuenca de Valle de Bravo, en grandes grupos, los usos del suelo se clasifican de la siguiente manera:



Figura 2.9 Cuadro descriptivo de los principales usos del Suelo en la Cuenca de Valle de Bravo Amanalco.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

Respecto al cambio de uso de suelo la problemática principal es el proceso de deforestación, el cambio de uso forestal en uso agrícola y/o urbana. Por ejemplo, el cambio del uso de suelo de forestal en uso agrícola en tiempos recientes se amplifica en algunas comunidades pequeñas, principalmente de la zona de Amanalco.

En cambio del uso forestal en urbano se observa alrededor de las manchas urbanas de Valle de Bravo y de Avándaro, incluyendo la zona forestal en medio, alrededor de estas dos localidades. La presión que ejercen los fraccionadores y la población para el cambio de uso de suelo es importante. En esta región, existen grupos que desean establecerse en la proximidad de la zona urbana, pero como asentamientos irregulares, así como su contraparte que desean realizar zonas residenciales con sus respectivas amenidades.

Ahora en **AVANDARO** Una Inversión Inteligente, en donde pagas por lo que usas

todos los Servicios incluidos

un Patrimonio

un destino Turístico

2 clubs de Golf

todo en un mismo lugar...  
Propiedad Fraccional en Valle de Bravo

CLUB RESIDENCIAL AVANDARO

REAL ESTATE

México: 91 77 7070 Avándaro: 726 266 0366 ó 06200 ext. 221

Figura 2.10 Propaganda utilizada para la venta de nuevos fraccionamientos en la zona de Avándaro, en la cuenca de Valle de Bravo, donde el crecimiento de este tipo de desarrollos ha sido importante en los últimos años.

Fuente: [www.realestatemarket.com.mx](http://www.realestatemarket.com.mx).

## 2.3 Caracterización Económica

### ACTIVIDADES ECONÓMICAS

Dentro de las actividades económicas, una de las que aportan más recursos e involucra a la mayor parte de la población en la región son las del sector primario. Así mismo, dentro del municipio de Valle de Bravo se ha tenido un enfoque turístico, por lo que las actividades del sector terciario son las más importantes, generando la mayor cantidad de recursos en dicho municipio.

En cuanto al sector secundario debido a la conservación del medio ambiente, a la topografía, el nivel de desarrollo social, la dificultad de acceso para algunas clases de vehículos, la especulación del valor del suelo por parte de fraccionadores de casas habitación, entre otros factores, no ha permitido un desarrollo industrial importante en la zona.

En la siguiente gráfica se puede apreciar el porcentaje de cada una de las actividades económicas del total de las actividades que se desarrollan en cada uno de los municipios que forman parte de la cuenca de Valle de Bravo. Se puede decir que prácticamente las actividades secundarias o industriales tienen poca participación en cuanto al total de las actividades desarrolladas en todos los municipios sin excepción, es decir involucran y son fuente de empleo de un sector minoritario de la población.

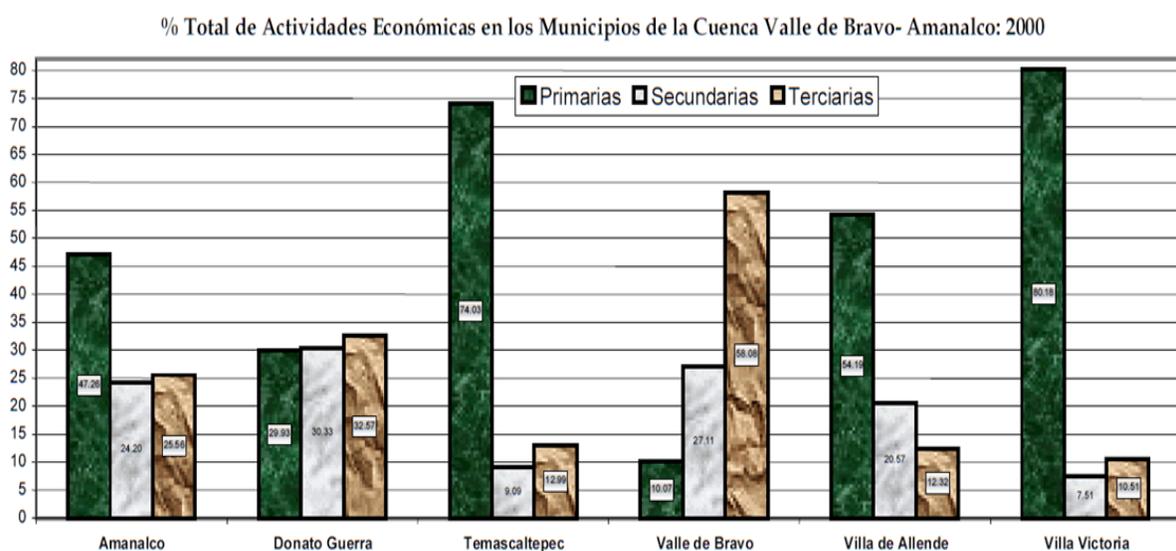


Figura 2.11. Actividades Económicas. Fuente: INEGI 2005

### *ACTIVIDADES ECONÓMICAS PRIMARIAS*

Características del sector:

- ✚ Existen árboles frutales silvestres, de los cuales se pueden obtener: tejocotes, ciruelas, peras, manzanas, cítricos (mandarina, naranja, toronja y limón), durazno, zarzamoras
- ✚ Existe la producción en pequeña escala de forraje para algunos animales de autoconsumo
- ✚ Dentro del grupo de las zonas agrícolas de temporal, se puede observar la presencia de maíz, chilacayote y haba, principalmente para venta y consumo dentro de la misma región.
- ✚ En las zonas de riego, se puede observar la producción de chícharo, papa, haba, maíz, guayaba, frambuesas, mamey, cilantro, perejil, ajo, rábano, pápalo, col, coliflor, brócoli, lechuga, berros, y otras hortalizas de alta calidad debido al agua proveniente de manantiales.
- ✚ Flores, ya que la floricultura es una actividad importante para la región, y en ella se producen: claveles, gladiolas, rosas y aves del paraíso.
- ✚ Así mismo, en algunas áreas se producen cultivos de alta tecnología en invernaderos.

Para las actividades ganaderas, se producen algunos animales pero para la venta en la región o para autoconsumo únicamente, siendo el borrego el principal tipo de animal para crianza. Por otro lado, las actividades piscícolas constan de la crianza de trucha.

Los usos de suelo forestales son utilizados en la producción de maderas para venta inclusive fuera de la región. Otra parte de las zonas forestales son conservadas para fines recreacionales, lo cual atrae considerablemente al turismo, y ayuda a la conservación del medio ambiente. También estas zonas son importantes para evitar la erosión de los suelos y con ello el azolve del vaso de la presa de Valle de Bravo. La conservación de los bosques es importante en la región.

### *ACTIVIDADES ECONÓMICAS SECUNDARIAS*

Adquieren su mayor importancia las industrias eléctrica y de la construcción en el municipio de Valle de Bravo. Fuera de este municipio, predominan las empresas dedicadas a la fabricación de cerámica y a la fabricación de muebles de madera.

Finalmente, en menor escala existen centros agroindustriales productores de hongos, licor, mermelada, aderezos, conservas, quesos y en general actividades de producción artesanal.

### *ACTIVIDADES ECONÓMICAS TERCIARIAS*

La actividad comercial ha tenido un gran impulso por el crecimiento de la región como polo de atracción turística. Dentro de estas actividades existe una gran diversidad de comercios establecidos, aunque la mayor parte de la infraestructura terciaria está localizada en la cabecera municipal del Municipio de Valle de Bravo, existiendo hoteles y restaurantes.



Figura 2.12 La cabecera del Municipio de Valle de Bravo representa una de los polos de atracción de la región, con fines de recreación y esparcimiento. Foto: Cortesía.

El turismo es una de las vocaciones históricas de Valle de Bravo, especialmente en la cabecera municipal, donde se registra una afluencia importante de visitantes para la recreación y el esparcimiento de fin de semana. Los visitantes llegan a ser tanto nacionales como extranjeros, por lo que el flujo de capital en este municipio es el más importante de la región.

## 2.4 Caracterización Socio – Demográfica (Principales Indicadores Socio demográficos.

Dentro de la cuenca de Valle de Bravo, existen asentamientos humanos continuos y dispersos distribuidos en 95 localidades (incluyendo la Cuenca cerrada de San Simón). Solo una de ellas se considera urbana por tener más de 15,000 habitantes, la cabecera municipal de Valle de Bravo, y fuera de ésta zona se contempla que la mayoría de las comunidades no llega a tener los 1,000 habitantes. Existen localidades como lo son Avándaro, Amanalco y San Juan que tienden a formar zonas conurbadas a la cabecera municipal.

La población total de la cuenca asciende a 79,773 habitantes, de los cuales 54,364 habitan en el medio rural, es decir el 68% de la población, mientras que el 32% restante correspondiente a 25,409 habitantes habitan en la cabecera municipal de Valle de Bravo.

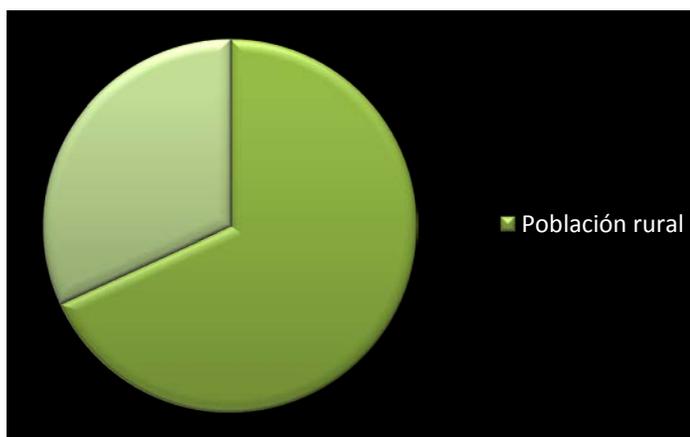


Figura 2.13 Gráfica comparativa entre la población rural y la población urbana existente en la cuenca.

ZONA	TIPO DE POBLACIÓN	MUNICIPIOS	LOCALIDADES	POBLACIÓN TOTAL	
				No.	%
CUENCA TOTAL DE VALLE DE BRAVO (SUBCUENCA DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO Y SUBCUENCA CERRADA DE SAN SIMÓN)	URBANO	1	1	25409	31.85
	RURAL	5	94	54364	68.15
	TOTAL	5	95	79773	100

Tabla 2.2 Comparativa entre la población rural y la población urbana existente en la cuenca.

En el mapa de la figura 2.14, se puede observar cómo se distribuye la población a través de toda la Cuenca de Valle de Bravo.

Dentro de las áreas urbanas, los niveles de vida tienden a ser más altos que en las zonas rurales, por lo que se presentan grandes contrastes socioeconómicos en la cuenca. Se puede mencionar que existe un desarrollo asimétrico en el

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

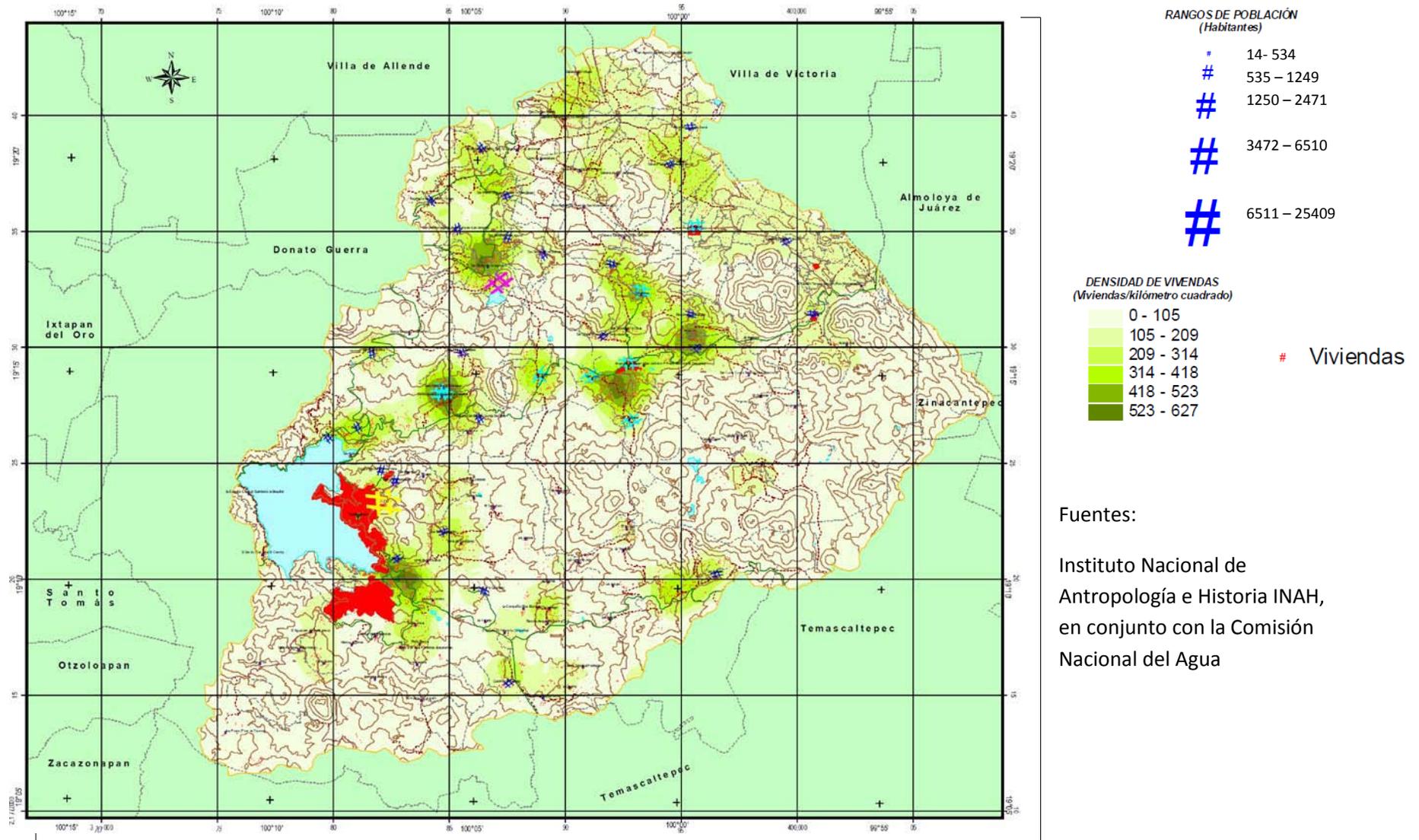


Figura 2.14: Mapa de la distribución de las localidades y habitantes presentes en la Cuenca de la Presa de Valle de Bravo. Las fuentes se mencionan en el recuadro de la misma imagen.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

nivel de vida de la población, estando la riqueza distribuida de manera inequitativa, y generando cuadros problemáticos entre la población y los recursos naturales.

El Municipio de Valle de Bravo al igual que los municipios de la región, se identifican por la existencia de diversas características y grupos de interés que inciden en su funcionamiento, crecimiento y desarrollo, los cuales se vuelven más complejos debido a la heterogeneidad de sus actividades socio-económicas.

En la Cuenca de Valle de Bravo repercuten las tendencias que tiene el mismo estado, es decir existe un proceso creciente y acelerado de concentración urbana y de actividades económicas, mismas que generan un avance y necesidad de insumos y servicios en unas cuantas localidades (por ejemplo de la cabecera municipal de Valle de Bravo), mientras que en el resto de las localidades, sólo refleja un desarrollo bajo, que limita la oferta de servicios y bienestar social, además de la existencia de un franco estado de marginación.

La población de la cuenca total Valle de Bravo ha mantenido un crecimiento poblacional generalizado tanto en su parte urbana como en la rural. Sin embargo, Valle de Bravo es la población que ha tenido un crecimiento mayor al resto de la cuenca.

### LA POBLACIÓN INDÍGENA

Continuando con el tema de la demografía, la población indígena en la cuenca constituye el 10.48% del total de la población. En las zonas rurales este sector abarca el 13.79% y en la urbana el 1.92%, lo cual indica que hay movimiento migratorio de los indígenas hacia la zona urbana; aunque aún no es considerable. El 83.64% de la población indígena habla español y su

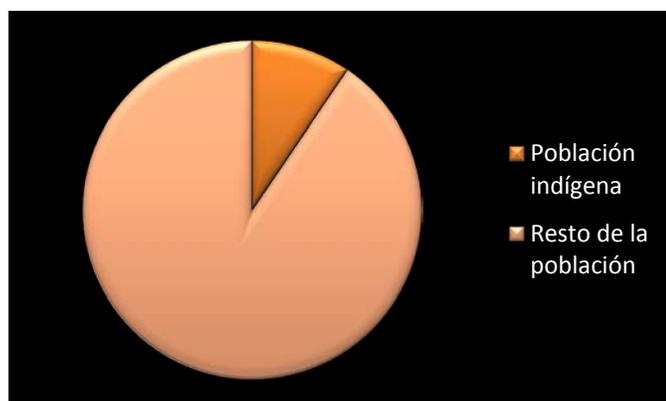


Figura 2.15 Gráfica comparativa entre la población indígena y el resto de la población existente en la cuenca.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

idioma materno es mazahua u otomí; en tanto que el 12.56% sólo habla el idioma indígena.

### LA EDUCACIÓN

La instrucción escolar que se imparte en la cuenca total Valle de Bravo, corresponde a los niveles de preescolar, primaria, secundaria, medio superior y superior, y en los tres primeros niveles de instrucción educativa se presenta la mayor cobertura de la oferta educativa oficial.

### EL ANALFABETISMO

El analfabetismo y la carencia de instrucción escolar es un fenómeno que afecta a una parte importante de la población y que presenta diferencias significativas entre la población urbana y la rural.

ZONA	TIPO DE POBLACIÓN	POBLACIÓN DE 6 A 14 AÑOS QUE ASISTE A LA ESCUELA		POBLACIÓN DE 6 A 14 AÑOS QUE NO ASISTE A LA ESCUELA		GRADO ESCOLAR PROMEDIO
		No.	%	No.	%	
CUENCA TOTAL DE VALLE DE BRAVO (SUBCUENCA DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO Y SUBCUENCA CERRADA DE SAN SIMÓN)	URBANO	4464	94.02	284	5.98	7.43
	RURAL	12080	89.11	1477	10.89	1.57
	TOTAL	16544	90.38	1761	9.62	4.5

Tabla 2.3 Comparativa con respecto a los niveles educacionales.

ZONA	TIPO DE POBLACIÓN	POBLACIÓN MAYOR A 14 AÑOS ALFABETA		POBLACIÓN MAYOR 14 AÑOS ANALFABETA		POBLACIÓN MAYOR 14 AÑOS SIN INSTRUCCIÓN ESCOLAR	
		No.	%	No.	%	No.	%
CUENCA TOTAL DE VALLE DE BRAVO (SUBCUENCA DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO Y SUBCUENCA CERRADA DE SAN SIMÓN)	URBANO	12916	90.82	1305	9.18	1377	9.68
	RURAL	22246	76.56	6810	23.44	6405	22.04
	TOTAL	35162	81.25	8115	18.75	7782	17.98

Tabla 2.4 Comparativa con respecto al analfabetismo presente en la región.

### *LA VIVIENDA*

En la cuenca Valle de Bravo las viviendas particulares habitadas suman un total de 14,959 de las cuales 12,548 se encuentran en la subcuenca de la presa Valle de Bravo y 2,411 en la subcuenca cerrada San Simón.

Las viviendas construidas con material de desecho en techos representa el 0.77%, mientras que las construidas con paredes de desecho alcanzan el 14.02%. Así mismo, el 26.94% de las casas existentes en la región tienen piso de tierra. Cabe mencionar que en el medio rural predominan las que tienen techos construidas con material de desecho y las que tienen pisos de tierra

La mayoría de las viviendas, es decir un 52.46% de ellas, utiliza todavía la leña como combustible, siendo esto mayormente utilizado en el medio rural y representando en dicho medio el 74.5%, mientras que en el medio urbano el uso de gas combustible representa el 92.86%.



Figura 2.16 Los niveles de desarrollo son mejores en el área urbana conformada por la cabecera municipal de Valle de Bravo. Fuente: Cortesía.

En cuanto al sistema sanitario, en toda la cuenca representada por el 59.27% de las viviendas cuentan con sanitario para uso exclusivo, y el 51.02% de las viviendas cuentan con sistema de drenaje.

Los servicios de agua entubada y energía eléctrica abarcan en lo general a la mayoría de las viviendas, teniendo para ello que el 73.57% de las viviendas cuentan con agua entubada y el 90.23% de las viviendas cuentan con energía eléctrica.

### *INGRESOS DE LA POBLACIÓN*

La mayoría de la población ocupada de la cuenca recibe ingresos que van de 1 a 2 salarios mínimos, representando el 32.28% de la población que vive bajo este régimen. Sin embargo, las cifras de quienes no reciben una remuneración económica por su trabajo como los que reciben hasta un salario mínimo resultan muy altas, y representa hasta un 17% la población que vive bajo este tipo de condiciones. Estos ingresos son recibidos por el grupo que conforma a la población rural de la cuenca.

La población que recibe más de 2 y hasta 5 salarios mínimos representa el 24.61% de la población, mientras que el 11.57%, es decir el resto de la población recibe más de esta cantidad de ingresos, y es principalmente la población de la zona urbana que se dedica a las actividades secundarias, y mayormente a las actividades terciarias.



Figura 2.17 La mayoría de los habitantes de la Cuenca de Valle de Bravo vive bajo un régimen de bajos ingresos, especialmente aquellos que se encuentran en las zonas rurales. Fuente: Cortesía.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

---

### *INFRAESTRUCTURA URBANA*

En las comunidades rurales de cada municipio, el equipamiento urbano es muy deficiente. La energía eléctrica y la red de agua potable son las que alcanzan una mayor cobertura en toda la región.

Los servicios de educación y salud tienen grandes deficiencias en infraestructura y cobertura.

Las cabeceras municipales son las únicas poblaciones que cuentan con servicios de drenaje, alumbrado, recolección de basura, infraestructura escolar en mejor situación que en las localidades rurales. Inclusive en estas localidades se encuentran áreas de esparcimiento para la familia y áreas verdes. Así mismo, existen equipamientos tales como hoteles, restaurantes y bares, terminales de autobuses y microbuses, gasolineras, mercados y tianguis, especialmente en la cabecera de Valle de Bravo.

Una de las problemáticas que se presentan dentro de la cuenca es el manejo de los residuos sólidos. En Amanalco existen dos tiraderos de basura y un relleno sanitario, pero éste último no mantiene las normas técnicas para el tratamiento de los residuos contaminantes que se vierten a las aguas subterráneas o superficiales.



Figura 2.18 La cabecera municipal de Valle de Bravo es la zona que cuenta con la mejor infraestructura, debido a que es una zona urbana con un enfoque turístico. Fuente: Cortesía.

## 2.5 Los Usos del Agua

El incremento demográfico en regiones ajenas a la Cuenca de Valle de Bravo, los efectos de los movimientos migratorios de la población, el uso de los recursos naturales, la crisis en el sector agropecuario, las piscifactorías y el boom que han tenido los desarrollos inmobiliarios de alto valor dentro del municipio de Valle de Bravo han transformado el uso que tiene el agua en la Cuenca de Valle de Bravo.

En el siglo XX la población de la Ciudad de México aumentó exponencialmente, por lo que sus consumos de energía y de agua fueron cada vez más grandes.



Figura 2.19 La Ciudad de México es el núcleo poblacional más grande del país, y sin embargo no cuenta con la suficiente cantidad de agua para abastecer a sus habitantes de forma sustentable, por lo que es indispensable la dotación de agua mediante la utilización de fuentes externas. Fuente de la imagen: Cortesía.

Primeramente la Cuenca de Valle de Bravo fue utilizada para fines de suministro de energía eléctrica, sin embargo al ser construidas en otros sitios más presas hidroeléctricas, termoeléctricas, entre otras infraestructuras para dotar de energía al país, este problema podía quedar resuelto sin la utilización del sistema de la presa de Valle de Bravo para generación eléctrica.

En el último tercio del siglo XX, son cada vez mayores los problemas en la Ciudad de México debido a los hundimientos por la extracción de agua de los mantos freáticos, el aumento de la profundidad para extracción del agua de pozos, la contaminación de las aguas de los ríos, y en general la poca sustentabilidad que tiene el Valle de México para proveer en sí misma de agua a sus propios habitantes. Es aquí donde se crea la necesidad de buscar fuentes externas de agua, y en este proceso se elige el río Cutzamala, ubicado en el Estado de Guerrero, como el sistema de agua potable para la Ciudad de

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

México, y por su potencial hidrológico la Cuenca de Valle de Bravo – Amanalco como una de las zonas clave para alimentar a dicho sistema.

Es por ello que uno de los usos mayores del agua presente en la Cuenca de Valle de Bravo es la utilización como agua en bloque, o agua de fuentes externas, para su aprovechamiento fuera de sitio, es decir para que sea utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable en el Valle de Toluca y en la Ciudad de México.

Podemos ver que dentro de la Cuenca de Valle de Bravo, existen diversas actividades que involucran un uso importante del agua, y se describe en la tabla 2.5, a continuación:

<b>Uso</b>	<b>Volumen anual en metros cúbicos (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Gasto en litros por segundo</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Extracción de agua en bloque</b>	194,937,261	6,181.42	66.05%
<b>Piscifactorías</b>	57,032,856	1,808.50	19.32%
<b>Agrícola</b>	33,246,828	1,054.25	11.26%
<b>Público urbano</b>	8,465,839	268.45	2.87%
<b>Múltiples</b>	1,472,416	46.69	0.50%
<b>Total</b>	<b>295,155,200</b>	<b>9,359</b>	<b>100%</b>

Tabla 2.5: Usos del agua con respecto al volumen total del uso del agua en la Cuenca de Valle de Bravo.

Fuente: Atlas informático de Valle de Bravo – Amanalco, y actualizado por el autor.

### *EL PROBLEMA DEL AGUA EN BLOQUE PARA LA CIUDAD DE MÉXICO*

El Sistema conocido como Lerma Cutzamala provee de agua a las zonas urbanas del Valle de Toluca y de la Ciudad de México con su zona metropolitana; envía entre 16 y 19 m<sup>3</sup> por segundo. La subcuenca de Valle de Bravo aporta en promedio 6 m<sup>3</sup> por segundo. El resto proviene de la presa de

**CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO**

Villa Victoria, de la Del Bosque y de la Sub Cuenca Villa de Allende- Donato Guerra.

Las tres etapas en las cuales el sistema está diseñado, fueron calculadas para exportar al Valle de México un caudal máximo de  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ , sin embargo, el sistema se ha estabilizado en  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los números para el volumen actual varían, el SACM reporta una entrega de  $6.73 \text{ m}^3/\text{s}$  al Distrito Federal, en tanto que el organismo de Aguas del Estado de México reporta un volumen entregado al Edomex de alrededor de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo que el volumen restante podría significar la cantidad de pérdidas existentes debido a las fugas que se encuentran en el sistema.

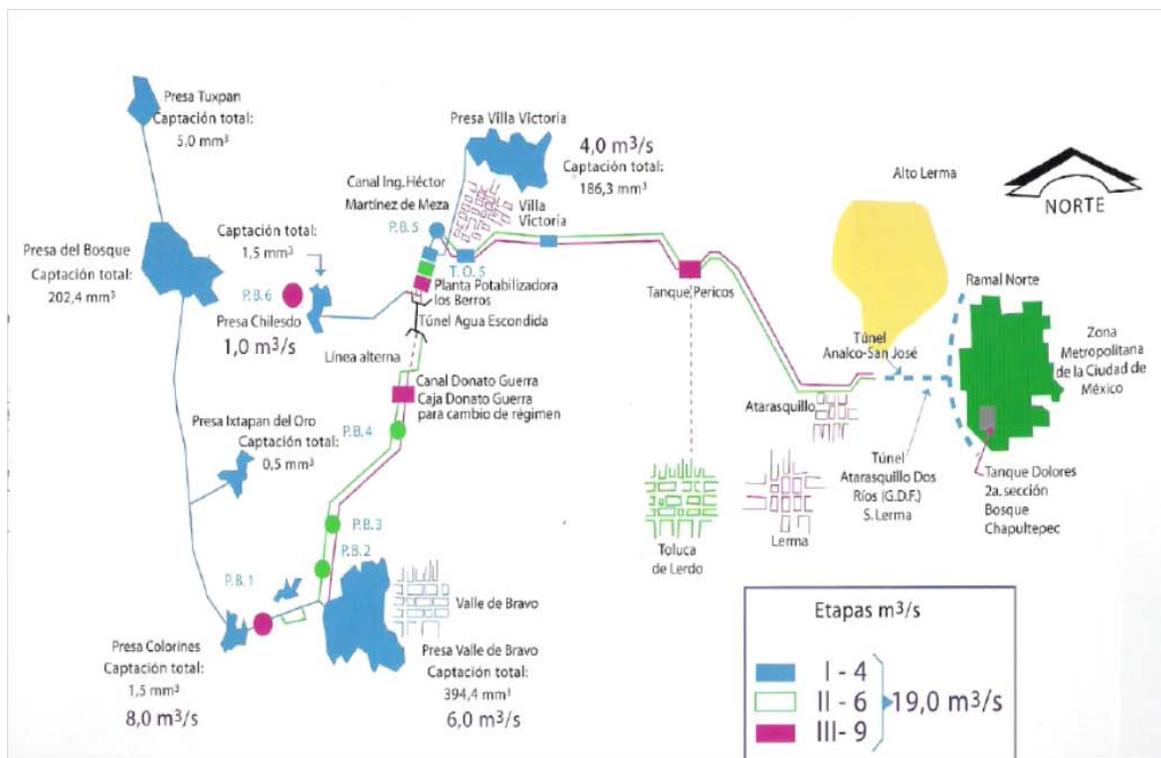


Figura 2.20 Las necesidades de agua en el Valle de México son tan grandes, que se ha creado la necesidad de buscar fuentes de abastecimiento fuera de la región. Las etapas del sistema Cutzamala se ilustran en la presente figura. Fuente: Organismo de Cuencas de Agua del Valle de México, CONAGUA 2007.

## CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN REGIONAL DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

Cabe mencionar que para el año 2000, ante la necesidad de aumentar el volumen de abasto de agua para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se realizó un consenso con el cual se determinaría la factibilidad de realizar dicha acción entre el gobierno del Distrito Federal, el Estado de México y el federal, concluyendo que el aporte de más volumen a la región traería una serie de problemáticas ambientales y sociales, haciendo no factible dicho proyecto.

El agua dentro de la Cuenca de Valle de Bravo es un recurso que tiende a disminuir, por lo que este factor aunado a un aprovechamiento desigual es objeto de disputa entre los diversos sectores sociales de la población. Actualmente se han empezado a manifestar los conflictos por la contraposición de intereses que existe entre los diferentes sectores que hacen uso del agua, manifestándose una fuerte presión por la redistribución del vital líquido.



Figura 2.21 Las necesidades de agua en bloque en el Valle de México es mayor, y sin embargo la disponibilidad de esta en el sistema Cutzamala no es sustentable manteniendo el ritmo de extracción que se tiene actualmente. Fuente: Noticieros Televisa.

### *PROBLEMAS POR LOS USOS DEL AGUA DENTRO DE LA REGIÓN DE LA CUENCA*

Actualmente en la Cuenca se perfilan problemas concernientes al tema del agua, los cuales generan conflictos entre los usuarios. Entre las diferentes problemáticas, se puede rescatar que el uso del agua generado por un tipo de usuarios limita la disponibilidad para el resto de ellos, contamina el agua, merma su calidad, afecta a un sector poblacional indirectamente... generando el descontento generalizado de la población y que en su conjunto no queda satisfecha. Entre los problemas que existen, podemos mencionar los siguientes:

Las Granjas Piscícolas:

En el municipio de Amanalco se ubican decenas de granjas piscícolas. Por una parte los dueños de las piscifactorías se oponen a la tala del bosque, considerando que afecta al caudal de los manantiales, y consecuentemente su producción; esto beneficia directamente a la conservación de las áreas boscosas.



Figura 2.22 Las granjas piscícolas son uno de los usos importantes del agua en la Cuenca, aunado a la contaminación que llegan a producir. Fuente: Cortesía

Sin embargo se han suscitado confrontaciones entre grupos de piscicultores y las poblaciones que demandan un mayor volumen de agua para uso humano, pues manifiestan que el agua es insuficiente; en contraparte los piscicultores no acceden para que un mayor volumen de agua sea utilizado para consumo humano. Otro ejemplo es el de los agricultores, los cuales consideran que los piscicultores, al tener estanques para la pesca deportiva, impiden que el agua llegue al río, por lo que plantean expresamente que no disminuya el volumen concesionado originalmente para el riego.

La Venta del Agua



Otro conflicto en torno al agua ha surgido por la práctica de vender las fuentes de abastecimiento de agua, especialmente los manantiales, a personas o sociedades constituidas en ranchos

Figura 2.23 Los nuevos complejos residenciales ocupan el agua con preferencia del resto de la población. Fuente: Panoramio

particulares y fraccionamientos residenciales. Esta práctica que no está permitida realizar constitucionalmente ha crecido gradualmente en diversos lugares, particularmente del municipio de Valle de Bravo, donde se agravada la necesidad de agua potable ante el crecimiento de la demanda de los pobladores. Las autoridades o representantes de sectores sociales fortalecen con estas acciones a personas o grupos económicamente poderosos.

#### La Escasez del Agua

Hay localidades que por ubicarse en las parte altas padecen de escasez de agua. En algunos casos y para satisfacer esa necesidad, los habitantes la obtienen a través de las pipas que envía el organismo operador, aunque en algunas zonas tiene que verse suspendida debido a que algunas comunidades son consideradas asentamientos irregulares por ubicarse en un área declarada reserva natural protegida.

Hay localidades que carecen de una red de agua para el consumo humano, por lo que cada familia debe acarrearla de los manantiales. Así también, hay localidades que no tienen manantiales propios, por lo que dependen de convenios con otras localidades para obtener el líquido. Existen comunidades que incluso recurren a la unidad de riego para usar el agua de riego como potable.



Figura 2.24 La escasez de agua predomina fundamentalmente en las partes altas de la cuenca.

Fuente: Cortesía.

El agua es muy disputada, y progresivamente en las redes de distribución del agua, debido a que las tomas domiciliarias se conectan cada vez más cerca del manantial, resulta una distribución desigual entre los usuarios.

✚ Inundaciones y Afectaciones de Tierra

Uno de los conflictos ocurridos dentro y en las proximidades de la cuenca, cuyo conocimiento se propagó a escala nacional, es el protagonizado por las mujeres mazahuas en protesta por la inundación de terrenos causada por el desbordamiento de la presa y por la falta de indemnización de tierras expropiadas para el Sistema Cutzamala.



Figura 2.25 La inundación de los terrenos derivados de la construcción de la Presa de Valle de Bravo es un conflicto que aún no ha sido completamente resuelto. Fuente:

En fechas recientes han hecho conocer sus demandas y se ha logrado negociar la solución de algunos problemas, aunque mantienen sus demandas originales.

✚ La Contaminación del Agua

La población se inconforma por la contaminación del agua para uso humano y para los fines turísticos debido a la descarga de aguas negras, aunque en realidad son varios los orígenes de este problema.



Figura 2.26 Las fuentes de contaminación son muy diversas; los contaminantes son arrastrados desde las partes altas de la cuenca hasta llegar al vaso de la presa. Fuente: Cortesía

Los problemas de la contaminación del agua en realidad son de diferentes fuentes que se crean por las mismas actividades realizadas en la cuenca, especialmente por los usos de fertilizantes en la agricultura, las piscifactorías, la cría de los animales y el consumo mismo de la sociedad.

✚ La Extracción de Agua del Subsuelo

En el municipio de Valle de Bravo existen pozos que se utilizan para dotación de agua potable especialmente a la población, y en diversos casos se les relaciona con la pérdida del caudal de los manantiales que surten de agua para consumo humano y riego agrícola a diversas poblaciones.



Figura 2.27 La extracción de agua del subsuelo para consumo humano en las zonas urbanas crece, y los manantiales dedicados a otros usos se ven frecuentemente afectados. Fuente: Cortesía

# CAPÍTULO III

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO



### 3.1 Estudios realizados

Para los estudios de calidad del agua y balance hidráulico, existen diversas fuentes que han aportado una gran cantidad de estudios para esta región, debido a la gran importancia que tiene para el abastecimiento de agua potable a la zona más poblada del país, es decir la Ciudad de México y su zona metropolitana, y también por la importancia que propiamente tiene la zona como región turística y polo de desarrollo social.

La información presentada en este documento proviene de fuentes como:

- ✚ El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual cuenta con los registros históricos de todas las estaciones climatológicas del país.
- ✚ El Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS), el cual cuenta con registros de los escurrimientos en las principales corrientes que desembocan en el vaso de la Cuenca de Valle de Bravo.
- ✚ La Comisión de las Cuencas de Agua para el Valle de México, la cual ha recopilado en forma importante y abundante información sobre el estado de esta presa, ha comentado las problemáticas de la zona y ha realizado propuestas para su mejora.
- ✚ La Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo.
- ✚ El Instituto de Ecología de la UNAM
- ✚ La Universidad Autónoma del Estado de México en colaboración con el gobierno del Estado de México, para la creación del Plan de Desarrollo Regional,
- ✚ En general, estudios de otras instituciones y personas que han aportado información valiosa; entre ellos, los estudios realizados por Olivera y Chacón.

### 3.2 Conceptos Básicos

Tanto los análisis de calidad del agua históricos, así como los realizados para el presente proyecto, requieren la comprensión de conceptos asociados a la calidad del agua que se describen brevemente, con el fin de comprender tanto los estudios realizados, como los análisis y conclusiones a las que se llega.

Dentro de los conceptos considerados de mayor importancia se presentan los siguientes:

- ✚ El Oxígeno Disuelto (OD): Son las moléculas de oxígeno "O<sub>2</sub>" que se encuentran en el cuerpo de agua, debido al efecto de transferencia de gases al agua.
- ✚ La cantidad de Oxígeno Disuelto dependerá de la constante de Henry, en la cual se involucran factores como el tipo de gas, la temperatura y el medio en el que se desarrolla el intercambio de gases (debido a la presión atmosférica, la aereación, la fotosíntesis y los procesos de descomposición existentes).
- ✚ Así mismo, el intercambio de gases ocurrirá hasta llegar a un equilibrio dinámico.
- ✚ Aereación: Es el proceso mediante el cual el oxígeno entra en el agua por contacto con la atmósfera (absorción).
- ✚ Descomposición: Es la oxidación de los desechos, de forma aerobia o anaerobia, mediante el cual, químicamente, las sustancias más complejas se desdoblan (transforman) en sustancias más simples.
- ✚ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aerobios para descomponer la materia orgánica contenida en el agua (es una medida indirecta del contenido de materia orgánica).
- ✚ Demanda Bioquímica de Oxígeno (5) (DBO 5): Es la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable en un periodo de 5 días, a una temperatura de 20 °C.

- ✚ Temperatura: La mayoría de los procesos biológicos se aceleran cuando la temperatura se incrementa y se desaceleran cuando la temperatura disminuye. Debido a que la utilización del oxígeno es provocada por el metabolismo de los microorganismos, la tasa de utilización es afectada de igual forma por la temperatura.
  
- ✚ Microorganismos patógenos: Incluye a las bacterias, virus, protozoarios y helmintos presentes en el agua.
  - ✓ Bacterias: Son microorganismos unicelulares capaces de sintetizar el protoplasma a partir de su ambiente. Pueden tener forma cilíndrica o de bastón (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos). Los desórdenes intestinales son síntomas comunes de la mayoría de las enfermedades transmitidas por las bacterias patógenas transportadas por el agua.
  - ✓ Virus: Son las estructuras biológicas inferiores de las cuales se conoce que contienen toda la información genética necesaria para su propia reproducción. Ellos, están obligados a tener un huésped en donde alojarse.
  - ✓ Protozoarios: Constituyen el nivel inferior de la vida animal, y son organismos unicelulares que pueden vivir libremente o en forma parásita. Pueden ser patógenos o no patógenos, microscópicos o macroscópicos. Son altamente adaptables, por lo cual están ampliamente distribuidos en las aguas naturales. Sólo unos cuantos protozoarios acuáticos son patógenos.
  - ✓ Helmintos (gusanos parásitos): incluye dos o más huéspedes, uno de los cuales puede ser humano. La contaminación del agua con este tipo de microorganismos puede ser causada por el vertido de desechos animales y humanos que contienen helmintos, así como insectos y caracoles.

En la Tabla 3.1, se muestran las enfermedades más comunes originadas por los diferentes tipos de microorganismos:

<b>Microorganismos</b>	<b>Enfermedades que provocan</b>
<b>Bacterias</b>	leptospirosis, paratifoidea (fiebre entérica), fiebre tifoidea, disentería bacilar, cólera
<b>Virus</b>	Poliomielitis infantil, Hepatitis Infecciosa
<b>Protozoarios</b>	Amebiasis (disentería amebiana, enteritis amebiana, colitis amebiana), Giardiasis
<b>Helmintos</b>	Dracontiasis, Equinococosis, Squistomiasis

Tabla 3.1 Enfermedades producidas por diversos microorganismos. Fuente: Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales, César y Vázquez. FI – FICA, 2009.

✚ Cianofitas (Algas verdes – azules): son organismo procariontes autótrofos, careciendo sus células de un núcleo verdadero. Están constituidas por elementos idénticos aislados unicelulares o en cenobios filamentosos.

Son muy fácilmente adaptables; viven en medios húmedos, como son la tierra, o en el agua, ya sea dulce o salada.

Las cianofitas tienen la característica de poder desarrollarse en condiciones eutróficas. Este tipo de organismos producen sustancias antibióticas, es decir son organismos alelopáticos, inhibiendo o deteniendo así el desarrollo de otros seres planctónicos.

Existen además florecimientos que producen toxinas, produciendo en los seres humanos malestares: calambres, náuseas, vómitos, contracturas musculares, cefaleas,



Figura 3.1 Las cianofitas son organismos fácilmente adaptables, y se reproducen asexualmente, facilitando esto su proceso de propagación.

Fuente: Ryczel, Argentina 2003.

vértigo, convulsiones, hepatomegalia, insuficiencia hepática progresiva, hiperbilirubinemia, entre otros.

- ✚ Eutroficación: Proceso mediante el cual un lago o un embalse se enriquecen con nutrientes. Un embalse puede llegar a su estado eutrófico naturalmente, aunque los factores antropogénicos: aportación de nutrientes debido a las descargas de aguas residuales, el uso de fertilizantes en la agricultura, los desechos ganaderos, las industrias alimenticias aceleran este proceso.

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en agua salada el factor limitante es el nitrógeno. En el siguiente esquema se ilustran los pasos del proceso de eutroficación en los lagos y embalses:

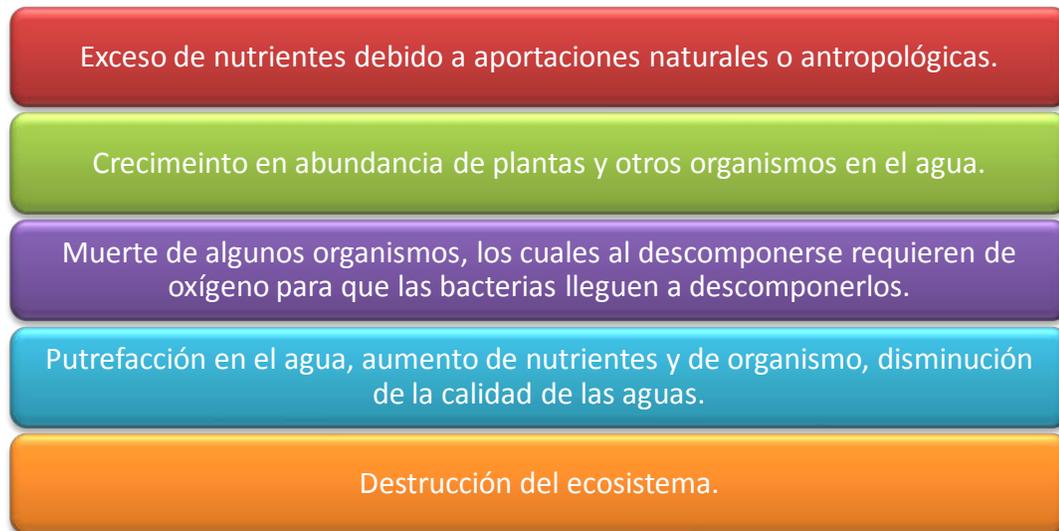


Figura 3.2 Descripción breve del proceso de eutroficación de los cuerpos de agua.

- ✚ Estado trófico oligotrófico: Se genera cuando un lago o embalse es pobre en nutrientes. Tiene las aguas claras, la luz penetra bien, el crecimiento de las algas es pequeño y mantiene a pocos animales. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas.

- ✚ Estado trófico mesotrófico y eutrófico: Los cuerpos de agua al ir cargándose de nutrientes van cambiando su nivel trófico; a mayor cantidad de nutrientes se expresa que el cuerpo de agua aumenta su nivel eutrófico.
  
- ✚ Características de las aguas con nivel trófico eutrófico:
  - ✓ Crecen las algas en gran cantidad, con lo que el agua se enturbia.
  - ✓ Las algas y otros organismos, cuando mueren, son descompuestos por la actividad de las bacterias con lo que se gasta el oxígeno.
  - ✓ No pueden vivir peces que necesitan aguas ricas en oxígeno.
  - ✓ En algunos casos se producirán putrefacciones anaeróbicas acompañadas de malos olores.
  - ✓ Las aguas son turbias y de poca calidad desde el punto de vista del consumo humano o de su uso para actividades recreativas.
  - ✓ El fondo del lago se va rellorando de sedimentos con nutrientes.
  - ✓ En algunos casos llegan a existir azolves importantes.

### 3.3 Estudios Relacionados con el Balance Hidráulico

#### LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA PRESA

La Presa Valle de Bravo abarca una superficie de 2,900 hectáreas, con una profundidad promedio 21 m y máxima de 39 m. La capacidad máxima de almacenamiento fue inicialmente de 457 hm<sup>3</sup>, reducida por azolves a 394 hm<sup>3</sup>. El volumen almacenado esta en relación con la precipitación y la extracción.

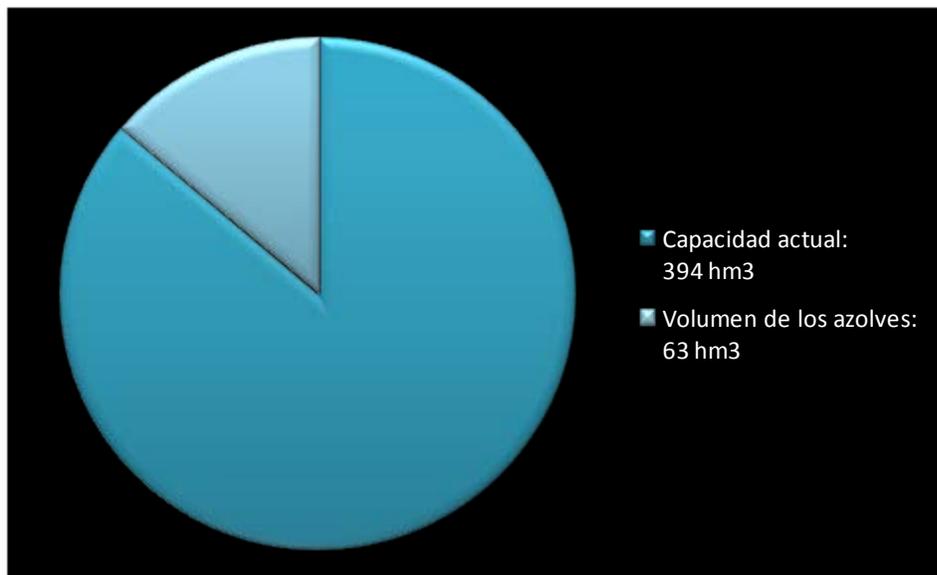


Figura 3.3 Relación de los azolves con respecto a la capacidad máxima que originalmente tuvo la presa de Valle de Bravo.

*ALMACENAMIENTOS HISTÓRICOS DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO*

La extracción promedio para el Sistema Cutzamala es de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , con máximos de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  (Organismo de Cuencas del Agua para el Valle de México). Si bien el volumen de extracción de la presa es muy variable, en general, los máximos se registran desde abril y hasta septiembre, en coincidencia con la época de lluvia. En concordancia, los mayores niveles de almacenamiento inician en el mes de septiembre, como resultado de la acumulación de los escurrimientos de lluvia y la disminución de la extracción.

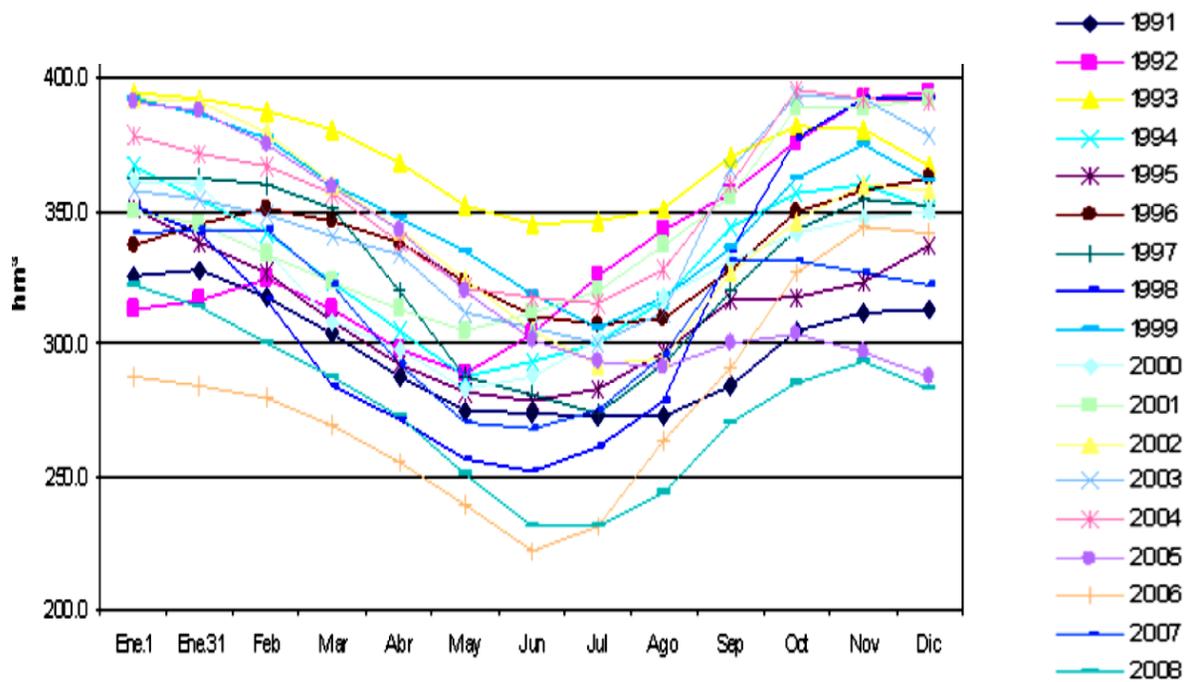


Figura 3.4 Almacenamientos históricos para la Presa de Valle de Bravo. Fuente: Comisión de la Cuenca de Agua para el Valle de México, CONAGUA.

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO**

---

*COMPARATIVA DE PRECIPITACIONES CON SUS ALMACENAMIENTOS PARA EL PERIODO COMPRENDIDO DE DICIEMBRE DE 2009 A NOVIEMBRE DE 2010.*

*La información que se presenta a continuación fue tomada de la publicación: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala (CONAGUA); la información completa puede ser consultada en el Anexo 1.*

Se utilizaron los milímetros promedio de precipitación en la cuenca. Se resumen los resultados en la Tabla 3.2 con su respectiva gráfica (Figura 3.5):

<b>PERIODO</b>	<b>ALMACENAMIENTOS (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>PRECIPITACIONES (mm)</b>
<i>diciembre / 2009</i>	291.5	4
<i>enero / 2010</i>	298.547	54.7
<i>febrero / 2010</i>	315.416	195.3
<i>marzo / 2010</i>	321.457	0
<i>abril / 2010</i>	328.959	3.5
<i>mayo / 2010</i>	320.955	5
<i>junio / 2010</i>	308.496	114.3
<i>julio / 2010</i>	317.203	350.4
<i>agosto / 2010</i>	348.607	352.1
<i>septiembre / 2010</i>	381.183	176
<i>octubre / 2010</i>	392.373	3.9
<i>noviembre / 2010</i>	386.962	15.3

Tabla 3.2: Comportamiento de la precipitación con respecto a los almacenamientos promedio para cada mes de diciembre de 2009 a noviembre de 2010.

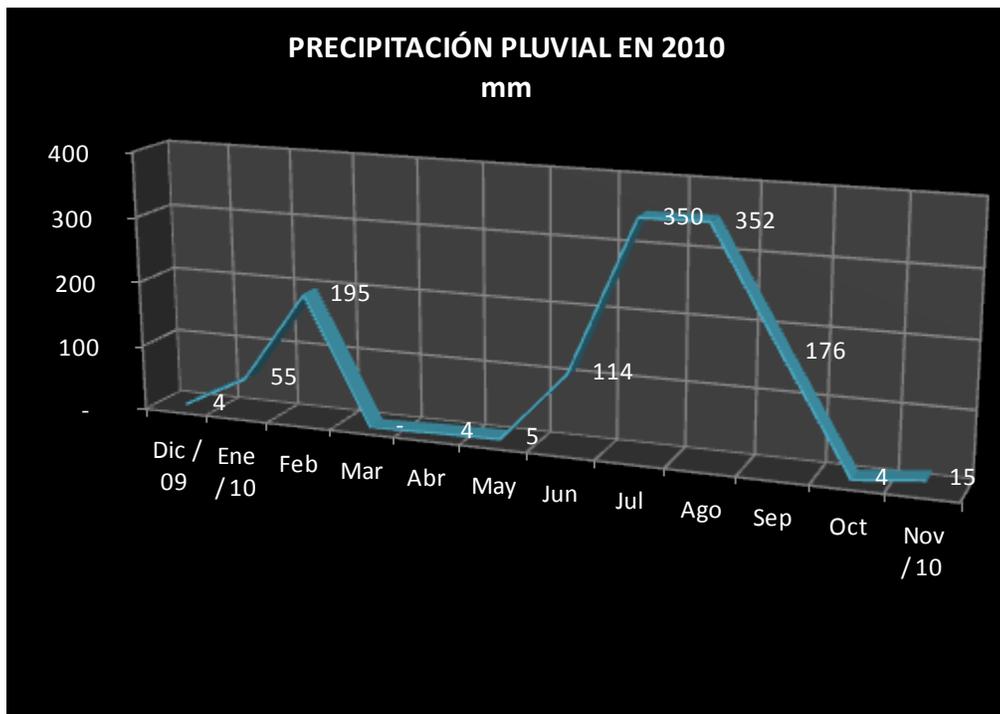
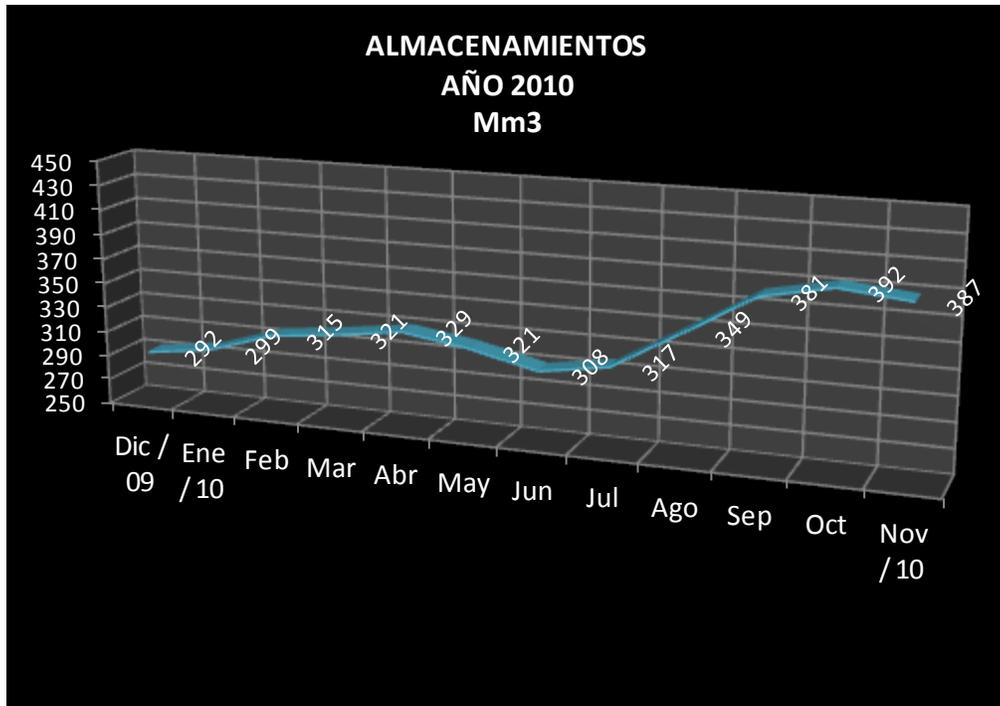


Figura 3.5 Almacenamiento en la Presa y Precipitación Pluvial en la Cuenca de Valle de Bravo. Fuente: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala, CONAGUA

*GASTOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS REGISTRANDO EL MAYOR  
CAUDAL AL VASO DE LA PRESA*

En esta sección, se muestra el comportamiento de los gastos de las dos principales subcuencas que existen en Valle de Bravo, las cuales drenan sus aguas a través del Río Amanalco y el Río Molino o Molino – Hoyos.

Las dos estaciones, al contar con un mayor caudal y una mayor extensión, son las que más interesan a nuestro estudio.

*ESTACIÓN EL SALTO*

La estación hidrométrica denominada “el Salto” registra el caudal del Río Amanalco, y su importancia radica en que es el que aporta el mayor caudal o el mayor volumen de agua al embalse de la presa Valle de Bravo.

La cuenca de captación del río Amanalco comprende el 37.75% de la Cuenca de Valle de Bravo. Esta subcuenca tiene como sus principales actividades la agricultura, ocupando para ello un amplio espacio, y además cuenta con un uso de suelo forestal de gran importancia.

En esta sección se presentan los gastos promedio de 25 años que se tienen para el río Amanalco, y se realiza una comparativa en cuanto al periodo de 2004 a 2005 (*Tabla 3.3 y Figura 3.6*):

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO**

MES	GASTOS ( Q = m <sup>3</sup> /s )		
	Promedio de 25 años	Periodo 2004 - 2005	Diferencia
enero	3.719	2.929	-0.790
febrero	3.245	2.626	-0.619
marzo	2.590	2.336	-0.254
abril	2.457	2.386	-0.071
mayo	2.880	3.355	0.475
junio	3.699	2.485	-1.214
julio	4.437	3.769	-0.668
agosto	4.786	4.249	-0.537
septiembre	5.333	4.544	-0.789
octubre	5.074	4.492	-0.582
noviembre	4.624	3.574	-1.050
diciembre	3.936	2.845	-1.091
<b>Promedio</b>	<b>3.898</b>	<b>3.299</b>	<b>-0.599</b>

Tabla 3.3. Caudal del Río Amanalco. Adaptado por el autor, datos de CONAGUA.

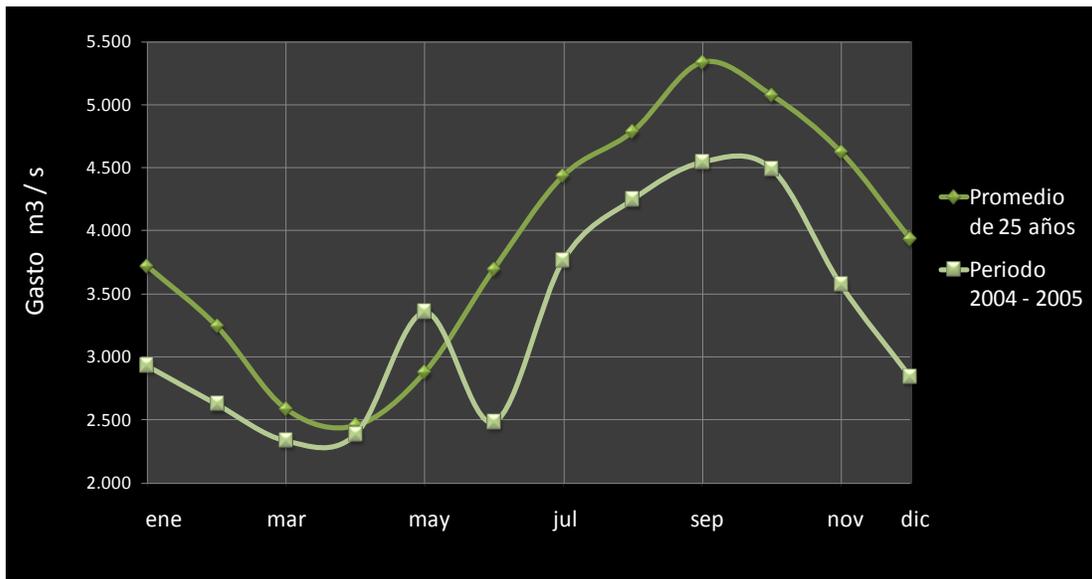


Figura 3.6 Caudal del Río Amanalco en la Estación el Sitio. Fuente: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala, CONAGUA

### *ESTACIÓN MOLINO*

Esta estación se registra el escurrimiento de la subcuenca Molino - Hoyos, la cual representa el 24.61% de la Cuenca de Valle de Bravo. Esta subcuenca es la segunda en importancia de acuerdo a la superficie que ocupa.

De la información obtenida en el BANDAS, promediando al igual que en el caso del Río Amanalco un periodo de 25 años registrados, se tiene un escurrimiento medio diario de 2.35 m<sup>3</sup>/s. Para los datos medidos en 2004-2005 se tiene un escurrimiento medio diario de 2.91 m<sup>3</sup>/s. Al comparar estos periodos se observa que en la temporada seca la información registrada es mayor para el periodo 2004-2005 y estas diferencias van de 0.5 m<sup>3</sup>/s hasta 1.5 m<sup>3</sup>/s, en la temporada húmeda el registro es ligeramente mayor para el promedio de 28 años.

Como registro histórico se tiene que el menor escurrimiento registrado fue para el año 1982 con un gasto medio diario de 0.08 m<sup>3</sup>/s en el año de 1982, y el máximo fue para el año 1955, con un gasto medio diario de 4.48 m<sup>3</sup>/s.

En esta subcuenca, el uso que tiene el suelo es principalmente bosque, contando con un 65.62% del total de la extensión de esta subcuenca, seguido por los pastizales o praderas inducidas con 21.48%. La agricultura ocupa 12.9% de la extensión, aunque las zonas donde se realiza esta actividad no es la más apropiada para el manejo de la cuenca de Valle de Bravo, ya que se hace en zonas con pendientes fuertes, significando un aporte de sedimentos para el vaso de la presa, generando así problemas de azolves.

En esta sección se presentan los gastos promedio de 25 años que se tienen para el río Amanalco, y se realiza una comparativa en cuanto al periodo de 2004 a 2005 (*Tabla 3.4 y Figura 3.7*):

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO**

MES	GASTOS ( Q = m <sup>3</sup> /s )		
	Promedio de 25 años	Periodo 2004 - 2005	Diferencia
enero	1.780	2.691	0.911
febrero	1.514	3.068	1.554
marzo	1.463	2.046	0.583
abril	1.164	2.682	1.518
mayo	1.339	2.622	1.283
junio	1.725	1.871	0.146
julio	2.581	2.491	-0.090
agosto	3.343	3.027	-0.316
septiembre	4.157	4.160	0.003
octubre	3.836	3.840	0.004
noviembre	2.951	2.950	-0.001
diciembre	2.308	2.911	0.603
<b>Promedio</b>	<b>2.347</b>	<b>2.863</b>	<b>0.517</b>

Tabla 3.4. Caudal del Río Molino – Hoyos. Fuente: Adaptado por el autor, datos de CONAGUA.

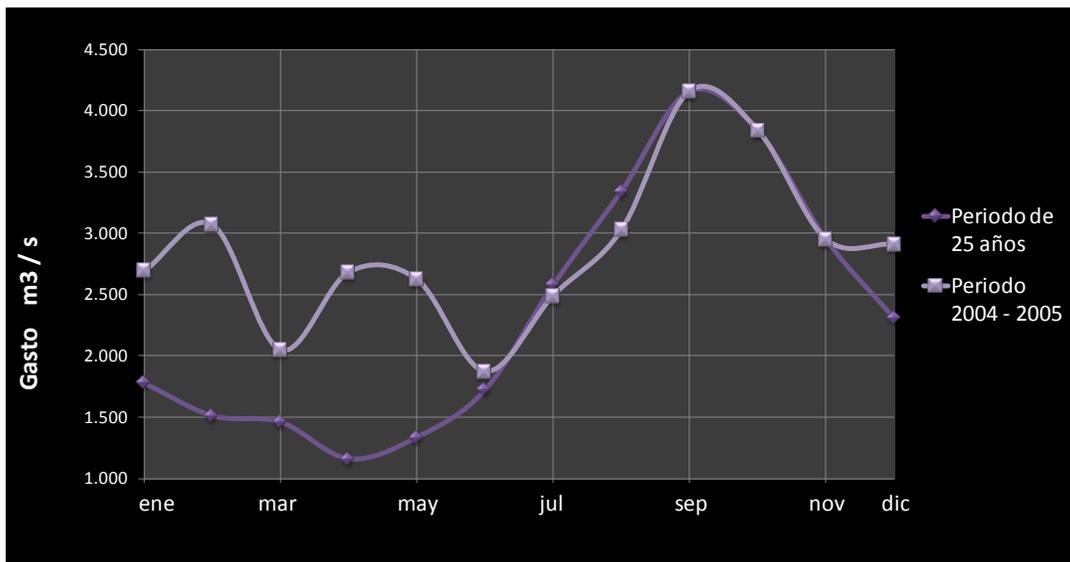


Figura 3.7 Caudal del Río Molino - Hoyos en la Estación Molino. Fuente: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala, CONAGUA

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO**

*COMPARATIVA DE GASTOS EXTRAÍDOS AL SISTEMA CUTZAMALA, FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA Y APORTACIÓN DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO*

El sistema Cutzamala está integrado por siete presas, tres de ellas son de almacenamiento y cuatro tipo derivadoras, que almacenan agua del río Cutzamala. Así mismo, el sistema cuenta con seis macroplantas de bombeo que en conjunto vencen un desnivel de más de 1100 metros, un acueducto de 205.7 km con tubería de acero y concreto con diámetros que van desde 1.07 metros, alcanzando los 3.50 metros. El sistema está compuesto 43.99 km de túnel, 72.55 km de canal abierto, y la planta potabilizadora Los Berros que consta de 5 módulos de 4,000 l/s cada uno.

La Figura 3.8 presenta las características y las partes que componen al sistema Cutzamala.

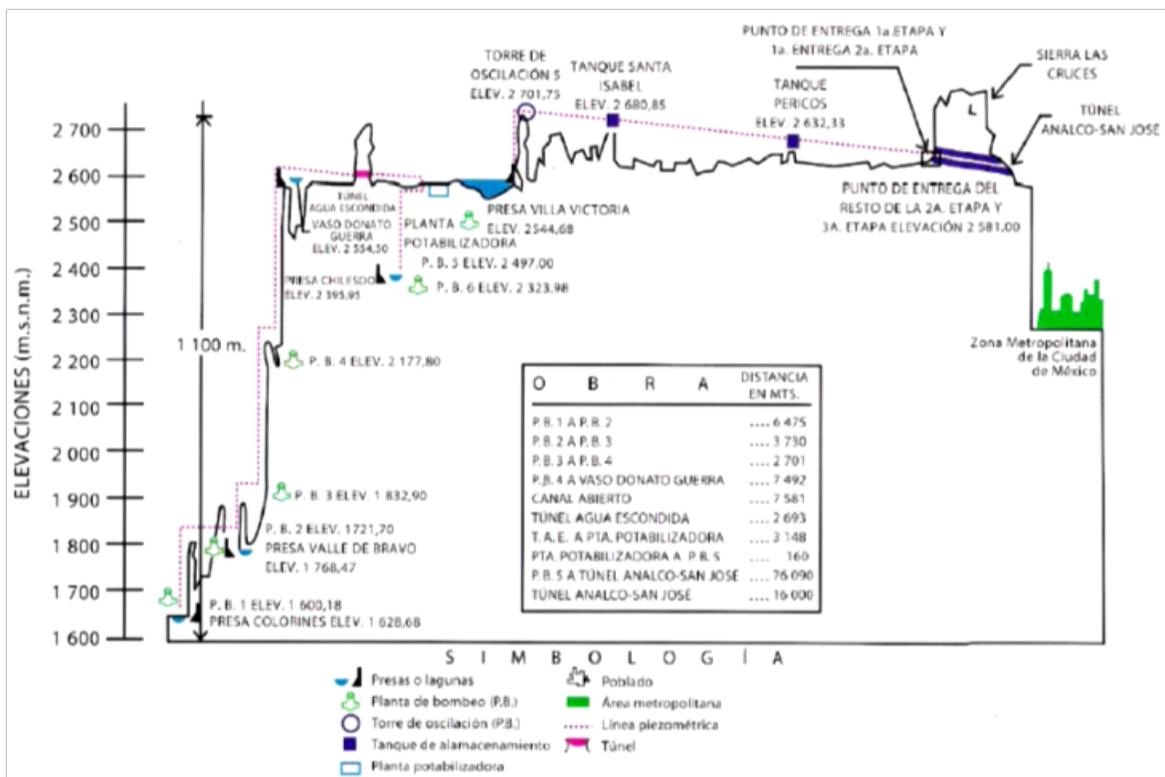


Figura 3.8: Esquema de los elementos que conforman al sistema Cutzamala, Fuente: CONAGUA 2007

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO**

En esta sección se muestran gráficamente los volúmenes que son entregados a través del Sistema Cutzamala para el Distrito Federal y la zona conurbada conformada por el Estado de México. Como anteriormente se había mencionado, el Sistema Cutzamala aporta de un 30 a un 40% de las necesidades de agua potable que se requieren en la ciudad de México, teniendo como principal fuente alimentadora a la Presa de Valle de Bravo, aportando regularmente un 45% del agua que se destina a dicho sistema. La Tabla 3.5 muestra los gastos que aporta el Sistema Cutzamala al D.F. y al Edomex.

<b>SISTEMA</b>	<b>CUTZAMALA</b>		
<b>MES</b>	<b>GASTOS ( Q = m<sup>3</sup> /s )</b>		
	<i>Distrito Federal</i>	<i>Edomex</i>	<i>Total</i>
1991	7.58	2.48	10.05
1992	7.13	2.84	9.98
1993	7.98	2.87	10.85
1994	9.65	3.37	13.02
1995	9.80	3.85	13.65
1996	9.69	4.62	14.31
1997	10.17	5.05	15.22
1998	9.93	4.49	14.42
1999	10.12	5.05	15.18
2000	9.73	5.60	15.32
2001	9.61	5.50	15.11
2002	9.63	5.58	15.21
2003	9.85	5.87	15.72
2004	9.85	5.63	15.49
2005	9.84	5.80	15.64
2006	9.62	5.62	15.25
<b>Promedio</b>	<b>9.387</b>	<b>4.639</b>	<b>14.025</b>

Tabla 3.5: Gastos que aporta el sistema Cutzamala (gastos totales) al Distrito Federal y al Estado de México.

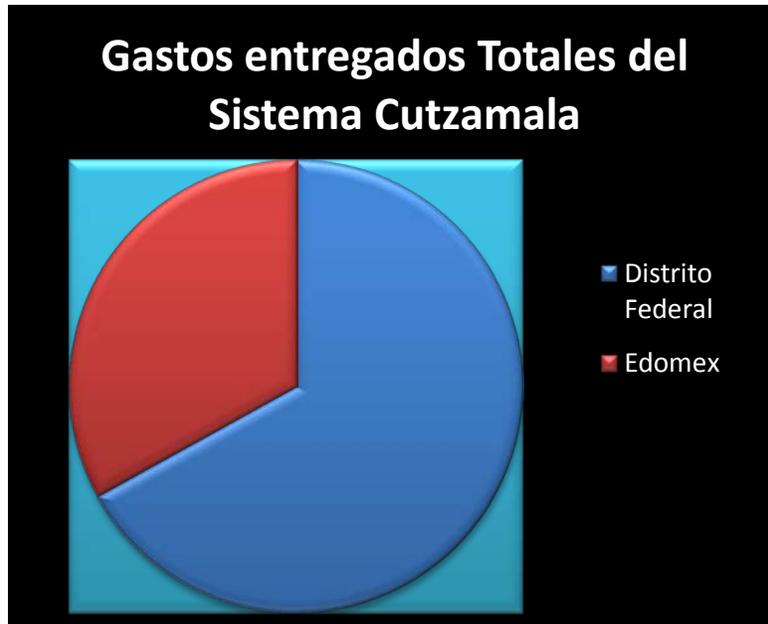


Figura 3.9: Gastos que aporta el sistema Cutzamala (gastos totales) al Distrito Federal y al Estado de México.

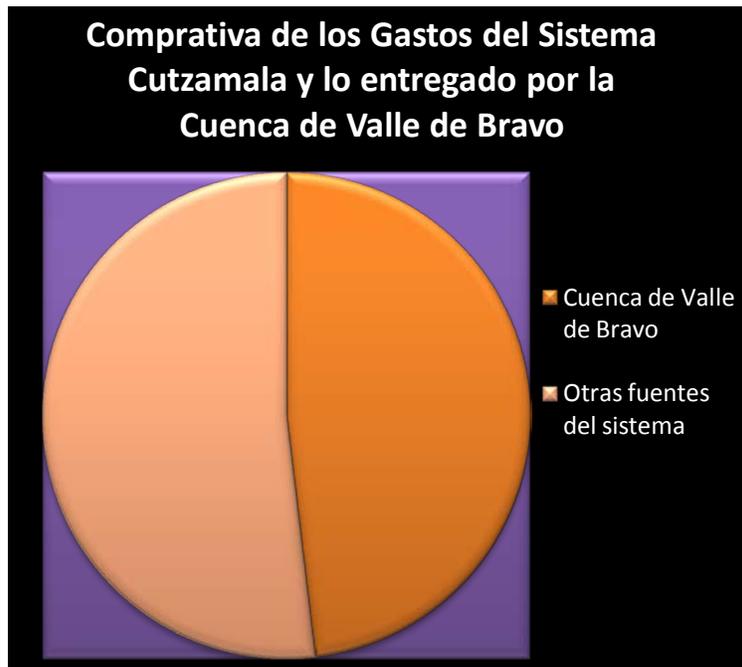


Figura 3.10: Gráfica comparativa donde se muestran los gastos que aporta la Cuenca de Valle de Bravo con respecto al total de aguas del sistema Cutzamala.

*ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL BALANCE HIDRÁULICO*

De los registros para el período 1991-2008, el mínimo nivel de almacenamiento se alcanzó en junio de 2006, cuando el almacenamiento estuvo por debajo del nivel promedio de los últimos 16 años. Esta afectación no sólo provocó problemas en el almacenamiento de la presa, sino también afectó a los manantiales que abastecen de agua a los pobladores para sus distintos usos.

Los niveles extraordinariamente bajos registrados en 2006, fueron compensados con el trasvase de agua desde la presa Colorines entre finales de 2006 e inicio de 2007. El trasvase por un lado, permitió recuperar el nivel de la presa, aunque se estima que esto ocasionó la propagación de lirios en el almacenamiento. El mecanismo de trasvase desde otras presas del Sistema Cutzamala hacia la de Valle de Bravo es habitual cuando esta última alcanza valores mínimos. Las presas que aportan el volumen de agua son usualmente El Bosque y Colorines.

Los bajos almacenamientos que se pueden llegar a presentar, derivan en los cortes en el abastecimiento que actualmente se implementan en la Ciudad de México y su zona metropolitana.

En los estudios realizados por fuentes de gran confianza como lo es la CONAGUA y el IMTA, se analizaron tendencias basados en datos de registros hidrométricos correspondientes a cinco estaciones y registros de precipitación para cuatro estaciones ubicadas en la cuenca. Dicha evaluación de tendencias en el escurrimiento y variación climática se enfrentó a las limitaciones dadas por registros incompletos y series de datos para períodos relativamente cortos, entre las más importantes.

La evaluación de tendencia climática para las cuatro estaciones climatológicas indica una leve tendencia negativa para la precipitación y aumento ligero en la temperatura. No existen registros de sedimentos para el área que permitan evaluar la relación entre precipitación, escurrimiento, sedimentos. Los análisis realizados atribuyen las tendencias en temperatura y precipitación a fenómenos naturales y un impacto derivado del crecimiento de la urbanización y cambio de uso de suelo.

### 3.4 Estudios Históricos de la Calidad del Agua

#### *FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL EMBALSE*

Las principales fuentes de contaminación del agua, y que afectan directamente al Vaso de la Presa de Valle de Bravo, por el tipo de contaminantes que involucran se pueden agrupar de la siguiente manera:



Figura 3.11: Origen de las principales fuentes de contaminación del embalse de la presa. (Fuente: autor)

#### Las Descargas de Aguas Residuales.

En la cabecera municipal de Valle de Bravo, el sistema de drenaje es combinado y cubre el 86% de la población. Las aguas residuales y pluviales colectadas son tratadas en la planta El Arco, trabajando actualmente a su máxima capacidad la cual es de 100 l/s, para posteriormente ser descargadas al río Tilostoc, del otro lado de la cortina de la presa.

Los sistemas de fosas sépticas cubren prácticamente el resto de la cabecera municipal y el área conurbada. Otros sistemas de desalojo lo constituyen las descargas directas a ríos, a barrancos y al embalse de la presa.

La mayor fuente de contaminación al embalse fue el río Amanalco que, hasta el año 2005, recibía las descargas directas del municipio del mismo nombre. El Plan para la gestión de la Cuenca de Valle de Bravo logró que recientemente entrara en operación una planta de tratamiento de aguas residuales y comenzar el saneamiento del río Amanalco.

Actualmente, el río Tizates es el que presenta mayor grado de contaminación, y está considerado como un curso de aguas residuales, seguido del río Los González.

✚ Los Desechos Orgánicos y Nutrientes Provenientes de las Piscifactorías.

En la parte alta de la Cuenca, el agua es utilizada para producción de trucha en 94 granjas de las cuales aproximadamente 30% hace su aprovechamiento bajo las normas y el resto es irregular (datos obtenidos de un estudio de campo realizado por Pichardo Pagaza en el año 2007).

Las instalaciones utilizan el agua limpia de los manantiales, y en el proceso se le cargan contaminantes como nutrientes, químicos y sólidos provenientes de los alimentos y excretas.



Figura 3.12 En algunos sitios las aguas residuales siguen siendo vertidas en crudo a las corrientes que desembocan en el vaso de la Presa. (Fuente: Comisión de la Cuenca de Agua para el Valle de México, CONAGUA).

Según estimaciones, la producción de las 500 toneladas de trucha cultivada en la cuenca, genera por año 533 toneladas de materia en suspensión, 91 toneladas de amoníaco, 3.75 toneladas de nitratos, 4.8 toneladas de fosfatos y 10.5 toneladas de fósforo total.

✚ Agua de Retorno Agrícola.

El principal aporte proviene del río Amanalco, donde se localiza la zona agrícola más importante de la cuenca.

El río Amanalco arrastra importantes cantidades de fosfatos y nitratos utilizados en la agricultura. Además, arrastra parte de los suelos en los cuales se realizan los cultivos, por lo que genera gran cantidad de azolves en el vaso de la presa.

Como se había mencionado anteriormente, las aguas residuales de la cabecera municipal del municipio de Amanalco han logrado ser tratadas, sin embargo resulta muy difícil controlar la contaminación de este tipo. Es necesario que dentro de la cuenca se aplique estrictamente un plan agrícola sustentable para evitar la pérdida de suelos y el arrastre de material de azolves.



Figura 3.13 Las fuertes pendientes y la geología de algunas zonas, representa una fuente de erosión al suelo que se expresa en el aumento de los azolves. Fuente: Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo - Amanalco, CONAGUA.

✚ Los Desechos Sólidos.

Otra fuente de contaminación corresponde a los desechos sólidos que son descargados a barrancas y ríos, y arrastrados por el agua hasta llegar al embalse. Tal es el caso del arroyo Las Flores o Tizates, Rincón de Estrada y Tres Puentes.

✚ La Erosión del suelo.

Evaluaciones realizadas por el IMTA entre 1993 y 2006 determinaron que 60% de los nitratos, fosfatos y azolves provienen del área de captación del río Amanalco, principal afluente de la presa.

En la porción que corresponde a la subcuenca de Amanalco, se desarrolla la agricultura en parcelas con pendientes de hasta 50%, presentando suelos altamente erosivos.

Con base en la cartografía de erosión hídrica potencial, se estimó el 66% de la superficie (15,438.44 hectáreas) presentaba tasas de erosión cercanas a las 160 toneladas / hectárea / año, lo que equivale a tener un aporte de 2 millones de m<sup>3</sup> anualmente, en tanto el resto de la superficie (7,924.56 ha) presentaba tasas alrededor de las 80 toneladas / hectárea / año, equivalentes a tener anualmente 0.6 millones de m<sup>3</sup> de azolves.

#### *ANÁLISIS HISTÓRICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL VASO DE LA PRESA*

Con los estudios que realizaron la CNA (CONAGUA), el IMTA y otras fuentes, se obtuvo una compilación de la información existente para determinar el progreso de la calidad del agua en las últimas décadas. Es importante mencionar que en el año 2004, se decide integrar y analizar la información generada, con el propósito de elaborar un documento rector que permita un manejo integral que coadyuve al desarrollo sustentable de la cuenca.

Los estudios realizados comprenden puntos de muestreo tanto en el interior del embalse, como en los afluentes que lo alimentan. Ello nos permite observar los principales problemas que existen en la cuenca, determinar con mayor precisión los puntos donde existen problemas por contaminación, y determinar las acciones posibles de saneamiento y mitigación de daños ambientales.

Así mismo, se muestra una cronología breve con las observaciones y algunos de los resultados obtenidos durante dichos estudios, aunque de forma introductoria se presentan algunos conceptos fundamentales para comprender de forma sencilla los estudios.



Figura 3.14: La CNA en conjunto con el IMTA desarrollaron un plan de gestión Integral de la Cuenca, con el fin de impulsar un desarrollo sustentable dentro de la región. Fuente: Diagnóstico de la Cuenca de Valle de Bravo (CONAGUA e IMTA).

### *CRONOLOGÍA DEL DETERIORO DEL EMBALSE*

Se presenta a continuación una breve reseña de las conclusiones a las que llegaron los primeros estudios generados desde la década de los 80's:

- 1) Entre los primeros estudios relacionados con la calidad del agua de este embalse están los de Deguchi, *et al*, realizados en el año de 1980. Los estudios concluyen que el embalse tiene un estado trófico de tipo oligotrófico.
- 2) En el estudio de Olvera realizado en el año de 1992, se presentan las siguientes problemáticas:
  - ✓ El embalse se define como un lago cálido monomictico de segundo orden, estratificado en verano, con la formación de un termoclina a 8 metros de la superficie y valores de oxígeno disuelto cercanos a los 2 mg / l.
  - ✓ La acumulación de bacterias, debido a las descargas de nitrógeno y fósforo es notable, especialmente por las cargas aportadas del río Amanalco y la descarga del Mercado.
  - ✓ Se concluye que para solucionar el problema trófico del embalse se deben de eliminar todas las descargas de aguas residuales, y controlar la contaminación presente en el río Amanalco.
- 3) En los resultados presentados por Olvera et al en el año de 1993, se concluye que existe la problemática de estratificación durante los veranos, pero tendiendo a estar en dicha situación durante un mayor tiempo. Así mismo la proliferación de malezas acuáticas, como lo es el lirio, empieza a estar presente. La presencia de malezas acuáticas es indicativo de la presencia de contaminación y decremento de la calidad del agua.
- 4) En el estudio de Olvera realizado en el año de 1998, se presentaron las siguientes problemáticas:

- ✓ El lago permanece estratificado durante nueve meses con condiciones anóxicas en el fondo durante la estratificación. Dicha anoxia hipolimnética es consecuencia de los nutrientes provenientes de los sedimentos hacia el embalse, representando con ello un riesgo al equilibrio del ecosistema e incrementando paulatinamente el nivel trófico de la presa.
  - ✓ Se calcularon coeficientes de exportación de fósforo y nitrógeno altos, derivado de los distintos usos de suelo en la cuenca del Río Amanalco.
  - ✓ Los resultados de la evaluación bacteriológica establece que el embalse no cumple con los límites permitidos para una fuente de abastecimiento de agua potable.
- 5) En el estudio realizado por la CNA / IDECA en el año de 1999, se determinan las calidades de agua para el embalse, y se concluye que:
- ✓ El grado de eutroficación al que ha llegado el embalse se debe al aporte antropogénico de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno principalmente, provocando brotes de micromalezas.
  - ✓ En cuanto al total de fósforo que entra al embalse, el 57% proviene de fuentes puntuales, y el 43% de fuentes difusas.
  - ✓ Así mismo, con el nitrógeno se determinó que el 86% proviene de las descargas de aguas residuales y el 14% por contaminación difusa.
- 6) En los estudios llevados a cabo por Ruíz y Ordoñez en el año 2000, se concluye que:
- ✓ El exceso de nutrientes, las condiciones superficiales de un pH básico y temperaturas que oscilan entre 20 a 25 ° C, favorecen el desarrollo de las cianofitas, con la posible presencia de especies toxigénicas.

- ✓ El embalse entra a una categoría en la que presenta de altas a muy altas concentraciones de Nitrógeno total.
  - ✓ Debido a las concentraciones de fósforo, clorofila, transparencia y la composición biótica de fitoplancton, ubican al embalse como mesotrófico con una clara tendencia hacia el nivel eutrófico.
- 7) En los estudios llevados a cabo por la CNA y el IMTA en el año 2001, se concluye que:
- ✓ Debido al aporte de fósforo y nitrógeno antropogénico se tiene una tendencia hacia un mayor grado de eutroficación, siendo este fenómeno constante.
  - ✓ La generación de micromalezas acuáticas, la infestación de algunas clases de hidrófitas, la mortandad de peces, la espuma, los malos olores entre otros, son síntomas inequívocos del deterioro de la calidad del agua del embalse.
- 8) En los estudios llevados a cabo por la CNA en conjunto con ACUAGRANJAS en el año 2002, se concluye que:
- ✓ El embalse se encuentra en un estado eutrófico muy claro.
  - ✓ La turbiedad, la visibilidad y la cantidad de clorofila tipo a tienen valores cada vez más altos.
  - ✓ La eutroficación es un proceso constante en el embalse, y tiende a aumentar sus niveles de eutroficación
- 9) En los estudios llevados a cabo por la CNA en conjunto con ACUAGRANJAS en el año 2003, se concluye que:
- ✓ El agua del embalse sigue teniendo una disminución en cuanto a su calidad.
  - ✓ El pH disminuye drásticamente.
  - ✓ Debido a la combinación de factores como aumento de la temperatura y los nutrientes presentes, los microorganismos

tienden a ir en aumento. Por ejemplo, existe una presencia de coliformes totales que se registra año con año con una mayor presencia.

10) En los estudios llevados a cabo por la CONAGUA en conjunto con ACUAGRANJAS y el IMTA en el año 2004, se concluye que:

- ✓ Es muy probable que exista un intercambio de fósforo entre la interfase del agua y el sedimento del embalse.
- ✓ Durante el monitoreo se observó una clara estratificación del embalse, con actividad fotosintética en el epilimnio.
- ✓ Se observa un incremento importante en la DQO superficial, debido a la presencia de microalgas.

Es importante mencionar que es en este año cuando entra en vigor el plan de Desarrollo Sustentable de la Cuenca adoptado a través de la creación de la Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo. Es por eso que en los estudios que realizamos para el presente documento, esperamos ver mejores resultados en cuanto a la calidad del agua dentro del embalse.

Para finalizar con esta cronología, se presentan los parámetros que resultaron durante los estudios anteriormente mencionados. Los parámetros físico – químico y biológicos, y se muestran en las gráficas con las líneas de tendencia, con el fin de llegar a analizar la situación actual del embalse y poder llegar a generar alguna predicción en lo que a su comportamiento se refiere. Con base a las gráficas se analiza lo que la reseña cronológica menciona, en cuanto al avance del nivel trófico eutrófico del embalse:

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO**

PARÁMETRO	VALORES PROMEDIO PARA LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN LOS AÑOS					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
pH	6.8	7.1	8.7	7.12	6.06	8.5
Turbiedad (UTN)	3.6	3.8	5.4675	5.5	8.97	23.74
Dureza Total (mg / l)	76.1	84.7	70.04	58.7	71.5	59.2
Transparencia (m)	1.4	2.23	1.41	1.26	nd	1.3
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	5	6.5	5.7	4.24	5.8	3.2
DQO (mg/l)	8	8	13.56	10.33	11	6.18
N - amoniacal (mg/l)	0.08	0.12	0.37	0.14	0.21	0.24
Nitritos (mg/l)	0.006	0.003	0.028	0.02	0.14	0.01
Nitratos (mg/l)	0.106	0.116	0.23	0.106	0.184	0.2
Fosfato Total (mg/l)	0.145	0.066	0.10	0.182	0.071	0.034
Ortofosfatos (mg/l)	0.024	0.004	0.176	0.077	nd	nd
Grasas y aceites (mg/l)	0.2	0.33	0.32	0.35	0.4	0.87
Sólidos Totales (mg/l)	107	126	104.59	105.91	93.05	91
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	9,000	6,750	6,925	7,021	6,477	5,379
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	120	540	1,716	3,401	4,012	508

Tabla 3.6 Parámetros físico – químicos y biológicos del vaso de la Presa Valle de Bravo, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

A continuación, se muestran las gráficas de los parámetros anteriormente señalados: (Figuras 3.15 a 3.26, Elaboradas por el autor con base en la Tabla 3.6):

## Parámetros físico - químicos

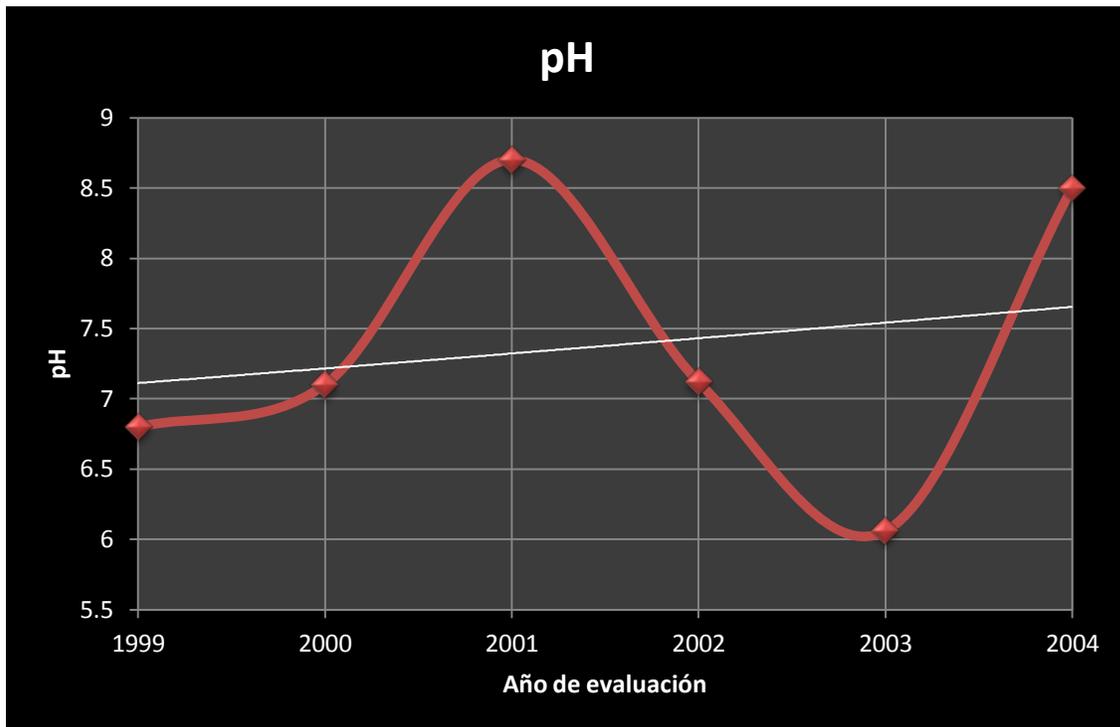


Figura 3.15 Parámetros físico – químicos PH, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

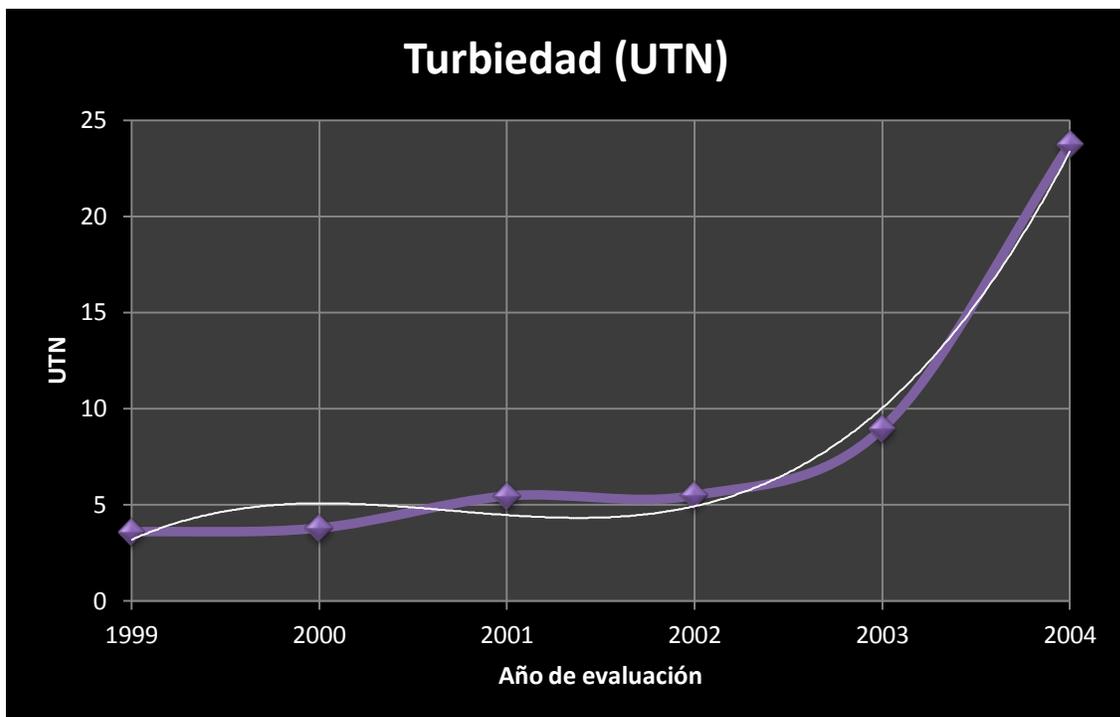


Figura 3.16 Parámetros físico – químicos Turbiedad, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

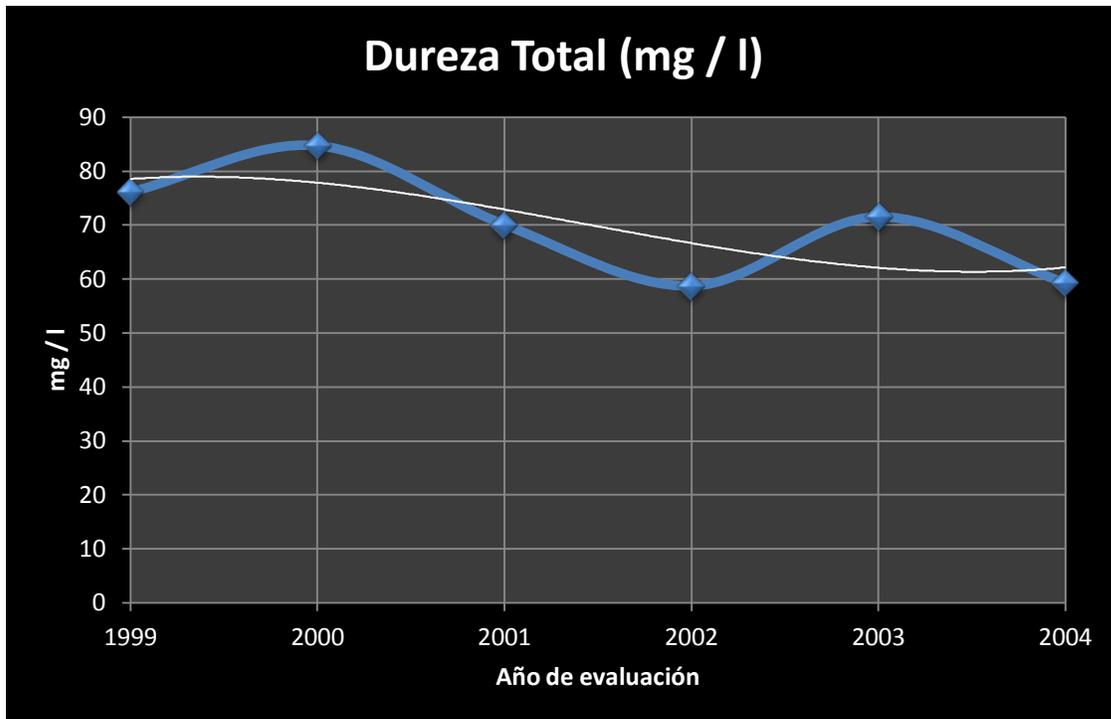


Figura 3.17 Parámetros físico – químicos Dureza Total, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

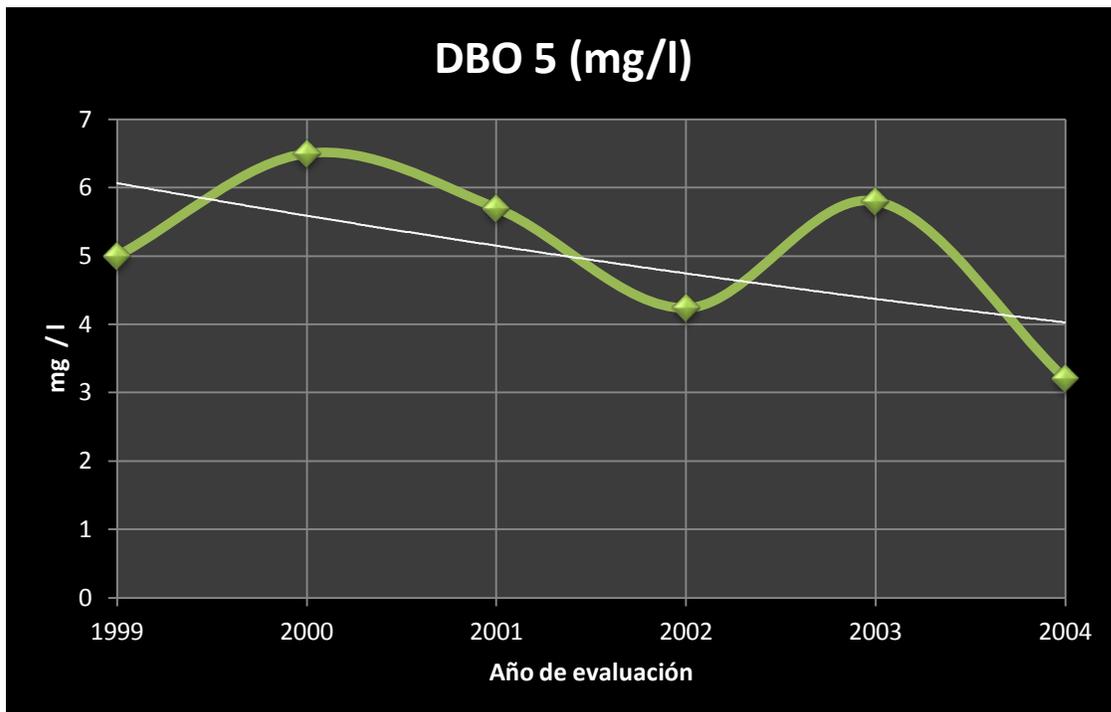


Figura 3.18 Parámetros físico – químicos DBO - 5, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

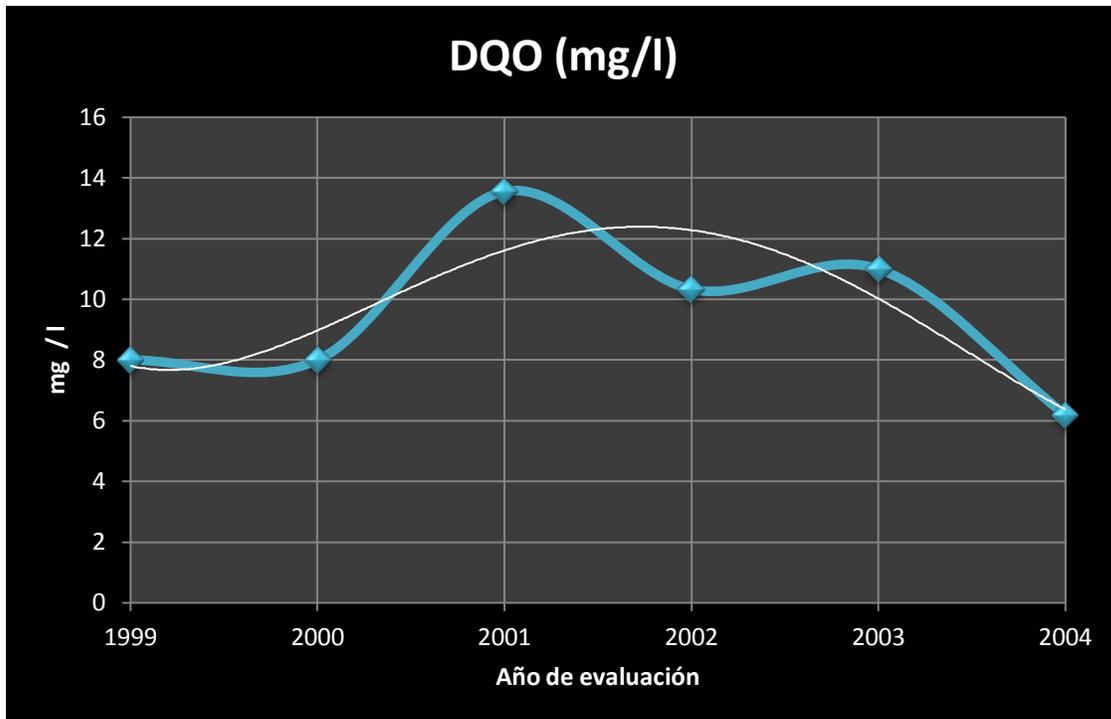


Figura 3.19 Parámetros físico – químicos DQO, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

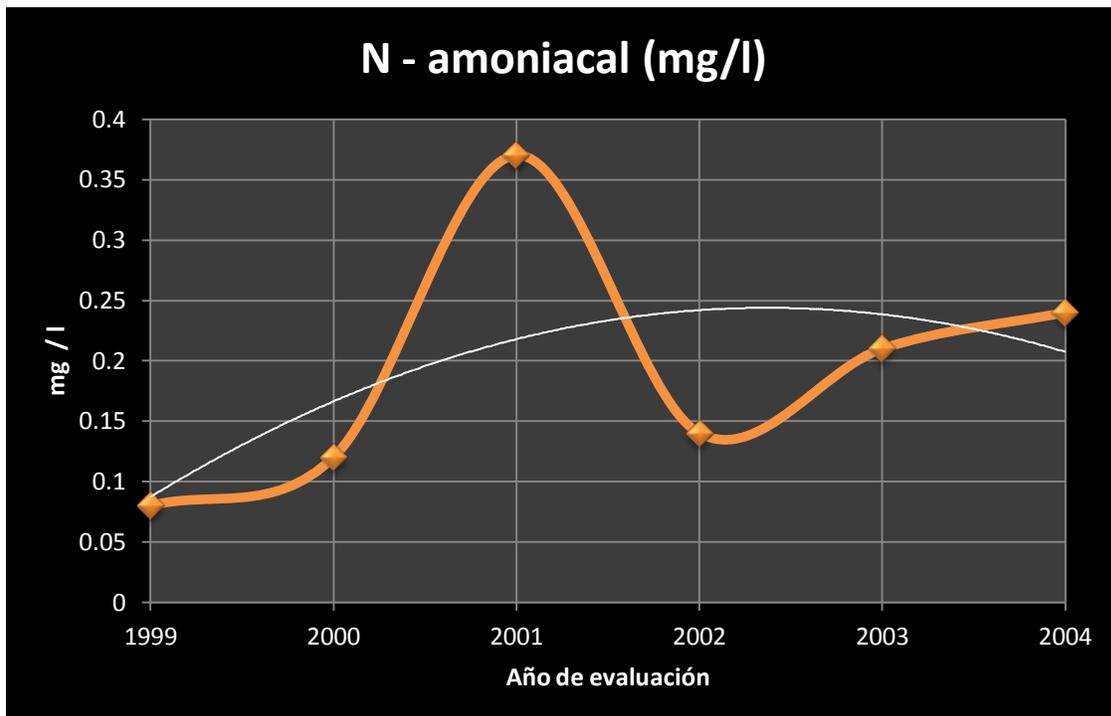


Figura 3.20 Parámetros físico – químicos Nitrógeno Amoniacal, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

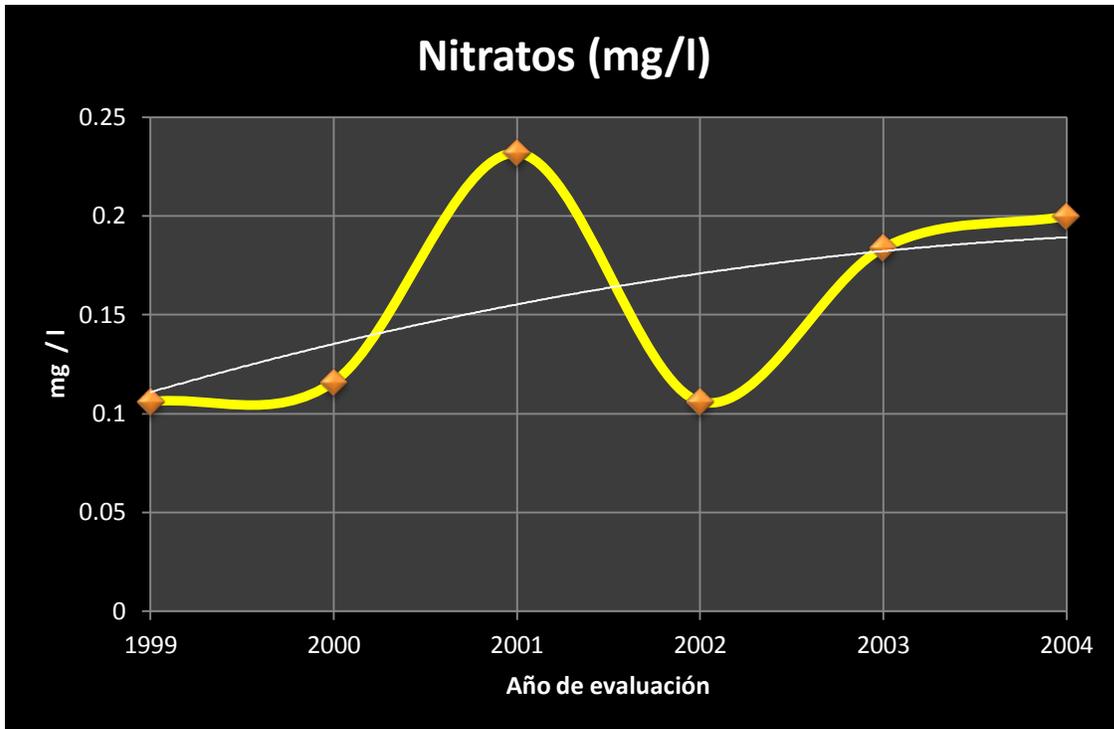


Figura 3.21 Parámetros físico – químicos Nitratos, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

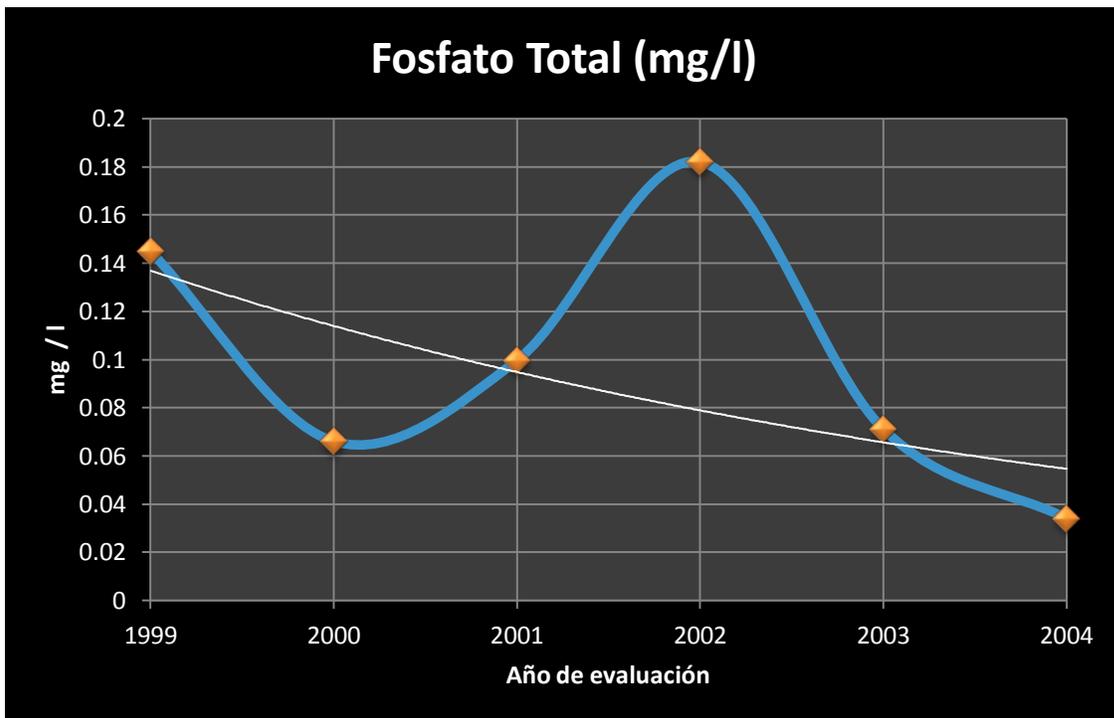


Figura 3.22 Parámetros físico – químicos Fosfato Total, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

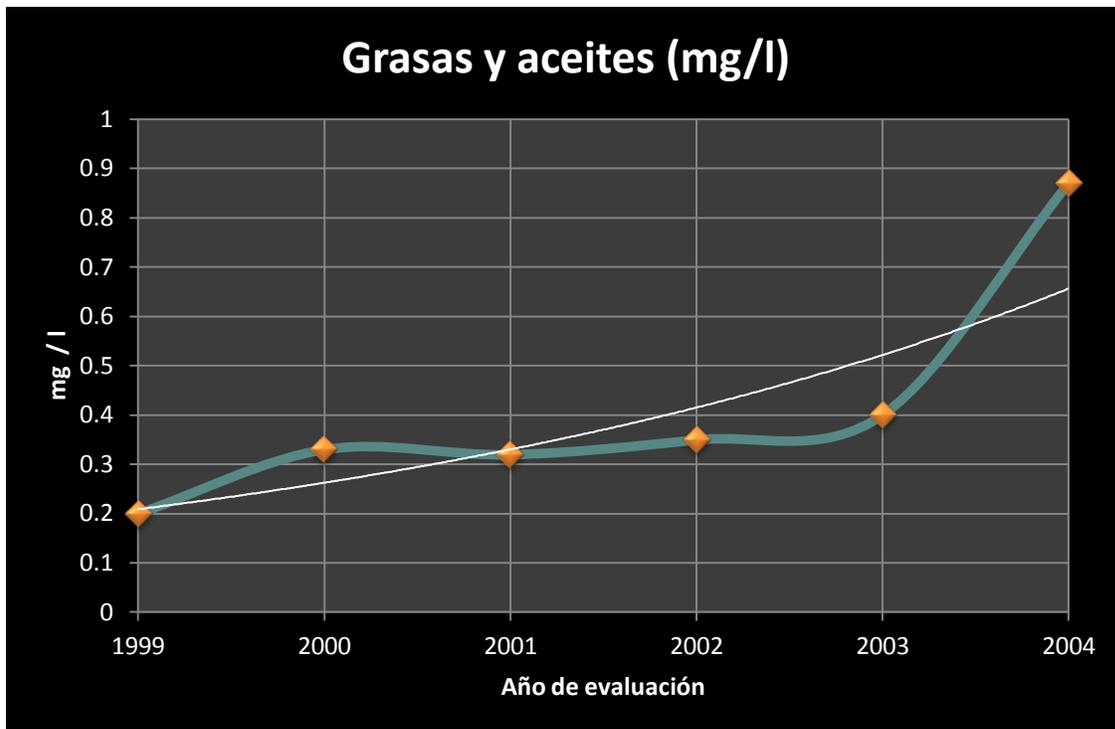


Figura 3.23 Parámetros físico – químicos Grasas y aceites, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

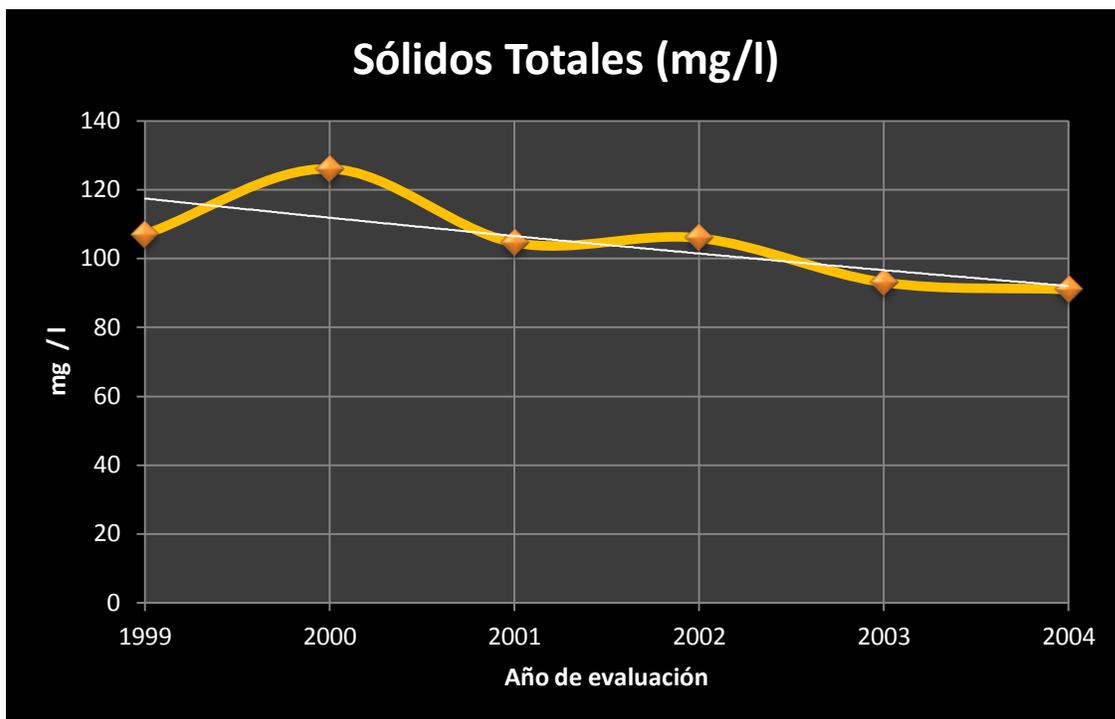


Figura 3.24 Parámetros físico – químicos Sólidos Totales, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

## Parámetros biológicos

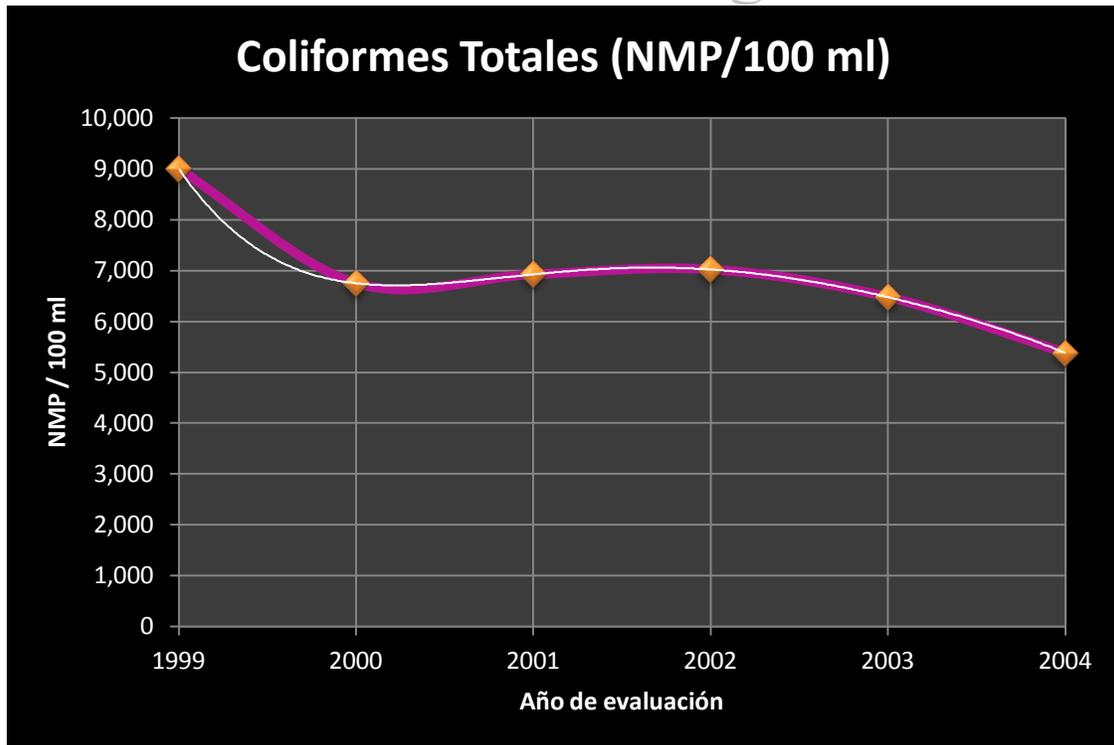


Figura 3.25 Parámetros Biológicos. Coliformes Totales, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

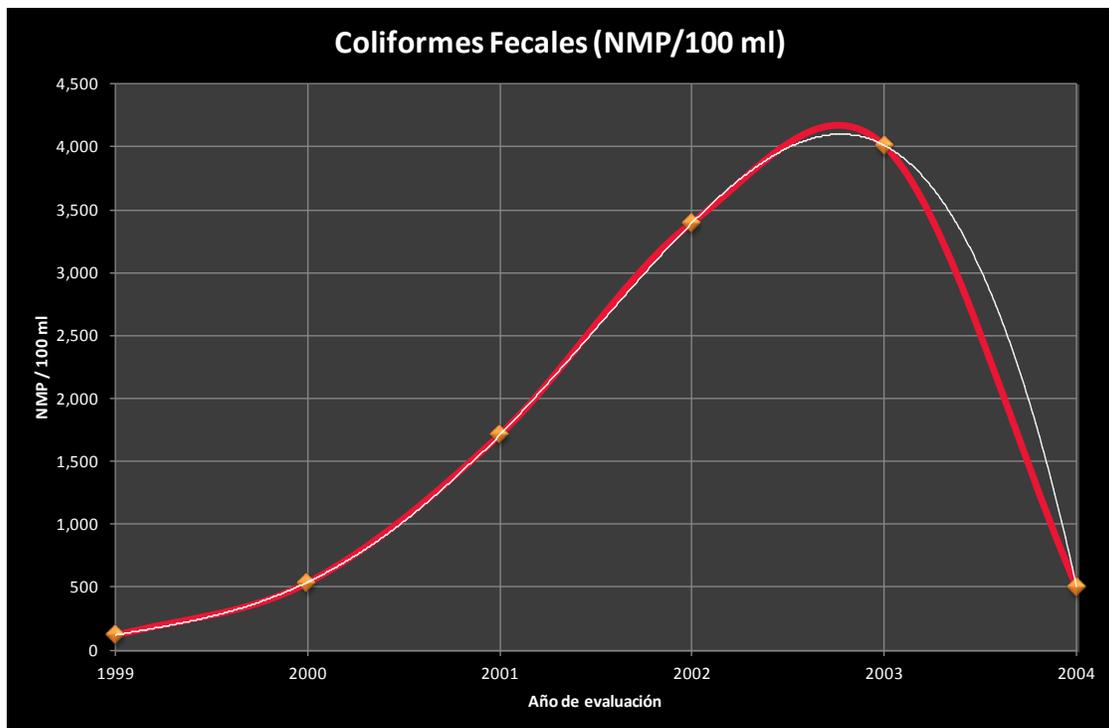


Figura 3.26 Parámetros Biológicos. Coliformes Fecales, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

### *ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA*

Producto de la entrada de nutrientes en el embalse, se observa un proceso de eutroficación del sistema, mismo que debe manejarse para un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, y mantener la vida útil de la presa.

Para los estudios realizados durante los últimos años en el embalse, se dibujaron las gráficas, con sus líneas de tendencia, de algunos de los parámetros que son importantes para la determinación del estado trófico.

De las líneas de tendencia observadas, se puede concluir el aumento de los parámetros físico – químicos y de los parámetros biológicos:

- ✚ El pH, aunque tiene valores muy bajos para el año 2003, presenta para el 2004 una tendencia más favorable hacia los valores neutros a ácidos. La variación con respecto al tiempo que se observa en este parámetro es muy grande, y en realidad para un periodo de muestreo tan pequeño no se puede determinar una clara tendencia hacia donde se inclina el pH.
- ✚ Para la Turbiedad, existe un claro aumento en los niveles UTN, y la tendencia es clara a mantener en aumento estos niveles. Posiblemente la gran cantidad de azolves que se genera contribuyen al aumento de dichos valores. Es importante cuidar este aspecto, ya que una mayor cantidad de azolves podría significar un aumento en la tala del bosque, cambios del uso de suelo de forestal a agrícola, una pérdida importante de la vegetación del suelo, o incluso que la población dedicada a la agricultura no esté respetando los lineamientos de conservación de los suelos.
- ✚ Con respecto a parámetros como lo son la dureza, la DBO y la DQO, se observa que la tendencia comienza a ser satisfactoria, y que posiblemente ya se hayan alcanzado los valores máximos. En el futuro próximo se podría esperar que dichos parámetros tengan menores valores, lo que significa que se han reducido las descargas de aguas residuales a las corrientes que llegan al embalse debido a un manejo de las mismas y que los programas de saneamiento que se aplican en la cuenca están funcionando adecuadamente.

- ✚ Los contaminantes del agua tales, entre ellos los derivados del nitrógeno y fósforo, e igualmente los sólidos suspendidos si bien cuentan con periodos de altas y bajas, son parámetros que tienden a estabilizarse, es decir que empiezan a mantener una misma concentración. Sin embargo, esto es un fenómeno positivo, ya que el mantener los mismos niveles posiblemente sea una evidencia de un mejor aprovechamiento de los fertilizantes dentro de la cuenca, de que han terminado de utilizarse indiscriminadamente, y que posiblemente empiece a revertirse el fenómeno de aumento de nutrientes en los próximos años.
- ✚ En cuanto a las grasas, se observa un aumento significativo en su concentración, y la tendencia indica que en lugar de ir abatiéndose los niveles que existen, seguirán aumentando de forma importante durante un periodo de tiempo quizás no tan corto. Es posible que las grasas y aceites se deban a los malos manejos existentes en las cargas y descargas de combustibles para las lanchas y en general de los vehículos acuáticos, al mal estado de conservación que presenten, a una falta de control sobre la eficiencia y las emisiones de los motores a combustible fósil que naveguen en las aguas del embalse, y posiblemente a algunas aportaciones clandestinas de aguas residuales que se deban de detectar y atacar.
- ✚ En cuanto a los parámetros biológicos, es importante mantener vigilados los índices que se presentan (Coliformes Totales y Coliformes Fecales). Es elevada la concentración que se tiene de los parámetros biológicos, y debe observarse que las aguas se utilizan para su tratamiento al consumo humano y para fines recreativos (especialmente se mencionan estos dos porque significan el contacto directo de los seres humanos con el agua). Se observa que la tendencia va a la baja, lo que involucraría una mejor calidad del agua, aspecto muy favorable para el embalse.

El agua del embalse en general cumple parcialmente con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, Sin embargo no cumple con la NOM 127 que establece los límites máximos permisibles para el agua que se destina para uso y consumo humano.

Es lamentable observar que el estado eutrófico del embalse se haya alcanzado en un periodo corto; si bien se observaba en los estudios llevados a cabo por Deguchi et al, en los años 80´s del siglo XX, el embalse presentaba un nivel

trófico oligotrófico, es decir se deduce que no existían problemas importantes con la calidad del agua, no presentaba exceso de nutrientes y era de muy buena calidad, en el 2003 y 2004 se presentan estudios calificando el estado trófico del embalse como eutrófico, con condiciones de mala apariencia, y parámetros físico químico como biológicos fuera de límites.

Finalmente, existe el compromiso y la obligación de mantener vigilados los siguientes aspectos, tanto en el embalse como es sus afluentes, según reporta la COANGUA a través del plan de la gestión de la Cuenca de Valle de Bravo:

- ✚ Parámetros como lo son la turbiedad, color, grasas y aceites, nitritos, ortofosfatos, aluminio y coliformes fecales (presentes en todos los monitoreos, rebasando los 1,000 NMP/100ml), ya que se rebasan los parámetros permisibles.
- ✚ En cuanto a su uso para la protección de la vida acuática, se exceden los niveles de nitrógeno amoniacal y sulfatos, especialmente observándose esta problemática en los ríos que alimentan al embalse (el río Tizates presenta el mayor problema).
- ✚ Por sus características, se concluye que el río Tizates prácticamente es un dren de aguas negras.
- ✚ En cuanto a los sedimentos, es importante mencionar que los nutrientes fósforo y nitrógeno, junto con el aluminio, se concentran en el fondo de los embalses.
- ✚ Durante la estratificación del embalse, se observó el incremento en la DQO superficial, derivado de la presencia de microalgas o cianofitas.

### 3.5 Discusión de resultados

Los ecosistemas al estar interrelacionados estrechamente, expresan las consecuencias de los usos irracionales de sus recursos a través de su deterioro.

La Cuenca de Valle de Bravo representa un sistema muy complejo, debido a que son varios los ecosistemas que lo conforman, a que existe una fuerte interrelación entre la población y el medio ambiente, y a las actividades económicas que se desarrollan. Las actividades de las personas impactan al medio ambiente en diferentes formas, y en la cuenca se ha podido observar la siguiente problemática:

- ✚ El área forestal se reduce como producto de la tala ilegal y de la presión por el cambio de los usos del suelo.
- ✚ En las actividades agrícolas, el uso excesivo de agroquímicos aunado a la falta de conservación de los suelos genera grandes aportaciones de contaminantes químicos y azolves.
- ✚ Las cargas orgánicas provenientes de excretas generadas en piscifactorías se vierten en las aguas de arroyos y ríos, y generalmente son arrastradas hasta la zona del embalse.
- ✚ Las descargas de aguas residuales, aunque si bien han tratado de clausurarse completamente, están presentes en los sitios con menor grado de desarrollo dentro de la cuenca o se vierten clandestinamente.
- ✚ Existen vertimientos de desechos sólidos en cauces y manantiales.
- ✚ Así mismo, se observa una disminución en el volumen de aforo de los manantiales y ríos, así como una tendencia negativa en cuanto a precipitaciones anuales promedio (se observan las consecuencias de un cambio climático en donde el cambio del régimen de las lluvias y el aumento de la temperatura son evidentes).
- ✚ Se tienen menores gastos principalmente en la corriente del Río Amanalco, así como una disminución progresiva para cada año de los

niveles de almacenamiento, salvo en casos extraordinarios donde los niveles llegan a ser mínimos y al siguiente año, en el mejor de los casos, recupera sus niveles.

- ✚ El crecimiento demográfico dentro de la cuenca aunque si bien ha tenido un control en los últimos años, sigue siendo importante. El mismo enfoque turístico que tiene la zona ha permitido el desarrollo de diversos fraccionamientos residenciales, crenado a su vez la necesidad de más servicios, y fomentando la migración de personas al interior de la cuenca.

Los problemas que existen dentro de la Cuenca de Valle de Bravo no solo afectan a la región, sino que generan otra cadena de problemas en el exterior de la cuenca, ya que sus recursos son muy importantes para el desarrollo y dotación de agua potable a la zona más poblada del país, que es la Ciudad de México.

Así mismo, y si bien se ha tratado que las variaciones en los volúmenes de agua entregados para los acueductos de la ciudad de Toluca y México sean menos significativos, existen factores del mismo sistema de distribución de agua potable (por ejemplo: el mal funcionamiento de algún componente del sistema, las extracciones clandestinas, los cambios en la demanda e incluso el mismo proceso de mantenimiento) que pueden llegar a generar una variación importante en el aporte de volúmenes. Cabe aclarar que todo ello se suma a la problemática que existe dentro de la cuenca y que se ha mencionado anteriormente.

El comportamiento en los últimos años de los fenómenos meteorológicos y el cambio climático provoca comportamientos atípicos en los regímenes de precipitación. Existen precipitaciones intensas durante periodos cortos de tiempo, ocurriendo este fenómeno durante pocos meses, y teniendo temporadas de sequía cada vez más intensas.

La consecuencia del cambio de los regímenes de lluvias radica en que no se puede llegar a lograr un aprovechamiento óptimo de las aguas de lluvia, los almacenamientos ya no son predecibles, y en cuanto a la erosión hídrica, la tala o remozamiento de las zonas boscosas para la utilización de los suelos,

genera una mayor cantidad de azolves y una menor capacidad de almacenamiento en la presa.

El Cambio Climático Mundial ha creado un círculo vicioso, por llamarlo de alguna forma, en donde aplicado a la cuenca se puede expresar el fenómeno mostrado en la Figura 3.27:



Figura 3.27: Efectos del cambio climático mundial. Fuente: Elaborada por el autor.

En consecuencia de todo lo anteriormente mencionado, tanto gobierno como usuarios de las aguas de la cuenca y la población residente deben de poner especial atención en el manejo del agua, del cuidado de las áreas de captación del recurso hídrico, de la preservación de sus bosques, la protección de los manantiales y de su biodiversidad.

El Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de Valle de Bravo-Amanalco fue realizado para regresarle a la cuenca sus cualidades ambientales con un criterio de sustentabilidad, realizando para ello un ordenamiento de las actividades en el espacio correspondiente, e imponiendo las limitaciones y condicionantes para su adecuado aprovechamiento.

El Ordenamiento Ecológico fijó las políticas de protección y conservación de los recursos permitiendo fortalecer las actividades enfocadas al cuidado del agua. Cabe mencionar que el contar con dicho Plan Integral para la gestión de los recursos de la cuenca, no significa que de un año a otro los parámetros o los índices de calidad del agua vayan a mejorar inmediatamente, sino que los resultados se verán reflejados en un mediano a largo plazo.

La contaminación existente, los nutrientes contenidos y acumulados tanto en el agua como en los azolves, y en general el estado eutrófico en que se encuentra el embalse tardará en llevar a cabo el proceso de dilución y depuración de sus contaminantes, pero finalmente estará en función del cumplimiento cabal de las acciones de sustentabilidad acordadas como: la conservación de los suelos, la conservación de las áreas boscosas y del saneamiento en general de la región.

# CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010-2011)



## 4.1 El Proyecto PAPIIT y los Sitios de Muestreo

El Proyecto de investigación PAPIIT IN107710 "Monitoreo de la Calidad del Agua mediante el uso de la Percepción Remota", es un proyecto que contribuirá a generar una metodología para el monitoreo de la calidad del agua, a través de la obtención de modelos matemáticos que correlacionan mediciones de radiancia y datos de campo, dicha metodología será probada a través de un caso estudio, la presa Valle de Bravo.

Como parte del proyecto de investigación, se llevó a cabo un análisis digital de imágenes para establecer los sitios de muestreo. Se ubicaron 50 sitios de muestreo considerando que para la correlación había que resolver las siguientes problemáticas:

- Las imágenes Landsat 7 presentan un bandeo a partir del 31 de mayo de 2003, debido a que se desactivó un dispositivo llamado SLC (Scan Line Corrector) del sensor ETM+. Este dispositivo tenía la función de compensar el escaneado durante el movimiento orbital de la plataforma Landsat. Al resultar una falla mecánica irreversible, las imágenes a partir de esa fecha presentan zonas sin información, por lo que se pierde aproximadamente el 23% de los datos. Para este estudio esta situación no afecta de forma importante, ya que se seleccionarán sitios de muestreo en áreas en donde no se encuentre el bandeo, por lo que el 100% de los datos se procesarán.
- Estadísticamente, es más fácil correlacionar datos, además de tener un margen de error relativamente bajo, si se comparan una mayor cantidad de puntos.

Así mismo, estos puntos de muestreo se distribuyen a través de toda la cuenca, ya que el embalse al ser un cuerpo de agua de tamaño considerable, tiene una distribución heterogénea de calidades del agua. Dependiendo de la localización del sitio de muestreo, se esperan obtener diferentes valores para los parámetros en estudio, ya que el proceso de dilución no puede llegar a generar una mezcla homogénea con respecto a la calidad del agua. Existen factores como la cercanía al embarcadero, la desembocadura de ríos y arroyos, la cercanía a las zonas urbanas que modificarán los valores de los parámetros.

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

*LOS SITIOS DE MUESTREO. LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS*

Con base en el análisis digital de las imágenes, se obtuvieron las coordenadas de los sitios de muestreo del embalse, las cuales se presentan en la tabla 4.1. Se muestran a continuación las coordenadas en las cuales se realizó el muestreo dentro del embalse:

Estación	Coordenadas	Estación	Coordenadas
1	19° 11 '13 "N - 100° 08 '07 " W	26	19° 11 '57 "N - 100° 09 '35 " W
2	19° 11 '01 "N - 100° 08 '11" W	27	19° 12 '14 "N - 100° 09 '45 " W
3	19° 10 '41 "N - 100° 07 '58 " W	28	19° 12 '08 "N - 100° 09 '53 " W
4	19° 10 '45 "N - 100° 08 '13 " W	29	19° 12 '06 "N - 100° 10 '13 " W
5	19° 10 '51 "N - 100° 08 '49 " W	30	19° 12 '20 "N - 100° 10 '08 " W
6	19° 10 '30 "N - 100° 09 '37 " W	31	19° 12 '18 "N - 100° 10 '27 " W
7	19° 10 '35 "N - 100° 09 '45 " W	32	19° 12 '36 "N - 100° 10 '27 " W
8	19° 10 '47 "N - 100° 09 '29 " W	33	19° 12 '35 "N - 100° 10 '07" W
9	19° 10 '58 "N - 100° 09 '02 " W	34	19° 12 '44 "N - 100° 10' 02 " W
10	19° 11 '03 "N - 100° 09 '23 " W	35	19° 12 '35 "N - 100° 09 '46 " W
11	19° 11 '11 "N - 100° 09 '41 " W	36	19° 12 '29 "N - 100° 09 '34 " W
12	19° 11 '33 "N - 100° 10 '03 " W	37	19° 12 '43 "N - 100° 09 '26 " W
13	19° 11 '50 "N - 100° 10 '01 " W	38	19° 12 '45 "N - 100° 09 '08 " W
14	19° 11 '42 "N - 100° 09 '44 " W	39	19° 13 '11 "N - 100° 09 '04 " W
15	19° 11 '27 "N - 100° 09 '37 " W	40	19° 13 '02 "N - 100° 08 '45 " W
16	19° 11 '35 "N - 100° 09 '23 " W	41	19° 13 '13 "N - 100° 08 '31 " W
17	19° 11 '40 "N - 100° 09 '04 " W	42	19° 13 '06 "N - 100° 08 '26 " W
18	19° 11 '22 "N - 100° 08 '56 " W	43	19° 12 '55 "N - 100° 08 '39 " W
19	19° 11 '33 "N - 100° 08 '47 " W	44	19° 12 '39 "N - 100° 08 '32 " W
20	19° 11 '34 "N - 100° 08 '23 " W	45	19° 12 '42 "N - 100° 08 '50 " W
21	19° 11 '49 "N - 100° 08 '43 " W	46	19° 12 '25 "N - 100° 08 '33 " W
22	19° 11 '53 "N - 100° 09 '07 " W	47	19° 12 '30 "N - 100° 09 '04 " W
23	19° 11 '53 "N - 100° 09 '11 " W	48	19° 11 '19 "N - 100° 08 '28 " W
24	19° 12 '13 "N - 100° 09 '05 " W	49	19° 11 '04 "N - 100° 08 '37 " W
25	19° 12 '03 "N - 100° 09 '27 " W	50	19° 11 '13 "N - 100° 08 '07 " W

Tabla 4.1: Coordenadas y ubicación en sitio de los puntos de muestreo

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

*UBICACIÓN EN MAPA DE LOS SITIOS DE MUESTREO*

Se muestra en la figura 4.1 los puntos seleccionados en el mapa de la región del embalse de la Cuenca de Valle de Bravo.

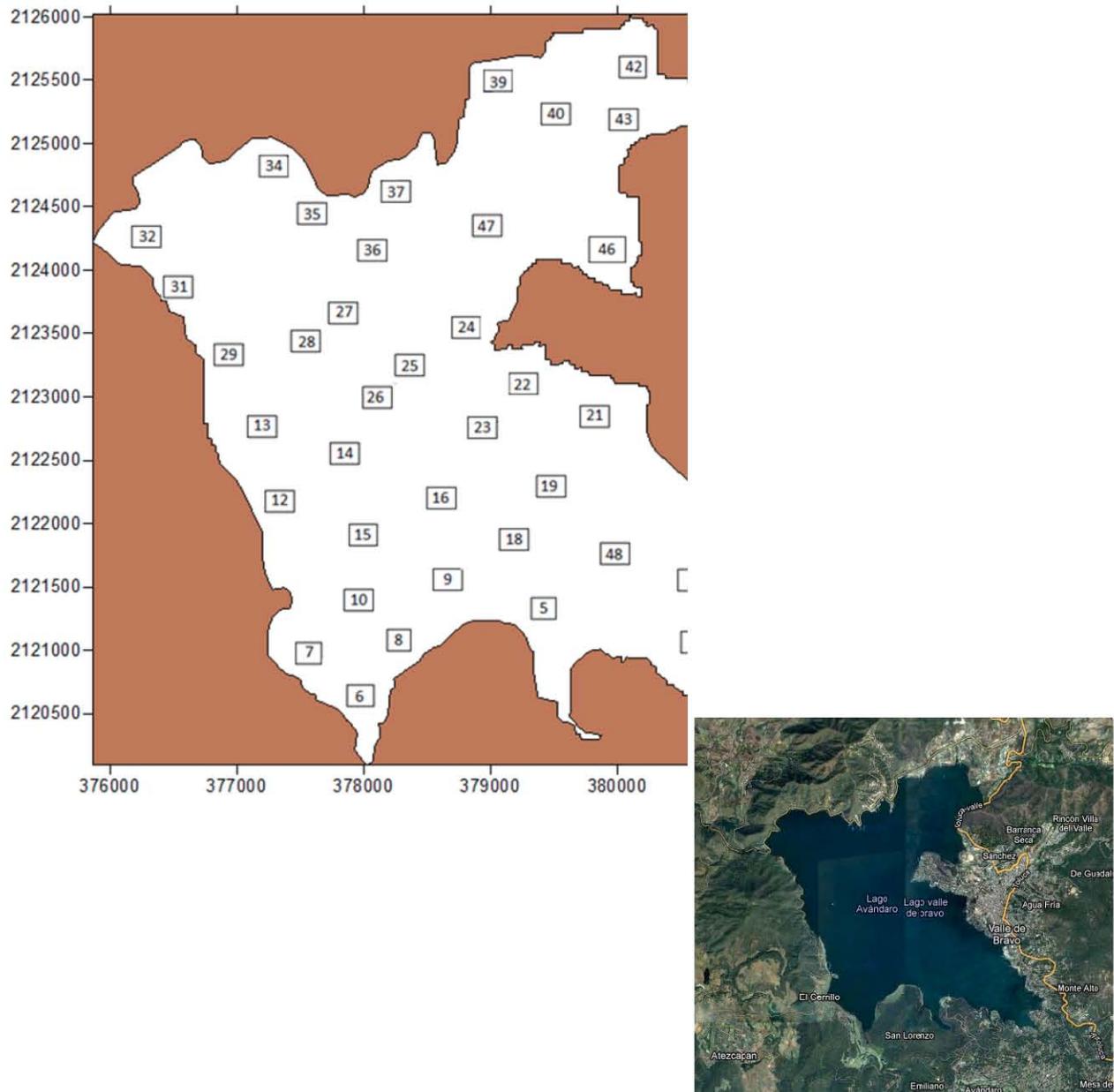


Figura 4.1: Ubicación en sitio de los puntos de muestreo con el mapa de imagen satelital obtenida a través de Google Maps, con fines comparativos)

## 4.2 Trabajos de Campo y Laboratorio

### *LA REALIZACIÓN DEL MUESTREO*

Se llevaron a cabo tres campañas de muestreo en el embalse de la Presa de Valle de Bravo, dos durante el 2010 (24 y 25 de abril, y 2 y 3 de octubre de 2010) y una durante 2011 (26 y 27 de marzo). Para ello, se verificaron las fechas en las cuáles el Satélite LANDSAT cubriera la escena del área del embalse, con el fin de obtener las imágenes correspondientes al momento del muestreo realizado por el equipo del proyecto PAPIIT.

Algunos aspectos que se consideraron en la planeación de los trabajos de campo se presentan a continuación:

- ✚ Verificación de las condiciones meteorológicas, especialmente en cuanto a nubosidad. La nubosidad podría presentar problemas al realizar los análisis, ya que generaría que la imagen no fuera clara, se podrían crear problemas con los resultados obtenidos por los sensores de la plataforma, o bien podría haberse ocultado tras la nubosidad completamente el embalse, todo ello haciendo inservible el muestreo en dicha fecha.
- ✚ Selección de la época para el muestreo, considerando la variabilidad de la calidad del agua del vaso de la presa. Es por ello que se decidió por parte del equipo de trabajo que la toma de muestras se realizara antes de comenzar la época de lluvias, es decir en la época de estiaje, así como inmediatamente después del periodo de lluvias.

El trabajo de la toma de las muestras implicó acudir al sitio para realizar la toma física de las muestras, para su posterior análisis físico – químico, como se describirá en las siguientes secciones.

*EL PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS Y SU CONSERVACIÓN*

Dentro del embalse, y con la ayuda de una pequeña lancha, se acudió a los sitios de muestreo localizados en las coordenadas geográficas anteriormente mencionadas. Para localizar los puntos geográficos o las coordenadas al estar en el embalse, se utilizó GPS y una brújula como medio de referencia, indicándose en cada momento la ubicación exacta del equipo de trabajo.

El equipo de trabajo indicaba a la persona encargada del manejo del vehículo acuático la dirección a seguir, y así mismo al llegar al sitio, indicando a la lancha detenerse, se realizaba la toma de las muestras.

Usando botellas de PET previamente lavadas y esterilizadas, con capacidades entre 500 mililitros y litro y medio, se recolectaban las muestras del agua en el sitio o punto previamente especificado. Así mismo, con ayuda del medidor Multiparamétrico HANNA, medían algunos parámetros que se detallarán en el siguiente apartado.

Finalmente, las muestras eran guardadas y conservadas en un contenedor aislante con suficiente hielo, con el fin de preservar las muestras.



Figura 4.2 La conservación de las muestras a baja temperatura y en botellas estériles evita en parte la proliferación de organismos y la contaminación o alteración de las muestras.

## PARÁMETROS DETERMINADOS EN SITIO

### El Medidor Multiparamétrico Hanna

El medidor Multiparamétrico HANNA es un dispositivo o sonda de medición capaz de determinar en sitio parámetros diversos relativos a la calidad del agua. El dispositivo tiene la posibilidad de realizar la lectura de los diferentes parámetros en un solo muestreo o en una sola prueba.

El dispositivo está compuesto por una parte que es la computadora de medición y una sonda, la cual cuenta a su vez con tres sensores. El dispositivo es fácil de usar, ya que se conecta la sonda a la computadora, se sumerge en el agua, y la computadora registra los datos, los cuáles posteriormente son exportados a cualquier computadora. Es de vital importancia que al terminar cualquier muestreo la sonda se limpie con agua limpia, de preferencia agua destilada.

El dispositivo tiene la capacidad de determinar en sitio parámetros que se utilizan en la evaluación de la calidad del agua para el proyecto y en el modelo a desarrollar, como son:

- ✚ Temperatura ( $^{\circ}$  C)
- ✚ pH
- ✚ % de saturación de Oxígeno y su concentración (% y ppm o mg/l)
- ✚ Conductividad eléctrica y Resistencia ( $\mu$ S , mS o sus equivalentes, y en  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$  o  $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ )
- ✚ Sólidos Disueltos Totales (TDS) (ppm)
- ✚ Salinidad (ppm)



Figura 4.3 El medidor Multiparamétrico HANNA es un útil dispositivo muy útil al evaluar la calidad del agua, ya que determina diferentes parámetros en un solo muestreo. Fuente: Testmark, Instrumentación para Medición y Control

### ***El Disco de Secchi***

Al propagarse la luz en un medio acuoso se extingue por fenómenos de absorción y dispersión. Si se considera además que las sustancias disueltas y las partículas en suspensión magnifican dicho fenómeno, se tiene que al aumentar la profundidad del agua, la región se convierte en una zona más oscura.

El disco de Secchi es un círculo de 20 cm de diámetro, dividido en cuadrantes pintados alternadamente de negro y blanco, atado a una cuerda o cadena graduada. Para la determinación y evaluación de este parámetro se sumergió el disco del lado sombreado, estando la lancha o embarcación en el punto de la coordenada geográfica determinada, registrando la profundidad hasta la cual el disco dejó de ser visible. Ello representa una medida de la claridad o transparencia del agua.

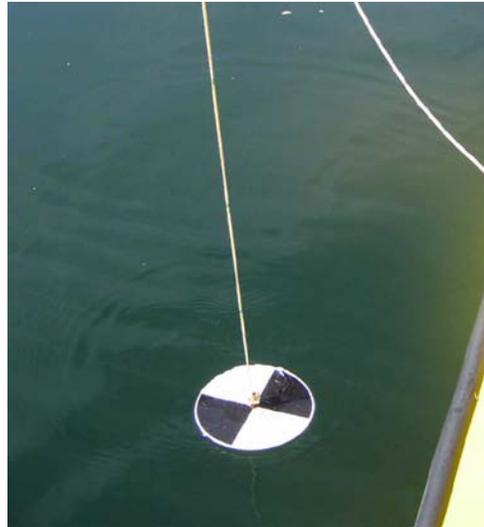


Figura 4.4 El Disco de Secchi. Fuente:  
Equipo de trabajo PAPIIT

El problema que presenta el disco de Secchi es que puede existir una diferencia pequeña en las lecturas tomadas dependiendo de la persona que determine el punto hasta el cual es visible el disco.

*PARÁMETROS DETERMINADOS POSTERIORES AL MUESTREO Y EN LABORATORIO*

Los análisis que se realizaron inmediatamente después del muestreo en las instalaciones del hotel durante la noche, involucran la utilización del espectrofotómetro y de material diverso en laboratorio. Para las pruebas del laboratorio, las muestras se conservaron al añadir más hielo sobre los PET´s conteniendo las muestras.

Cabe aclarar que los parámetros DBO, coliformes fecales y totales, nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos medidos después del muestreo, solo se determinaron para seis sitios de muestreo, ya que tanto el tiempo que tarda la determinación de algunos de ellos, como el costo de los reactivos, hacen inviable para el proyecto realizar dichas pruebas para cada uno de los cincuenta puntos del muestreo.

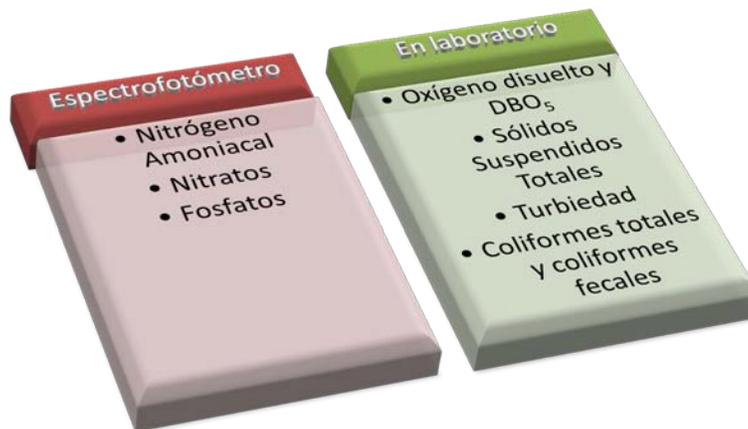


Figura 4.5 Diferentes parámetros determinados a través del espectrofotómetro y con las pruebas de laboratorio.

### ***El Espectrofotómetro***

Un espectrofotómetro es un instrumento que tiene la capacidad de manejar un haz de Radiación Electromagnética, separándolo con el fin de facilitar la identificación, calificación y cuantificación de su energía.

El espectrofotómetro tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática (de una longitud de onda particular) a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra.



Figura 4.6 El Espectrofotómetro HACH DR 2800. Fuente: Manual del producto HACH LANGE

El espectrofotómetro utilizado para la realización de las pruebas es el modelo HACH DR 2800. Dicho dispositivo utiliza reactivos, los cuales se encuentran exactamente predosificados, y gracias a que su manejo resulta muy sencillo, facilita que los resultados sean altamente fiables.

Para la medición de los parámetros, se utilizan para cada prueba dos cubetas, que son dos contenedores pequeños o frascos, en donde uno cuenta con agua completamente purificada y desionizada, y la otra con agua de la muestra a analizar. El recipiente que se encuentra con el agua limpia, usualmente denominado "blanco", servirá para el espectrofotómetro como referencia para la calibración del haz de luz monocromático.

El espectrofotómetro, al estar previamente programado para llevar a cabo todo el procedimiento, llama a la curva de calibrado automáticamente y muestra el resultado de medición en mg/l.

A través del espectrofotómetro se logró, tras solo unas horas de haber realizado el muestreo en el embalse de la presa, determinar los parámetros como el nitrógeno amoniacal, los nitratos y los fosfatos, a través de la mezcla con los diferentes reactivos incluidos en el mismo dispositivo HACH DR 2800.

## ***El Laboratorio***

### *La Determinación de Sólidos Suspendidos Totales*

Los Sólidos Suspendidos Totales involucran la concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros.

Para la determinación de los Sólidos Suspendidos Totales, se empleó el siguiente instrumental:

- ✚ Crisoles Gooch
- ✚ Balanza analítica
- ✚ Un desecador
- ✚ Filtros (filtros de micro fibra de vidrio)
- ✚ Bomba de vacío
- ✚ Matraz para filtrado al vacío
- ✚ Estufa

El procedimiento se describe a continuación:

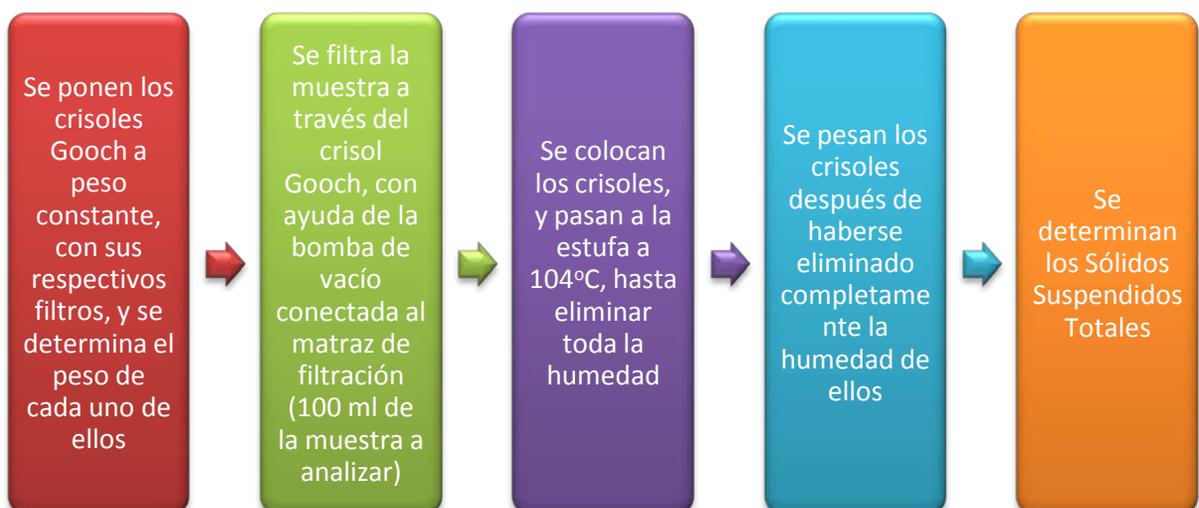


Figura 4.7 Procedimiento a grandes rasgos para la determinación de los Sólidos Suspendidos Totales.

Así mismo, se muestran algunos de los instrumentos y procedimientos utilizados en el laboratorio para la determinación de dichos parámetros:



Figura 4.8 Crisoles Gooch. Fuente: Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales, FI UNAM.



Figura 4.9 El desecador con los crisoles. Fuente: Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales, FI UNAM.



Figura 4.10 La Báscula analítica. Fuente: Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales, FI UNAM.



Figura 4.11 El secado de los crisoles Gooch para mantener a peso constante y para determinación de SST. Fuente: Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales, FI UNAM.

Finalmente, se realiza el cálculo de este parámetro mediante la fórmula siguiente:

$$S.S.T. \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{\text{Peso del crisol después del filtrado} - \text{Peso del crisol a peso constante}}{\text{Volúmen de la muestra}}$$

*La Determinación de la Turbiedad*

La turbiedad o turbidez es la reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. La técnica diseñada para determinar la turbiedad es una técnica analítica basada en la dispersión de la luz por partículas en suspensión en el seno de una disolución, la cual mide la disminución de la transmitancia del haz de luz al atravesar la muestra. En el laboratorio, la turbiedad se mide mediante las Unidades de Turbidez Nefelométricas (UTN).

El instrumento utilizado es un turbidímetro HACH 2100 A, el cual a través de varios rangos de turbidez en las unidades Nefelométricas, compara la muestra con cuatro patrones previamente seleccionados por la persona que analiza dicha muestra, con el fin de que se realice una calibración adecuada del instrumental.



Figura 4.12 Turbidímetro nefelométrico HACH 2100 A utilizado en el laboratorio de TAR, FI UNAM.

En la figura 4.13 se muestra el principio del funcionamiento del Turbidímetro:

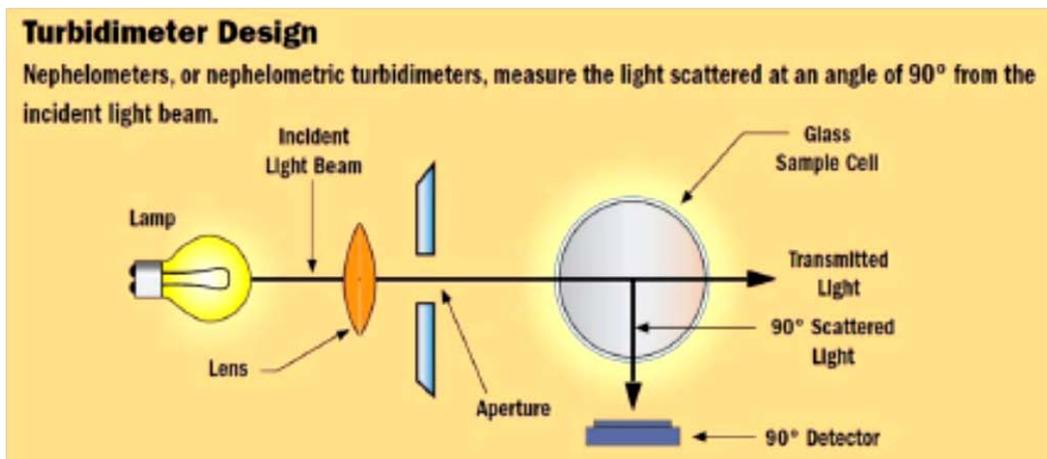


Figura 4.13 Principio del funcionamiento del Turbidímetro nefelométrico utilizado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, FI UNAM. Fuente: Metas & Metrólogos Asociados, Medición de la Turbidez en la Calidad del Agua.



Figura 4.14 Patrones con los que se compara la turbidez del agua de muestra, para realizar la calibración del turbidímetro nefelométrico en el laboratorio de TAR, FI UNAM. Fuente: Metas & Metrólogos Asociados, Medición de la Turbidez en la Calidad del Agua.

En la determinación de este parámetro se procede a realizar la comparación de los patrones con el agua de las diferentes muestras, para determinar el ámbito en el cual los valores UTN se encontrarán posiblemente.

Se calibra hasta el cero mecánico el dispositivo y una vez calibrado se procede a introducir el tubo o contenedor con el agua de la muestra a analizar, se tapa cuidadosamente y se lee los valores en la pantalla de las UTN´s.

Para la determinación de este parámetro se debe de cuidar la limpieza de los tubos utilizando una tela especial. Se debe tener en cuenta que la limpieza del aparato en su interior y el cuidado para evitar la caída de objetos o líquidos a la zona oscura o zona de medición es de extrema importancia.

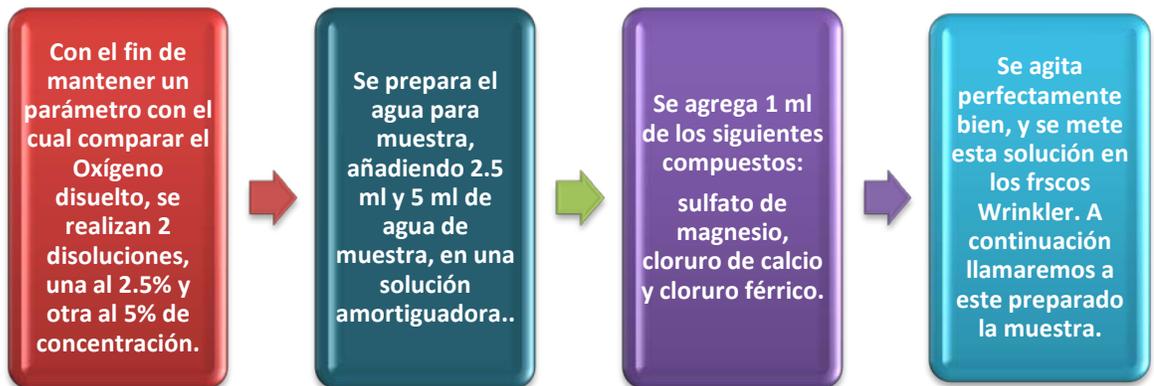
#### *La Determinación del Oxígeno Disuelto y la Dbo<sub>5</sub>*

La DBO<sub>5</sub> se determina a través de la determinación del oxígeno disuelto el primer día en que se toman las muestras, y el oxígeno disponible después de 5 días de incubación de las muestras, a 20° C.

Para la realización de esta prueba, se realizan diluciones del agua de muestra al 5% y al 10%, para lo cual se agregan los reactivos con el procedimiento que se ilustra en la figura 4.15:

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

Elaboración de la mezcla al 2.5% y al 5%:



Procedimiento:

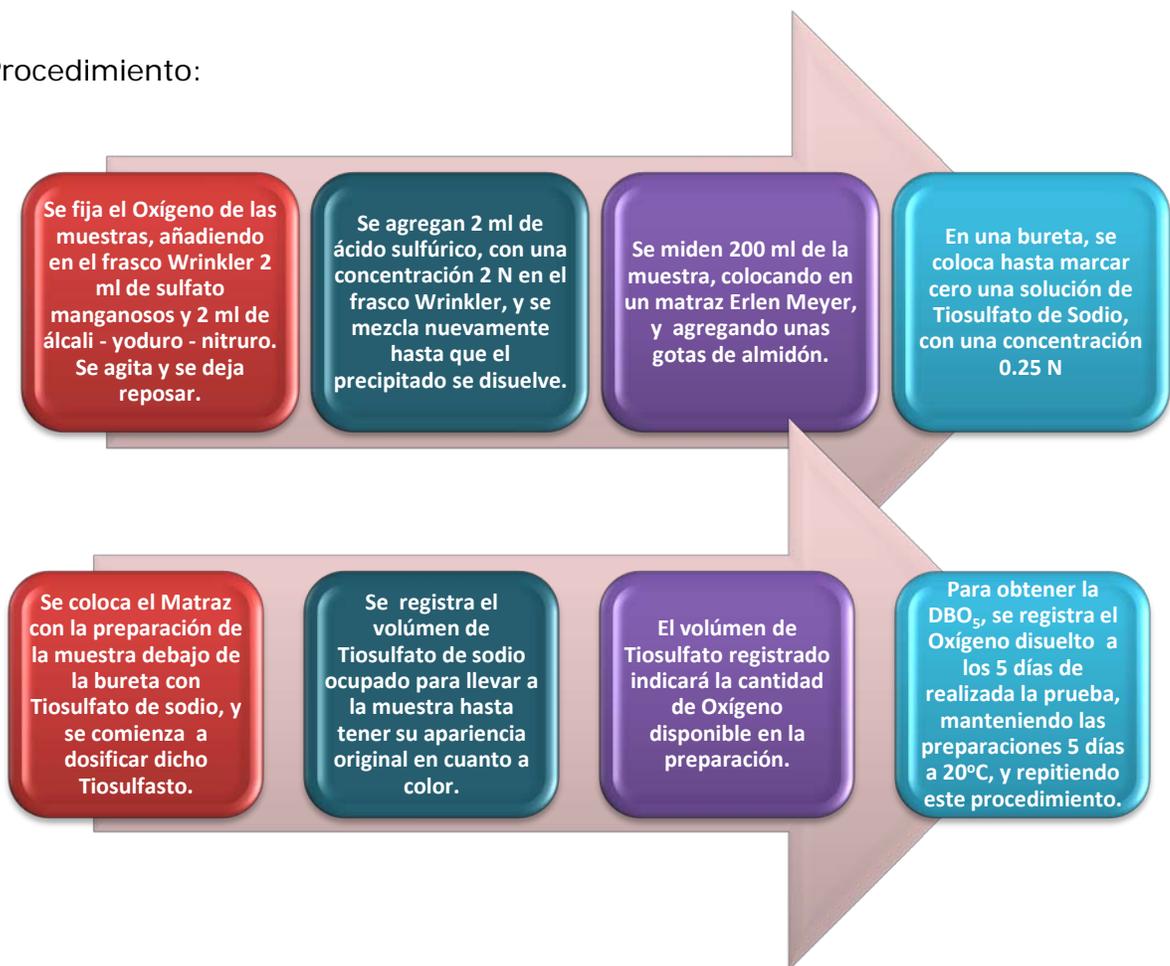


Figura 4.15 Procedimiento para determinar la DBO<sub>5</sub> de una muestra. Fuente: Manual de Prácticas de Laboratorio FI, Vázquez, UNAM.

*La Determinación de los Coliformes Totales y los Coliformes Fecales*

La determinación de coliformes totales y fecales se realizó empleando el método de filtros de membrana.

El método debe de seguirse con gran cuidado, ya que la contaminación del agua a través de diferentes patógenos y microorganismos presentes en el momento de realizar los análisis, pudieran alterar el resultado de las muestras.

Cabe mencionar que el material de laboratorio debe estar previamente esterilizado, y en todo momento se utilizan en la zona de trabajo donde se realizan las preparaciones dos mecheros bunsen, con el fin de disminuir los riesgos de contaminación y evitar la contaminación de las muestras con algún agente presente en el medio ambiente.

El procedimiento para realizar el conteo de los coliformes es el siguiente:

- ✚ Se coloca un soporte universal, y con mucho cuidado se coloca con las pinzas un filtro.
- ✚ Se pasan 100 ml de la muestra a través del filtro, con ayuda de una bomba de vacío conectada a un matraz en la parte inferior, y un matraz invertido en la parte superior.



Figura 4.16 (arriba) Zona de trabajo, con los dos mecheros bunsen y el matraz de vacío para ayudar al filtrado de las muestras. Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental, FI UNAM.



Figura 4.17 (izquierda) Proceso de filtrado de 100 ,l de agua de muestra con el fin de adaptar el filtro al medio de cultivo. Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental, FI UNAM.



Figura 4.18 La determinación de coliformes totales o coliformes fecales dependerá del medio de cultivo utilizado en el desarrollo de la prueba, ya sea el medio ENDO o el MFC. Los coliformes son una señal del nivel de contaminación por microorganismos presentes en el cuerpo de agua, en este caso el vaso de la Presa de Valle de Bravo. Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental, FI UNAM.

- ✚ En una caja de Petri se prepara, sobre un cojín absorbente, el medio de cultivo; se utiliza el medio de cultivo ENDO para coliformes totales, y el medio de cultivo MFC para coliformes fecales. Los medios de cultivo, en realidad son una mezcla previa de compuestos diversos, como azul de anilina, lactosa, algunas proteínas y sales.
- ✚ El filtro se retira y se coloca sobre un papel cuadriculado previamente colocado en el medio de cultivo de la caja de Petri. Se cierran las cajas de Petri.
- ✚ Se colocan las cajas de Petri en una incubadora a 35°C, durante un periodo de 24 horas.
- ✚ Finalmente, se retiran de la incubación las cajas de Petri, y se procede a realizar el conteo de los coliformes, ya sea totales o fecales, indicado ello por el medio de cultivo.

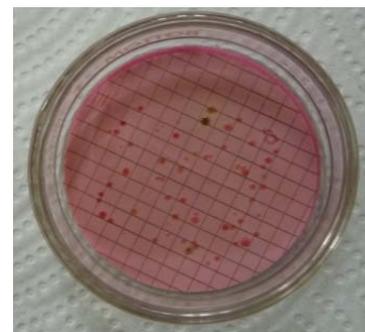
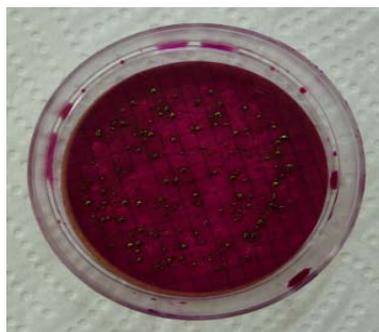


Figura 4.19 El medio de cultivo MFC para coliformes fecales, se muestra en la fotografía izquierda, mientras que el ENDO se ilustra en la fotografía derecha. Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental, FI UNAM.

### 4.3 Procesamiento y Análisis de la Información

#### *LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO*

Las campañas de muestreo llevadas a cabo se realizaron con el poder conocer la variabilidad en la calidad del agua en el Vaso de la Presa de Valle de Bravo durante la época de estiaje, la finalización de la temporada de lluvias y nuevamente la época de estiaje.

<b>Época del año de realización del muestreo</b>	<b>Fecha</b>
<b>Estiaje</b>	24 / abril / 2010
<b>Fin de época de lluvias</b>	02 / octubre /2010
<b>Estiaje</b>	26 / marzo /2011

Tabla 4.2 Temporadas de realización de los muestreos en el vaso de la presa de Valle de Bravo. Fuente: Equipo de Evaluación del Proyecto PAPIIT.

La calidad del agua se determinó a través de los diferentes parámetros mencionados en los apartados anteriores, cada uno de ellos importantes para evaluar el grado trófico del embalse, la evolución de la calidad del agua con respecto al tiempo, las zonas donde se presenta un mayor riesgo debido a la contaminación del agua, que tan aceptable resulta el agua para los diversos usos, que riesgos involucra el uso del agua a la salud, e incluso determinar algunas soluciones sencillas para mitigar los riesgos debidos a la contaminación del embalse.

Finalmente, la evaluación de la calidad del agua se integra a través de lo que se conoce como el Índice de Calidad del Agua, la cual comprende a todos los parámetros determinados en el muestreo.

#### *EL CONCEPTO DEL ICA*

El Índice de Calidad del Agua (ICA por sus siglas) indica el grado de contaminación del agua determinada en la fecha de realización del muestreo.

El ICA está expresado como porcentaje del agua pura, es decir el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%.

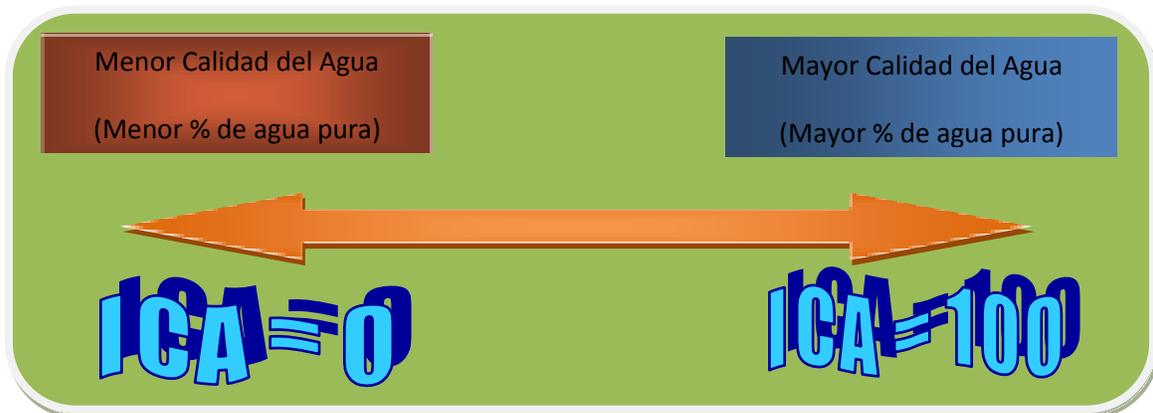


Figura 4.20 Representación gráfica de las escalas de la calidad del agua en el ICA.

El ICA fue desarrollado de acuerdo con los siguientes rubros:

- ✚ Crear una escala sencilla, con el fin de entender fácilmente a través de una escala numérica, en un rango del cero al cien, la calidad del agua.
- ✚ Se crea una calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua, en rangos de no contaminado hasta altamente contaminado.

En la tabla 4.3 se muestran las recomendaciones para los usos del agua, con respecto a la escala numérica del ICA.

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

Valor (%)	ICA		USOS DEL AGUA				
	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreacion General	Pesca y Vida Acuatica	Industrial y Agricola	Navegacion	Transporte Desechos Trataods
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuatico	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	Aceptable	Aceptable
90		Ligera purificación			Ligera purificación		
80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria	Aceptable	Aceptable
70	Poco contaminado						
60		Sin contacto con el agua	Con tratamiento en la mayor parte de la industria				
50	Contaminado	Dudoso	Uso muy restringido	Uso muy restringido	Restringido	Restringido	Restringido
40							
30	Altamente Contaminado	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
20							
10							Inaceptable

Tabla 4.3 Calificación del ICA y usos del agua. Fuente: Centro de Investigaciones en Geografía e Informática,

CONACYT:

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

- ✚ Se involucró en la escala de calificación, para cada uno de los parámetros indicadores de la calidad del agua, una correlación con su respectiva influencia en el grado de contaminación.
- ✚ Se formuló el modelo matemático, para lo cual se convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro ( $I_i$ ). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ) según su orden de importancia respectivo.
- ✚ Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

Parámetro	Peso ( $W_i$ )	Parámetro	Peso ( $W_i$ )
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5.0	Nitrógeno en nitratos ( $\text{NO}_3^{-1}$ )	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales ( $\text{PO}_4^{-3}$ )	2.0	Cloruros ( $\text{Cl}^{-1}$ )	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ )	2.0	Turbiedad	0.5

Tabla 4.4 Ponderación de los parámetros del ICA para su promedio en el modelo matemático.  
Fuente: SEMARNAT.

La fórmula matemática o el modelo matemático para determinar numéricamente la Calidad del Agua a través de su índice, puede determinarse con la siguiente fórmula:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

El subíndice "i" identifica a cada uno de los 18 parámetros antes presentados, por lo que  $i = 1, 2, \dots, 18$ , por lo que si se evalúa la calidad del agua con todos los parámetros mencionados, se tendría que  $n = 18$ .

De no existir la información de todos y cada uno de los parámetros mencionados para la determinación de la calidad del agua en el ICA, se procede a modificar los valores de n en la fórmula, como se realiza en esta evaluación, con el fin de ajustar los parámetros determinados y sus respectivos resultados a nuestro estudio.

*PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO*

Para realizar el procesamiento y el análisis de la información, se registraron los valores de los parámetros que se han mencionado con anterioridad, se concentraron los valores en tablas, y se grafican a través de isolíneas o curvas de isovalores, con el fin de mostrar visualmente los diferentes valores para los diferentes sitios de muestreo del vaso de la Presa de Valle de Bravo.

Así mismo, para los parámetros obtenidos, se procedió a realizar el cálculo del ICA, e igualmente se grafican los resultados obtenidos en las tres campañas de muestreo.

En los siguientes apartados se realiza la comparativa para las tres campañas de muestreo.



Figura 4.21 Realización de las campañas de muestreo en el vaso de la Presa de Valle de Bravo por parte del equipo de estudio del Proyecto PAPIIT. Fuente: Equipo PAPIIT.

## *1ª Campaña de Muestreo*

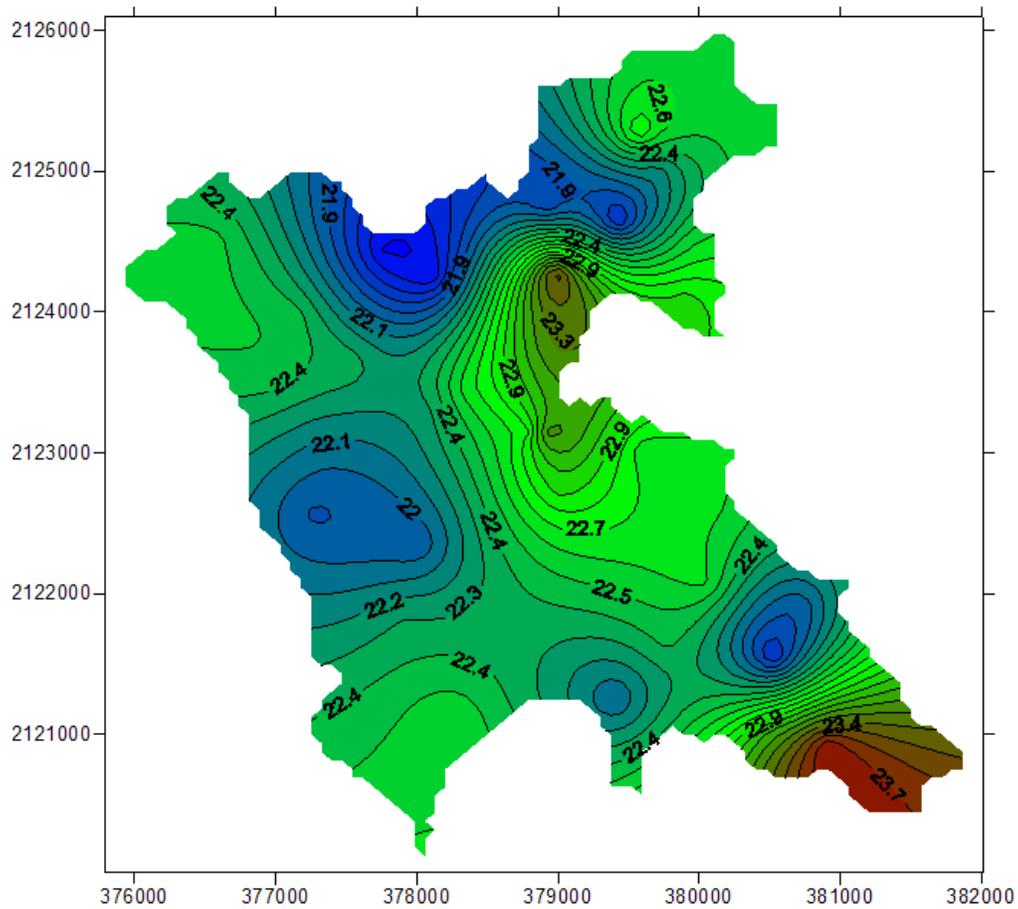
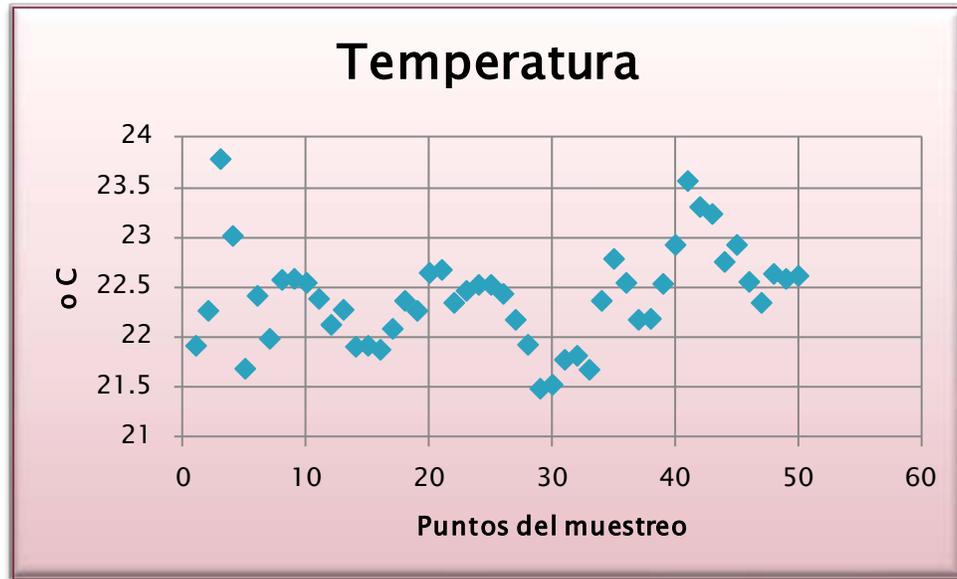


Figura 4.22 Primera Campaña de Muestreo. Temperatura

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)

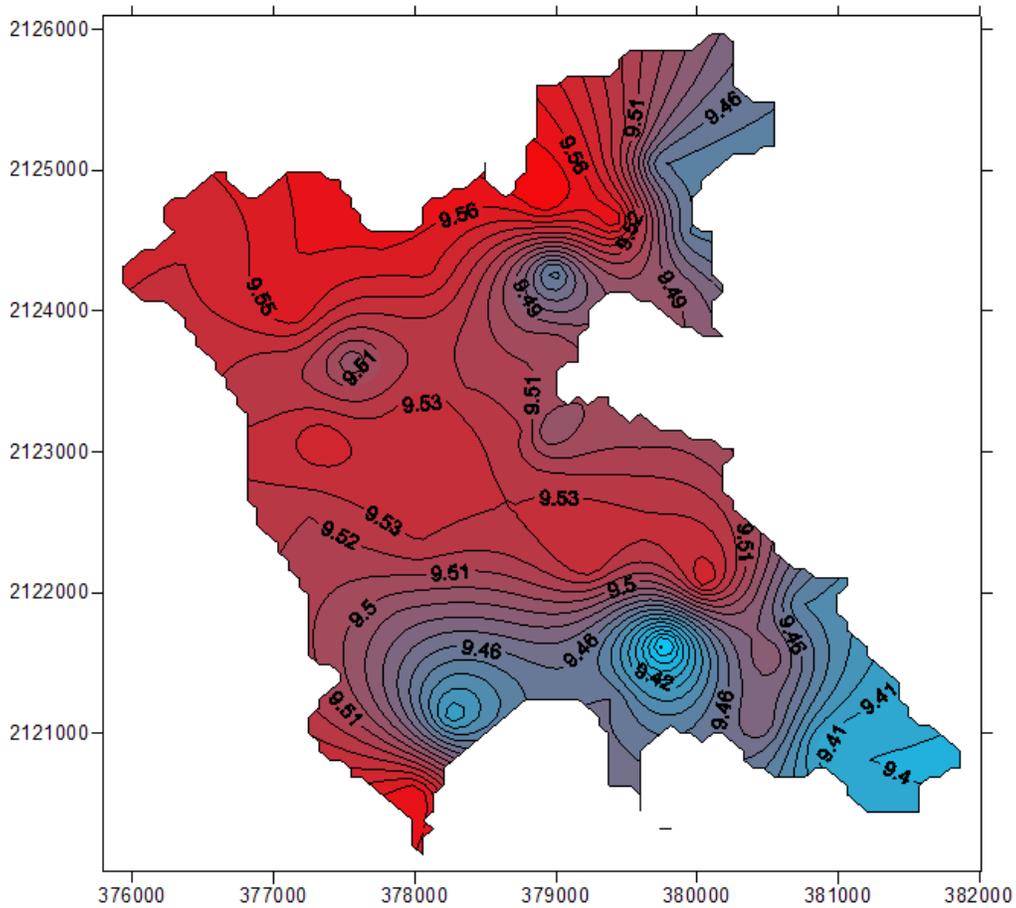
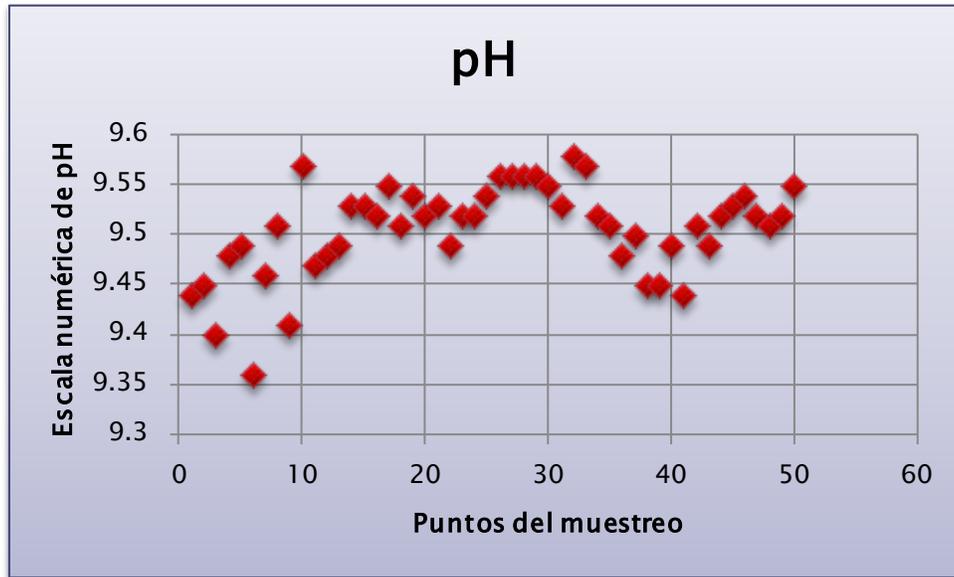


Figura 4.23 Primera Campaña de Muestreo. pH

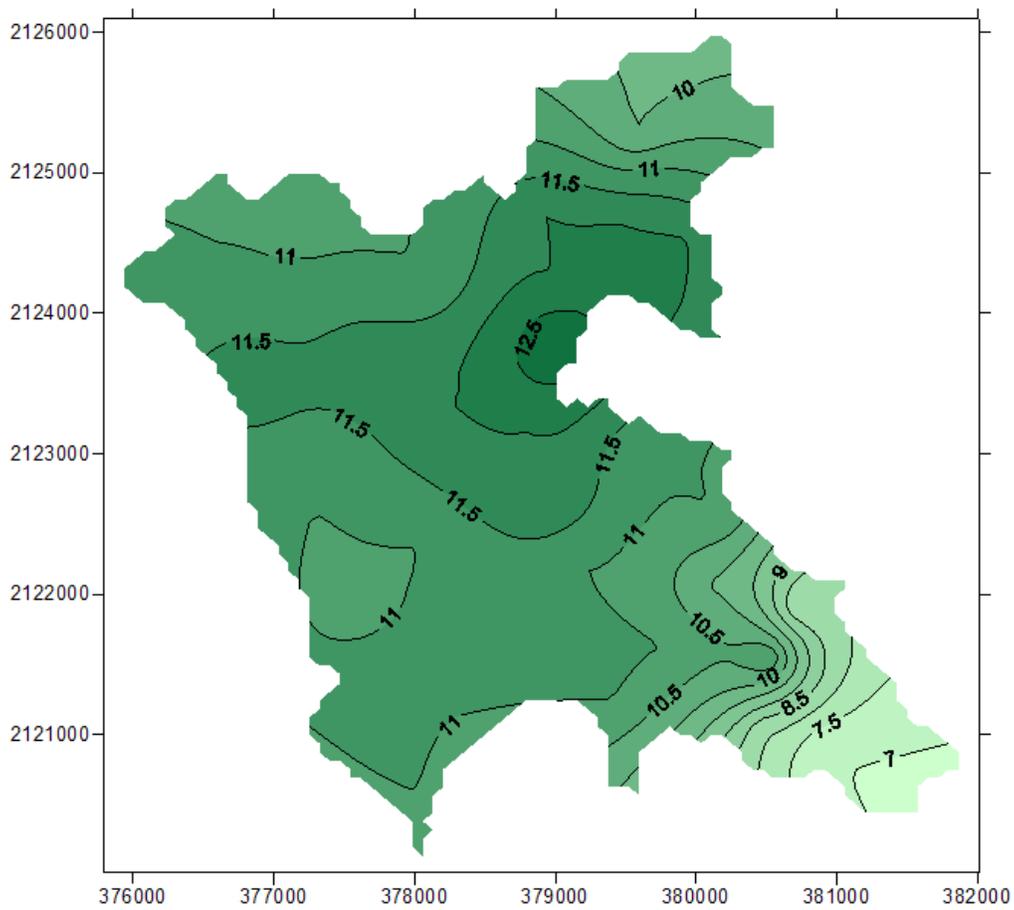


Figura 4.24 Primera Campaña de Muestreo. Turbiedad

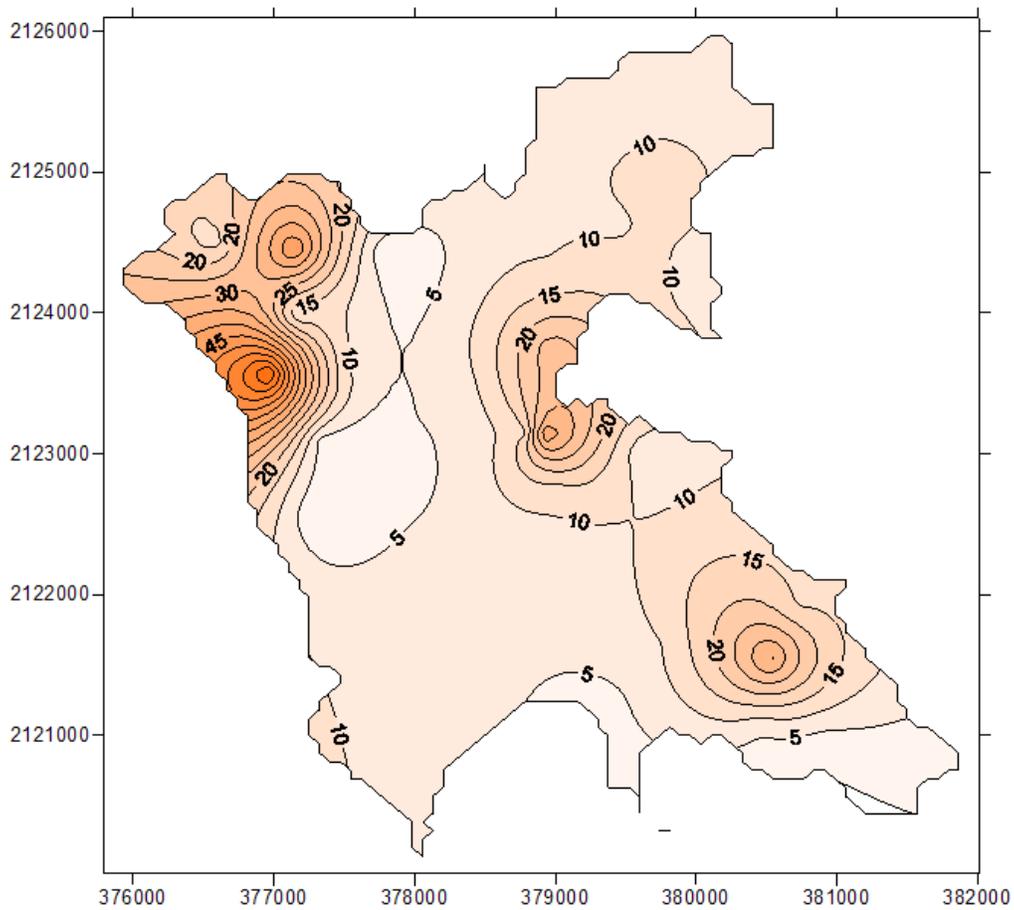


Figura 4.25 Primera Campaña de Muestreo. SST

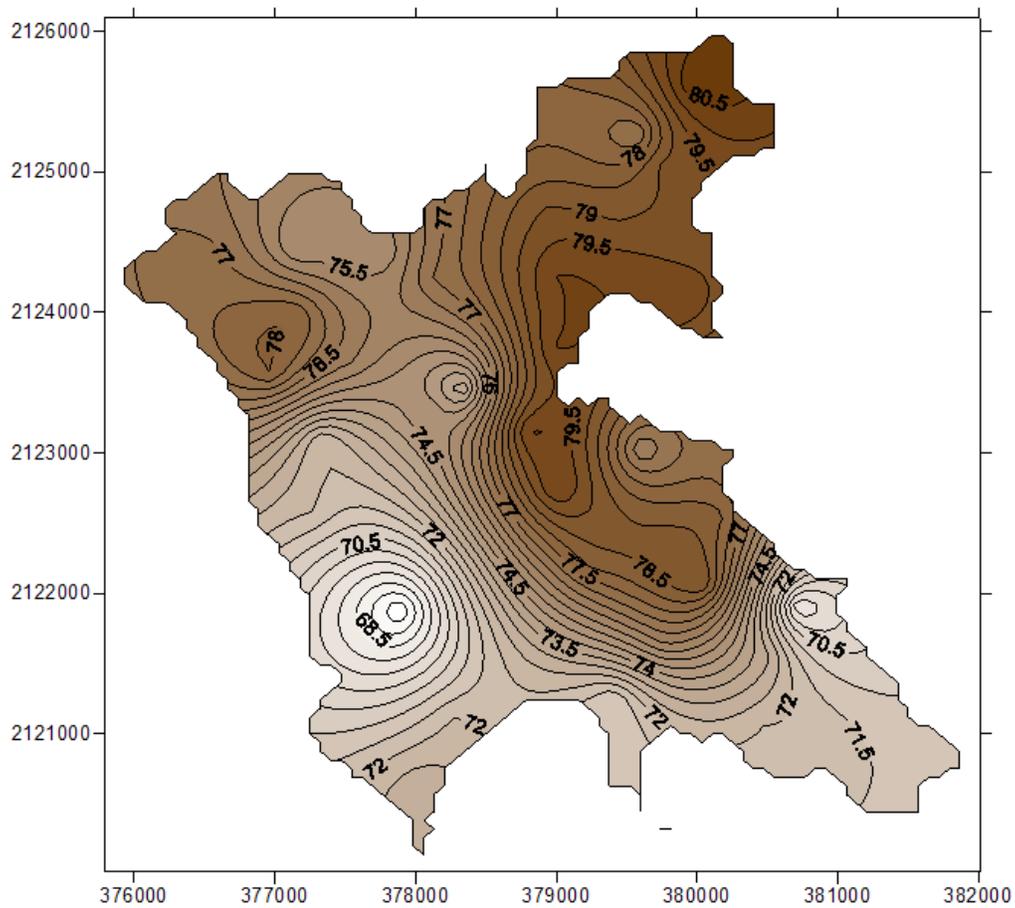
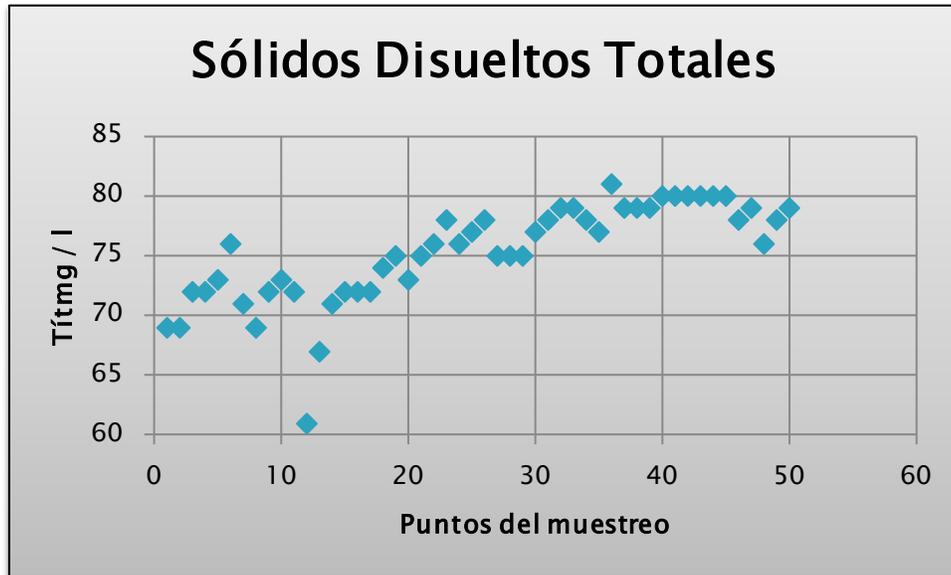


Figura 4.26 Primera Campaña de Muestreo. SDT

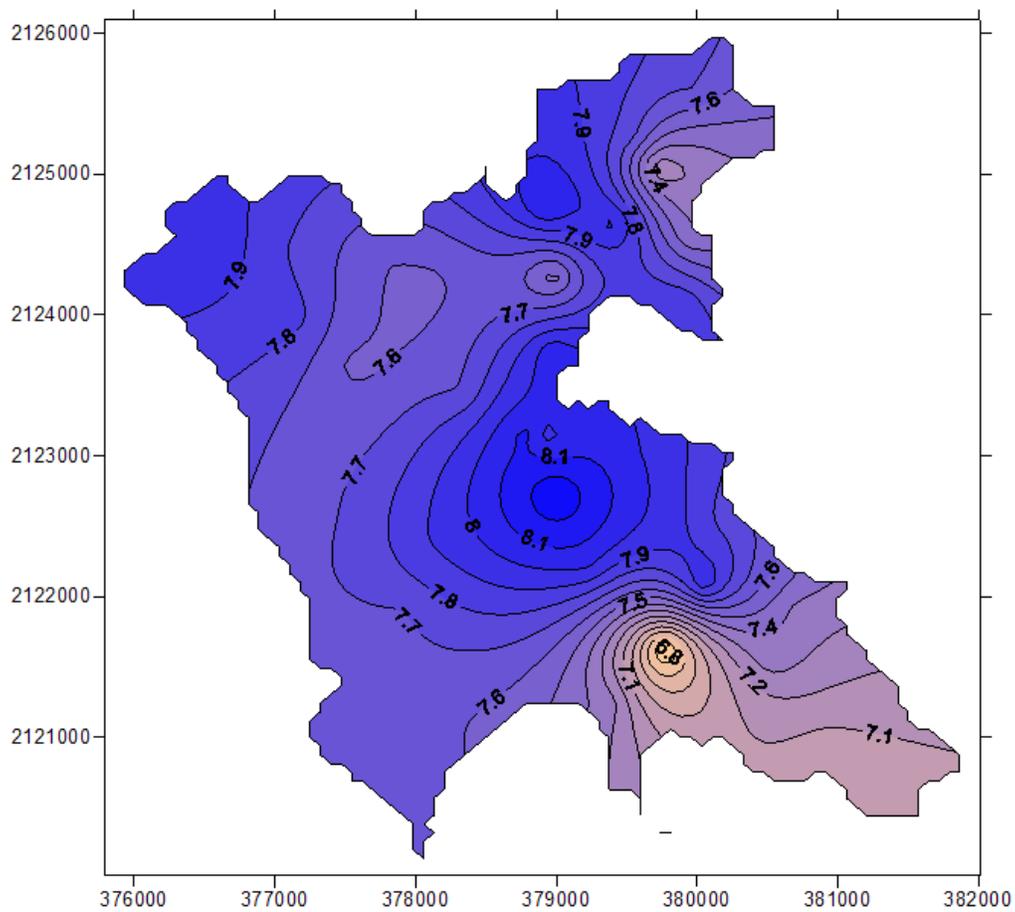
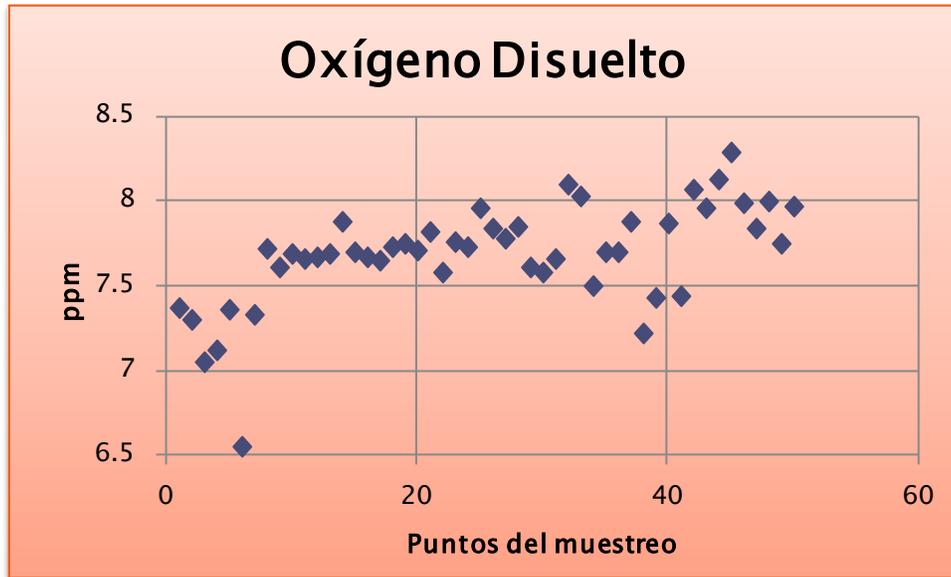


Figura 4.27 Primera Campaña de Muestreo. O<sub>2</sub> disuelto

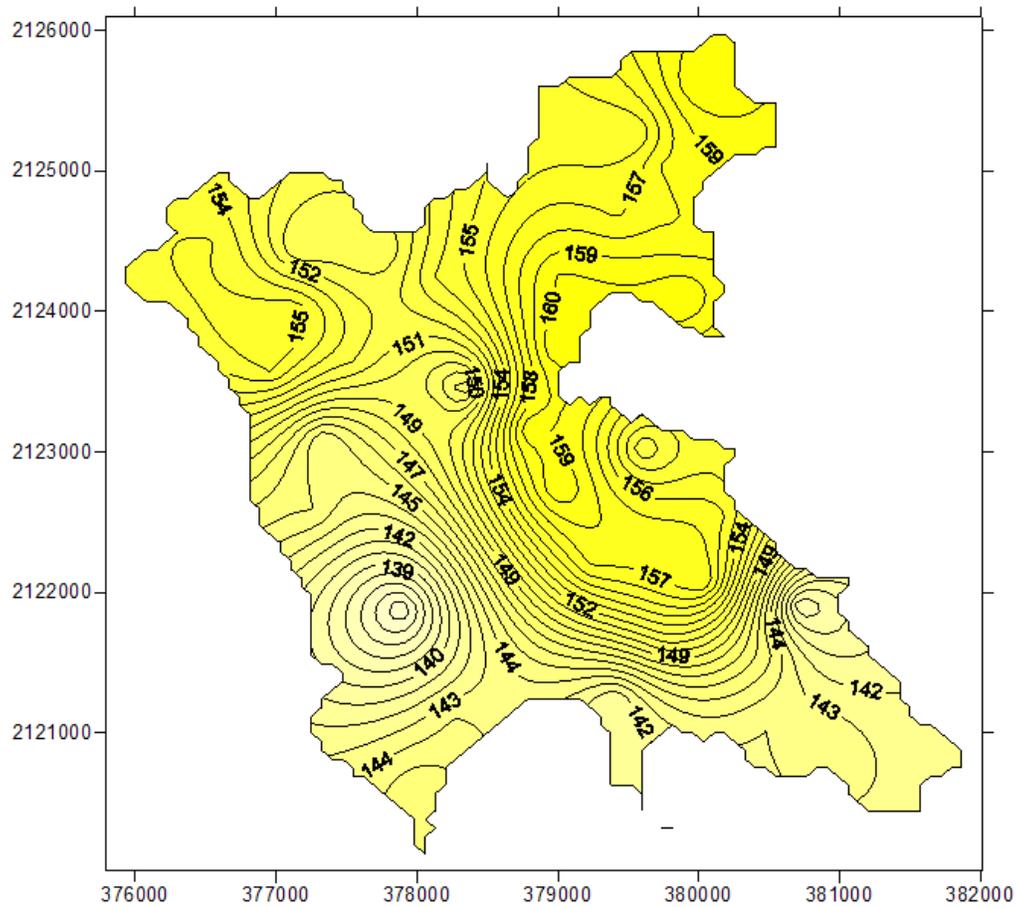


Figura 4.28 Primera Campaña de Muestreo. Conductividad

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

Estación	Temp (°C)	pH	ORP	OD %	OD ppm	μS/cm	μS/cm A	MOhm-c m	TDS (mg/l)	Salinidad	P mbar	Disco secchi (m)	Turb (NTU)	SST (mg/l)
1	21.92	9.44	-564.3	103.7	7.37	138	130	0.0073	69	0.06	827.1	1	8	14.9
2	22.27	9.45	-580.6	103.4	7.3	138	131	0.0073	69	0.06	827.9	1	11	9.2
3	23.79	9.4	-572.9	102.8	7.05	144	141	0.0069	72	0.07	828.1	1	7.1	1.5
4	23.02	9.48	-569.1	102.3	7.12	143	138	0.007	72	0.07	827.9	1.1	8.2	6.3
5	21.69	9.49	-560.1	103.1	7.36	145	136	0.0069	73	0.07	827.8	1.08	11	36.5
6	22.42	9.36	-564	93.1	6.55	151	144	0.0066	76	0.07	827.6	1.07	11	10.08
7	21.99	9.46	-543.1	103.4	7.33	141	133	0.0071	71	0.07	827.4	1.09	11	4.1
8	22.58	9.51	-542.8	110	7.72	139	132	0.0072	69	0.06	827.2	1.21	11	0.9
9	22.59	9.41	-530.2	108.7	7.61	144	138	0.0069	72	0.07	826.9	1.23	11	6.4
10	22.55	9.57	-525.9	109.7	7.69	146	139	0.0069	73	0.07	826.8	1.14	11	8.9
11	22.39	9.47	-522.7	108.8	7.66	144	137	0.0069	72	0.07	826.8	1.17	11	7.5
12	22.13	9.48	-527	108.9	7.67	121	115	0.0082	61	0.06	823.4	1.1	11	5.5
13	22.28	9.49	-524.4	110.2	7.69	134	127	0.0075	67	0.06	818.2	1.28	11	8.9
14	21.91	9.53	-504.2	112.3	7.88	142	134	0.007	71	0.07	817.2	1.05	11	6.7
15	21.92	9.53	-502.8	109.9	7.7	144	136	0.0069	72	0.07	816.5	1.1	11	4.4
16	21.88	9.52	-495.2	109.5	7.67	145	136	0.0069	72	0.07	815.5	1.11	11	1.5
17	22.09	9.55	-509.6	109.7	7.65	144	136	0.007	72	0.07	815.1	1.06	11	3.5
18	22.37	9.51	-495.5	111.6	7.73	148	141	0.0068	74	0.07	814.7	1.03	11	4.6
19	22.27	9.54	-493.1	111.7	7.75	150	142	0.0067	75	0.07	814.2	1.14	12	5.6
20	22.65	9.52	-490.9	112	7.71	146	139	0.0069	73	0.07	814.2	1.09	12	7.5
21	22.68	9.53	-483.8	113.5	7.82	150	144	0.0067	75	0.07	814.3	1.09	12	10.5
22	22.35	9.49	-479.1	109.4	7.58	152	145	0.0066	76	0.07	814	1.06	12	9.2
23	22.47	9.52	-467.9	112.3	7.76	155	148	0.0065	78	0.07	813.9	1	12	791.3
24	22.53	9.52	-469.7	112	7.73	152	145	0.0066	76	0.07	813.8	0.83	12	3.8
25	22.53	9.54	-467.3	115.4	7.96	155	148	0.0065	77	0.07	813.5	0.91	11	12.5
26	22.44	9.56	-460.6	113.4	7.84	156	148	0.0064	78	0.07	813.3	1.07	11	11.4
27	22.18	9.56	-466.9	112.1	7.78	150	142	0.0067	75	0.07	813.1	0.72	11	45.6
28	21.93	9.56	-465.2	112.5	7.85	151	142	0.0066	75	0.07	813.1	1.1	11	6.2
29	21.49	9.56	-473.5	108.1	7.61	150	140	0.0067	75	0.07	813	1.15	11	1.9
30	21.53	9.55	-471.1	107.8	7.58	154	144	0.0065	77	0.07	813	1	11	4.3
31	21.78	9.53	-464.2	109.5	7.66	156	146	0.0064	78	0.07	813	0.95	11	6
32	21.82	9.58	-453.4	115.8	8.1	157	148	0.0064	79	0.07	813.1	1	12	9.3
33	21.68	9.57	-458.8	114.5	8.03	157	148	0.0064	79	0.07	813.4	0.92	12	9.3
34	22.37	9.52	-466.3	108.5	7.5	156	148	0.0064	78	0.07	813.3	1	11	7.9
35	22.79	9.51	-459.9	112.3	7.7	155	149	0.0065	77	0.07	813.3	1	10	8.4
36	22.55	9.48	-446.1	111.6	7.7	161	154	0.0062	81	0.08	813.4	1.03	10	5.4
37	22.18	9.5	-452.1	113.4	7.88	157	149	0.0064	79	0.07	813.5	1	11	16.5
38	22.19	9.45	-455.7	104	7.22	158	150	0.0063	79	0.07	813.4	0.96	11	13.4
39	22.54	9.45	-448.9	107.6	7.43	158	151	0.0063	79	0.07	813.8	1.05	12	9.9
40	22.93	9.49	-442.4	114.9	7.87	161	155	0.0062	80	0.08	813.9	0.86	12	9.1
41	23.57	9.44	-445.7	109.9	7.44	160	156	0.0062	80	0.07	813.9	1	12	10.9
42	23.31	9.51	-437.4	118.8	8.07	161	156	0.0062	80	0.08	813.7	0.89	13	27.8
43	23.24	9.49	-445.4	117	7.96	159	154	0.0063	80	0.07	813.6	0.88	12	109.6
44	22.76	9.52	-437.8	118.4	8.13	160	153	0.0063	80	0.07	813.3	0.97	12	13.4
45	22.93	9.53	-432.4	121.2	8.29	160	154	0.0062	80	0.07	813.1	0.89	12	12.3
46	22.56	9.54	-440.2	116.1	7.99	157	149	0.0064	78	0.07	812.9	0.8	11	7.9
47	22.35	9.52	-431.5	113.3	7.84	159	151	0.0063	79	0.07	812.9	1	11	8.3
48	22.64	9.51	-448.1	116	8	152	145	0.0066	76	0.07	815.1	1	11	7.3
49	22.59	9.52	-437.7	112.2	7.75	156	149	0.0064	78	0.07	814.8	1	11	12.1
50	22.62	9.55	-430.3	115.6	7.97	158	151	0.0063	79	0.07	814.5	0.86	10	16.3

Tabla 4.5 Parámetros obtenidos en la Primera Campaña de Muestreo.

## *2ª Campaña de Muestreo*

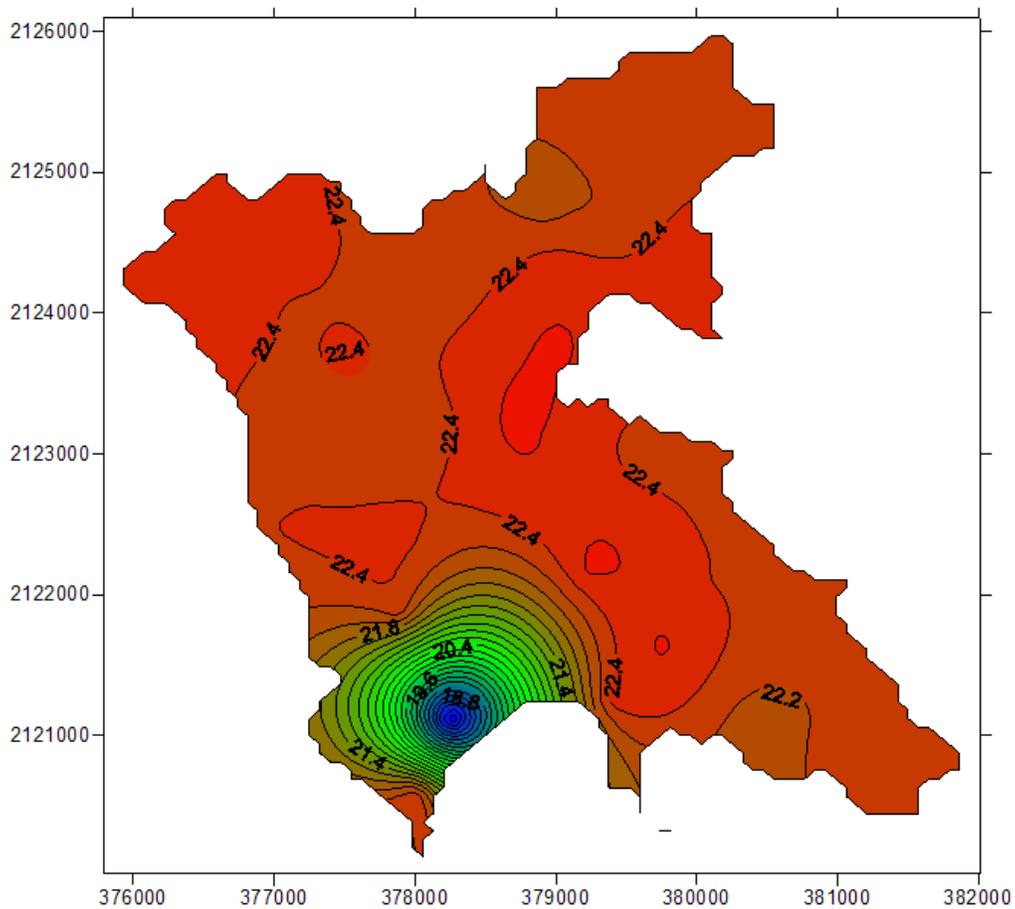
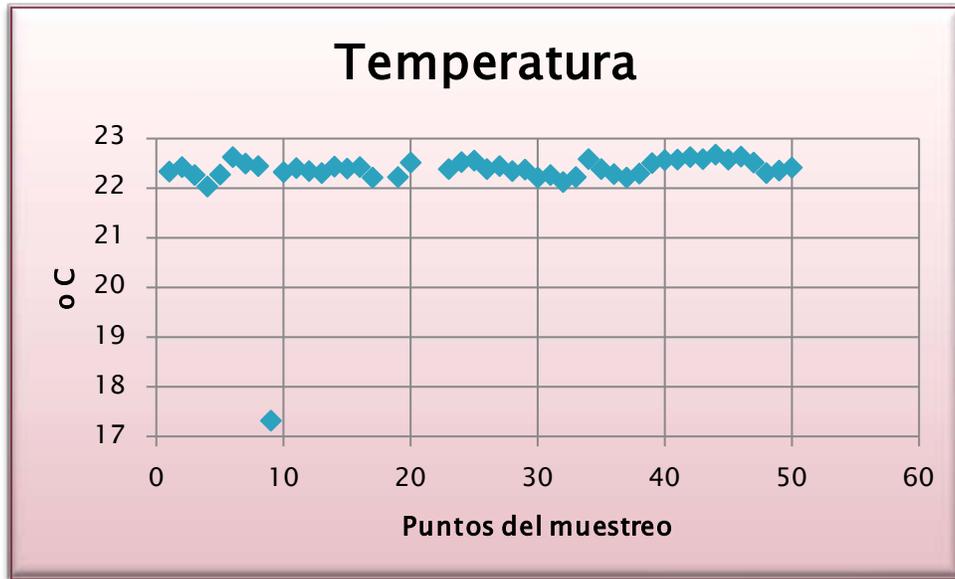


Figura 4.29 Segunda Campaña de Muestreo. Temperatura

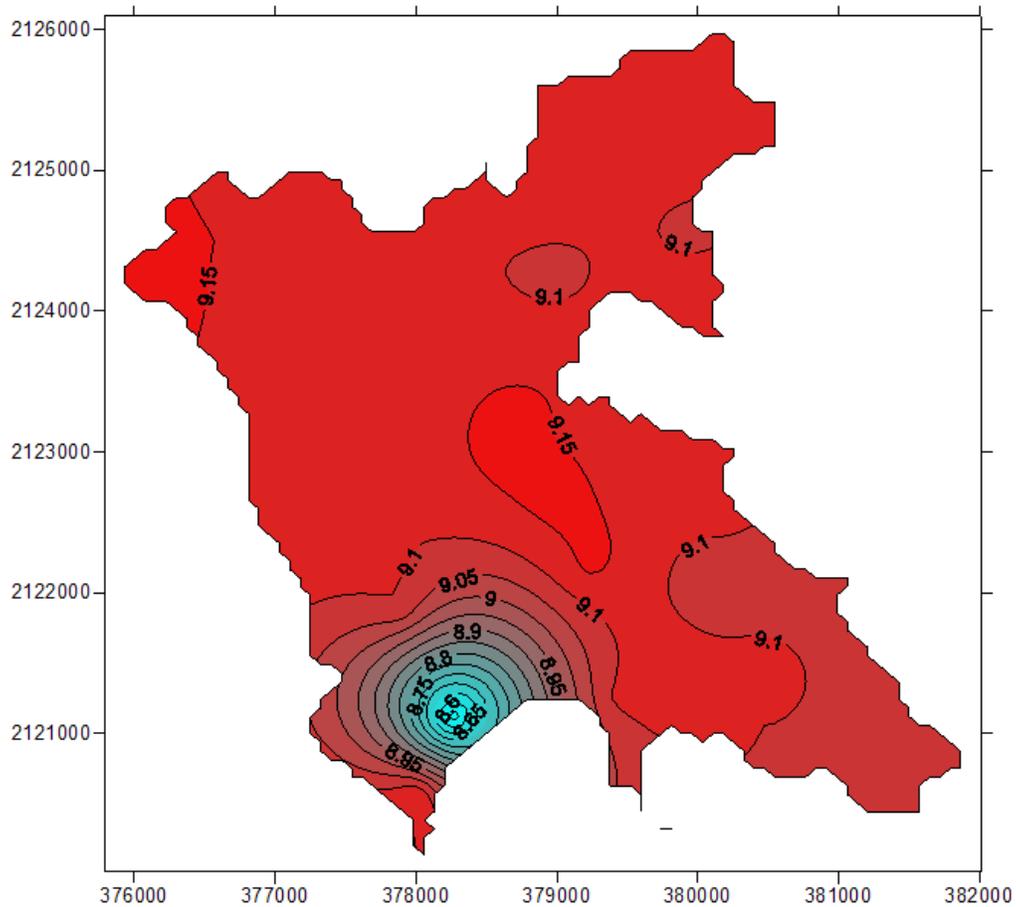
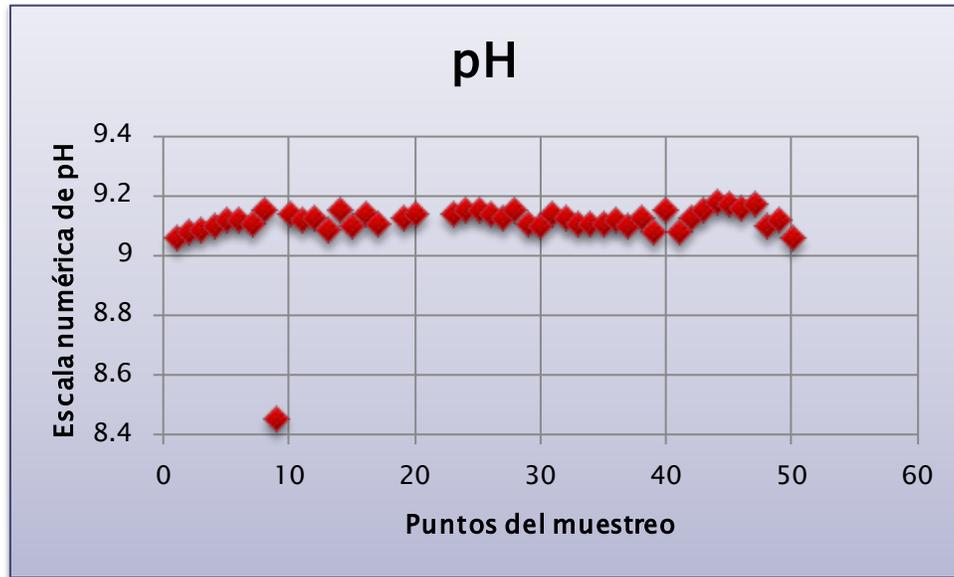


Figura 4.30 Segunda Campaña de Muestreo. pH

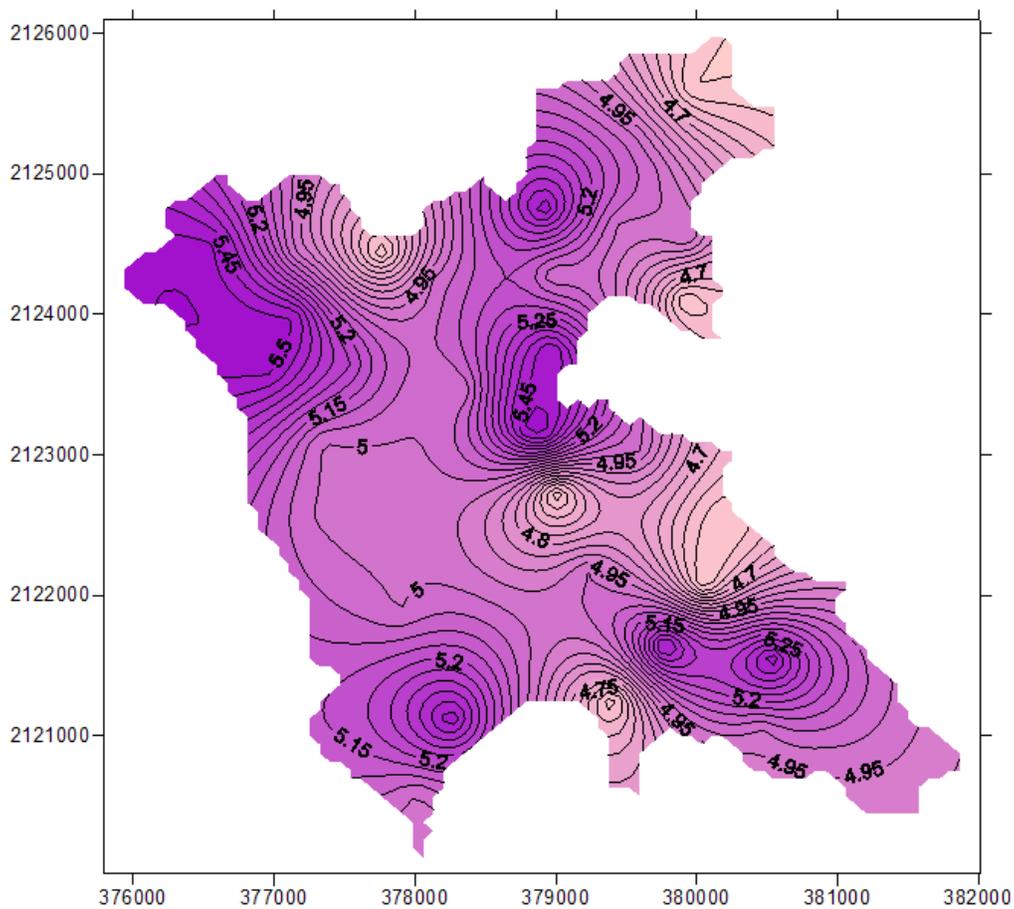
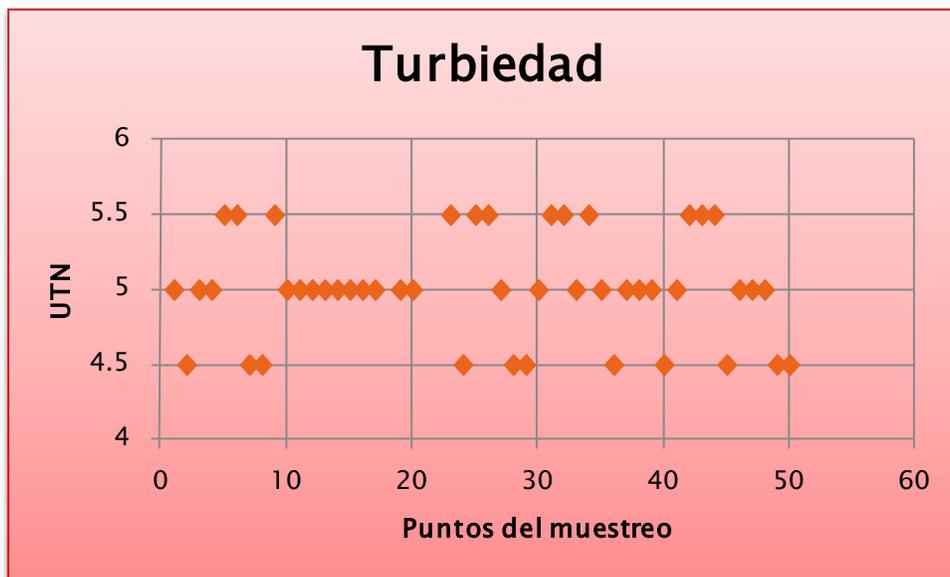


Figura 4.31 Segunda Campaña de Muestreo. Turbiedad

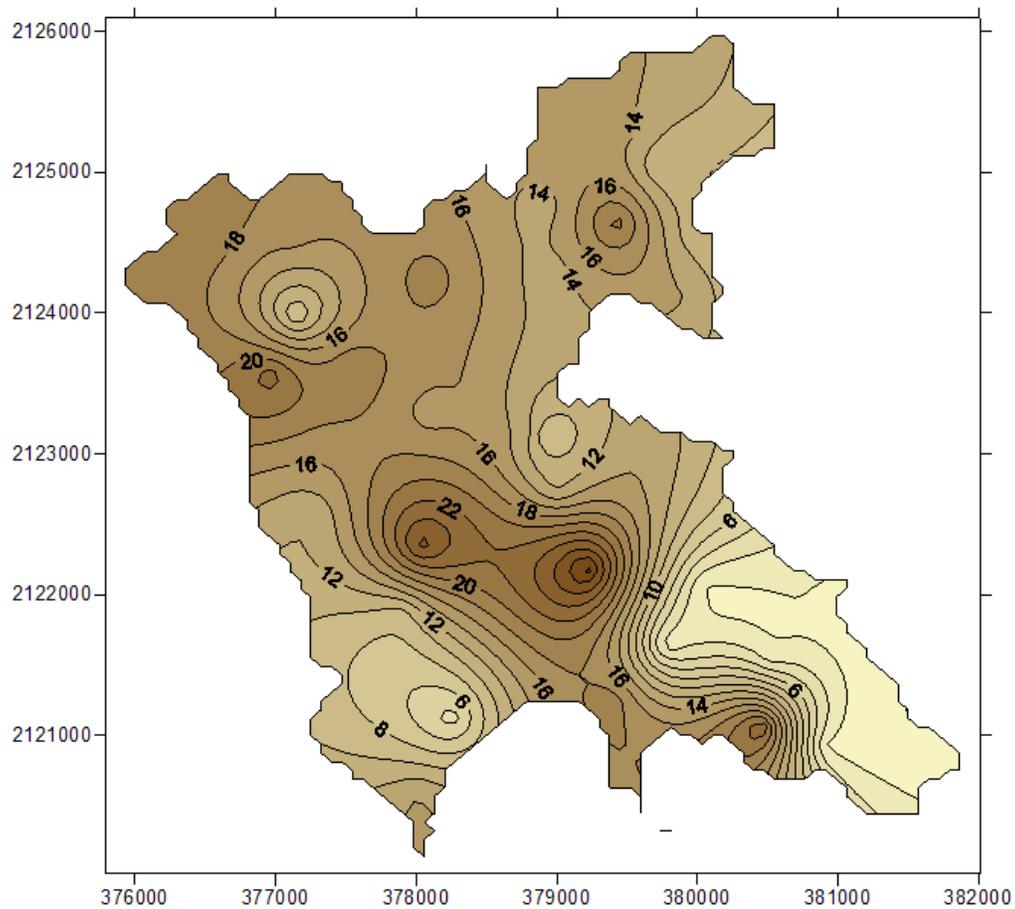


Figura 4.32 Segunda Campaña de Muestreo. SST

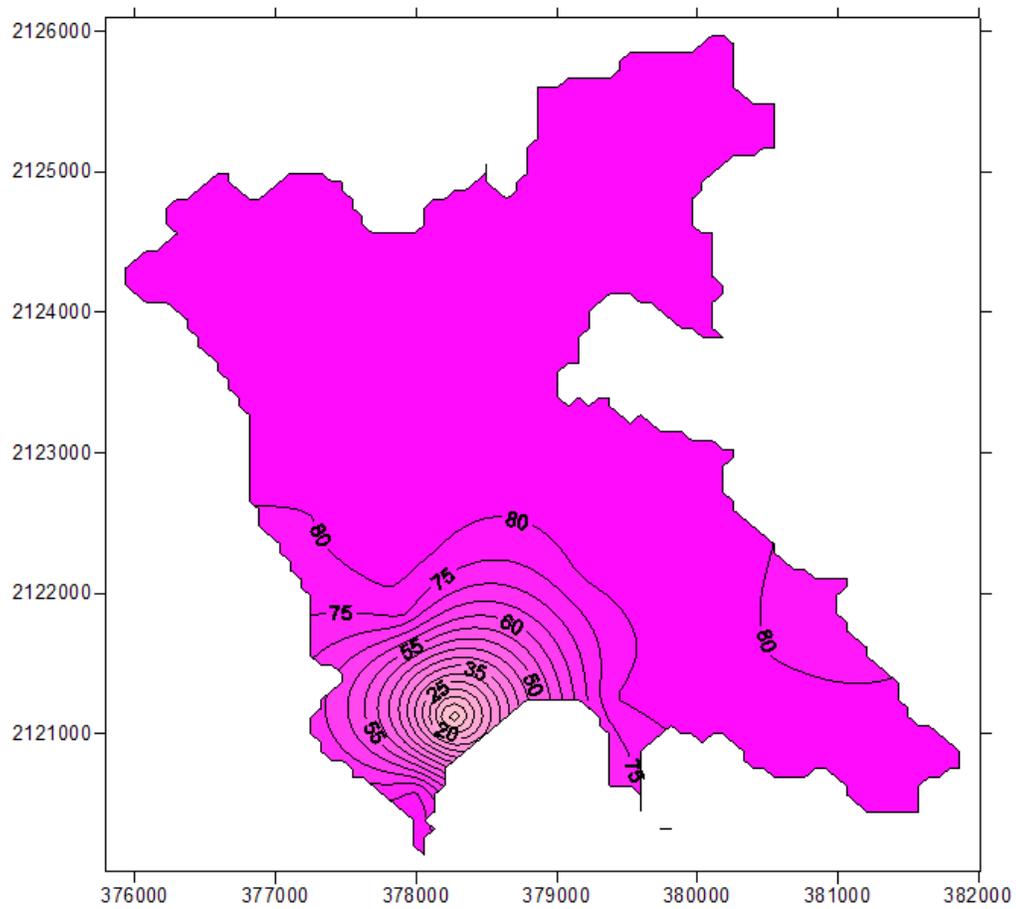
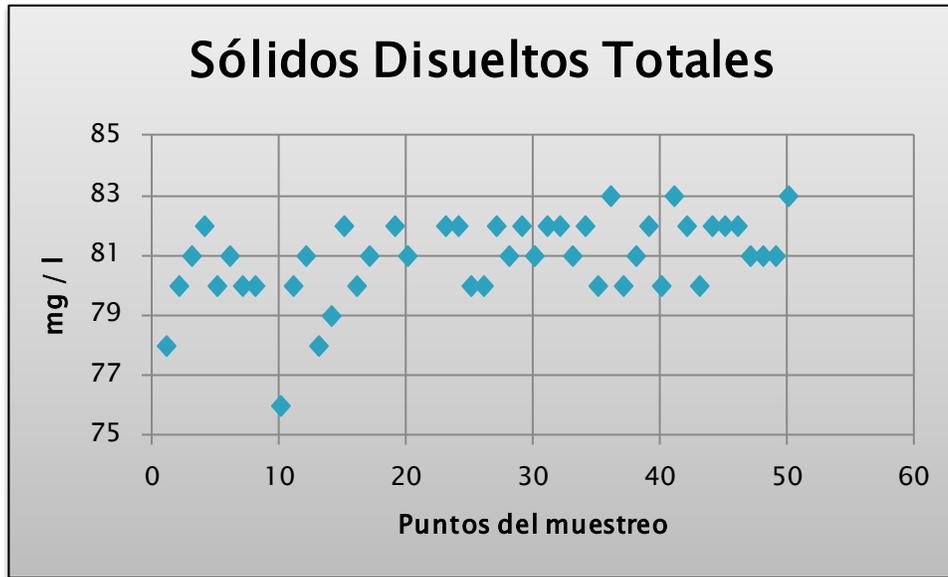


Figura 4.33 Segunda Campaña de Muestreo. SDT

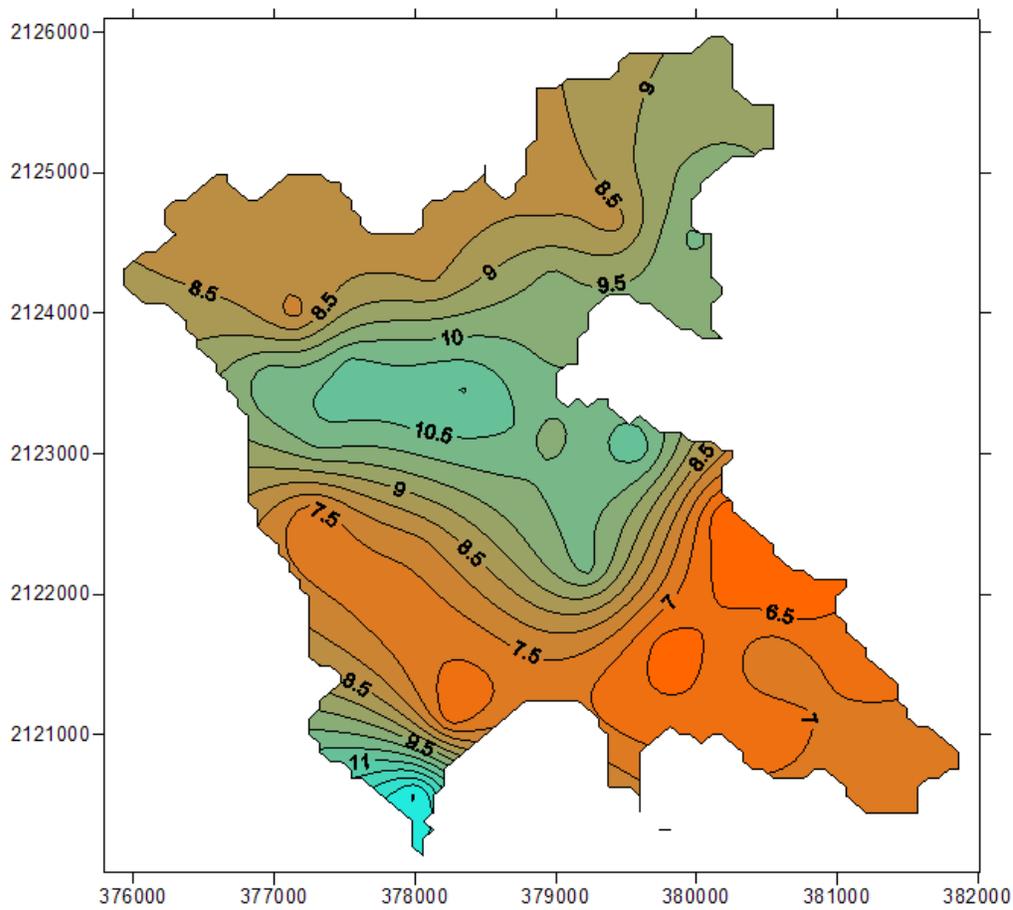
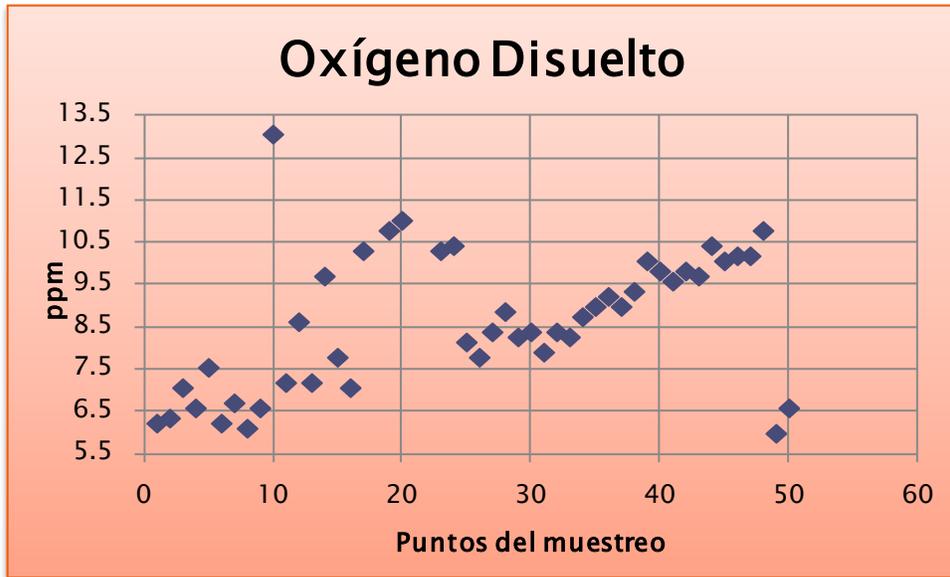


Figura 4.34 Segunda Campaña de Muestreo. O2 disuelto

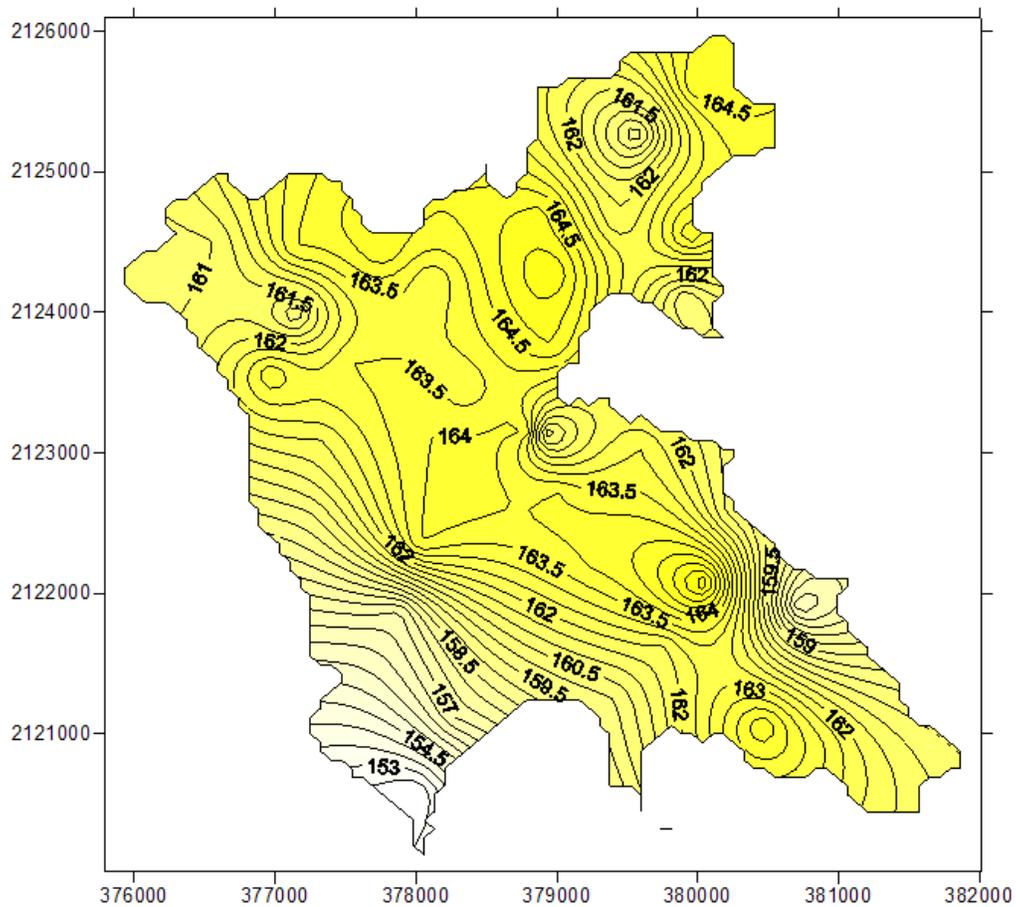


Figura 4.35 Segunda Campaña de Muestreo. Conductividad

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

Estación	Temp (°C)	pH	ORP	OD %	OD ppm	µS/cm	µS/cm A	MOhm-c m	TDS (mg/l)	Salinidad	P mbar	Disco secchi (m)	Turb (NTU)	SST (mg/l)
1	22.33	9.06	-507	89.68	6.24	156	148	0.0064	78	0.07	828.3	1.69	5	0
2	22.42	9.08	-436.4	91.41	6.36	161	153	0.0062	80	0.08	828.8	1.97	4.5	1
3	22.26	9.09	-445.1	101.75	7.08	163	154	0.0061	81	0.08	828.6	2.03	5	0
4	22.03	9.1	-438	94.85	6.6	165	155	0.0061	82	0.08	828.8	1.57	5	24
5	22.27	9.12	-421.7	108.65	7.56	161	153	0.0062	80	0.08	827.7	1.86	5.5	1
6	22.62	9.12	-414	89.68	6.24	162	155	0.0062	81	0.08	827.1	1.69	5.5	1
7	22.49	9.11	-422	96.58	6.72	160	152	0.0063	80	0.07	826.6	1.77	4.5	19
8	22.44	9.15	-424.1	87.96	6.12	161	153	0.0062	80	0.08	827.3	1.88	4.5	1
9	17.34	8.46	-21.6	94.85	6.6	1	1	1	0	0	827.4	1.72	5.5	3
10	22.32	9.14	-441.1	187.99	13.08	152	145	0.0066	76	0.07	826.1	1.69	5	14
11	22.4	9.12	-427.9	103.48	7.2	159	151	0.0063	80	0.07	825.3	1.74	5	15
12	22.34	9.13	-413.1	124.17	8.64	162	154	0.0062	81	0.08	815.2	1.96	5	15
13	22.3	9.09	-415.8	103.48	7.2	157	149	0.0064	78	0.07	814.4	1.82	5	9
14	22.43	9.15	-425.4	139.7	9.72	158	150	0.0063	79	0.07	813.7	1.83	5	9
15	22.39	9.1	-408.5	112.1	7.8	164	156	0.0061	82	0.08	816.6	1.71	5	27
16	22.42	9.14	-423.6	101.75	7.08	160	152	0.0062	80	0.07	824.2	1.78	5	12
17	22.21	9.11	-389.9	148.32	10.32	162	153	0.0062	81	0.08	813	1.65	5	17
19	22.22	9.13	-382.9	155.22	10.8	164	155	0.0061	82	0.08	813	1.43	5	15
20	22.51	9.14	-386.6	158.67	11.04	163	155	0.0061	81	0.08	812.7	1.49	5	16
23	22.38	9.14	-394.1	148.32	10.32	164	156	0.0061	82	0.08	813.1	1.61	5.5	23
24	22.52	9.15	-388.4	150.04	10.44	163	156	0.0061	82	0.08	812.5	1.49	4.5	24
25	22.55	9.15	-406.2	117.28	8.16	161	153	0.0062	80	0.08	812.5	1.69	5.5	19
26	22.38	9.14	-419.4	112.1	7.8	160	152	0.0063	80	0.07	812.8	1.8	5.5	8
27	22.44	9.13	-404.4	120.72	8.4	164	156	0.0061	82	0.08	811.9	1.83	5	16
28	22.34	9.15	-407.6	127.62	8.88	162	154	0.0062	81	0.08	811.4	1.91	4.5	11
29	22.37	9.11	-398.9	119	8.28	165	157	0.0061	82	0.08	811.1	1.79	4.5	17
30	22.21	9.1	-404.6	120.72	8.4	163	154	0.0061	81	0.08	810.8	1.88	5	19
31	22.26	9.14	-404.5	113.83	7.92	165	156	0.0061	82	0.08	810.8	1.58	5.5	18
32	22.12	9.13	-398.6	120.72	8.4	165	156	0.0061	82	0.08	811	1.7	5.5	13
33	22.22	9.11	-393.9	119	8.28	162	154	0.0062	81	0.08	810.8	1.81	5	21
34	22.58	9.11	-386.3	125.9	8.76	164	157	0.0061	82	0.08	810.8	1.88	5.5	21
35	22.38	9.11	-403.5	129.35	9	159	151	0.0063	80	0.07	810.9	1.48	5	14
36	22.28	9.12	-391.4	132.8	9.24	165	157	0.0061	83	0.08	811	1.73	4.5	13
37	22.21	9.1	-410.6	129.35	9	160	151	0.0063	80	0.07	811.2	1.96	5	38
38	22.29	9.13	-396.7	134.52	9.36	162	154	0.0062	81	0.08	811.2	1.8	5	10
39	22.5	9.08	-403.8	144.87	10.08	165	157	0.0061	82	0.08	811.4	1.83	5	11
40	22.56	9.15	-402.7	141.42	9.84	160	153	0.0062	80	0.07	811.5	1.59	4.5	14
41	22.57	9.08	-393.3	137.97	9.6	166	158	0.006	83	0.08	812.1	1.67	5	13
42	22.62	9.13	-397.4	141.42	9.84	165	157	0.0061	82	0.08	812.2	1.61	5.5	13
43	22.58	9.15	-415.8	139.7	9.72	160	153	0.0062	80	0.08	812.5	1.58	5.5	8
44	22.67	9.18	-398.3	150.04	10.44	164	157	0.0061	82	0.08	812.7	1.38	5.5	13
45	22.57	9.17	-387.5	144.87	10.08	164	157	0.0061	82	0.08	811.2	1.56	4.5	12
46	22.63	9.16	-385.4	146.59	10.2	164	157	0.0061	82	0.08	813.2	1.38	5	31
47	22.51	9.17	-394.8	146.59	10.2	163	155	0.0061	81	0.08	812.4	1.43	5	17
48	22.3	9.1	-387.2	155.22	10.8	163	154	0.0061	81	0.08	812.7	1.6	5	14
49	22.35	9.12	-424.7	86.23	6	161	153	0.0062	81	0.08	828.1	1.94	4.5	7
50	22.41	9.06	-442.1	94.85	6.6	167	158	0.006	83	0.08	828.6	1.94	4.5	0

Tabla 4.6 Parámetros obtenidos en la Segunda Campaña de Muestreo.

## *3<sup>era</sup> Campaña de Muestreo*

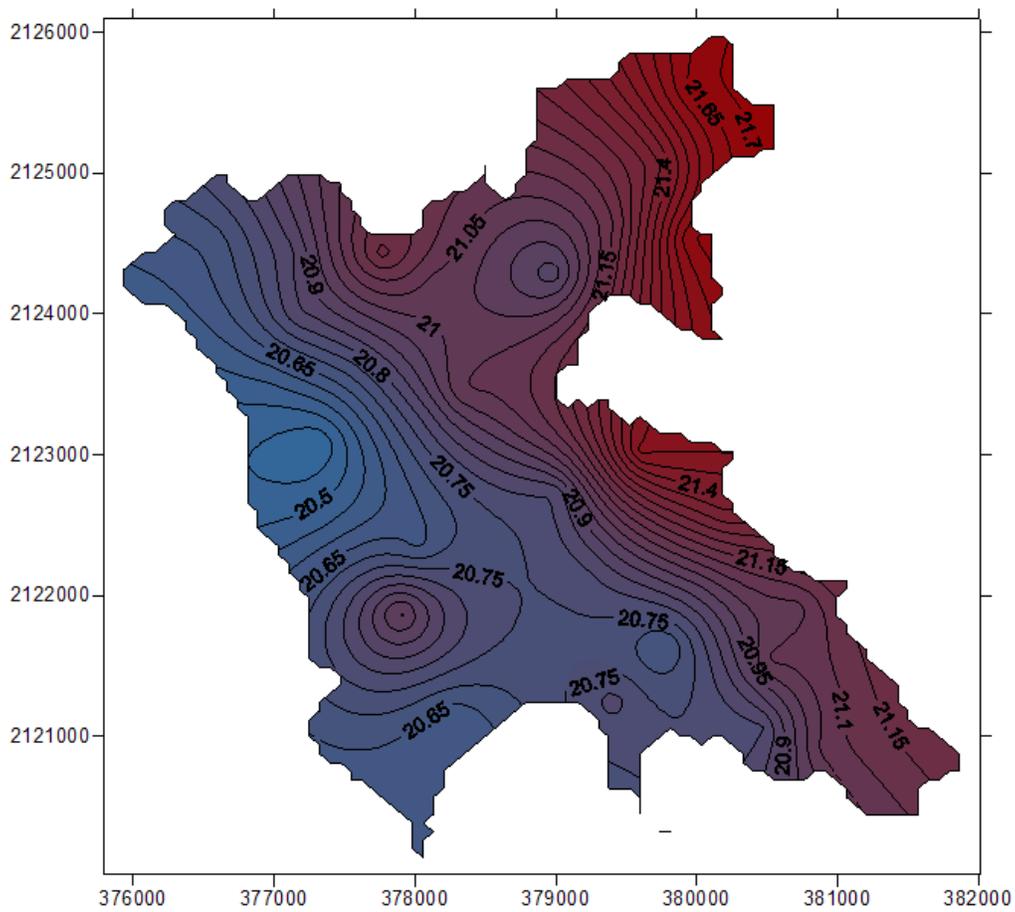
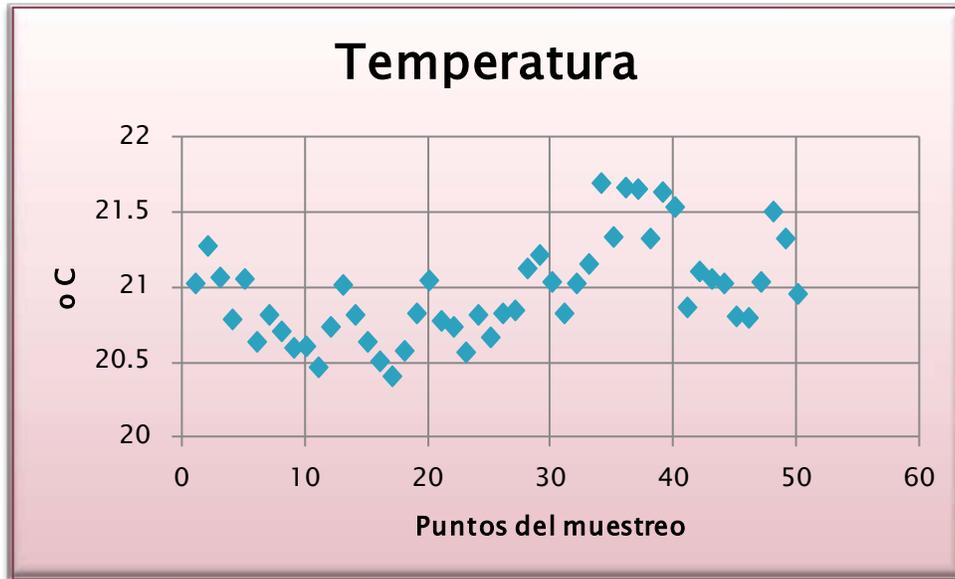


Figura 4.36 Tercera Campaña de Muestreo. Temperatura

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)

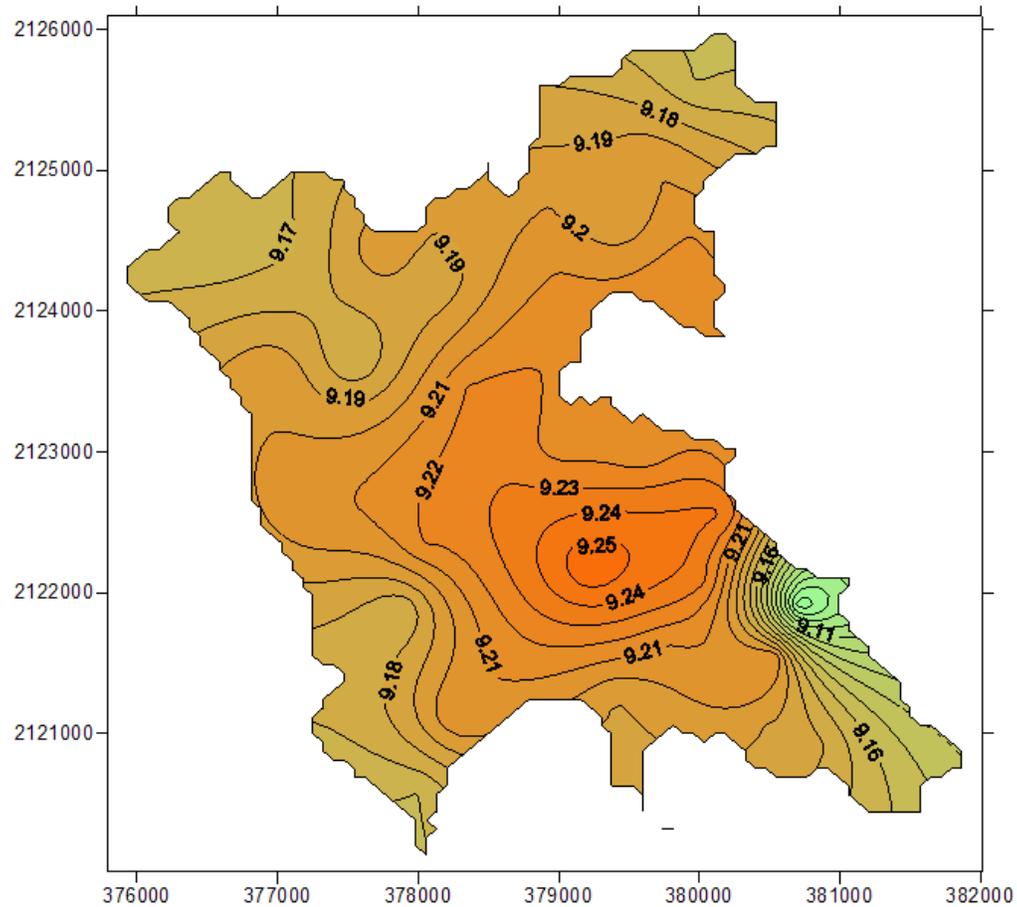
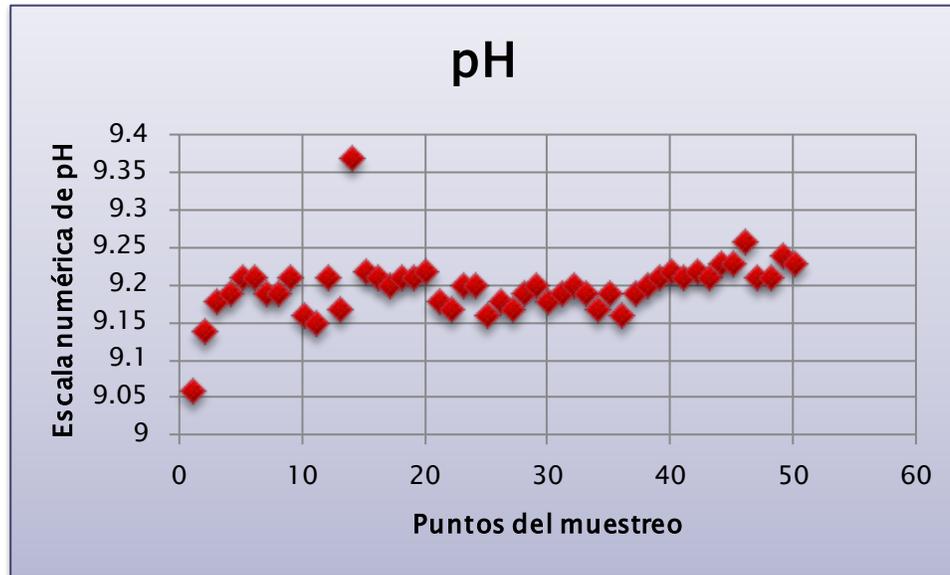


Figura 4.37 Tercera Campaña de Muestreo. pH

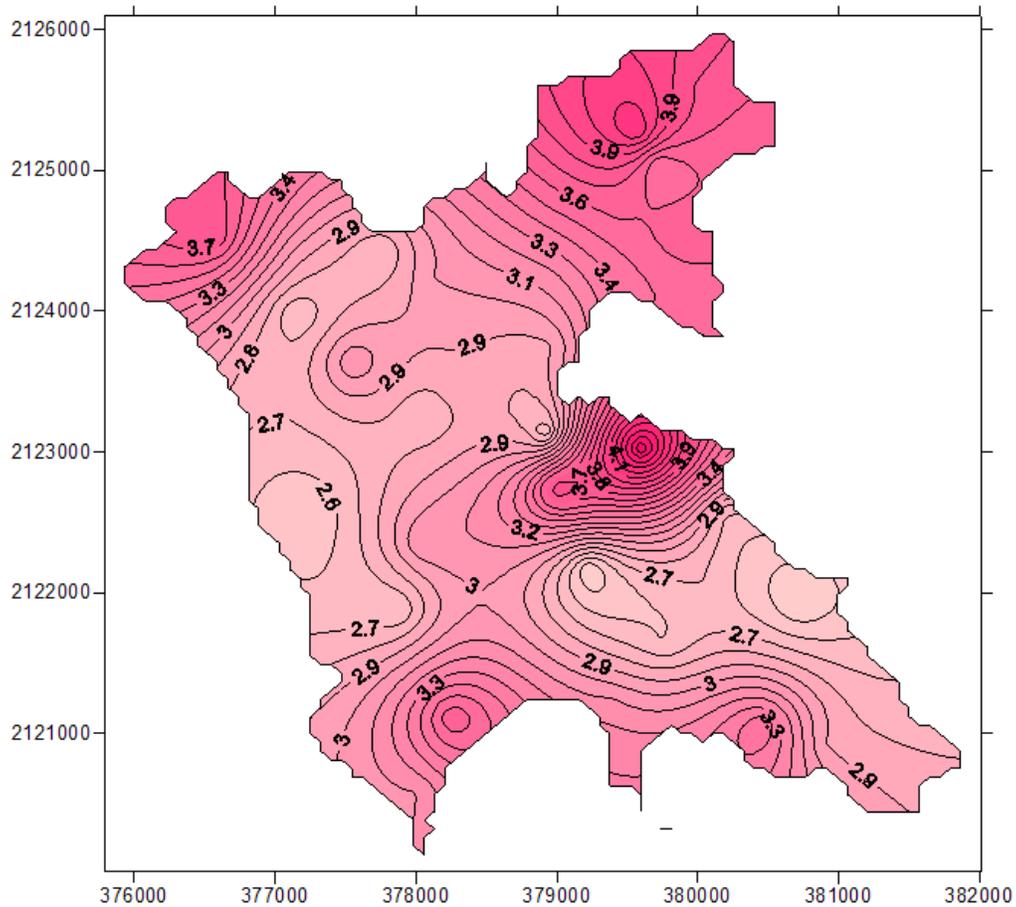
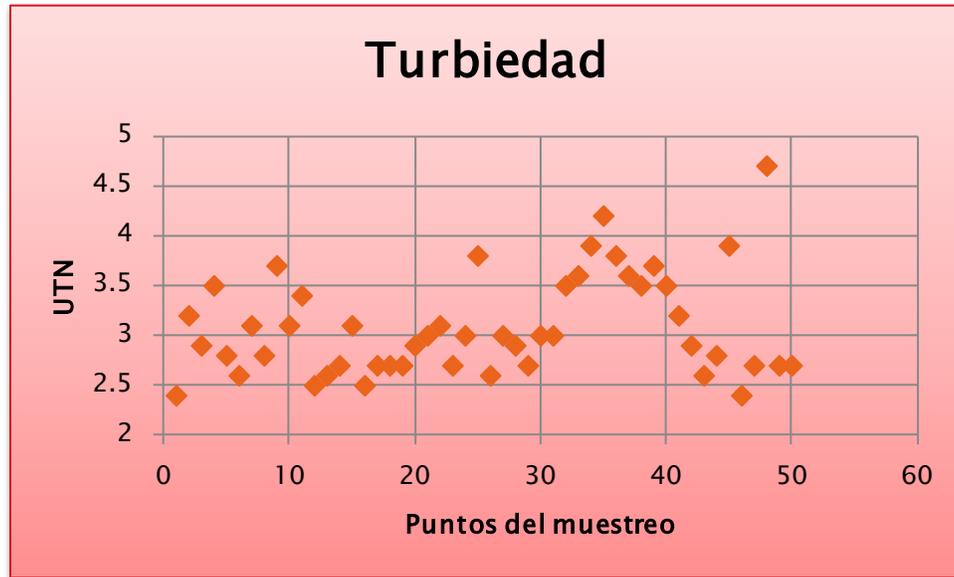


Figura 4.38 Tercera Campaña de Muestreo. Turbiedad

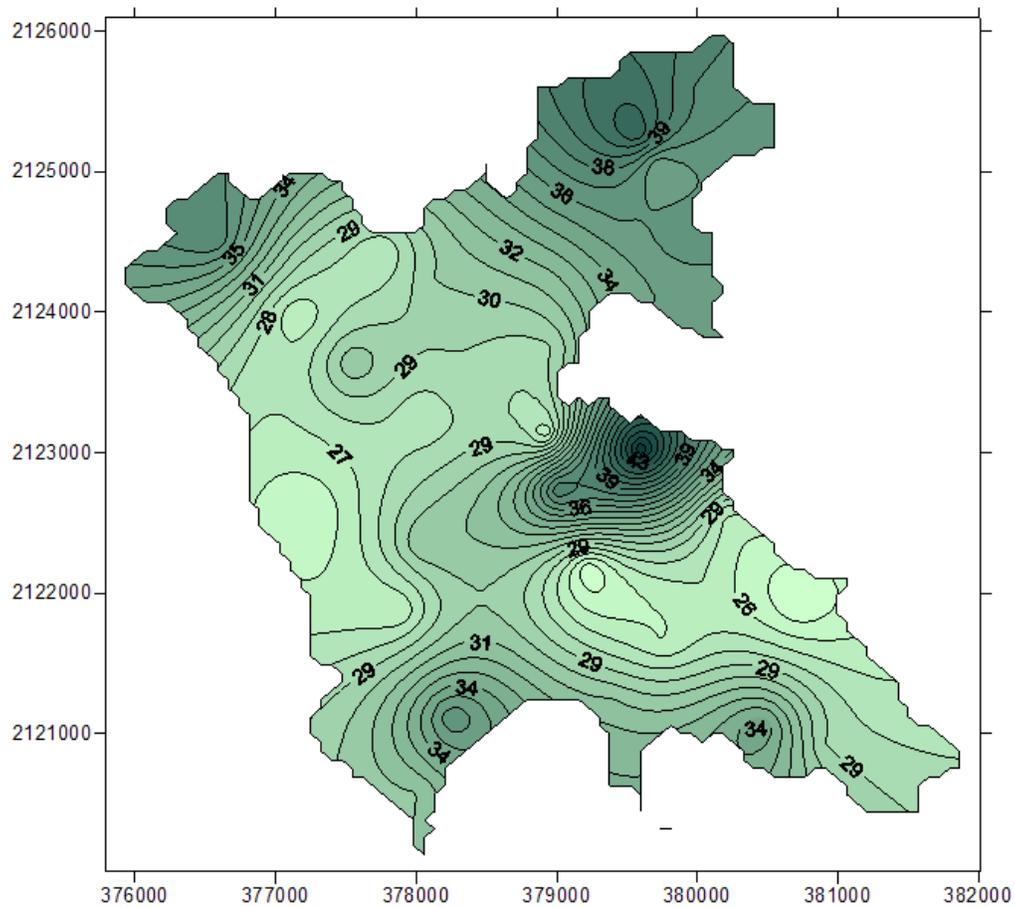


Figura 4.39 Tercera Campaña de Muestreo. SST

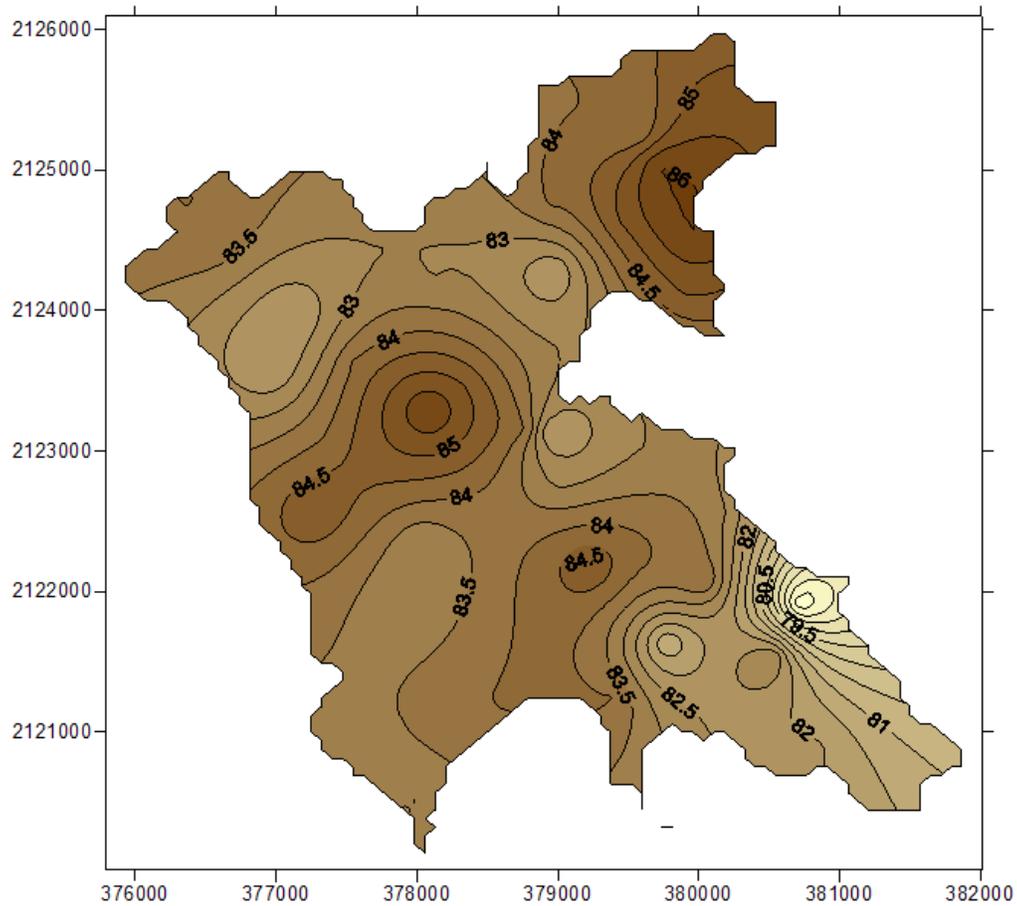
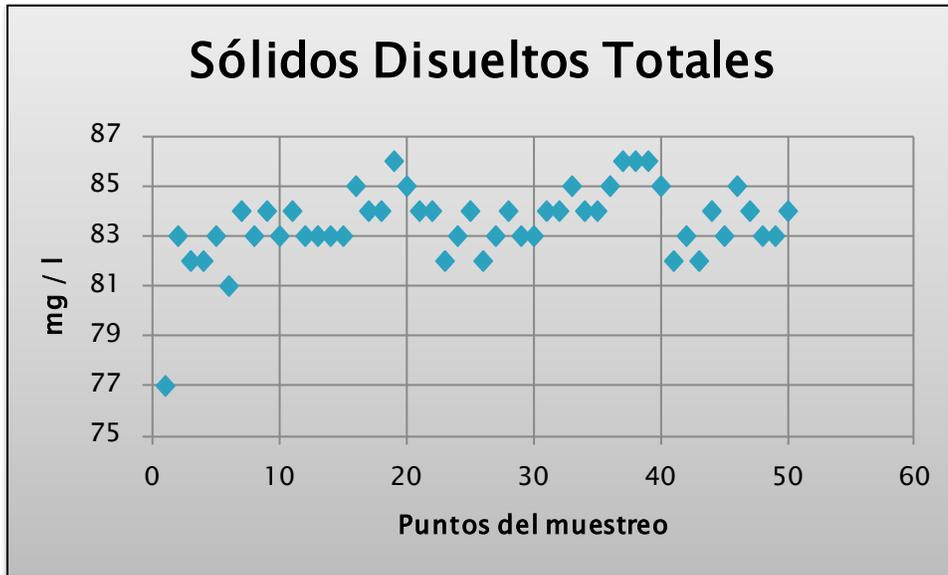


Figura 4.40 Tercera Campaña de Muestreo. SDT

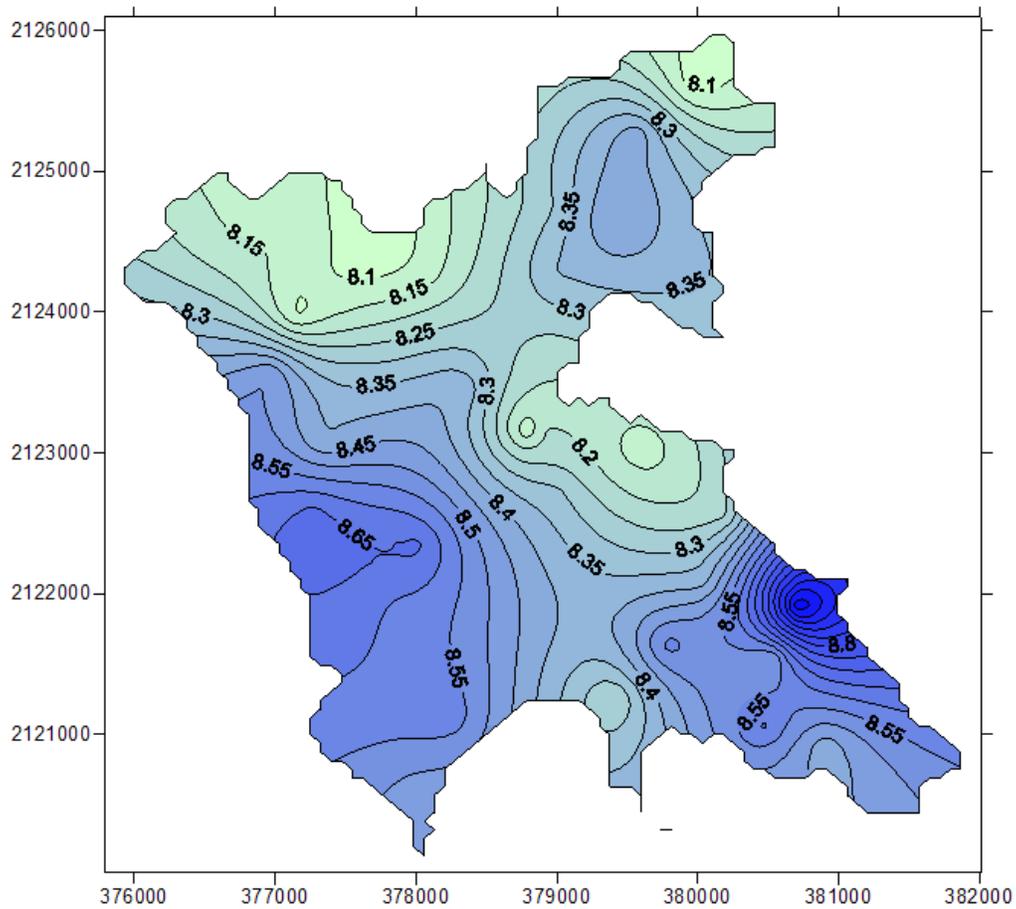
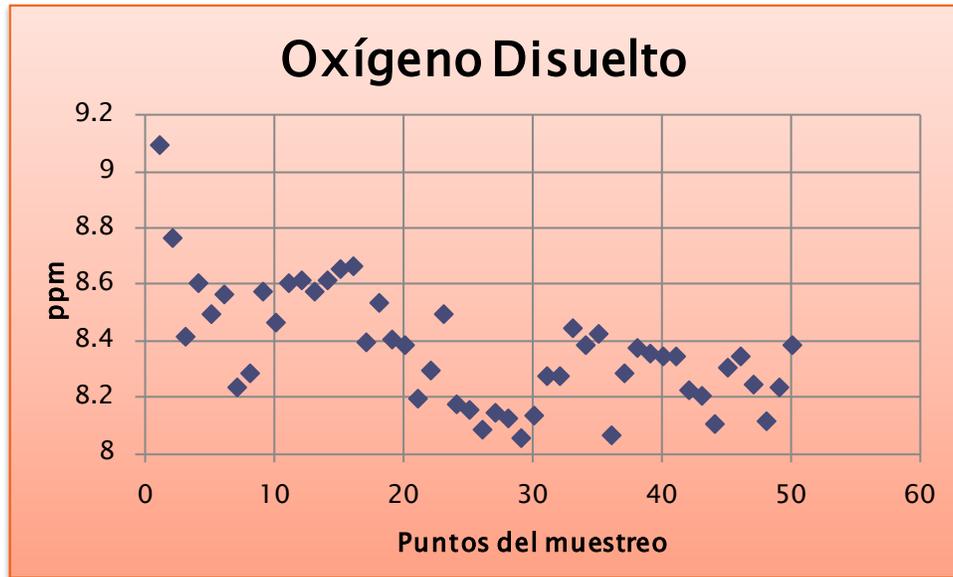


Figura 4.41 Tercera Campaña de Muestreo. O2 disuelto

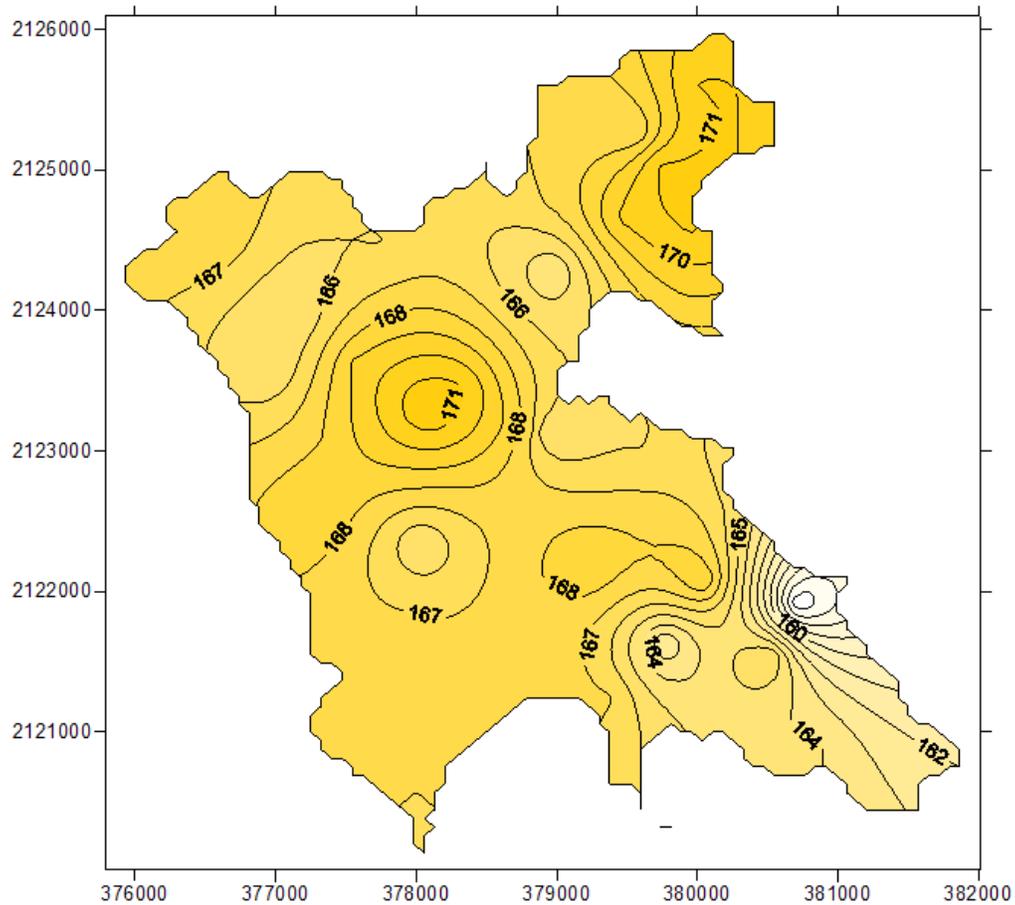
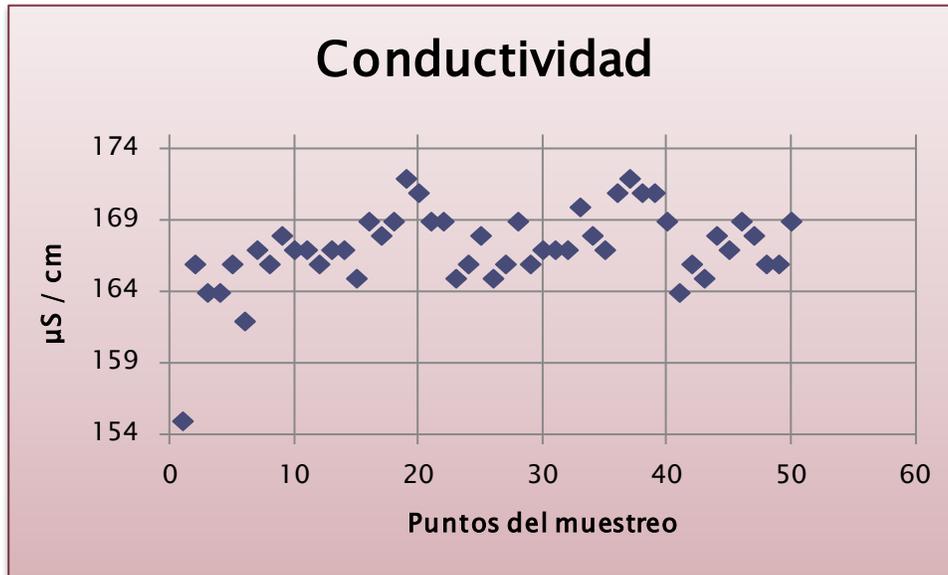


Figura 4.42 Tercera Campaña de Muestreo. Conductividad

**CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO A PARTIR DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO (PROYECTO PAPIIT 2010 - 2011)**

Estación	Temp (°C)	pH	ORP	OD %	OD ppm	µS/cm	µS/cm A	MOhm-c m	TDS (mg/l)	Salinidad	P mbar	Disco secchi (m)	Turb (NTU)	SST (mg/l)
1	21.03	9.06	-499	125.9	9.1	155	143	0.0065	77	0.07	827.1	827.1	2.4	24
2	21.28	9.14	-420.2	122.1	8.77	166	154	0.006	83	0.08	826	826	3.2	32
3	21.07	9.18	-405.1	116.8	8.42	164	152	0.0061	82	0.08	825.7	825.7	2.9	29
4	20.79	9.19	-400.8	118.9	8.61	164	151	0.0061	82	0.08	824.8	824.8	3.5	35
5	21.06	9.21	-394.7	118	8.5	166	154	0.006	83	0.08	824.5	824.5	2.8	28
6	20.64	9.21	-400	118.1	8.57	162	149	0.0062	81	0.08	823.9	823.9	2.6	26
7	20.82	9.19	-392.8	114	8.24	167	154	0.006	84	0.08	823.7	823.7	3.1	31
8	20.71	9.19	-395	114.5	8.29	166	153	0.006	83	0.08	823.5	823.5	2.8	28
9	20.6	9.21	-393.1	118.3	8.58	168	154	0.006	84	0.08	823.2	823.2	3.7	37
10	20.61	9.16	-393.1	116.8	8.47	167	153	0.006	83	0.08	823.1	823.1	3.1	31
11	20.47	9.15	-399.3	118.5	8.61	167	153	0.006	84	0.08	822.8	822.8	3.4	34
12	20.74	9.21	-412.1	119.3	8.62	166	152	0.006	83	0.08	822.5	822.5	2.5	25
13	21.02	9.17	-397.8	119.4	8.58	167	154	0.006	83	0.08	822.3	822.3	2.6	26
14	20.82	9.37	-397	119.5	8.62	167	153	0.006	83	0.08	822.4	822.4	2.7	27
15	20.64	9.22	-403	119.7	8.66	165	152	0.006	83	0.08	822.2	822.2	3.1	31
16	20.51	9.21	-402.6	119.4	8.67	169	155	0.0059	85	0.08	822.1	822.1	2.5	25
17	20.41	9.2	-395.1	115.5	8.4	168	154	0.0059	84	0.08	822	822	2.7	27
18	20.58	9.21	-395.6	117.9	8.54	169	155	0.0059	84	0.08	821.8	821.8	2.7	27
19	20.83	9.21	-384.8	116.7	8.41	172	159	0.0058	86	0.08	821.9	821.9	2.7	27
20	21.05	9.22	-390.1	116.8	8.39	171	158	0.0059	85	0.08	821.9	821.9	2.9	29
21	20.78	9.18	-398	113.6	8.2	169	155	0.0059	84	0.08	821.9	821.9	3	30
22	20.74	9.17	-395	114.9	8.3	169	155	0.0059	84	0.08	821.8	821.8	3.1	31
23	20.57	9.2	-420.4	117.3	8.5	165	151	0.0061	82	0.08	821.7	821.7	2.7	27
24	20.82	9.2	-409.2	113.4	8.18	166	153	0.006	83	0.08	821.8	821.8	3	30
25	20.67	9.16	-402.8	112.9	8.16	168	154	0.006	84	0.08	821.8	821.8	3.8	38
26	20.83	9.18	-414.7	112.2	8.09	165	152	0.0061	82	0.08	822	822	2.6	26
27	20.85	9.17	-408.3	113.1	8.15	166	153	0.006	83	0.08	822.1	822.1	3	30
28	21.13	9.19	-403.3	113.3	8.13	169	156	0.0059	84	0.08	822.4	822.4	2.9	29
29	21.22	9.2	-406.2	112.5	8.06	166	154	0.006	83	0.08	822.5	822.5	2.7	27
30	21.04	9.18	-407	113.4	8.14	167	154	0.006	83	0.08	822.3	822.3	3	30
31	20.83	9.19	-401.1	114.8	8.28	167	154	0.006	84	0.08	822.2	822.2	3	30
32	21.03	9.2	-404.4	115.2	8.28	167	154	0.006	84	0.08	822.4	822.4	3.5	35
33	21.16	9.19	-411	117.8	8.45	170	157	0.0059	85	0.08	823.1	823.1	3.6	36
34	21.7	9.17	-403.7	118.2	8.39	168	157	0.006	84	0.08	823.3	823.3	3.9	39
35	21.34	9.19	-405	117.9	8.43	167	156	0.006	84	0.08	823.4	823.4	4.2	42
36	21.67	9.16	-400.7	113.7	8.07	171	160	0.0059	85	0.08	823.4	823.4	3.8	38
37	21.66	9.19	-396.4	116.6	8.29	172	161	0.0058	86	0.08	823.2	823.2	3.6	36
38	21.33	9.2	-398.1	117.3	8.38	171	159	0.0058	86	0.08	822.5	822.5	3.5	35
39	21.64	9.21	-398.4	118.8	8.36	171	160	0.0058	86	0.08	815.5	815.5	3.7	37
40	21.54	9.22	-395.9	118.6	8.35	169	158	0.0059	85	0.08	814.5	814.5	3.5	35
41	20.87	9.21	-412.8	117.2	8.35	164	151	0.0061	82	0.08	813.4	813.4	3.2	32
42	21.11	9.22	-407.9	116.1	8.23	166	154	0.006	83	0.08	813.2	813.2	2.9	29
43	21.06	9.21	-409.2	115.7	8.21	165	152	0.0061	82	0.08	812.7	812.7	2.6	26
44	21.03	9.23	-394.9	114.4	8.11	168	155	0.006	84	0.08	812.4	812.4	2.8	28
45	20.81	9.23	-390.5	116.6	8.31	167	154	0.006	83	0.08	812.1	812.1	3.9	39
46	20.8	9.26	-389.3	117.3	8.35	169	156	0.0059	85	0.08	811.8	811.8	2.4	24
47	21.04	9.21	-392.7	116.4	8.25	168	156	0.0059	84	0.08	811.5	811.5	2.7	27
48	21.51	9.21	-397.3	115.6	8.12	166	155	0.006	83	0.08	811.9	811.9	4.7	47
49	21.33	9.24	-398.8	116.9	8.24	166	154	0.006	83	0.08	811.7	811.7	2.7	27
50	20.96	9.23	-389.4	118.2	8.39	169	156	0.0059	84	0.08	811.4	811.4	2.7	27

Tabla 4.7 Parámetros obtenidos en la Tercera Campaña de Muestreo.

*Comparativa de los seis  
Parámetros Evaluados  
Parcialmente en las  
Campañas de Muestreo*

### Primera Campaña

Estación	DBO (mg/l)	N NH3 (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	CT (UFC) NMP	CF (UFC) NMP
3	22	0.06	0.4	0.18	Inc	Inc
10	25	0.01	0.7	0.11	Inc	Inc
25	25.5	0.01	0.4	0.09	Inc	Inc
37	26.5	0.06	0.5	0.1	Inc	Inc
40	25.5	0	0.6	0.09	Inc	Inc
44	27.5	0.01	0.6	0.11	Inc	Inc

### Segunda Campaña

Estación	DBO (mg/l)	N NH3 (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	CT (UFC) NMP	CF (UFC) NMP
3	1	0.05	2.2	0.18	Inc	Inc
10	7	0.01	3	0.12	Inc	Inc
25	1.5	0	3.1	0.79	Inc	Inc
37	2	0	3	0.14	Inc	Inc
40	3	0.02	2.8	0.11	Inc	Inc
44	10	0.02	3.2	0.14	Inc	Inc

### Tercera Campaña

Estación	DBO (mg/l)	N NH3 (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	CT (UFC) NMP	CF (UFC) NMP
3	4	0.1	2.7	0.17	Inc	Inc
10	4	0.05	2.4	0.14	Inc	Inc
25	4	0.09	2	0.18	Inc	Inc
37	5	0.06	2	0.16	Inc	Inc
40	4	0.01	2.4	0.16	Inc	Inc
44	2	0.08	2.5	0.15	Inc	Inc

Tabla 4.8 Comparativa de parámetros evaluados en los diferentes puntos de cada campaña de muestreo.

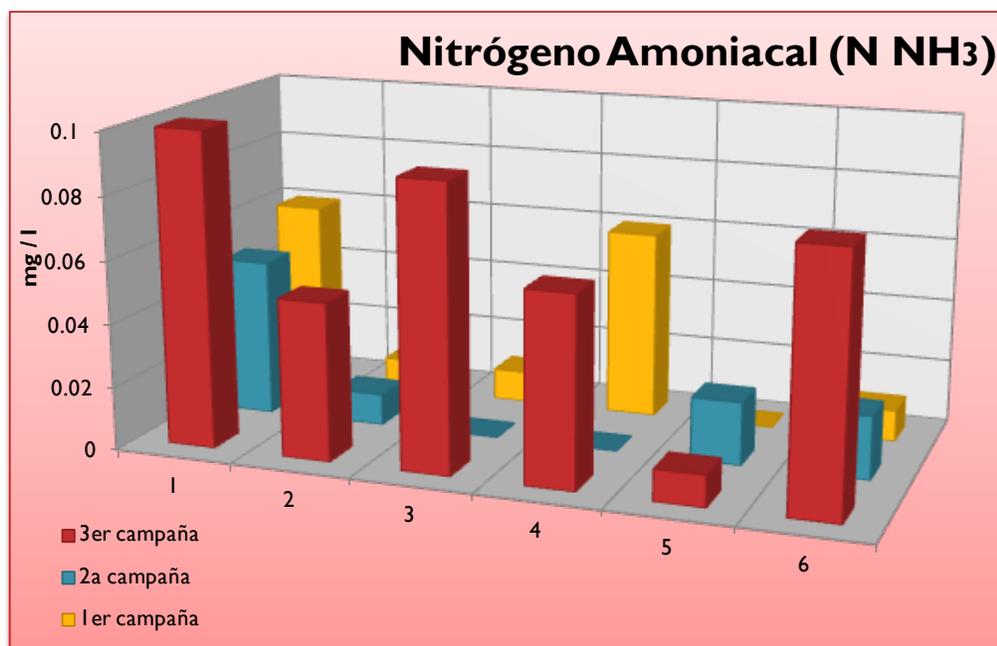
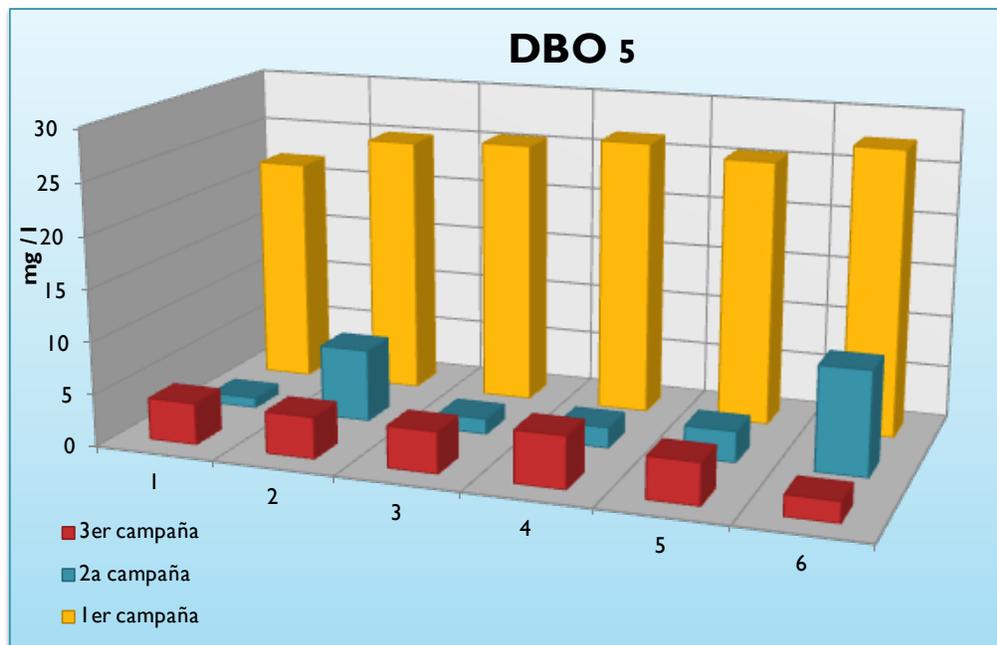


Figura 4.43 Comparativas DBO-5 y Nitrógeno Amoniacal de las campañas de muestreo para las estaciones 3, 10, 25, 37,40 y 44

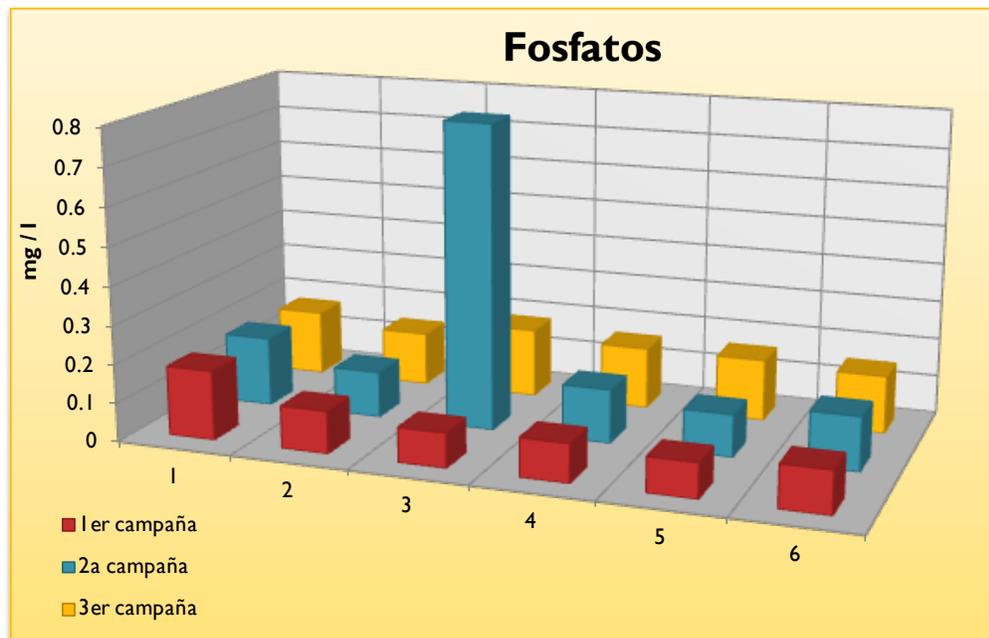
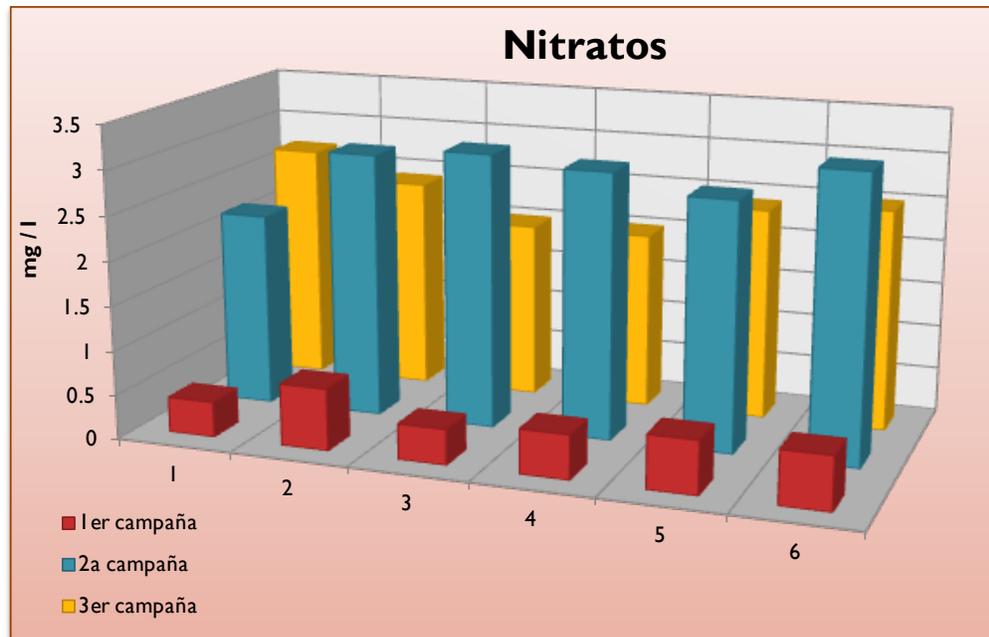


Figura 4.44 Comparativas Nitratos y Fosfatos de las campañas de muestreo para las estaciones 3, 10, 25, 37,40 y 44

# Coliformes

Para fines de evaluación de calidad, durante los tres muestreos se mantienen los valores de coliformes, tanto fecales como totales, incontables.



Figura 4.45 Comparativas Coliformes de las campañas de muestreo para las estaciones 3, 10, 25, 37,40 y 44

*El ICA para los diferentes  
puntos del muestreo y su  
Evaluación*

# PRIMER CAMPAÑA DE MUESTREO

Estación	ICA	EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO SEGÚN EL CRITERIO GENERAL	Estación	ICA	EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO SEGÚN EL CRITERIO GENERAL
1	76.82	ACEPTABLE	25	80.47	ACEPTABLE
2	78.59	ACEPTABLE	26	79.98	ACEPTABLE
3	89.38	ACEPTABLE	27	75.31	ACEPTABLE
4	79.63	ACEPTABLE	28	82.54	ACEPTABLE
5	73.40	ACEPTABLE	29	88.29	ACEPTABLE
6	73.61	ACEPTABLE	30	82.53	ACEPTABLE
7	82.47	ACEPTABLE	31	81.35	ACEPTABLE
8	97.10	NO CONTAMINADO	32	81.70	ACEPTABLE
9	82.14	ACEPTABLE	33	81.20	ACEPTABLE
10	80.64	ACEPTABLE	34	79.61	ACEPTABLE
11	81.38	ACEPTABLE	35	80.90	ACEPTABLE
12	83.86	ACEPTABLE	36	82.67	ACEPTABLE
13	81.10	ACEPTABLE	37	78.67	ACEPTABLE
14	82.75	ACEPTABLE	38	75.71	ACEPTABLE
15	83.86	ACEPTABLE	39	78.41	ACEPTABLE
16	91.16	NO CONTAMINADO	40	81.46	ACEPTABLE
17	85.04	ACEPTABLE	41	78.85	ACEPTABLE
18	84.03	ACEPTABLE	42	78.94	ACEPTABLE
19	82.85	ACEPTABLE	43	75.25	ACEPTABLE
20	81.71	ACEPTABLE	44	81.23	ACEPTABLE
21	80.70	ACEPTABLE	45	82.63	ACEPTABLE
22	79.59	ACEPTABLE	46	82.53	ACEPTABLE
23	71.08	ACEPTABLE	47	81.21	ACEPTABLE
24	85.09	ACEPTABLE	48	83.27	ACEPTABLE
25	80.47	ACEPTABLE	49	79.43	ACEPTABLE
26	79.98	ACEPTABLE	50	79.49	ACEPTABLE

Tabla 4.9 Índice de calidad del Agua y su Evaluación en la Primera Campaña de Muestreo

# PRIMER CAMPAÑA DE MUESTREO

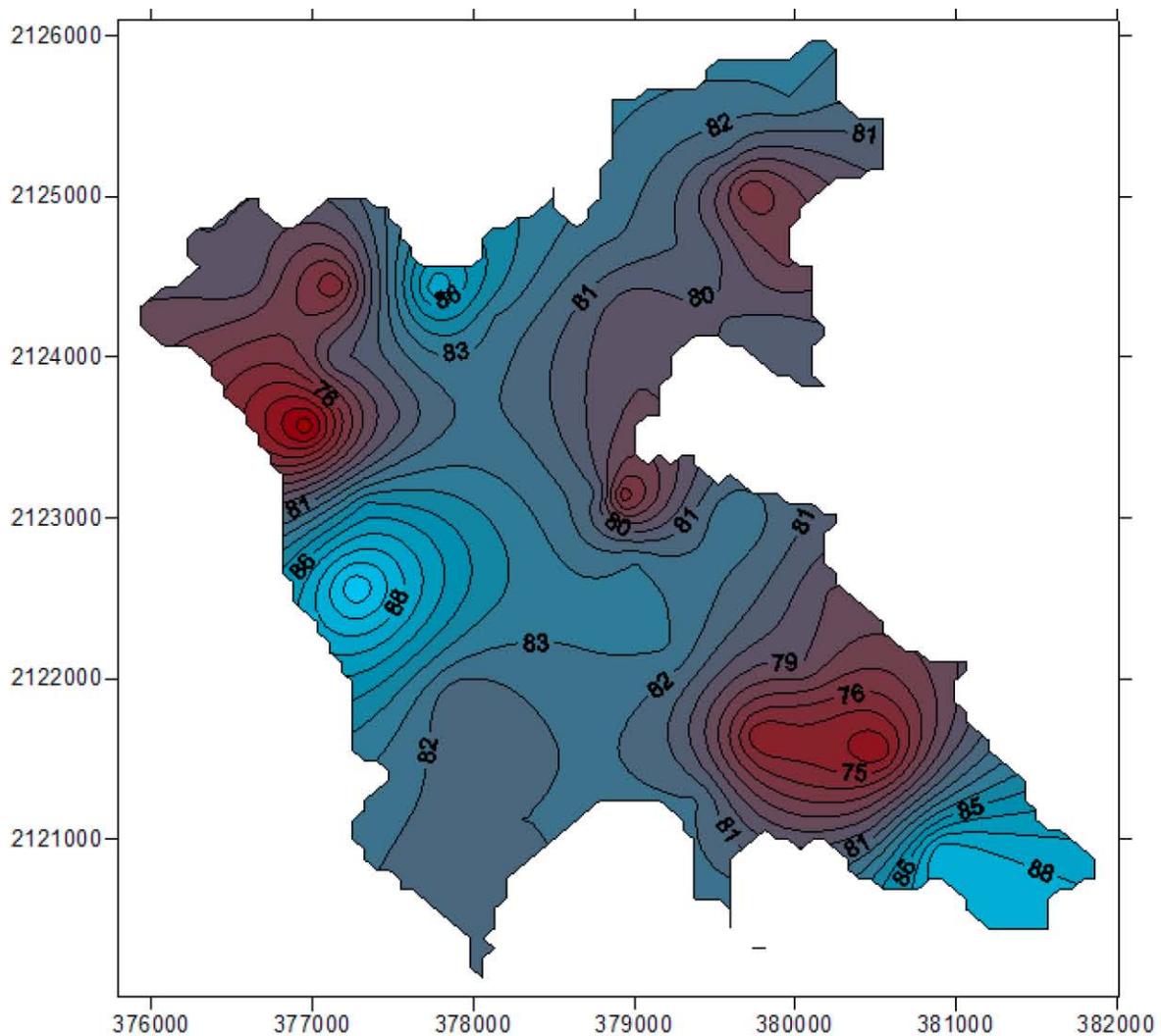


Figura 4.46(a) ICA en la Primera Campaña de Muestreo

# PRIMER CAMPAÑA DE MUESTREO

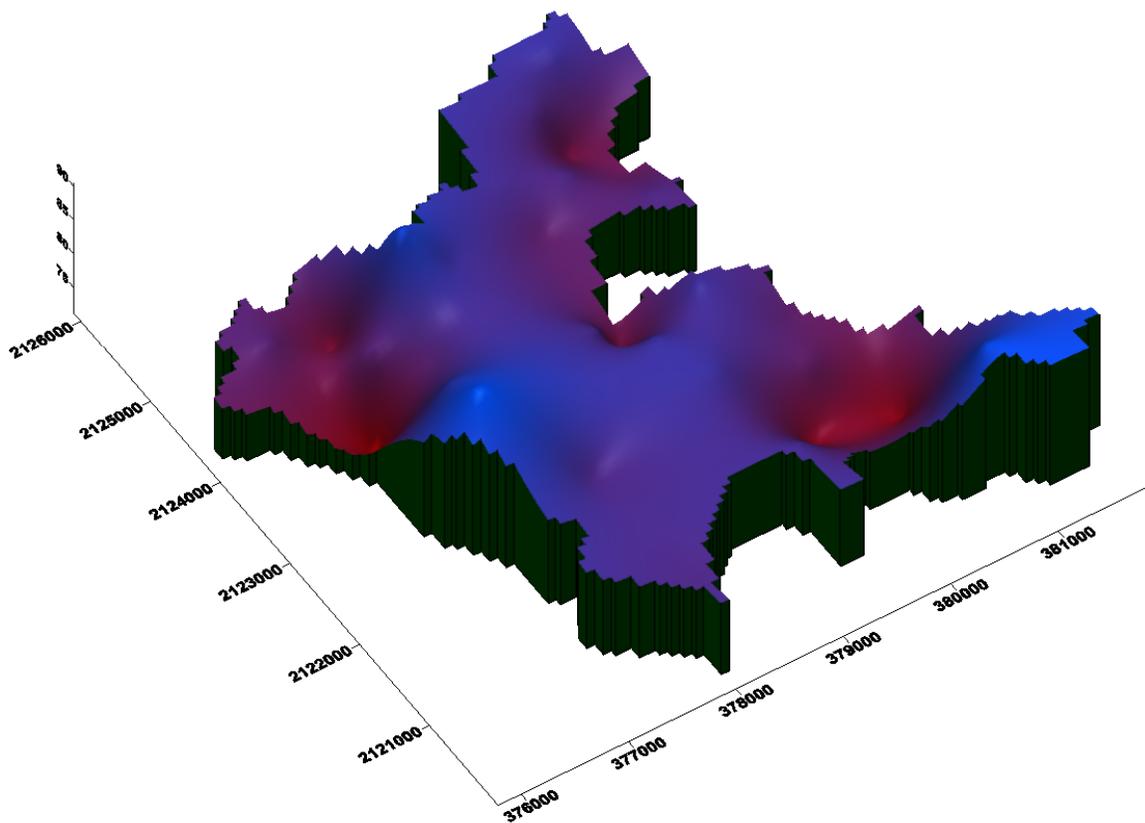


Figura 4.46(b) ICA en la Primera Campaña de Muestreo

# SEGUNDA CAMPAÑA DE MUESTREO

Estación	ICA	EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO SEGÚN EL CRITERIO GENERAL	Estación	ICA	EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO SEGÚN EL CRITERIO GENERAL
1	87.55	ACEPTABLE	25	80.71	ACEPTABLE
2	88.07	ACEPTABLE	26	81.92	ACEPTABLE
3	91.99	NO CONTAMINADO	27	82.52	ACEPTABLE
4	70.54	ACEPTABLE	28	86.63	ACEPTABLE
5	94.76	NO CONTAMINADO	29	81.56	ACEPTABLE
6	87.38	ACEPTABLE	30	81.82	ACEPTABLE
7	72.47	ACEPTABLE	31	79.12	ACEPTABLE
8	86.53	ACEPTABLE	32	82.95	ACEPTABLE
9	84.3	ACEPTABLE	33	80.83	ACEPTABLE
10	82.4	ACEPTABLE	34	83.86	ACEPTABLE
11	76.01	ACEPTABLE	35	86.64	ACEPTABLE
12	84.11	ACEPTABLE	36	87.95	ACEPTABLE
13	78.11	ACEPTABLE	37	83.35	ACEPTABLE
14	92.56	NO CONTAMINADO	38	89.79	ACEPTABLE
15	77.40	ACEPTABLE	39	93.78	NO CONTAMINADO
16	76.09	ACEPTABLE	40	91.54	NO CONTAMINADO
17	93.24	NO CONTAMINADO	41	90.39	NO CONTAMINADO
18	94.77	NO CONTAMINADO	42	91.74	NO CONTAMINADO
19	96.33	NO CONTAMINADO	43	93.17	NO CONTAMINADO
20	97.84	NO CONTAMINADO	44	95.19	NO CONTAMINADO
21	97.84	NO CONTAMINADO	45	93.33	NO CONTAMINADO
22	92.30	NO CONTAMINADO	46	90.97	NO CONTAMINADO
23	92.30	NO CONTAMINADO	47	92.71	NO CONTAMINADO
24	93.03	NO CONTAMINADO	48	96.78	NO CONTAMINADO
25	80.71	ACEPTABLE	49	72.17	ACEPTABLE
26	81.92	ACEPTABLE	50	89.27	ACEPTABLE

Tabla 4.10 Índice de calidad del Agua y su Evaluación en la Segunda Campaña de Muestreo

# SEGUNDA CAMPAÑA DE MUESTREO

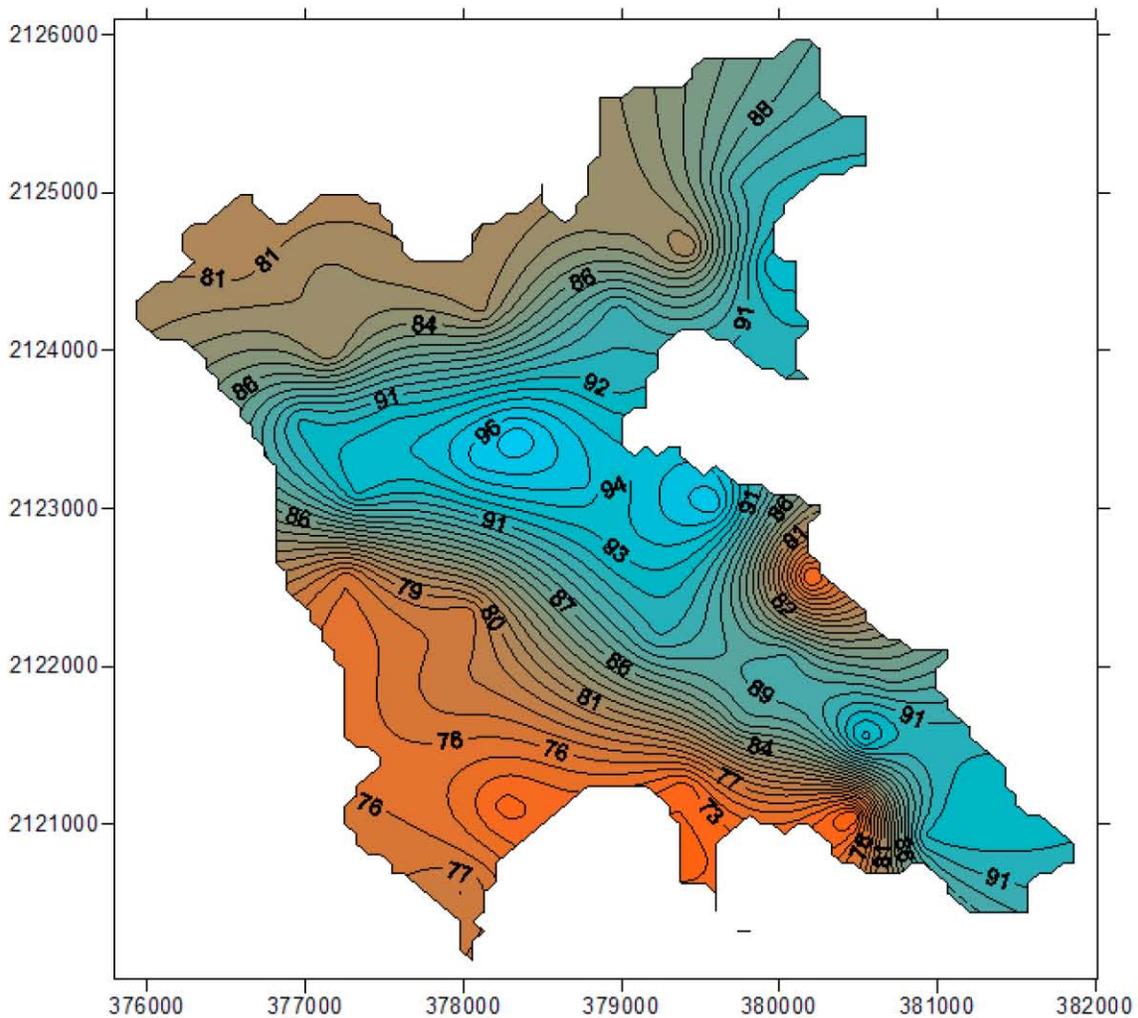


Figura 4.47(a) ICA en la Segunda Campaña de Muestreo

# SEGUNDA CAMPAÑA DE MUESTREO

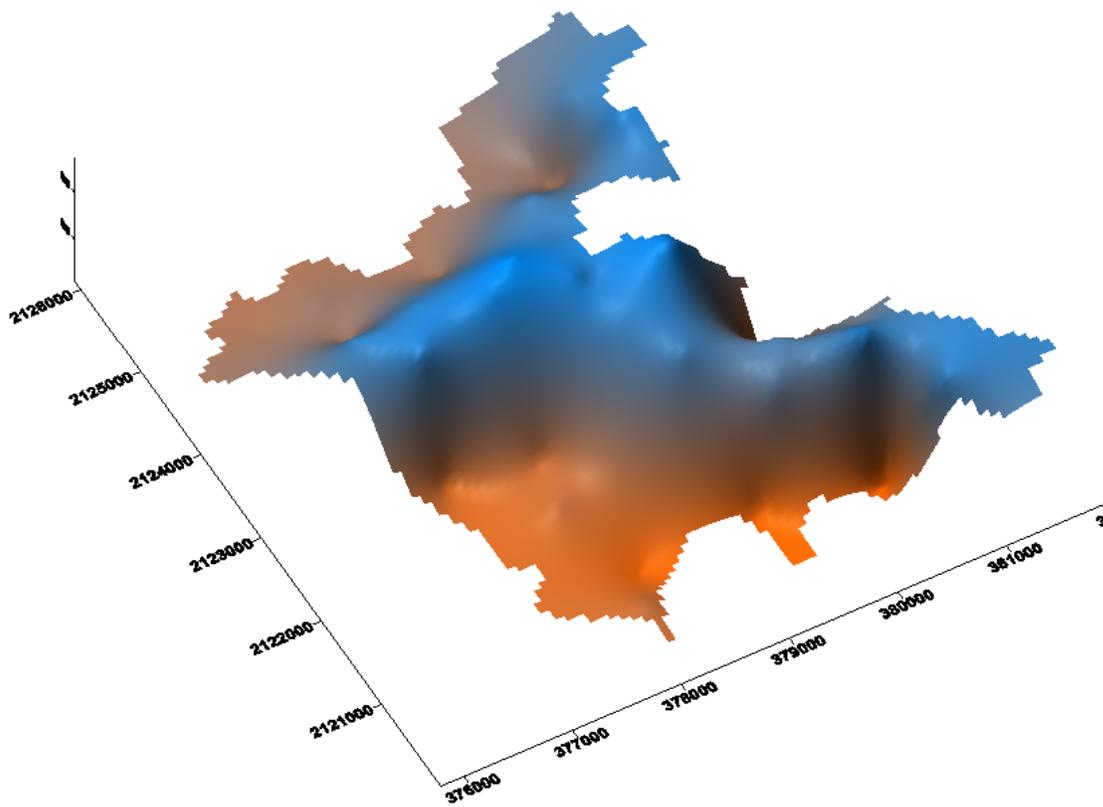


Figura 4.47(b) ICA en la Segunda Campaña de Muestreo

# TERCER CAMPAÑA DE MUESTREO

Estación	ICA	EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO SEGÚN EL CRITERIO GENERAL	Estación	ICA	EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO SEGÚN EL CRITERIO GENERAL
1	84.32	ACEPTABLE	25	76.71	ACEPTABLE
2	81.27	ACEPTABLE	26	77.57	ACEPTABLE
3	79.36	ACEPTABLE	27	77.50	ACEPTABLE
4	79.62	ACEPTABLE	28	77.58	ACEPTABLE
5	79.76	ACEPTABLE	29	77.56	ACEPTABLE
6	80.12	ACEPTABLE	30	77.56	ACEPTABLE
7	77.81	ACEPTABLE	31	78.13	ACEPTABLE
8	78.31	ACEPTABLE	32	77.87	ACEPTABLE
9	78.94	ACEPTABLE	33	78.79	ACEPTABLE
10	78.97	ACEPTABLE	34	78.86	ACEPTABLE
11	79.38	ACEPTABLE	35	78.55	ACEPTABLE
12	80.46	ACEPTABLE	36	76.99	ACEPTABLE
13	80.44	ACEPTABLE	37	78.27	ACEPTABLE
14	79.94	ACEPTABLE	38	78.56	ACEPTABLE
15	79.99	ACEPTABLE	39	78.57	ACEPTABLE
16	80.42	ACEPTABLE	40	78.61	ACEPTABLE
17	78.66	ACEPTABLE	41	78.44	ACEPTABLE
18	79.53	ACEPTABLE	42	78.17	ACEPTABLE
19	78.94	ACEPTABLE	43	78.38	ACEPTABLE
20	78.83	ACEPTABLE	44	77.43	ACEPTABLE
21	77.59	ACEPTABLE	45	77.49	ACEPTABLE
22	78.04	ACEPTABLE	46	78.92	ACEPTABLE
23	79.47	ACEPTABLE	47	78.37	ACEPTABLE
24	77.57	ACEPTABLE	48	76.67	ACEPTABLE
25	76.71	ACEPTABLE	49	78.58	ACEPTABLE
26	77.57	ACEPTABLE	50	79.00	ACEPTABLE

Tabla 4.11 Índice de calidad del Agua y su Evaluación en la Tercera Campaña de Muestreo

# TERCER CAMPAÑA DE MUESTREO

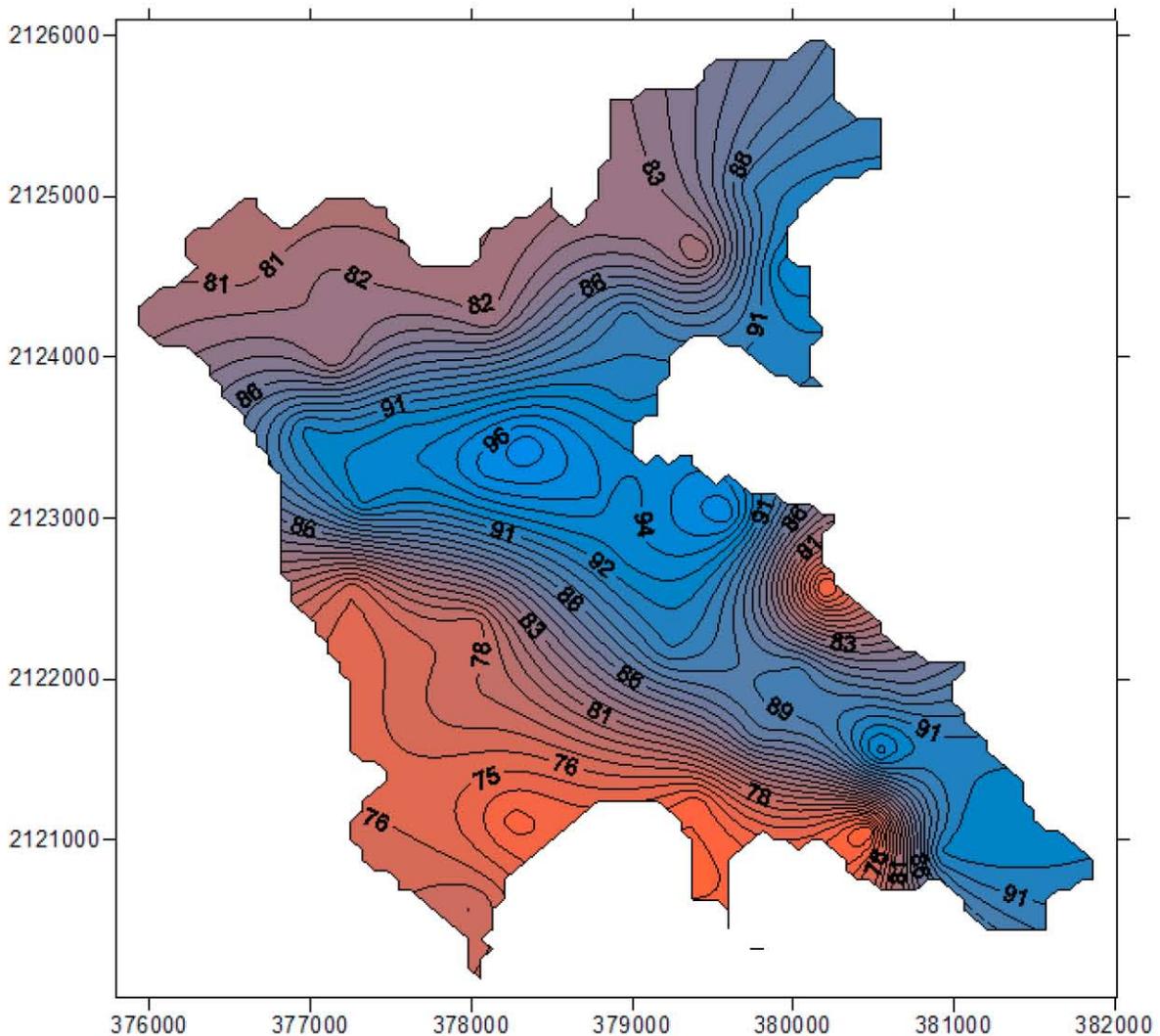


Figura 4.48(a) ICA en la Tercera Campaña de Muestreo

# TERCER CAMPAÑA DE MUESTREO

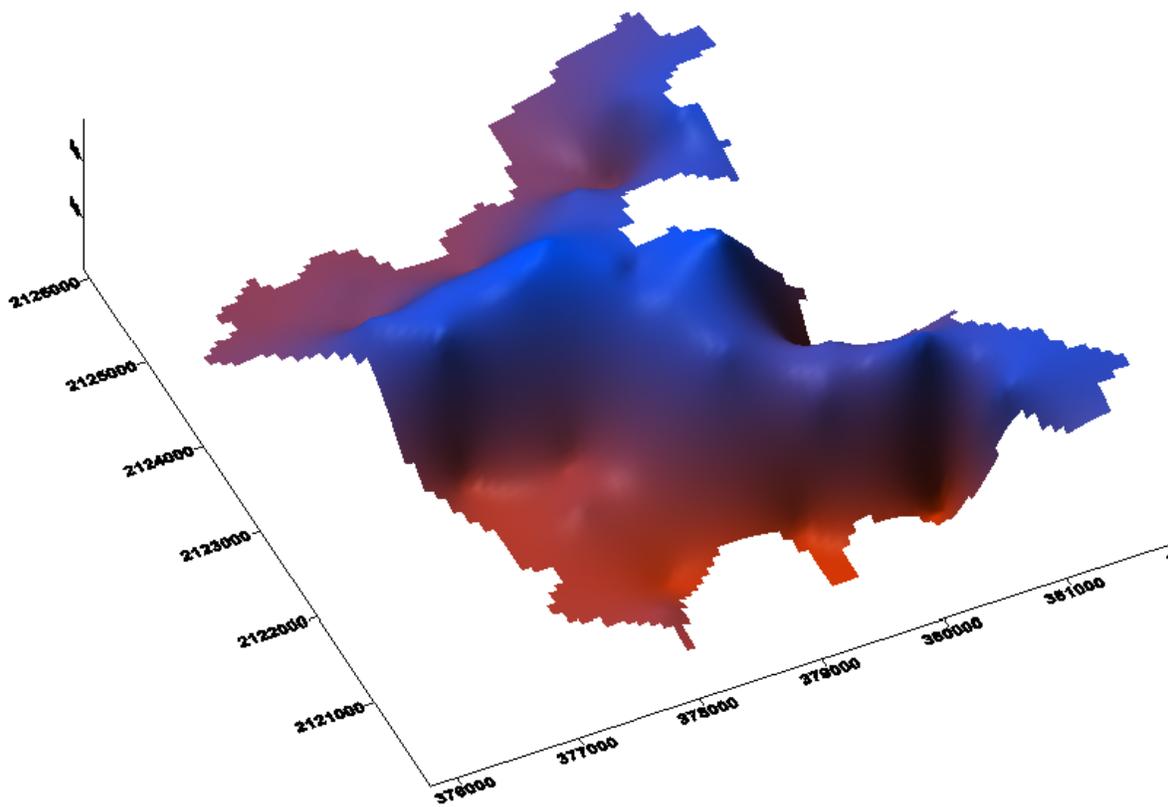


Figura 4.48(b) ICA en la Tercera Campaña de Muestreo

## **4.4 Discusión de Resultados**

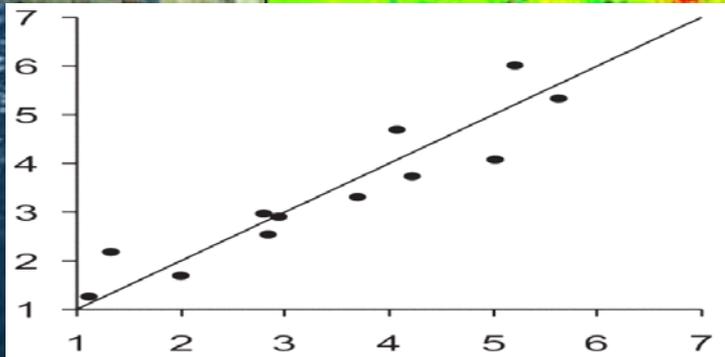
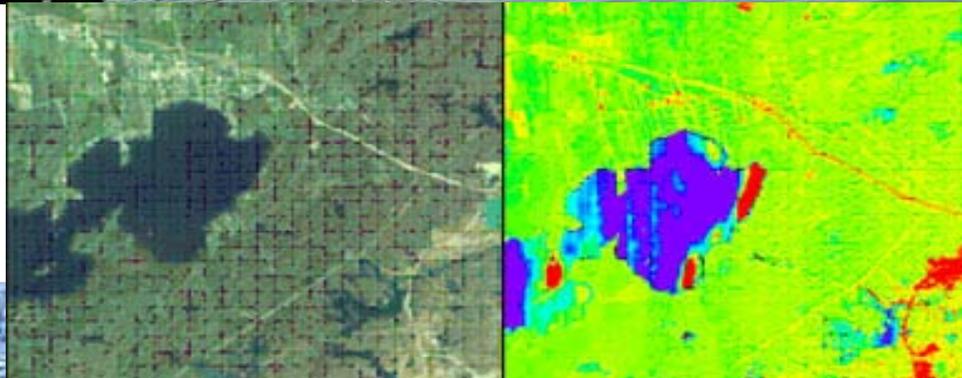
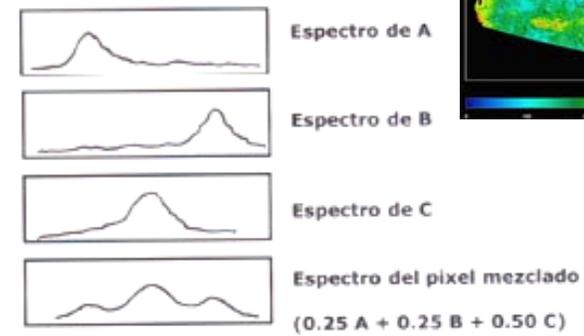
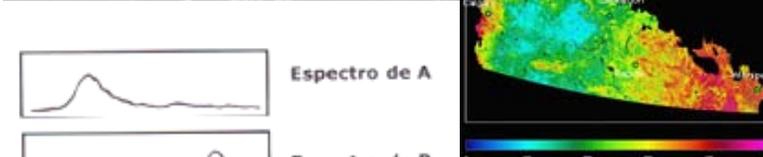
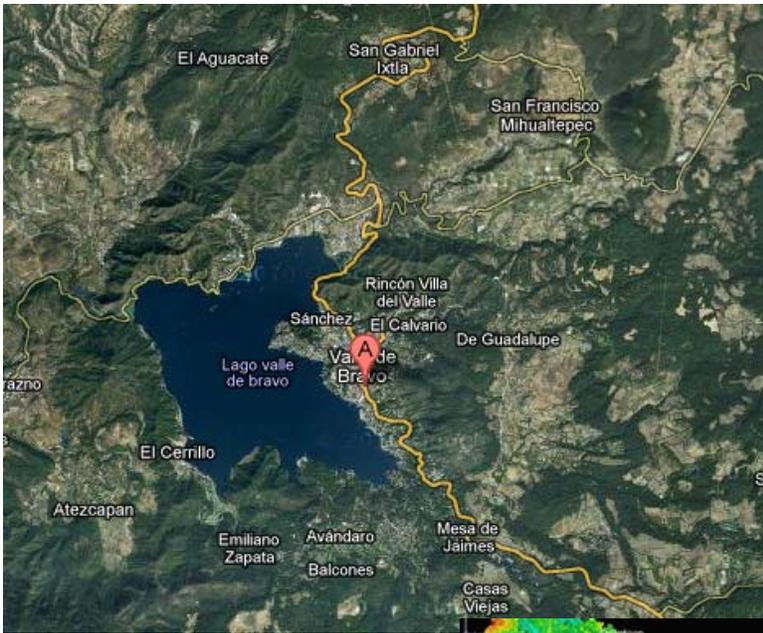
Respecto a los parámetros y la calidad del agua observados en los tres diferentes muestreos, se tiene que durante la época de lluvias las concentraciones de contaminantes resultan menores, por lo cual se deduce que existe una dilución del agua de lluvias con el agua del embalse, lo que es positivo en el sentido que cada ciclo de lluvias y estiajes existe en cierta medida un nivel de purificación del agua.

Así mismo, a través de los datos de lluvias de la CONAGUA, se tiene que el 2010 fue un muy buen año en cuanto a recuperación de niveles en la presa, por haberse presentado lluvias, y corroborando dicha información, se tiene que incluso las precipitaciones durante el año 2010 en la zona sobrepasaron el promedio existente en los últimos años. Ello coadyuvó a que la calidad del agua correspondiente a la época de estiaje del 2011 estuviera con una mejor calidad que la reportada durante el mismo periodo del año 2010, y una calificación del ICA en donde todos los puntos de muestreo aparecen como aceptables.

Así mismo, se observa que la calidad del agua en el embalse resulta menos favorable cerca de la zona donde se encuentra el embarcadero o muelle en la población de Valle de Bravo, y cerca de la desembocadura de los ríos Amanalco y Tizates. Ello corrobora que existen todavía descargas de aguas residuales crudas, lo cual es motivo de alerta.

# CAPÍTULO V

## PROPUESTA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PRESA VALLE DE BRAVO BASADA EN LA DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS USANDO IMÁGENES SATELITALES



## 5.1 Metodología

El monitoreo de la Calidad del Agua a través de las imágenes satelitales en el vaso de la presa de Valle de Bravo surge tras la necesidad de mantener una constante evaluación de la calidad de sus aguas, toda vez que el uso de estas aguas es primordial para su consumo no solo en la región de la cuenca, sino como se ha mencionado anteriormente, su uso se extiende para su utilización como agua en bloque en la Ciudad de México y su zona metropolitana.

La obtención de la calidad del agua a través de las imágenes satelitales no es posible sin haber realizado estudios previos, generando así un análisis y correlación de los parámetros de calidad del agua tomados en sitio, con los valores de radiancia obtenidos a través de los sensores con los cuales son obtenidas las imágenes satelitales.

Como resultado del estudio de investigación se establecerá una metodología que permita generar los modelos de calidad del agua para el vaso de la Presa de Valle de Bravo con los que puedan obtenerse parámetros de calidad del agua únicamente con imágenes satelitales futuras.

La metodología que se describe a continuación forma parte del procedimiento a seguir, ya sea para corroborar los resultados del proyecto, o en el mejor de los casos, aplicar la metodología a cualquier otro cuerpo de agua, que debido a su importancia o grado de contaminación, sea susceptible de llevarse a cabo una evaluación constante de la calidad del agua que los conforma:



Figura 5.1 La metodología descrita en este capítulo puede ser utilizada para llevar a cabo la evaluación de la calidad del agua en otros cuerpos de agua.

Fuente: Cortesía



Figura 5.2 La metodología propuesta en este capítulo se resume en estos pocos pasos. Fuente: Cortesía

### DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se determina la ubicación del cuerpo de agua a estudiar, obteniendo para ello las coordenadas geográficas y realizando la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas UTM.

### DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

Se determina la ubicación de la cuenca, sus límites y el área que la conforma.

### DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

Se estudia el área de la cuenca del cuerpo de agua a evaluar, determinando:

- ✓ Las características de los suelos que rodean a la cuenca.
- ✓ El drenaje y las zonas por donde escurre, es decir se determinan los cauces o ríos que aportan aguas al cuerpo de agua principal o en estudio.
- ✓ Las características fisiográficas de la zona.
- ✓ Las poblaciones que se asientan en el área de la cuenca.
- ✓ Las actividades económicas existentes.
- ✓ Las problemáticas y los impactos ambientales que existen.

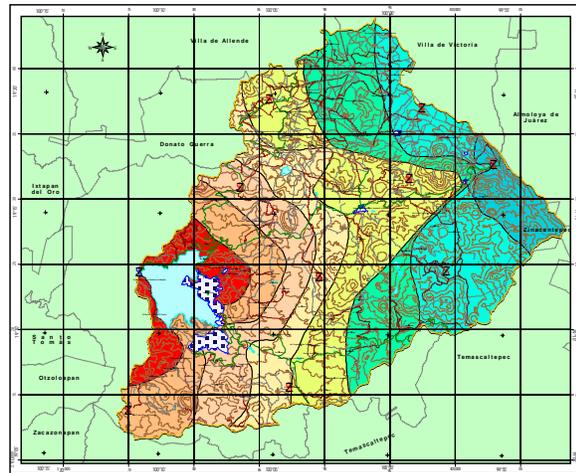


Figura 5.3 El estudio de la cuenca es fundamental para observar las problemáticas existentes y la importancia de realizar los estudios. Fuente: CONAGUA

### DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

A través de la determinación del área del cuerpo de agua a estudiar, de las problemáticas existentes en la cuenca como descargas de aguas residuales a drenes naturales, descargas de aguas residuales al mismo cuerpo en estudio, las actividades que se realizan en la región... se determina y distribuyen una serie de puntos.

Los puntos seleccionados dentro del cuerpo de agua deberán de ser localizados en el momento de realizar los muestreos (en dichos puntos es donde se deben obtener los parámetros

físico – químicos y biológicos de ser el caso, de la calidad del agua), como en las imágenes satelitales, es decir se deberá de tener la referencia de los sitios de muestreo seleccionados, preferentemente en coordenadas UTM.

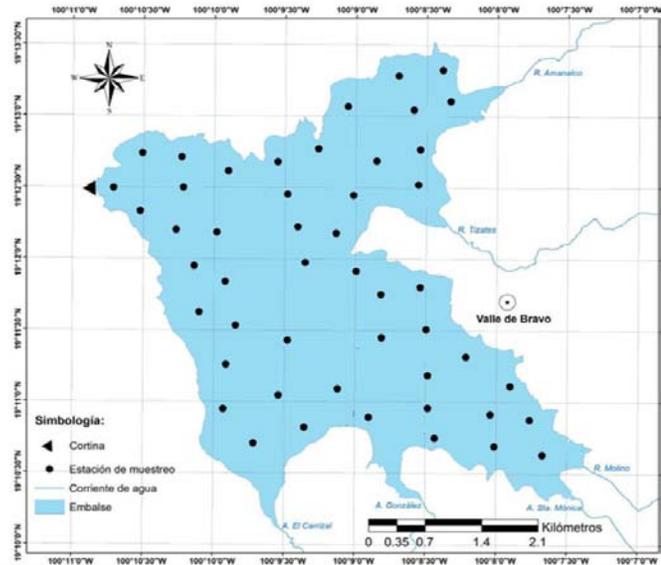


Figura 5.4 La determinación de los sitios de muestreo debe tomar en cuenta aquellas actividades realizadas alrededor y dentro del cuerpo de agua, así como generar con base a los drenes de la cuenca una hipótesis general acerca del comportamiento y distribución de la calidad del agua. Fuente:

### DETERMINACIÓN DE LOS PERIODOS DE MUESTREO

La determinación de las fechas o periodos factibles para la realización de los muestreos, se realiza con base a la periodicidad de paso de la plataforma de referencia, en este caso la plataforma LANDSAT, la cual a través de sus sensores provee las imágenes satelitales y la información de las bandas espectrales de nuestro interés.

Es importante mencionar que las mediciones de los parámetros de calidad del agua se deben de tomar en el sitio, si bien no es posible tomarlas en el mismo instante, convendría realizarlos alrededor de las horas en la que la plataforma realice la toma de imágenes, ya que ello generará que el modelo cuente con la fidelidad suficiente para generar la confiabilidad deseada en el en la predicción.

Así mismo, y aunado a las fechas factibles, se deben vigilar y observar los diferentes periodos del año, para asegurar que se incluya en los estudios la variación en los parámetros de calidad del agua, como sería en época de estiaje y tras la época de lluvias. La dilución, el arrastre de sedimentos, la temperatura y todo lo que ello conlleva, genera cambios notables en la calidad de agua existente entre una estación del año a otra.

### *MUESTREO EN SITIO Y LA OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD*

Tras la verificación y corroboración de las fechas de muestreo, se realiza la toma de algunos de los parámetros, como lo es la profundidad del disco de Secchi, parámetros determinados a través instrumentos que midan en sitio (por ejemplo la conductividad, los sólidos disueltos totales, la salinidad...), y de las muestras y su respectivo análisis físico – químico y biológico en laboratorio.



Figura 5.5 El muestreo en sitio genera los datos para realizar la comparativa con los valores de las bandas de las imágenes satelitales. Fuente: Manual de Muestreo SEMARNAT

### *DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO*

El procedimiento para el desarrollo del modelo matemático es una de las partes fundamentales del proyecto, ya que con base en este modelo se logrará obtener para las diferentes imágenes satelitales, una predicción confiable de parámetros como lo son los sólidos, turbiedad e índice de estado trófico.

El desarrollo del modelo estadístico conlleva el estudio de las bandas de las imágenes satelitales, la correlación de la información de las imágenes satelitales con la de los muestreos realizados, el desarrollo de los algoritmos de predicción de resultados y la corroboración de los mismos para diferentes muestreos.

El desarrollo del modelo matemático se describirá en el siguiente tema con mayor detalle.

## 5.2 Desarrollo del Modelo

El desarrollo del modelo matemático está basado en las características espectrales las cuales definen los valores de radiancia en las imágenes satelitales.

El desarrollo del modelo deberá considera aquellos factores alteran los valores radiométricos de las imágenes satelitales. Se debe de realizar una diferenciación clara entre el cuerpo de agua y la existencia de alguna zona que corresponda a tierra o material rocoso que sobresalga del cuerpo de agua. Así mismo, la imagen satelital debe diferenciar claramente los límites del embalse a estudiar, con el fin de evitar llevar errores debido a efectos de dispersión de radiación por la incidencia de la luz solar en la "tierra firme".

Para generar el modelo estadístico, se deben de seguir una serie de pasos, los cuales conllevan a generar dentro de cierto rango de confiabilidad, las predicciones para los cuales se desarrollo el proyecto. Los pasos a seguir se pueden generalizar como se menciona en cada uno de los siguientes apartados.

### ESTUDIO DE LAS BANDAS DE LAS IMÁGENES SATELITALES

La Plataforma LANDSAT detecta a través de sus sensores siete bandas espectrales, de las cuales cuatro de ellas son de especial interés para el presente estudio.

A través de estudios realizados por la Universidad de Minnesota, el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil, la Universidad de Zaragoza en España... se ha visto que las bandas correspondientes a longitudes de onda entre los 450 nm y los 900 nm aportan información relevante acerca de parámetros como son Sólidos Disueltos Totales, los niveles de clorofila presentes y la turbiedad.

Cada una de las bandas detectadas por la plataforma, son factibles de ser cuantificadas o medidas en cuanto a los números digitales que arrojan los valores de sus pixeles. La georreferenciación de dichas imágenes será importante para realizar una comparación entre los parámetros de calidad del agua determinados en sitio y los números digitales convertidos a radiancia para obtener modelos de correlación entre ambos.

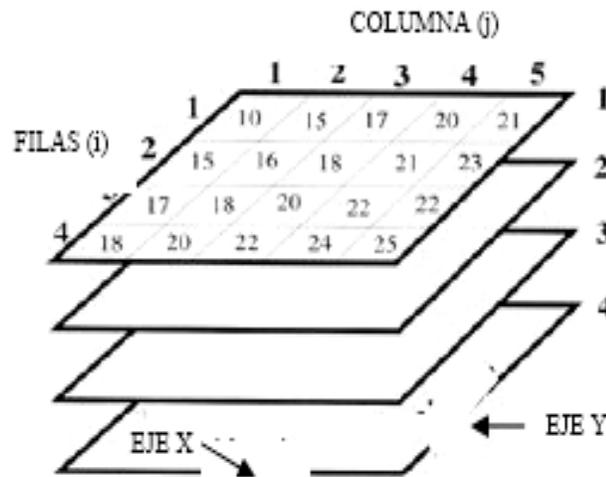


Figura 5.6 Las imágenes satelitales son factibles de ser cuantificadas a través de los números digitales contenidos en cada uno de sus pixeles. Para cada una de las bandas percibidas por los sensores, se tendrán por pixel números digitales diferentes. Fuente: Manual de Percepción Remota de TELEDET, Uruguay.

Claro está que estimar las características de calidad del agua a través de las imágenes satelitales tiene sus limitaciones. Existen factores que pueden llegar a alterar las mediciones de los sensores, como lo son las variaciones en las condiciones climáticas del sitio en estudio, variaciones en la radiación solar que incide en el agua, interferencias u obstáculos externos al cuerpo de agua, presentes en la atmósfera, etc.

*CORRELACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES Y LOS MUESTREOS REALIZADOS*

La conversión de los niveles digitales a reflectancia se realiza a través de la conversión de los números digitales obtenidos de las bandas espectrales con la ecuación 5.1. Dicha conversión incorpora las variaciones debidas a los ángulos del zenit solar y la incidencia de las radiaciones solares.

A través de la siguiente ecuación, los números digitales de las bandas espectrales son convertidos a valores de reflectancia, para cada una de las bandas:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi d_s^2 (\alpha_{\lambda} + \beta_{\lambda} DN_{\lambda})}{E_{0\lambda} \cos \mu_s}$$

Donde:

- $\rho_{\lambda}$  Valor de reflectancia para cada una de las bandas
- $d_s$  Distancia existente entre la Tierra y el Sol, expresada en Unidades Astronómicas
- $\alpha_{\lambda}$  y  $\beta_{\lambda}$  Son coeficientes de calibración existentes para cada una de las bandas en los diferentes sensores. Los valores son obtenidos directamente del fabricante de la plataforma.
- $E_{0\lambda}$  Es una medida de la radiancia media solar debido a la exposición atmosférica
- $\mu_s$  Es el ángulo del zenit solar
- $DN_{\lambda}$  Es el número digital correspondiente a la banda

Ecuación 5.1 Ecuación referente a la conversión de los números digitales en valores de reflectancia.

Mediante este proceso, conocido como la obtención de las firmas espectrales, se realizó un concentrado de la información obtenida para cada uno de los puntos de muestreo acordados previamente.

Continuando con este proceso, se comparan las mediciones de los parámetros de calidad del agua obtenidos a través de la realización de los muestreos. Los mismos parámetros obtenidos son comparados, para verificar que los datos sean confiables, y no existan errores generados al momento de obtener los resultados en el sitio.

En el proyecto se buscó obtener modelos para tres parámetros:

- ✚ Índice de Estado Trófico, a través de la Profundidad del Disco de Secchi (PDS)
- ✚ Turbiedad
- ✚ Sólidos Disueltos Totales

Se decidió utilizar las mediciones de campo de la PDS para calcular el Índice de Estado Trófico (IET, TSI por sus siglas en inglés). Esto se fundamenta en dos razones principales: realizar la regresión con una medida estandarizada y obtener valores crecientes a mayor turbiedad del agua. Recordemos que mientras más grande sea el valor de la PDS, el agua es menos turbia, y por el contrario, a mayor valor del IET, el agua es más turbia.

La obtención del IET se fundamenta en la propuesta de Carlson (1977) que relaciona la profundidad del disco con un valor que da una idea del estado trófico del embalse. A pesar de que el estado trófico de un cuerpo de agua depende de muchos factores, como puede ser la carga de nutrientes, la concentración de nutrientes, productividad, cantidad y calidad de la fauna y la flora, morfología del lago, etc., algunos de éstos están interrelacionados y puede considerarse uno o varios parámetros representativos para tener una idea del estado trófico del cuerpo de agua. Basado en esta hipótesis, el mismo autor propone basarse en un criterio paramétrico único para desarrollar un índice que muestre el estado trófico del cuerpo de agua en estudio.

El criterio base es la PDS, uno de los parámetros más fáciles de determinar en campo, es un indicador indirecto de la turbiedad del agua. Carlson construyó el índice con base en todos los posibles valores que puede adquirir este parámetro. De hecho, el autor relacionó el parámetro con la población de algas

en el cuerpo de agua, a través de la relación de la penetración de la luz con el crecimiento de estos organismos.

El autor propone la relación:

$$TSI(SD) = 10 \left( 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$$

Donde:

***TSI (SD)* Es el Índice del Estado Trófico en función de la profundidad del disco de Secchi**

***SD* Es la profundidad registrada del Disco de Secchi en la realización de los muestreos**

Ecuación 5.2 Ecuación para la obtención del índice de estado trófico a través de la profundidad registrada para el disco de Secchi.

### DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA EL MODELO

Cuando existe la necesidad de obtener una variable continua dependiente a través de una serie de variables independientes, se realiza un proceso conocido como análisis de regresión; al existir una gran cantidad de variables independientes para la generación de una dependiente, se aplica la regresión lineal múltiple. Esta regresión permite descubrir como las variables independientes, en este caso formadas por las reflectancias de las diferentes bandas, predicen la variable dependiente, constituida por el Índice de Estado Tráfico.

La determinación del modelo matemático por medio de la regresión lineal permite determinar el mejor modelo a seguir para la predicción de la calidad del agua que se ajuste mejor a los parámetros relacionados con la calidad del agua.

Con base a la regresión lineal generada, se determina una ecuación, propia únicamente para el modelo del cuerpo de agua en estudio, y se evalúa el comportamiento de dicho modelo. Para la generación de la ecuación, se puede llevar a correlacionar la cantidad de bandas necesarias para llevar a cabo el mejor ajuste entre los valores de dichas bandas y el Índice de Estado Tráfico.

La ecuación quedará expresada en función de las bandas espectrales:

$$TSI = a TM + b TM^2 + c TM^3 + d TM^4$$

Donde:

*TSI*      **Es el Índice del Estado Tráfico**

*a, b, c, d*      **Son los coeficientes obtenidos a través de la regresión lineal múltiple, para cada una de las bandas espectrales**

*TM*      **Son los valores de reflectancia para el punto donde se desea obtener la información del Índice del Estado Tráfico.**

### *COMPROBACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DEL MODELO*

El método de evaluación del modelo consiste en verificar la correlación entre valores observados de calidad del agua y los valores de las predicciones realizadas a través del modelo generado.

Se debe de observar que entre los resultados obtenidos y los de predicción exista una fuerte relación, ya que el modelo final involucra tener un gran grado de aproximación y una confiabilidad aceptable.

Tras realizar todo el procedimiento de verificación de datos y considera como aceptable el modelo, se procede a extrapolar la ecuación obtenida a todo el embalse, es decir tras haber comprobado que la ecuación funciona para los puntos de muestreo, se acepta que la ecuación funcionará para cualquier punto existente dentro del embalse.

Extrapolando la ecuación a cualquier punto del embalse, dado que se tiene la imagen satelital, se puede obtener los parámetros de calidad del agua, y generar el análisis de la información en cuanto a los sitios con mayor nivel de perturbación de la calidad, sitios con la mejor calidad del agua, y con ello proceder a obtener las gráficas y el análisis de información deseado.

### 5.3 Resultados

Con los valores de reflectancia se realizaron pruebas con diversas combinaciones de datos de ingreso (bandas) para encontrar los modelos de regresión lineal más adecuados.

Las regresiones comienzan al examinar el efecto combinado de todas las posibles o probables variables explicativas que intervengan en un fenómeno (variable dependiente). Posteriormente, las variables explicativas se van eliminando una a una para encontrar las que tienen mayor relevancia en la relación. Así se puede conocer cuál es la aportación de cada una de las variables explicativas respecto a las otras en la predicción de la variable dependiente.

Un modelo de regresión lineal múltiple consiste en relacionar una serie de variables explicativas con una variable dependiente para poder estimarla.

Para los datos de entrada de cada modelo, se decidió generar números aleatorios para agrupar 30 sitios de muestreo por cada campaña y el resto se excluyeron en la generación de los modelos para que pudieran ser utilizados como controles para cotejar las expresiones una vez generadas. Para la campaña del 25 de abril quedaron 11 puntos para cotejar y para la del 2 de octubre quedaron 8.

El criterio para seleccionar el modelo más adecuado se basó en que el error fuera razonablemente pequeño al aplicarlo en los puntos de control y que el número de bandas utilizadas fuera el mínimo. Los mejores resultados se enlistan a continuación:

#### Índice de Estado Tráfico:

$$TSI = 5.466 - 92.645 B + 53.9 B^2 + 75.42 B^3$$

Error promedio: 2.95%

Ecuación 5.4

**Turbiedad:**

$$TURBIEDAD = 2.808 + 42.961 B^2 + 1.994 B^4$$

Error promedio: 12.24%

Ecuación 5.5

**Sólidos Disueltos Totales:**

$$SDT = 92.218 - 102.538 B^2 + 5.919 (B^4 / B^2)$$

Error promedio: 1.71%

Ecuación 5.6

Para la comprobación de los modelos, se realizó una visita a campo el 26 y 27 de marzo de 2011 para corroborar la exactitud de los modelos obtenidos cotejándolos con un nuevo muestreo. De esta forma, los datos obtenidos en campo se pudieron ratificar al comparar lo estimado por los modelos con lo medido directamente en el cuerpo de agua.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Respecto a los parámetros y la calidad del agua observados en los tres diferentes muestreos, se tiene que durante la época de lluvias las concentraciones de contaminantes resultan menores, por lo cual se deduce que existe una dilución del agua de lluvias con el agua del embalse, lo que es positivo en el sentido que cada ciclo de lluvias y estiajes existe en cierta medida un nivel de purificación del agua.

Así mismo, a través de los datos de lluvias de la CONAGUA, se tiene que el 2010 fue un muy buen año en cuanto a recuperación de niveles en la presa, por haberse presentado lluvias, y corroborando dicha información, se tiene que incluso las precipitaciones durante el año 2010 en la zona sobrepasaron el promedio existente en los últimos años. Ello coadyuvó a que la calidad del agua correspondiente a la época de estiaje del 2011 estuviera con una mejor calidad que la reportada durante el mismo periodo del año 2010, y una calificación del ICA en donde todos los puntos de muestreo aparecen como aceptables.

Así mismo, se observa que la calidad del agua en el embalse resulta menos favorable cerca de la zona donde se encuentra el embarcadero o muelle en la población de Valle de Bravo, y cerca de la desembocadura de los ríos Amanalco y Tizates. Ello corrobora que existen todavía descargas de aguas residuales crudas, lo cual es motivo de alerta.

El ICA, para los muestreos realizados, no involucra el verdadero grado de contaminación del agua, ya que la falta de datos derivada de la determinación de solo algunos de los parámetros evaluados y ponderados por dicho índice, puede llegar a tener una cierta diferencia entre los valores reales del ICA y los valores determinados pero solo a través de la evaluación de aquellos parámetros que sí se determinaron en todos y cada uno de los sitios del muestreo.

Con respecto a los parámetros determinados en el sitio, se tiene que para el pH, los valores tienden a ser de agua tipo básica.

Con respecto a la NOM – 127- SSA1 – 1994, los valores de coliformes tanto totales y fecales rebasan los límites permisibles, y resultaron incontables las colonias para las muestras analizadas en laboratorio, aún con diluciones.

Con respecto al oxígeno disuelto, el cual para el presente estudio se realizó sobre el estrato conocido como el epilimnio, resulta favorable la concentración para asegurar la existencia de los seres acuáticos. La DBO para la segunda y tercera campaña de muestreo resulta bastante aceptable, e indica que durante la temporada de lluvias se logró la dilución de la materia orgánica presente, y se favorecieron en el embalse los procesos aerobios.

Comparando los parámetros de nitratos y fosfatos evaluados con respecto a la NOM – 127- SSA1 – 1994, resulta que los valores presentes cumplen con lo establecido en la citada norma. Las concentraciones de nitratos y fosfatos, así como de nitrógeno amoniacal, tienden a aumentar para la tercera campaña de muestreo, indicador de que el uso de fertilizantes fue significativamente mayor que en el mismo periodo, pero del año anterior. Por parte de la erosión de los suelos, probablemente se mantienen las mismas prácticas en la agricultura, ya que existe una tendencia a conservar e incluso a incrementar los valores de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos. Ello derivaría en un aumento en los azolves presentes en el vaso de la presa.

Así mismo, se debe de vigilar que las descargas de las aguas residuales no sigan aportando contaminantes al embalse, ya que el aumento de los nitratos y fosfatos, y especialmente de nitrógeno amoniacal, indicaría un claro aumento en el volumen de dichas descargas, o el cambio de los usos del agua.

Sería importante realizar acciones de mitigación de riesgos a la salud, especialmente por parte de aquellas actividades recreativas que se realizan en el vaso de la presa, ya que algunas de esas involucran la inmersión. Sin embargo, este tipo de actividades es la que genera la mayor cantidad de ingresos para la región, al derivar del uso de la infraestructura presente y del sector de servicios.

Como acciones de mitigación de riesgos a la salud, debería incorporarse el tratamiento de aguas residuales o la instalación de fosas sépticas especialmente para las poblaciones que descargan a los ríos Amanalco y Tizates. La dilución con el paso del tiempo llegaría a sanear las aguas presentes, aunque es un proceso lento que requiere de un gran esfuerzo tanto de las autoridades, como de las comunidades.

# ANEXO 1

## BALANCE HIDRÁULICO DE LAS PRESAS QUE CONFORMAN EL SISTEMA CUTZAMALA

*FUENTE:*



COMISION NACIONAL DEL AGUA  
ORGANISMO DE CUENCA AGUAS DEL VALLE DE MEXICO  
DIRECCION DE AGUA POTABLE DRENAJE Y SANEAMIENTO

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2009**

DIC. 2009	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	91.215	49.11	2.0	287.324	72.85	4.0	101.596	50.20	0.0	480,135,000	61.36
2	91.215	49.11	0.0	287.646	72.93	0.0	100.760	49.78	0.0	479,621,000	61.29
3	91.215	49.11	0.0	288.131	73.06	0.0	100.000	49.41	0.0	479,346,000	61.26
4	91.425	49.22	0.0	288.619	73.18	0.0	99.088	48.96	0.0	479,132,000	61.23
5	91.425	49.22	0.0	288.945	73.26	0.0	98.252	48.54	0.0	478,622,000	61.16
6	91.425	49.22	0.0	289.273	73.35	0.0	97.416	48.13	0.0	478,114,000	61.10
7	91.636	49.34	0.0	289.767	73.47	0.0	96.580	47.72	0.0	477,983,000	61.08
8	91.636	49.34	0.0	290.097	73.56	0.0	95.689	47.28	0.0	477,422,000	61.01
9	91.636	49.34	0.0	290.428	73.64	0.0	94.813	46.84	0.0	476,877,000	60.94
10	91.636	49.34	0.0	290.428	73.64	0.0	94.010	46.45	0.0	476,074,000	60.84
11	91.636	49.34	0.0	290.761	73.72	0.0	92.988	45.94	0.0	475,385,000	60.75
12	92.056	49.56	10.0	290.927	73.77	0.0	92.112	45.51	0.0	475,095,000	60.71
13	92.056	49.56	0.0	291.094	73.81	0.0	91.236	45.08	0.0	474,386,000	60.62
14	92.056	49.56	0.0	291.429	73.89	0.0	90.360	44.64	0.0	473,845,000	60.55
15	92.056	49.56	0.0	291.764	73.98	0.0	89.484	44.21	0.0	473,304,000	60.48
16	92.267	49.68	0.0	291.932	74.02	0.0	88.604	43.78	0.0	472,803,000	60.42
17	92.267	49.68	0.0	291.932	74.02	0.0	87.790	43.37	0.0	471,989,000	60.32
18	92.267	49.68	0.0	292.101	74.06	0.0	86.976	42.97	0.0	471,344,000	60.23
19	92.267	49.68	0.0	292.607	74.19	0.0	86.014	42.50	0.0	470,888,000	60.18
20	92.267	49.68	0.0	292.777	74.24	0.0	85.200	42.09	0.0	470,244,000	60.09
21	92.267	49.68	0.0	292.777	74.24	0.0	84.312	41.66	0.0	469,356,000	59.98
22	92.267	49.68	0.0	293.116	74.32	0.0	83.350	41.18	0.0	468,733,000	59.90
23	92.267	49.68	0.0	293.285	74.36	0.0	82.462	40.74	0.0	468,014,000	59.81
24	92.267	49.68	0.0	293.456	74.41	0.0	81.574	40.30	0.0	467,297,000	59.72
25	92.267	49.68	0.0	293.456	74.41	0.0	80.624	39.83	0.0	466,347,000	59.60
26	92.267	49.68	0.0	293.456	74.41	0.0	79.675	39.37	0.0	465,398,000	59.47
27	92.267	49.68	0.0	293.456	74.41	0.0	78.872	38.97	0.0	464,595,000	59.37
28	92.267	49.68	0.0	293.456	74.41	0.0	77.996	38.54	0.0	463,719,000	59.26
29	92.267	49.68	0.0	293.797	74.49	0.0	77.047	38.07	0.0	463,111,000	59.18
30	92.267	49.68	0.0	294.139	74.58	0.0	76.171	37.63	0.0	462,577,000	59.11
31	92.056	49.56	0.0	294.139	74.58	0.0	75.295	37.20	0.0	461,490,000	58.97
<b>PROM.</b>	<b>91.948</b>		<b>12.0</b>	<b>291.500</b>		<b>4.0</b>	<b>88.592</b>		<b>0.0</b>	<b>472,040,194</b>	

 NAMINO 30'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 50'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 60'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	58.97%
461,490,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

ENERO 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	92.267	49.68	0.0	294.139	74.58	0.0	74.419	36.77	0.0	460,825,000	58.89
2	92.267	49.68	1.0	294.139	74.58	0.5	73.624	36.38	0.0	460,030,000	58.79
3	92.056	49.56	3.0	294.311	74.62	0.0	72.984	36.06	1.4	459,351,000	58.70
4	92.056	49.56	0.0	294.311	74.62	0.0	72.344	35.74	0.0	458,711,000	58.62
5	92.056	49.56	0.0	294.311	74.62	0.0	71.384	35.27	0.0	457,751,000	58.50
6	92.056	49.56	0.0	294.482	74.67	0.0	70.424	34.79	0.0	456,962,000	58.40
7	92.477	49.79	20.0	294.998	74.80	15.0	69.592	34.38	17.0	457,067,000	58.41
8	92.898	50.02	19.0	295.863	75.02	10.0	69.464	34.32	12.2	458,225,000	58.56
9	93.530	50.36	4.7	296.384	75.15	1.2	69.592	34.38	8.0	459,506,000	58.72
10	93.530	50.36	0.0	296.733	75.24	0.0	69.720	34.45	0.0	459,983,000	58.78
11	93.530	50.36	0.0	297.082	75.33	0.0	69.400	34.29	0.0	460,012,000	58.79
12	93.530	50.36	2.0	297.608	75.46	0.0	68.696	33.94	0.0	459,834,000	58.76
13	93.740	50.47	0.0	298.311	75.64	0.0	68.312	33.75	0.0	460,363,000	58.83
14	93.951	50.58	17.0	299.018	75.82	8.0	67.800	33.50	0.0	460,769,000	58.88
15	94.816	51.05	15.5	299.373	75.91	11.5	67.800	33.50	17.0	461,989,000	59.04
16	95.050	51.18	0.0	299.906	76.04	0.0	67.800	33.50	0.0	462,756,000	59.14
17	95.284	51.30	0.0	300.263	76.13	0.0	67.608	33.40	0.0	463,155,000	59.19
18	95.284	51.30	0.0	300.978	76.31	0.0	67.224	33.21	0.0	463,486,000	59.23
19	95.518	51.43	0.0	301.516	76.45	0.0	66.584	32.90	0.0	463,618,000	59.25
20	95.518	51.43	0.0	302.056	76.59	0.0	65.944	32.58	0.0	463,518,000	59.23
21	95.518	51.43	0.0	302.236	76.63	0.0	65.560	32.39	0.0	463,314,000	59.21
22	95.518	51.43	0.0	302.056	76.59	0.0	65.304	32.26	0.0	462,878,000	59.15
23	95.752	51.55	0.0	301.876	76.54	0.0	64.920	32.08	0.0	462,548,000	59.11
24	95.752	51.55	0.0	301.696	76.50	0.0	64.432	31.83	0.0	461,880,000	59.02
25	95.752	51.55	0.0	301.337	76.41	0.0	64.024	31.63	0.0	461,113,000	58.93
26	95.752	51.55	0.0	301.157	76.36	0.0	63.576	31.41	0.0	460,485,000	58.85
27	95.986	51.68	0.0	300.799	76.27	0.0	63.448	31.35	0.0	460,233,000	58.81
28	95.986	51.68	0.0	300.263	76.13	0.0	63.320	31.28	0.0	459,569,000	58.73
29	95.986	51.68	0.0	299.551	75.95	0.0	63.384	31.32	0.0	458,921,000	58.65
30	95.986	51.68	0.0	299.373	75.91	0.0	63.320	31.28	0.0	458,679,000	58.62
31	96.220	51.81	1.0	298.841	75.77	8.5	63.192	31.22	2.0	458,253,000	58.56
<b>PROM.</b>	<b>94.375</b>		<b>83.2</b>	<b>298.547</b>		<b>54.7</b>	<b>67.587</b>		<b>57.6</b>	<b>460,509,161</b>	

NAMINO	30'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	50'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	60'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO SISTEMA =	140'000,000 m <sup>3</sup> .
--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	------------------	------------------------------

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	58.56%
458,253,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

FEB. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	96.687	52.06	20.0	298.488	75.68	6.5	63.960	31.60	5.8	459,135,000	58.67
2	97.623	52.56	19.0	298.135	75.59	18.0	65.304	32.26	43.5	461,062,000	58.92
3	104.641	56.34	127.0	303.141	76.86	78.0	74.200	36.66	144.5	481,982,000	61.59
4	117.039	63.02	70.0	306.985	77.84	68.0	85.644	42.31	57.8	509,668,000	65.13
5	122.554	65.98	0.0	312.408	79.21	0.0	88.826	43.89	0.0	523,788,000	66.94
6	127.133	68.45	0.0	313.736	79.55	0.0	90.871	44.90	0.0	531,740,000	67.95
7	128.914	69.41	0.0	314.879	79.84	0.0	92.842	45.87	0.0	536,635,000	68.58
8	130.695	70.37	0.0	315.453	79.99	0.0	93.937	46.41	0.0	540,085,000	69.02
9	131.967	71.05	0.0	315.836	80.08	0.0	95.543	47.21	0.0	543,346,000	69.44
10	133.239	71.74	0.0	316.027	80.13	0.0	97.340	48.09	0.0	546,606,000	69.85
11	134.002	72.15	0.0	316.027	80.13	0.0	98.632	48.73	0.2	548,661,000	70.11
12	134.765	72.56	0.0	316.796	80.33	0.0	99.772	49.29	0.0	551,333,000	70.46
13	135.529	72.97	0.0	316.988	80.37	0.0	101.064	49.93	0.0	553,581,000	70.74
14	136.292	73.38	0.0	316.988	80.37	0.0	101.748	50.27	0.0	555,028,000	70.93
15	136.801	73.66	0.0	317.373	80.47	0.0	102.508	50.65	0.0	556,682,000	71.14
16	137.055	73.79	0.0	317.373	80.47	0.0	103.040	50.91	0.0	557,468,000	71.24
17	138.078	74.34	29.0	318.339	80.72	23.0	104.040	51.40	18.0	560,457,000	71.62
18	139.599	75.16	7.5	318.339	80.72	1.8	105.880	52.31	1.2	563,818,000	72.05
19	140.362	75.57	0.0	318.726	80.81	0.0	107.160	52.94	0.0	566,248,000	72.36
20	141.125	75.98	0.0	318.919	80.86	0.0	108.520	53.62	0.0	568,564,000	72.66
21	141.634	76.26	0.0	319.307	80.96	0.0	109.480	54.09	0.0	570,421,000	72.90
22	142.143	76.53	0.0	319.501	81.01	0.0	110.440	54.57	0.0	572,084,000	73.11
23	142.397	76.67	0.0	319.890	81.11	0.0	110.920	54.80	0.0	573,207,000	73.25
24	142.652	76.81	0.0	320.084	81.16	0.0	111.160	54.92	0.0	573,896,000	73.34
25	142.906	76.94	0.0	320.279	81.21	0.0	111.400	55.04	0.0	574,585,000	73.43
26	143.161	77.08	0.0	320.474	81.26	0.0	111.480	55.08	0.0	575,115,000	73.50
27	143.415	77.22	0.0	320.669	81.31	0.0	111.800	55.24	0.0	575,884,000	73.59
28	143.690	77.36	0.0	320.474	81.26	0.0	112.112	55.39	0.0	576,276,000	73.64
29											
30											
31											
<b>PROM.</b>	<b>132.361</b>		<b>272.5</b>	<b>315.416</b>		<b>195.3</b>	<b>98.915</b>		<b>271.0</b>	<b>546,691,250</b>	

 NAMINO 30'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 50'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 60'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	73.64%
576,276,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

MAR. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	DIA	ALMAC. Mm3		%	mm		ALMAC. Mm3	%			
1	144.240	77.66	0.0	320.279	81.21	0.0	112.190	55.43	0.0	576,709,000	73.70
2	144.515	77.81	0.0	319.890	81.11	0.0	112.346	55.51	0.0	576,751,000	73.70
3	144.790	77.96	0.0	319.696	81.06	0.0	112.658	55.66	0.0	577,144,000	73.75
4	145.065	78.10	0.0	319.113	80.91	0.0	113.204	55.93	0.0	577,382,000	73.78
5	145.065	78.10	0.0	318.339	80.72	0.0	113.438	56.05	0.0	576,842,000	73.72
6	145.341	78.25	0.0	317.952	80.62	0.0	113.438	56.05	0.0	576,731,000	73.70
7	145.341	78.25	0.0	317.566	80.52	0.0	113.594	56.12	0.0	576,501,000	73.67
8	145.616	78.40	0.0	317.373	80.47	0.0	113.438	56.05	0.0	576,427,000	73.66
9	145.891	78.55	0.0	317.181	80.42	0.0	112.892	55.78	0.0	575,964,000	73.60
10	145.891	78.55	0.0	317.181	80.42	0.0	112.268	55.47	0.0	575,340,000	73.52
11	145.616	78.40	0.0	318.145	80.67	0.0	111.560	55.12	0.0	575,321,000	73.52
12	145.341	78.25	0.0	318.726	80.81	0.0	110.920	54.80	0.0	574,987,000	73.48
13	145.065	78.10	0.0	319.696	81.06	0.0	110.280	54.49	0.0	575,041,000	73.49
14	144.790	77.96	0.0	320.084	81.16	0.0	109.480	54.09	0.0	574,354,000	73.40
15	144.515	77.81	0.0	320.669	81.31	0.0	108.680	53.70	0.0	573,864,000	73.34
16	144.240	77.66	0.0	320.864	81.36	0.0	107.880	53.30	0.0	572,984,000	73.22
17	143.965	77.51	0.0	321.059	81.41	0.0	107.240	52.98	0.0	572,264,000	73.13
18	143.690	77.36	0.0	321.843	81.61	0.0	106.280	52.51	0.0	571,813,000	73.07
19	143.415	77.22	0.0	322.428	81.75	0.0	105.400	52.08	0.0	571,243,000	73.00
20	143.161	77.08	0.0	322.624	81.80	0.0	104.520	51.64	0.0	570,305,000	72.88
21	142.906	76.94	0.0	323.213	81.95	0.0	103.572	51.17	0.0	569,691,000	72.80
22	142.652	76.81	0.0	323.606	82.05	0.0	102.584	50.68	0.0	568,842,000	72.69
23	142.397	76.67	0.0	324.260	82.22	0.0	101.596	50.20	0.0	568,253,000	72.62
24	142.143	76.53	0.0	324.491	82.28	0.0	100.608	49.71	0.0	567,242,000	72.49
25	141.889	76.39	0.0	325.350	82.49	0.0	99.620	49.22	0.0	566,859,000	72.44
26	141.634	76.26	0.0	325.350	82.49	0.0	98.632	48.73	0.0	565,616,000	72.28
27	141.380	76.12	0.0	325.350	82.49	0.0	97.644	48.24	0.0	564,374,000	72.12
28	141.125	75.98	0.0	325.759	82.60	0.0	96.732	47.79	0.0	563,616,000	72.03
29	140.871	75.85	0.0	325.759	82.60	0.0	95.762	47.31	0.0	562,392,000	71.87
30	140.617	75.71	0.0	325.759	82.60	0.0	94.740	46.81	0.0	561,116,000	71.71
31	140.362	75.57	0.0	325.556	82.55	0.0	93.937	46.41	0.0	559,855,000	71.55
<b>PROM.</b>	<b>143.662</b>		<b>0.0</b>	<b>321.457</b>		<b>0.0</b>	<b>106.359</b>		<b>0.0</b>	<b>571,478,161</b>	

NAMINO	30'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	50'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	60'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO SISTEMA =	140'000,000 m <sup>3</sup> .
--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	------------------	------------------------------

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	71.55%
559,855,000	782,521,000	

"Juntos Cuidamos el Agua"

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

ABR. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
1	140.362	75.57	0.0	325.759	82.60	0.0	92.915	45.91	0.0	559,036,000	71.44
2	140.108	75.44	0.0	326.750	82.85	0.0	91.820	45.37	0.0	558,678,000	71.39
3	140.108	75.44	0.0	327.137	82.95	0.0	90.871	44.90	0.0	558,116,000	71.32
4	139.853	75.30	0.0	327.137	82.95	0.0	89.922	44.43	0.0	556,912,000	71.17
5	139.599	75.16	0.0	327.137	82.95	0.0	88.752	43.85	0.0	555,488,000	70.99
6	139.345	75.03	0.0	327.137	82.95	0.0	87.568	43.26	0.0	554,050,000	70.80
7	139.090	74.89	0.0	327.520	83.04	0.0	86.310	42.64	0.0	552,920,000	70.66
8	138.581	74.61	0.0	327.899	83.14	0.0	85.052	42.02	0.0	551,532,000	70.48
9	137.818	74.20	0.0	328.088	83.19	0.0	83.794	41.40	0.0	549,700,000	70.25
10	137.564	74.07	0.0	328.649	83.33	0.0	82.536	40.78	0.0	548,749,000	70.13
11	137.055	73.79	0.0	329.019	83.42	0.0	81.281	40.16	0.0	547,355,000	69.95
12	136.292	73.38	1.5	329.387	83.52	0.0	80.113	39.58	0.5	545,792,000	69.75
13	135.783	73.11	0.0	329.754	83.61	3.5	78.872	38.97	0.0	544,409,000	69.57
14	135.529	72.97	0.0	329.754	83.61	0.0	77.704	38.39	0.0	542,987,000	69.39
15	135.274	72.83	0.0	329.754	83.61	0.0	76.463	37.78	0.0	541,491,000	69.20
16	135.020	72.70	0.0	329.571	83.56	0.0	75.222	37.17	0.0	539,813,000	68.98
17	134.765	72.56	0.0	329.571	83.56	0.0	74.072	36.60	0.0	538,408,000	68.80
18	134.511	72.42	0.0	329.387	83.52	0.0	72.920	36.03	0.0	536,818,000	68.60
19	134.257	72.29	0.0	329.387	83.52	0.0	71.832	35.49	0.0	535,476,000	68.43
20	134.002	72.15	0.0	329.387	83.52	0.0	70.808	34.98	0.0	534,197,000	68.27
21	133.748	72.01	0.0	329.387	83.52	0.0	69.784	34.48	0.0	532,919,000	68.10
22	133.239	71.74	0.0	329.571	83.56	0.0	68.696	33.94	0.0	531,506,000	67.92
23	132.476	71.33	0.0	329.936	83.66	0.0	67.608	33.40	0.0	530,020,000	67.73
24	131.713	70.92	0.0	330.299	83.75	0.0	66.520	32.87	0.0	528,532,000	67.54
25	131.204	70.64	0.0	330.840	83.89	0.0	65.432	32.33	0.0	527,476,000	67.41
26	130.441	70.23	0.0	331.199	83.98	0.0	64.856	32.04	0.0	526,496,000	67.28
27	129.677	69.82	0.0	331.020	83.93	0.0	64.792	32.01	0.0	525,489,000	67.15
28	128.914	69.41	0.0	330.118	83.70	0.0	64.600	31.92	0.0	523,632,000	66.92
29	128.151	69.00	0.0	329.204	83.47	0.0	64.432	31.83	0.0	521,787,000	66.68
30	127.897	68.86	0.0	329.019	83.42	0.0	64.344	31.79	0.0	521,260,000	66.61
31											
PROM.	135.079		1.5	328.959		3.5	76.663		0.5	540,701,467	

NAMINO	30'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	50'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	60'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO SISTEMA =	140'000,000 m <sup>3</sup> .
--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	------------------	------------------------------

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	66.61%
521,260,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

MAYO. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	127.388	68.59	0.0	329.204	83.47	0.0	64.216	31.73	0.0	520,808,000	66.56
2	126.116	67.90	0.0	328.649	83.33	0.0	64.088	31.66	0.0	518,853,000	66.31
3	125.607	67.63	0.0	327.899	83.14	0.0	63.896	31.57	0.0	517,402,000	66.12
4	124.844	67.22	0.0	327.710	83.09	0.0	63.768	31.51	0.0	516,322,000	65.98
5	124.081	66.81	0.0	327.520	83.04	0.0	63.640	31.44	0.0	515,241,000	65.84
6	123.572	66.53	0.0	326.754	82.85	0.0	63.512	31.38	0.0	513,838,000	65.66
7	123.063	66.26	0.0	326.160	82.70	0.0	63.384	31.32	0.0	512,607,000	65.51
8	122.300	65.85	0.0	325.350	82.49	0.0	63.320	31.28	0.0	510,970,000	65.30
9	122.300	65.85	10.0	324.714	82.33	0.0	63.256	31.25	2.0	510,270,000	65.21
10	122.554	65.98	7.0	324.000	82.15	2.0	63.320	31.28	0.0	509,874,000	65.16
11	121.282	65.30	0.0	323.410	82.00	0.0	63.384	31.32	0.0	508,076,000	64.93
12	120.519	64.89	0.0	323.017	81.90	0.0	63.320	31.28	0.0	506,856,000	64.77
13	120.010	64.61	0.0	322.624	81.80	0.0	63.384	31.32	0.0	506,018,000	64.67
14	119.501	64.34	0.0	322.036	81.65	0.0	63.448	31.35	0.0	504,985,000	64.53
15	119.247	64.20	0.0	321.449	81.51	0.0	63.448	31.35	0.0	504,144,000	64.43
16	118.229	63.66	0.0	320.864	81.36	0.0	63.128	31.19	0.0	502,221,000	64.18
17	117.741	63.39	0.0	320.474	81.26	3.0	63.064	31.16	0.0	501,279,000	64.06
18	117.273	63.14	0.0	319.890	81.11	0.0	63.000	31.13	0.0	500,163,000	63.92
19	116.805	62.89	0.0	319.501	81.01	0.0	62.872	31.06	0.0	499,178,000	63.79
20	116.337	62.64	0.0	318.919	80.86	0.0	62.744	31.00	0.0	498,000,000	63.64
21	115.870	62.39	2.3	318.145	80.67	0.0	62.680	30.97	0.0	496,695,000	63.47
22	115.168	62.01	0.0	317.373	80.47	0.0	62.552	30.91	0.0	495,093,000	63.27
23	114.934	61.88	8.2	316.796	80.33	0.0	62.360	30.81	0.0	494,090,000	63.14
24	114.466	61.63	0.0	316.411	80.23	0.0	62.232	30.75	0.0	493,109,000	63.02
25	113.764	61.25	0.0	316.027	80.13	0.0	62.104	30.68	0.0	491,895,000	62.86
26	113.296	61.00	0.0	315.453	79.99	0.0	61.976	30.62	0.0	490,725,000	62.71
27	112.829	60.75	0.0	315.070	79.89	0.0	61.848	30.56	0.0	489,747,000	62.59
28	112.361	60.50	0.0	314.307	79.69	0.0	61.720	30.49	0.0	488,388,000	62.41
29	111.893	60.24	0.0	313.926	79.60	0.0	61.656	30.46	0.0	487,475,000	62.30
30	111.191	59.87	0.0	313.166	79.41	0.0	61.592	30.43	0.0	485,949,000	62.10
31	110.489	59.49	0.0	312.787	79.31	0.0	61.464	30.37	0.0	484,740,000	61.95
PROM.	118.549		27.5	320.955		5.0	62.915		2.0	502,419,710	

 NAMINO 30'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 50'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 60'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	61.95%
484,740,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

JUNIO 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	109.787	59.11	0.0	312.030	79.12	0.0	61.339	30.31	0.0	483,156,000	61.74
2	109.086	58.73	0.0	311.464	78.97	0.0	61.217	30.25	0.0	481,767,000	61.57
3	108.618	58.48	0.0	310.899	78.83	0.0	61.095	30.19	0.0	480,612,000	61.42
4	107.916	58.10	0.0	310.149	78.64	0.0	60.912	30.09	0.0	478,977,000	61.21
5	107.448	57.85	0.0	309.587	78.50	1.8	60.729	30.00	0.0	477,764,000	61.05
6	106.746	57.47	1.0	308.840	78.31	0.0	60.668	29.97	1.4	476,254,000	60.86
7	106.279	57.22	2.0	308.282	78.17	12.5	60.546	29.91	0.0	475,107,000	60.71
8	106.045	57.10	8.2	307.725	78.03	0.0	60.607	29.94	27.5	474,377,000	60.62
9	105.576	56.84	0.7	307.725	78.03	0.0	60.851	30.06	1.0	474,152,000	60.59
10	105.343	56.72	8.1	307.170	77.88	1.2	61.156	30.22	2.0	473,669,000	60.53
11	105.576	56.84	18.0	306.800	77.79	11.7	61.720	30.49	1.3	474,096,000	60.59
12	105.343	56.72	8.1	306.431	77.70	13.0	62.296	30.78	5.5	474,070,000	60.58
13	105.109	56.59	5.5	306.616	77.74	2.0	63.064	31.16	3.3	474,789,000	60.67
14	104.875	56.47	2.4	306.985	77.84	1.0	63.960	31.60	5.0	475,820,000	60.81
15	104.641	56.34	25.0	307.170	77.88	10.5	64.600	31.92	1.5	476,411,000	60.88
16	103.939	55.96	0.0	307.170	77.88	1.0	65.048	32.14	0.9	476,157,000	60.85
17	103.705	55.84	10.4	307.540	77.98	24.0	65.816	32.52	40.5	477,061,000	60.96
18	103.003	55.46	2.0	307.911	78.07	0.5	66.776	32.99	13.8	477,690,000	61.05
19	102.770	55.33	13.0	308.282	78.17	7.5	67.800	33.50	30.0	478,852,000	61.19
20	102.068	54.95	1.9	308.282	78.17	1.0	68.440	33.81	0.7	478,790,000	61.19
21	101.600	54.70	9.5	308.463	78.21	5.5	69.080	34.13	10.0	479,143,000	61.23
22	101.600	54.70	0.0	308.463	78.21	1.5	70.040	34.60	3.3	480,103,000	61.35
23	101.132	54.45	2.0	308.840	78.31	4.6	70.744	34.95	6.0	480,716,000	61.43
24	100.664	54.20	4.9	309.027	78.36	1.0	71.320	35.24	2.3	481,011,000	61.47
25	100.196	53.95	0.0	309.027	78.36	0.0	71.896	35.52	0.0	481,119,000	61.48
26	99.728	53.69	1.0	309.027	78.36	1.0	72.472	35.81	6.0	481,227,000	61.50
27	99.261	53.44	0.0	308.840	78.31	0.0	73.240	36.19	0.0	481,341,000	61.51
28	98.559	53.07	0.0	308.840	78.31	2.0	73.624	36.38	0.0	481,023,000	61.47
29	97.857	52.69	0.0	308.654	78.26	0.0	74.072	36.60	0.0	480,583,000	61.41
30	97.389	52.44	7.5	308.654	78.26	11.0	74.930	37.02	31.0	480,973,000	61.46
<b>PROM.</b>	<b>103.729</b>		<b>131.2</b>	<b>308.496</b>		<b>114.3</b>	<b>66.002</b>		<b>193.0</b>	<b>478,227,000</b>	

NAMINO	30'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	50'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	60'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO SISTEMA =	140'000,000 m <sup>3</sup> .
--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	------------------	------------------------------

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cúbicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	61.46%
480,973,000	782,521,000	

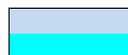
**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

JULIO 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			

DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	96.687	52.06	7.3	309.213	78.40	26.0	77.777	38.43	35.0	483,677,000	61.81
2	96.220	51.81	0.0	309.774	78.55	1.0	79.310	39.18	11.4	485,304,000	62.02
3	95.752	51.55	1.0	309.774	78.55	1.0	81.062	40.05	1.7	486,588,000	62.18
4	95.050	51.18	0.0	309.961	78.59	12.0	82.240	40.63	7.5	487,251,000	62.27
5	94.372	50.81	0.0	309.961	78.59	0.0	82.610	40.82	6.0	486,943,000	62.23
6	93.740	50.47	0.0	309.961	78.59	3.5	82.758	40.89	0.8	486,459,000	62.17
7	93.951	50.58	18.0	309.774	78.55	12.0	83.054	41.03	7.3	486,779,000	62.21
8	94.161	50.70	10.4	310.149	78.64	33.0	83.868	41.44	15.8	488,178,000	62.39
9	94.161	50.70	17.0	310.899	78.83	10.5	84.460	41.73	3.4	489,520,000	62.56
10	93.951	50.58	14.0	311.653	79.02	9.3	84.830	41.91	2.9	490,434,000	62.67
11	94.372	50.81	7.0	312.219	79.17	7.0	85.274	42.13	1.2	491,865,000	62.86
12	94.372	50.81	16.5	312.976	79.36	3.0	85.792	42.39	10.0	493,140,000	63.02
13	93.740	50.47	0.0	313.166	79.41	1.0	86.236	42.61	25.0	493,142,000	63.02
14	93.109	50.13	0.0	313.356	79.45	0.0	86.606	42.79	0.0	493,071,000	63.01
15	92.898	50.02	2.0	313.356	79.45	2.0	86.902	42.94	9.0	493,156,000	63.02
16	92.267	49.68	0.0	313.356	79.45	5.0	88.160	43.56	7.2	493,783,000	63.10
17	91.636	49.34	4.5	313.546	79.50	5.6	88.900	43.92	25.0	494,082,000	63.14
18	91.636	49.34	10.9	314.116	79.65	28.0	89.703	44.32	4.5	495,455,000	63.32
19	91.636	49.34	5.0	315.261	79.94	21.0	91.309	45.11	13.5	498,206,000	63.67
20	92.056	49.56	24.7	317.181	80.42	15.0	93.207	46.05	11.8	502,444,000	64.21
21	92.056	49.56	0.5	318.339	80.72	9.0	95.032	46.95	19.0	505,427,000	64.59
22	91.636	49.34	6.5	319.696	81.06	17.0	98.252	48.54	16.8	509,584,000	65.12
23	92.477	49.79	24.0	321.254	81.46	37.0	101.444	50.12	27.7	515,175,000	65.84
24	93.319	50.24	15.0	323.606	82.05	9.0	104.760	51.76	7.0	521,685,000	66.67
25	93.740	50.47	1.5	325.350	82.49	9.0	107.080	52.91	34.0	526,170,000	67.24
26	94.582	50.92	6.2	326.358	82.75	13.0	109.160	53.93	7.2	530,100,000	67.74
27	95.986	51.68	20.0	328.088	83.19	27.0	112.112	55.39	32.1	536,186,000	68.52
28	96.687	52.06	20.1	330.118	83.70	8.0	114.452	56.55	8.5	541,257,000	69.17
29	100.664	54.20	20.0	332.620	84.34	23.5	116.948	57.78	6.0	550,232,000	70.32
30	101.600	54.70	0.0	333.846	84.65	2.0	119.054	58.82	0.0	554,500,000	70.86
31	103.003	55.46	2.0	334.367	84.78	0.0	121.601	60.08	7.3	558,971,000	71.43
PROM.	94.565		254.1	317.203		350.4	93.676		364.6	505,444,000	

NAMINO	30'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	50'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO	60'000,000 m <sup>3</sup> .	NAMINO SISTEMA =	140'000,000 m <sup>3</sup> .
--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	--------	-----------------------------	------------------	------------------------------

LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm



LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	71.43%
558,971,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

AGOSTO 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA			mm			mm			mm	m <sup>3</sup> .	%
1	103.003	55.46	0.0	334.886	84.91	0.0	124.037	61.28	0.0	561,926,000	71.81
2	103.471	55.71	1.8	335.747	85.13	12.4	126.299	62.40	4.0	565,517,000	72.27
3	103.939	55.96	6.6	336.943	85.43	3.0	128.815	63.64	11.5	569,697,000	72.80
4	103.939	55.96	0.0	337.960	85.69	18.0	131.493	64.97	1.0	573,392,000	73.27
5	104.407	56.21	10.0	339.139	85.99	9.0	133.965	66.19	1.0	577,511,000	73.80
6	103.939	55.96	0.0	339.641	86.12	0.0	136.334	67.36	1.0	579,914,000	74.11
7	104.641	56.34	3.5	340.642	86.37	25.0	138.394	68.38	0.0	583,677,000	74.59
8	105.343	56.72	0.0	341.473	86.58	17.0	140.952	69.64	10.3	587,768,000	75.11
9	105.811	56.97	1.0	342.630	86.88	1.0	143.304	70.80	7.5	591,745,000	75.62
10	108.150	58.23	3.5	343.288	87.04	8.0	145.950	72.11	21.0	597,388,000	76.34
11	108.150	58.23	4.4	343.780	87.17	1.0	148.400	73.32	11.0	600,330,000	76.72
12	108.618	58.48	4.0	344.271	87.29	6.0	151.190	74.70	16.8	604,079,000	77.20
13	108.852	58.61	9.5	344.598	87.37	5.0	154.070	76.12	19.0	607,520,000	77.64
14	109.086	58.73	1.8	345.088	87.50	1.0	156.230	77.19	21.0	610,404,000	78.00
15	109.320	58.86	2.4	345.414	87.58	1.0	157.040	77.59	13.5	611,774,000	78.18
16	110.021	59.24	3.0	345.901	87.71	13.0	158.622	78.37	14.0	614,544,000	78.53
17	110.957	59.74	21.0	346.876	87.95	19.2	162.664	80.37	34.5	620,497,000	79.29
18	112.361	60.50	6.5	348.650	88.40	27.5	166.612	82.32	36.0	627,623,000	80.21
19	114.466	61.63	8.7	350.893	88.97	52.0	170.000	83.99	38.1	635,359,000	81.19
20	115.636	62.26	4.0	352.961	89.50	5.0	172.900	85.42	6.1	641,497,000	81.98
21	116.571	62.76	4.6	354.070	89.78	3.0	175.000	86.46	12.5	645,641,000	82.51
22	116.805	62.89	0.0	354.859	89.98	8.0	176.700	87.30	8.5	648,364,000	82.86
23	117.741	63.39	0.0	355.489	90.14	0.0	178.096	87.99	0.0	651,326,000	83.23
24	118.229	63.66	0.0	357.060	90.53	40.0	179.824	88.85	5.6	655,113,000	83.72
25	118.738	63.93	5.6	358.256	90.84	15.0	180.580	89.22	21.5	657,574,000	84.03
26	119.501	64.34	0.0	359.316	91.11	0.0	180.904	89.38	0.0	659,721,000	84.31
27	119.756	64.48	1.0	359.985	91.28	20.0	181.336	89.59	3.0	661,077,000	84.48
28	120.519	64.89	6.0	360.404	91.38	2.0	181.876	89.86	0.4	662,799,000	84.70
29	121.028	65.16	6.6	361.128	91.57	0.0	182.416	90.13	6.5	664,572,000	84.93
30	121.537	65.44	0.0	362.186	91.83	13.0	182.848	90.34	3.6	666,571,000	85.18
31	121.791	65.57	2.5	363.287	92.11	27.0	183.280	90.55	11.4	668,358,000	85.41
PROM.	111.817		118.0	348.607		352.1	159.036		340.3	619,460,581	

 NAMINO 30'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 50'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 60'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	85.41%
668,358,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

SEPT. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	122.300	65.85	5.0	364.096	92.32	23.0	183.280	90.55	5.8	669,676,000	85.58
2	122.554	65.98	0.0	364.589	92.44	1.7	183.064	90.45	13.4	670,207,000	85.65
3	122.809	66.12	0.0	365.424	92.66	2.4	182.524	90.18	1.2	670,757,000	85.72
4	123.063	66.26	0.0	366.445	92.91	16.0	182.308	90.07	1.3	671,816,000	85.85
5	123.826	66.67	11.0	368.189	93.36	15.0	182.632	90.23	18.0	674,647,000	86.21
6	124.081	66.81	2.0	369.979	93.81	19.0	184.468	91.14	53.9	678,528,000	86.71
7	124.335	66.94	3.0	371.074	94.09	2.0	184.792	91.30	6.3	680,201,000	86.92
8	125.093	67.35	1.8	372.183	94.37	6.2	185.224	91.51	8.0	682,500,000	87.22
9	125.353	67.49	0.0	373.305	94.65	6.2	185.224	91.51	0.0	683,882,000	87.39
10	126.116	67.90	0.0	374.440	94.94	1.6	185.764	91.78	0.5	686,320,000	87.71
11	126.879	68.31	1.0	375.396	95.18	3.0	186.844	92.31	24.2	689,119,000	88.06
12	127.133	68.45	0.0	376.940	95.58	0.0	187.600	92.69	0.6	691,673,000	88.39
13	127.897	68.86	0.0	378.112	95.87	2.0	188.090	92.93	0.0	694,099,000	88.70
14	128.405	69.13	0.0	379.294	96.17	18.2	188.482	93.12	1.7	696,181,000	88.97
15	128.660	69.27	3.0	380.886	96.58	4.5	188.776	93.27	6.4	698,322,000	89.24
16	129.169	69.55	0.0	382.090	96.88	0.0	188.972	93.37	0.0	700,231,000	89.48
17	129.169	69.55	1.0	383.305	97.19	3.0	188.972	93.37	0.0	701,446,000	89.64
18	129.677	69.82	14.0	384.528	97.50	8.7	189.168	93.46	16.7	703,373,000	89.89
19	130.441	70.23	1.3	386.172	97.92	15.0	189.658	93.70	18.5	706,271,000	90.26
20	130.695	70.37	0.0	387.623	98.28	0.0	189.952	93.85	22.0	708,270,000	90.51
21	131.204	70.64	9.0	389.085	98.65	1.0	191.618	94.67	20.0	711,907,000	90.98
22	132.730	71.46	4.0	390.136	98.92	0.0	191.716	94.72	0.3	714,582,000	91.32
23	133.239	71.74	17.0	390.980	99.14	0.0	191.716	94.72	0.4	715,935,000	91.49
24	134.257	72.29	19.0	392.892	99.62	3.0	191.912	94.82	4.7	719,061,000	91.89
25	134.511	72.42	0.0	394.570	100.05	24.5	192.500	95.11	36.2	721,581,000	92.21
26	135.274	72.83	0.0	394.750	100.09	0.0	192.696	95.21	0.0	722,720,000	92.36
27	135.274	72.83	0.0	394.750	100.09	0.0	192.696	95.21	0.0	722,720,000	92.36
28	135.529	72.97	0.0	394.570	100.05	0.0	192.402	95.06	0.0	722,501,000	92.33
29	135.783	73.11	0.0	394.930	100.14	0.0	192.304	95.01	0.0	723,017,000	92.40
30	136.037	73.24	0.0	394.750	100.09	0.0	191.814	94.77	0.0	722,601,000	92.34
31											
PROM.	129.050		92.1	381.183		176.0	188.239		260.1	698,471,467	

 NAMINO 30'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 50'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 60'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	92.34%
722,601,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

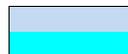
OCT. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	136.292	73.38	0.0	394.750	100.09	0.0	191.716	94.72	0.0	722,758,000	92.36
2	136.292	73.38	0.0	394.570	100.05	0.0	191.716	94.72	0.0	722,578,000	92.34
3	136.546	73.52	0.0	394.570	100.05	0.0	191.814	94.77	0.0	722,930,000	92.38
4	136.801	73.66	0.0	394.175	99.95	0.0	191.912	94.82	0.0	722,888,000	92.38
5	137.055	73.79	0.0	394.175	99.95	0.0	191.912	94.82	0.0	723,142,000	92.41
6	137.309	73.93	3.0	393.747	99.84	3.0	191.912	94.82	0.0	722,968,000	92.39
7	137.309	73.93	0.0	393.747	99.84	0.0	192.010	94.87	0.0	723,066,000	92.40
8	137.818	74.20	0.0	393.747	99.84	0.0	192.108	94.92	0.0	723,673,000	92.48
9	137.818	74.20	0.0	394.175	99.95	0.0	192.108	94.92	0.0	724,101,000	92.53
10	138.078	74.34	0.0	393.961	99.89	0.0	192.206	94.96	0.0	724,245,000	92.55
11	138.078	74.34	0.0	393.747	99.84	0.0	192.206	94.96	0.0	724,031,000	92.53
12	138.327	74.48	0.0	393.747	99.84	0.9	192.108	94.92	0.0	724,182,000	92.54
13	138.327	74.48	0.0	393.747	99.84	0.0	192.010	94.87	0.0	724,084,000	92.53
14	138.327	74.48	0.0	393.533	99.78	0.0	191.912	94.82	0.0	723,772,000	92.49
15	138.327	74.48	0.0	393.533	99.78	0.0	191.814	94.77	0.0	723,674,000	92.48
16	138.581	74.61	0.0	393.105	99.67	0.0	191.716	94.72	0.0	723,402,000	92.45
17	138.581	74.61	0.0	392.892	99.62	0.0	191.618	94.67	0.0	723,091,000	92.41
18	138.836	74.75	0.0	392.679	99.57	0.0	191.422	94.58	0.0	722,937,000	92.39
19	138.836	74.75	0.0	392.253	99.46	0.0	191.324	94.53	0.0	722,413,000	92.32
20	139.090	74.89	0.0	392.040	99.40	0.0	191.618	94.67	0.0	722,748,000	92.36
21	139.090	74.89	0.0	391.403	99.24	0.0	191.814	94.77	0.0	722,307,000	92.31
22	139.090	74.89	0.0	391.192	99.19	0.0	192.108	94.92	0.0	722,390,000	92.32
23	139.090	74.89	0.0	391.192	99.19	0.0	192.402	95.06	0.0	722,684,000	92.35
24	139.345	75.03	0.0	390.769	99.08	0.0	192.696	95.21	0.0	722,810,000	92.37
25	139.345	75.03	0.0	390.347	98.97	0.0	192.794	95.25	0.0	722,486,000	92.33
26	139.345	75.03	0.0	389.925	98.87	0.0	193.088	95.40	0.0	722,358,000	92.31
27	139.345	75.03	0.0	389.505	98.76	0.0	193.088	95.40	0.0	721,938,000	92.26
28	139.345	75.03	0.0	388.876	98.60	0.0	193.186	95.45	0.0	721,407,000	92.19
29	139.345	75.03	0.0	388.876	98.60	0.0	193.284	95.50	0.0	721,505,000	92.20
30	139.599	75.16	0.0	389.295	98.71	0.0	193.284	95.50	0.0	722,178,000	92.29
31	139.853	75.30	16.5	389.295	98.71	0.0	193.284	95.50	0.0	722,432,000	92.32
PROM.	138.368		19.5	392.373		3.9	192.200		0.0	722,941,226	

 NAMINO 30'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 50'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO 60'000,000 m<sup>3</sup>.

 NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.

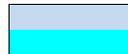
 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	92.32%
722,432,000	782,521,000	

**ALMACENAMIENTO EN PRESAS DEL SISTEMA CUTZAMALA 2010**

NOV. 2010	VILLA VICTORIA CAPACIDAD 185.731 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	VALLE DE BRAVO CAPACIDAD 394.390 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	EL BOSQUE CAPACIDAD 202.400 Mm <sup>3</sup>		LLUVIA	SUMA ALMACENAMIENTO	% DE ALMACENAMIENTO
	ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%		ALMAC. Mm3	%			
DIA	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	ALMAC. Mm3	%	mm	m <sup>3</sup> .	%
1	139.853	75.30	0.0	389.085	98.65	0.0	193.480	95.59	0.0	722,418,000	92.32
2	139.853	75.30	0.0	388.876	98.60	4.3	193.676	95.69	0.0	722,405,000	92.32
3	140.108	75.44	0.0	388.248	98.44	11.0	193.872	95.79	10.1	722,228,000	92.30
4	140.108	75.44	0.0	388.040	98.39	0.0	193.970	95.83	0.0	722,118,000	92.28
5	139.853	75.30	0.0	387.831	98.34	0.0	194.068	95.88	0.0	721,752,000	92.23
6	139.853	75.30	0.0	387.415	98.23	0.0	193.970	95.83	0.0	721,238,000	92.17
7	139.853	75.30	0.0	387.000	98.13	0.0	193.774	95.74	0.0	720,627,000	92.09
8	139.853	75.30	0.0	386.379	97.97	0.0	193.774	95.74	0.0	720,006,000	92.01
9	139.853	75.30	0.0	385.760	97.81	0.0	193.676	95.69	0.0	719,289,000	91.92
10	139.853	75.30	0.0	385.143	97.66	0.0	193.382	95.54	0.0	718,378,000	91.80
11	139.599	75.16	0.0	385.348	97.71	0.0	192.990	95.35	0.0	717,937,000	91.75
12	139.090	74.89	0.0	386.172	97.92	0.0	192.598	95.16	0.0	717,860,000	91.74
13	138.836	74.75	0.0	386.586	98.02	0.0	192.108	94.92	0.0	717,530,000	91.69
14	138.836	74.75	0.0	386.379	97.97	0.0	191.618	94.67	0.0	716,833,000	91.61
15	138.581	74.61	0.0	386.172	97.92	0.0	191.226	94.48	0.0	715,979,000	91.50
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
<b>PROM.</b>	<b>139.599</b>		<b>0.0</b>	<b>386.962</b>		<b>15.3</b>	<b>193.212</b>		<b>10.1</b>	<b>719,773,200</b>	
<b>NAMINO</b>		<b>30'000,000 m<sup>3</sup>.</b>	<b>NAMINO</b>		<b>50'000,000 m<sup>3</sup>.</b>	<b>NAMINO</b>		<b>60'000,000 m<sup>3</sup>.</b>	<b>NAMINO SISTEMA = 140'000,000 m<sup>3</sup>.</b>		

 LLUVIA MENOR DE 20.0 mm  
 LLUVIA MENOR DE 70.0 mm

 LIGERAS A MODERADAS  
 FUERTES

 Mm<sup>3</sup> : Millones de metros cubicos

ALMACENAMIENTO ACTUAL	ALMACENAMIENTO TOTAL	% DE ALMACENAMIENTO
PRESAS m <sup>3</sup>	PRESAS m <sup>3</sup>	91.50%
715,979,000	782,521,000	

# FUENTES DE CONSULTA

## PREFACIO

- Animales en peligro de extinción. Geroge c. McGavin. Una traducción de 2007 para España y América. Editorial Océano. Introducción y Justificación
- La Tierra (Ayer y Hoy). Fred Pearce. Editorial Grijalvo. Barcelona 2008. Introducción y Justificación

## CAPÍTULO I

- The Canada Centre for Remote Sensing  
Evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses usando la percepción remota  
<http://ccrs.nrcan.gc.ca/>
  - ✓ Ecosystem Modelling and Satellite Data Assimilation
  - ✓ Geomatics information for watersheds near Clyde River, Nunavut, using EO data and ground surveys
  - ✓ CCRS Emergency Management Activities in Canada
  - ✓ Monitoring open fresh water in northern environments, using SAR imagery and FnFCE
  - ✓ Remote Sensing in support of Groundwater Studies
- MIR Télédétection  
Aplicaciones de la percepción remota en distintas áreas del conocimiento.  
<http://www.mirteledetection.com/domains.html>
- The Canadian Aeronautics and Remote Sensing Institute (Institut Aéronautique et Spatial de Canada). Aplicaciones de la Percepción Remota en la Evaluación del Medio Ambiente.
- Historia de la Fotografía. Compendio Cronológico de la Evolución en el Desarrollo de la Fotografía. Publicación independiente de Cristina Arce, Universidad Veritas, Costa Rica.
- Introducción a la Fotografía Científica, Luis Monje Arenas, España.
- Dr. Nicholas Short´s Remote Sensing Tutorial. The NASA (National Aeronautics and Space Administration, United Sates of America).
  - ✓ The Basic Principles behind Remote Sensing
  - ✓ The Concept of Remote Sensing; Sensors
  - ✓ Platforms used by Remote Sensors: Aircraft; Balloons; Satellites; Spacecraft; Probes; Rovers; Launch Vehicles

- ✓ Transmittance, Absorptance, and Reflectance
- ✓ The Electromagnetic Spectrum: Distribution of Radiant Energies / Spectral Signatures
- ✓ Sensor Technology; Types of Resolution
- ✓ Processing and Classification of Remotely Sensed Data; Pattern Recognition; Approaches to Data
- ✓ History of Remote Sensing; Remote Sensing Systems:
- ✓ In the Beginning: Launch Vehicles
- ✓ Special Applications of Remote Sensing
- ✓ Meteorological, Oceanographic, and Earth Systems Satellites
- Tutorial de Introducción a la Percepción Remota, TELEDET, Uruguay.
  - ✓ Definición y Conceptos Fundamentales.
  - ✓ Naturaleza de las Radiaciones Electromagnéticas.
  - ✓ Interacción de la Radiación con la Materia y origen de los Espectros.
  - ✓ Interacción de las Radiaciones con los Objetos de la Superficie Terrestre.
  - ✓ Interacciones Atmosféricas.
  - ✓ La Adquisición de Datos y las Plataformas Satelitales.
  - ✓ Sensores.
  - ✓ Estructura de las Imágenes Digitales.
- The Pageant of World History. Gerald Leinwand. Pearson Prentice Hall. Boston 1997. Antecedentes de la Percepción Remota (La Primera Guerra Mundial, La Segunda Guerra Mundial, La Guerra Fría).

## **CAPÍTULO II y CAPITULO III**

- Estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
  - ✓ Perspectiva Estado de México, Junio 2011.
- Gerencia Regional de Aguas del Valle De México y Sistema Cutzamala.  
Gerencia De Organismos Del Agua  
Subgerencia De Caracterización y Programas Regionales.  
Organismos que elaboran: SEMARNAT, CONAGUA e IMTA.
  - ✓ Descripción del Medio Natural de la Cuenca de Valle de Bravo
  - ✓ Descripción del Medio Social y Económico de la Cuenca de Valle de Bravo
  - ✓ Diagnóstico de la Cuenca de Valle de Bravo

- Indicadores Socio demográficos de la Región XV, Valle de Bravo (1950 a 2005), Departamento de Seguridad Social, Gobierno del Estado de México.
- Microcuencas de la Región. Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo – Amanalco, CONAGUA.
- Calidad del Agua en la Cuenca de Valle de Bravo – Amanalco, una Propuesta para su Manejo. Gustavo Pérez, Ana C. Espinoza, Pilar Islas, Alba E. Zarco, Marisa Mazari Hiriart. Instituto de Ecología, UNAM.
- Atlas del Agua, México 2009, CONAGUA.
  - ✓ Balance Hidráulico Regional
  - ✓ El Sistema Cutzamala
  - ✓ La Disponibilidad del Agua en México
- Centro Virtual del Cambio Climático en la Ciudad de México. Informe Final: Vulnerabilidad de las Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de México en el Contexto de Cambio Climático. Instituto de Geología, UNAM. Oscar Escolero Fuentes, Sandra E. Martínez, Stefanie Kralisch, María Perevochtchikova, Julio de 2009.
  - ✓ El Sistema Cutzamala
  - ✓ El Sistema Lerma
  - ✓ Cuantificación de la Vulnerabilidad de las Fuentes de Abastecimiento.
  - ✓ Impacto del Cambio Climático sobre la Vulnerabilidad
- Plan para la Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de la Cuenca de Valle de Bravo, Estado de México. Propuesta de Acciones del Plan. CONAGUA y SEMARNAT.
- Boletín Informativo # 21, + Agua. Fondo Pro Cuenca de Valle de Bravo, A.C., Julio de 2006.
- Plan de Desarrollo 2009 – 2012. H. Municipio Constitucional de Valle de Bravo, Estado de México.
  - ✓ Diagnóstico
  - ✓ Prospectiva
  - ✓ Instrumentos
- Plan para la Gestión Integral del Agua y Recursos Asociados de la Cuenca de Valle de Bravo – Amanalco. Plan Rector. CONAGUA, Gobierno del Estado de México, Comisión de la Cuenca Valle de Bravo – Amanalco, Comisión del Agua del Estado de México.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, Gobierno Federal. Conoce la Riqueza Natural de México. La Biodiversidad Mexicana. Los Ecosistemas de la Cuenca de Valle de Bravo.

#### **CAPÍTULO IV**

- Programa Surfer 8. Golden Software. Elaboración de los Mapas de Isolíneas a través de los parámetros determinados en Sitio.
- El Índice de la Calidad del Agua, ICA. SEMARNAT.
- Información Recabada por el Equipo del Proyecto PAPIIT.
  - ✓ Las Campañas de Muestreo
  - ✓ La Realización de las Pruebas de Laboratorio
- Manual del Usuario del Medidor Multiparamétrico HANNA
- Manual del Usuario del Espectrofotómetro HACH DR 2800
- Manual de Prácticas de Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Mtra. en Ingeniería Alba Vázquez González y Dr. Enrique César Valdés, FI UNAM.
- Calificación del ICA y Usos del Agua. Centro de Investigaciones en Geografía e Informática, CONACYT.

#### **CAPÍTULO V**

- Water Quality Monitoring base don Sediment Distribution using Satellite Imagery. José Antonio Álvarez, Francisco Zarazaga, Miguel Ángel Latre, Pedro Muro Medrano. University of Zaragoza, Spain (Paper presented at the 9th Conference on Geographic Information Science, Visegrad, Hungary 2006).
- Estimation of Water Quality Parameters for Lake Kemp, Texas, Derived from Remotely Sensed Data. Bassil El-Masri and Faiz Rahman. Department of Natural Resources Management, Texas Tech University.
- Water Quality Assessment with Simultaneous Landsat 5 Data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. Claudia Zuccari and Alberto Setzer. Division of Remote Sensing and Space Meteorology, National Institute of Space Research, Sao José dos Campos, Brazil.

- Landsat Based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter. Patrick Brezonik, Kevin Menken, Marvin Bauer. University of Minnesota, Minneapolis.
- Validation of Satellite Data for Quality Assurance in Lake Monitoring Applications. Pietro Alessandro Brivio, Claudia Giardino, Eugenio Zilioli. National Research Council, Remote Sensing Department, Milan, Italy.
- Use of Chromaticity in Remote Sensing Measurements of Water Quality. R.P. Bukata, J.E. Bruton and J.H. Jerome. Environmental Spectrum – Optics Section, National Water Research Institute, Burlington, Ontario, Canada.
- Modeling Inland Water Quality Using Landsat Data. D.J. Carpenter. Department of Engineering Physics, Research School of Physical Sciences, Australian National University.
- Estudio de la Distribución de Sólidos Suspendidos en el Agua del Vaso de la Presa El Batán. Tesis que presenta para grado de Maestría la Ing. Alba Vázquez González, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Desarrollo del Modelo Matemático para el Proyecto PAPIIT. Rodrigo Hirose Taka. Facultad de Ingeniería, UNAM. México 2011.
- Normas y Parámetros Diversos Evaluados por la SEMARNAT:
  - ✓ Evaluación del Ica en los Embalses
- Norma Oficial Mexicana Nom-127-SSA-1994, "Salud Ambiental, Agua para Uso Y Consumo Humano - Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el Agua para su Potabilización".