



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERIA

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PRESA
VALLE DE BRAVO.**

PROYECTO TERMINAL IN EXTENSO

PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA: INGENIERÍA SANITARIA

PRESENTA

ING. SANDRA BONILLA MORALES

TUTOR: M.I ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ

México, D.F., junio de 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.

Agradecimiento

Agradezco a la DGAPA el financiamiento otorgado al proyecto IN107710 *“Monitoreo de la calidad del agua mediante el uso de la percepción remota”* a través del **PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (PAPIIT)**. El presente trabajo forma parte del citado proyecto.

ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA PRESA VALLE DE BRAVO.

ÍNDICE

Objetivo, justificación y resumen

Introducción.....	1
1. Estudios de la calidad del agua	2
1.1 Usos del agua y su calidad	2
1.2 Planeación de estudios de campo.....	4
1.3 Actividades de gabinete y en campo.....	7
1.4 Actividades de laboratorio.....	10
1.5 Evaluación de la calidad del agua.....	11
2. Parámetros físicos de calidad del agua.....	16
2.1 Color.....	16
2.2 Potencial hidrógeno.....	16
2.3 Temperatura.....	17
2.4 Conductividad.....	17
2.5 Turbiedad.....	17
2.6 Sólidos.....	17
3. Parámetros químicos y compuestos orgánicos de calidad del agua.....	19
3.1 Alcalinidad.....	19
3.2 Cloruros.....	19
3.3 Cloro residual.....	19
3.4 Nitrógeno.....	20
3.5 Oxígeno disuelto.....	20
3.6 Fosfatos.....	20
3.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	21
3.8 Demanda Química de Oxígeno.....	21
4. Análisis bacteriológicos.....	23
4.1 Indicadores de contaminación.....	23
4.2 Coliformes totales y fecales.....	23
5. Estudio de calidad del agua del vaso de la presa de Valle de Bravo.....	25
5.1 Determinación de los sitios de muestreo.....	25
5.2 Técnicas de muestreo y preservación de muestras y análisis.....	27
5.3 Análisis de campo y laboratorio.....	28

5.4 Procesamiento y análisis de la información.....	40
5.5 Discusión de resultados.....	54
6. Conclusiones y recomendaciones.....	55
Bibliografía.....	57
Anexo. Tablas de cálculo del ICA.....	59

OBJETIVO

Presentar la metodología para llevar a cabo estudios de calidad del agua superficial, en particular en sistemas lénticos.

RESUMEN

Se presentan las actividades de gabinete, campo y laboratorio necesarias para la evaluación de la calidad del agua. Se incluye un caso estudio correspondiente al vaso de la presa Valle de Bravo.

JUSTIFICACIÓN

El deterioro de la calidad del agua se ha venido incrementando con el paso del tiempo, siendo cada vez más necesario darle algún tratamiento para su utilización. Por tal motivo es de vital importancia realizar una evaluación de la calidad del agua, para conocer el grado de contaminación y así poder proporcionar el grado de tratamiento adecuado.

Se realizó un estudio de calidad del agua en el vaso de la presa Valle de Bravo, una de las presas más importantes para el Sistema Cutzamala ya que aporta $6\text{m}^3/\text{s}$ aproximadamente, lo que equivale al el 38% del gasto del sistema que a su vez abastece a la ciudad de México, además es un almacenamiento de gran importancia turística.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para la vida, así como para el desarrollo de diversas actividades, en México los usos más importantes del agua incluyen: la agricultura, que ocupa el 77 %, la industria con un 9 % y el uso público con 14 %.

Dada la importancia que tiene el agua en el desarrollo, es necesario protegerla para evitar su contaminación y garantizar la calidad para su uso. El agua debe usarse de manera responsable y eficiente, ya que su baja disponibilidad en algunas regiones del país dificultan el abastecimiento de la misma y propician que las pocas fuentes de agua existentes sean sobreexplotadas.

A través de los años el ser humano ha creado diversas obras de infraestructura hidráulica para captar y contener el agua de los ríos, para poder cubrir sus necesidades, tal es el caso de las presas. Sus principales usos son el riego, control de inundaciones, generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua potable.

El presente trabajo tiene como finalidad presentar la metodología para realizar un estudio de calidad del agua y una aplicación de dicha metodología, en un estudio de calidad del agua realizado en el vaso de la presa Valle de Bravo, Estado de México.

En el Capítulo 1 del presente trabajo se presentan las actividades que comprenden un estudio de calidad del agua, así como un método para evaluarla, según el uso que se le de a la misma.

En los Capítulos 2 y 3 se tratan algunos de los parámetros físicos, químicos y compuestos orgánicos de calidad del agua, que pueden incluirse en un estudio de este tipo. Los análisis bacteriológicos se presentan en el Capítulo 4.

El Capítulo 5 incluye un caso estudio realizado en el vaso de la presa Valle de Bravo y finalmente en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1. ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA

1.1 Usos del agua y su calidad

El agua tiene diferentes usos, que se clasifican en consuntivos y no consuntivos, los usos consuntivos son aquellos en los que el agua debe transportarse desde el cuerpo de agua hasta el lugar donde se utilizará y este líquido ya no regresará ni total ni parcialmente al cuerpo de agua. Los usos no consuntivos son aquellos usos que se hacen en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo.

En la Ley de Aguas Nacionales, publicada el 1º de diciembre de 1992, están definidos los siguientes usos:

Uso Agrícola: La aplicación de agua nacional para el riego destinado a la producción agrícola y la preparación de ésta para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

Uso Ambiental o Uso para conservación ecológica: El caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

Uso Doméstico: La aplicación de agua nacional para el uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa, en términos del Artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Uso en acuacultura: La aplicación de aguas nacionales para el cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas.

Uso industrial: La aplicación de aguas nacionales en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como el agua que se utiliza en parques industriales, calderas, dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

Uso Pecuario: La aplicación de aguas nacionales para la cría y engorda de ganado, aves de corral y otros animales, y su preparación para la primera enajenación siempre que no comprendan la transformación industrial; no incluye el riego de pastizales.

Uso Público Urbano: La aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos, a través de la red municipal.

Los diferentes usos que pueden darse al agua dependen de su calidad, es decir, dependiendo del uso para el que se requiera el agua, se evalúa la calidad de la misma a través de la medición de diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos, con lo que se determinará si el agua es apta para un determinado uso.

El 13 de diciembre de 1989, se publicaron en el Diario Oficial de la Federación los criterios ecológicos de calidad del agua (CE – CCA – 001/89), formulados por la entonces, Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología, en los que se establecieron las siguientes definiciones:

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

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

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

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

Calidad para uso como fuente de abastecimiento de agua potable: Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo humano, debiendo ser sometido a tratamiento, cuando no se ajuste a las disposiciones sanitarias sobre agua potable.

Calidad para uso pecuario: Grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo por los

animales domésticos, que garantiza la protección de su salud y la calidad de los productos para consumo humano.

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

Dado que la calidad del agua esta estrechamente relacionada con el uso que se le dará, existen normas en las que se establecen límites permisibles de cada parámetro, para poder considerar que el agua es apta para un uso, por ejemplo: la NOM – 127 – SSA1 – 1994, que establece los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano, la NOM – 003 – SEMARNAT – 1997, en la que se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

1.2 Planeación de estudios de campo

La planeación de un estudio de campo es muy importante para evitar problemas al realizarlo, en la planeación se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Definir en forma clara el objetivo del estudio. Para saber con que finalidad se realizará un estudio de calidad del agua, es preciso definir claramente el objetivo de este, con lo que se podrá establecer cuales serán las actividades que se llevarán a cabo para cumplir con este objetivo.
- Recopilar la información disponible. La recopilación de información, ayudará a conocer mejor el área de estudio, los usos del agua, a ubicar puntos de interés para el estudio y a saber si existen estudios previos en la misma zona.
- Ubicar las posibles localizaciones de los puntos de muestreo. Teniendo en cuenta la información recabada, el objetivo del estudio y los recursos para realizarlo, se determinan los posibles puntos de muestreo. La ubicación de los sitios de muestreo debe proporcionarse en forma tal que sea fácil de identificar y que en caso de ser necesario, cualquier persona pueda realizar muestreos en los mismos sitios posteriormente. En la norma NMX – AA – 014 – 1980, se establece que: para muestreo en cuerpos receptores debe haber una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiéndose tomar las

muestras en la parte superior, media o inferior; para *muestreo en corrientes*, se debe muestrear aguas arriba de la descarga, a una distancia tal que, no se manifieste la influencia de esta; en la descarga, lo más próximo posible a su desembocadura al cuerpo receptor; se recomienda muestrear a una distancia tal que se considere que el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación del cuerpo receptor y en aquellos sitios en que se aprecien cambios fuertes de sección, caídas, zonas cubiertas de lirio u otros organismos eutroficantes; para *muestreo en lagos, lagunas, presas y embalses*, debe muestrearse en los efluentes antes de desembocar al cuerpo receptor, dentro del cuerpo receptor, donde se aprecie una mezcla uniforme con los efluentes y en las salidas del cuerpo receptor.

- Determinar la frecuencia del muestreo, el número de muestras y el tipo de muestra. Para determinar la frecuencia del muestreo y el número de muestras que se deberán tomar es necesario conocer cuando es la época de precipitación pluvial, de estiaje y en la medida de lo posible saber en donde se ubican las descargas de industrias, la ubicación de los ríos tributarios, ubicación de poblaciones, etc, y con base en toda esta información determinar cada cuanto se realizará el muestreo y el número de muestras que se incluirán en el estudio. En cuanto al tipo de muestra que se tomará, dependerá de la característica que se desea investigar y puede ser una *muestra simple*, que es la que se toma en un punto y en un momento determinado, este tipo de muestras reflejan características instantáneas del cuerpo de agua del que proceden, su uso es recomendable cuando se desean conocer los efectos de una descarga puntual, se desean conocer las características extremas; las variaciones de la composición, en función del tiempo de una descarga, el agua que se desea investigar fluye solo intermitentemente. O puede ser una *muestra compuesta*, que es la muestra que se forma por la composición de 2 ó más muestras simples, la muestra puede ser compuesta respecto al tiempo, es decir, que se obtiene al combinar 2 ó más muestras tomadas en el mismo sitio, pero en diferentes instantes de tiempo; puede ser compuesta respecto al espacio, es decir, que se obtiene al combinar muestras tomadas en diferentes puntos de un cuerpo de agua, durante un mismo intervalo de tiempo; y puede ser compuesta en función del caudal, que es la que se obtiene al combinar varias muestras tomadas en cantidad proporcional al caudal de cada punto, el muestreo compuesto se realiza cuando se quieren conocer característica medias de un cuerpo de agua, características medias de una descarga y cuando se incluirá un análisis de variaciones de flujo del cauce o descarga estudiados.

- Establecer los parámetros que se medirán. Esto dependerá del fin específico del estudio de calidad y de los recursos económicos, de material, equipo, etc. Con los que se cuente para la realización de tal estudio.
- Material, equipo y reactivos que se utilizarán en el estudio de campo. Revisar que se cuente con el material, equipo y reactivos necesario para realizar el estudio de campo, revisar que se cuente con la cantidad suficiente de ellos y que se encuentren en buen estado para poder realizar cada actividad.
- Personal. Verificar que se cuente con el personal necesario, asegurarse de que el personal este capacitado para realizar las actividades que se le han asignado, o en caso de ser necesario reciba la capacitación necesaria para realizarlas.
- Medidas de seguridad. Son fundamentales, pues deben de haber medidas de seguridad encaminadas a proteger al personal durante el traslado a los sitios de muestreo, durante la toma de muestras, y el traslado al laboratorio, también debe haber medidas de seguridad para la protección de las muestras, y de los equipos que se vayan a utilizar.
- Medio de transporte. Es una actividad muy importante a considerar, tanto el medio de transporte que se utilizará para llegar al sitio de estudio y para volver al laboratorio en el que posteriormente se harán pruebas, pues es necesario preservar en forma adecuada las muestras recolectadas, sin exceder el tiempo recomendado, que transcurre entre la toma de la muestra y la realización del análisis correspondiente. Como el medio de transporte que se utilizará en el sitio (en caso de ser necesario) para recolectar las muestras en los lugares previamente seleccionados.
- Visita de reconocimiento al sitio de muestreo. Es recomendable realizar una visita de reconocimiento al sitio de muestreo, pues permitirá conocer información que podría ser de utilidad para realizar el estudio, seleccionar la ruta de acceso al sitio de muestreo y con base en lo observado durante la visita podría modificarse el plan de muestreo.

- Costo del estudio de campo. Es importante saber cuales son los recursos económicos con los que se cuenta y a que se destinaran, debido a que influyen en forma directa en aspectos como: adquisición de equipo, material, reactivos, por tanto en el número de parámetros que se medirán; es decir, los recursos económicos limitarán los alcances del estudio de calidad.

1.3 Actividades de gabinete y en campo

Como parte de estas actividades, se realiza la recopilación de información de la cuenca a la que pertenece el sitio de estudio, sus características sociales, económicas, hidrológicas, los sitios en donde hay descargas de contaminantes y los usos del agua, mediante la utilización de mapas, planos y estudios previos realizados en la zona.

Con base en la información recabada, se seleccionan los puntos de muestreo que podrían modificarse si al realizar una visita de reconocimiento se considera conveniente aumentar o disminuir estos puntos, esta visita de reconocimiento servirá para obtener información verbal, ubicar los sitios en los que hay descargas de desechos, determinar si los sitios que previamente fueron seleccionados para muestrear son de fácil acceso, si pueden incluirse en el estudio, o si existe algún inconveniente para incluirlos, hacer una estimación del tiempo que se requiere para realizar la recolección de muestras y la medición de algunos parámetros, lo cual es importante por que hay que preservar las muestras para obtener datos que realmente sean representativos de las condiciones en las que se encuentra el cuerpo de agua que se estudiará.

Se realizará la medición de algunos parámetros en campo y la toma de muestras que se etiquetarán para poder saber el punto en el que fueron recolectadas y para que tipo de análisis se emplearán, también se tomarán las medidas necesarias para preservarlas adecuadamente hasta su análisis en laboratorio.

A continuación se presenta lo recomendado en algunas normas mexicanas en cuanto a la preservación, recolección y almacenamiento de muestras:

- Muestras para realizar análisis de sólidos

NMX – AA – 034 – SCFI – 2001. Análisis de agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

Deben tomarse un mínimo de 500 ml de muestra en envases de polietileno y taparse inmediatamente después de la colecta. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples.

Debe preservarse la muestra a 4 °C hasta su análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días. Sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 horas posteriores a su colecta.

NMX – AA – 004 – SCFI – 2000. Análisis de agua – Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

Colectar un volumen de muestra homogéneo y representativo superior a 1L en un frasco de polietileno o vidrio con tapa, teniendo siempre en cuenta que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente.

No se recomienda la adición de agentes preservadores. Transportar la muestra y mantenerla a 4 °C hasta realizar el análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días. Sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 horas posteriores a su colecta.

➤ Muestras para la determinación de DBO

NMX – AA – 028 – SCFI – 2001. Análisis de agua – Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas – Método de prueba.

El caso de aguas naturales debe tomarse un mínimo de 1 L de muestra en un envase de polietileno o vidrio. En el caso de aguas residuales (DBO₅ mayores a 50 mg/L) deben tomarse mínimo 100 mL. Pueden utilizarse muestras simples o compuestas.

No se debe agregar ningún preservador a las muestras. Solo deben conservarse a 4°C hasta su análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 horas.

➤ Muestras para coliformes fecales y totales

NMX – AA – 042 – 1987. Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.

El procedimiento para la recolección de las muestras de agua para el análisis bacteriológico, depende del tipo de agua que se desee muestrear.

Las muestras para el análisis bacteriológico, se deben tomar en frascos muestreadores que se hayan lavado con extremo cuidado y esterilizado. En su interior colocar previo a la esterilización, 0.1cm^3 de solución de tiosulfato de sodio al 1% con el propósito de inhibir la acción del cloro que puede contener la muestra, cubriendo además el tapón del frasco hasta el cuello con papel aluminio.

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección. Es por ello que se recomienda que de no efectuarse así el análisis, se inicie dentro de las dos horas próximas a la recolección de la muestra y en ningún caso, este lapso debe exceder de 24 horas para agua potable y de 6 horas para otros tipos de agua para que sea válido el resultado del análisis. Durante el período que transcurra del muestreo al análisis, se debe conservar la muestra a 277K (4°C), con objeto de inhibir la actividad bacteriana para no obtener resultados falsos o dudosos.

NMX – AA – 102 – SCFI – 2006. Calidad del agua detección y enumeración organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva – Método de filtración en membrana.

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección, es por ello que se recomienda que de no efectuarse así el análisis se incide dentro de las seis horas próximas a la recolección de la muestra y en ningún caso, este lapso debe exceder de 24 horas.

Durante el periodo que transcurre del muestreo al análisis, se debe conservar la muestra a 4°C . Con objeto de inhibir la reproducción bacteriana.

➤ Muestras para turbiedad

NMX – AA – 038 – SCFI – 2001. Análisis de agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

La muestra debe de ser colectada en frascos de vidrio o polietileno de boca ancha, cierre hermético y tapa inerte. Debe contener un volumen mínimo de 100 mL..

Las muestras deben de mantenerse en refrigeración durante el transporte al laboratorio.

Las muestras deben de analizarse lo antes posible y mientras permanezcan en el laboratorio deben conservarse en refrigeración a 4°C.

1.4 Actividades de laboratorio

Las actividades de laboratorio son parte fundamental de un estudio de calidad del agua, ya que realizarlas permite obtener los valores de parámetros que no es posible realizar en campo por el material y equipo que se necesita o por el tiempo que se requiere para hacerlas.

Hay varios métodos para realizar análisis de laboratorio, los análisis gravimétricos dependen del peso de los sólidos obtenidos directamente al pesar una muestra que ha pasado por evaporación, filtración o precipitación; los análisis volumétricos dependen de la medición de volúmenes de un reactivo líquido de concentración conocida; los análisis colorimétricos se basan en la formación de un producto completamente soluble con un color estable y la solución coloreada debe cumplir con la Ley de Beer: La absorción de la luz aumenta exponencialmente con la concentración de la solución absorbente. Y con la Ley de Lambert: La intensidad de la luz transmitida es inversamente proporcional a la longitud de onda de la solución. El color producido se puede medir por métodos visuales o instrumentales; análisis instrumentales se basan en la medición del potencial eléctrico mediante el uso de electrodos para ciertos iones específicos; análisis biológicos pueden ser de cuenta directa de organismos o microorganismos o bioensayos.

Las actividades de laboratorio que deberán realizarse en un estudio de calidad del agua son muy diversas, dependiendo de los recursos con los que se cuente y de los fines para los que se elabora el estudio.

Para la realización de estos análisis, existen normas mexicanas que establecen el control de calidad que deben tener los laboratorios que realicen las pruebas, los materiales, equipos, reactivos, aspectos que deben considerarse durante la recolección, preservación y almacenamiento de las muestras, así como los procedimientos a seguir para realizar dicho análisis; ejemplos de algunas de estas normas se mencionaron en la sección previa.

1.5 Evaluación de la calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua existen métodos que permiten integrar los parámetros analizados en un solo valor, al cual se le denomina índice de calidad del agua, y con base en este valor se podrá determinar si el agua es apta para un uso determinado.

Es importante mencionar que aunque el índice de calidad del agua es una herramienta muy útil en la evaluación de la calidad del agua, ya que simplifica la interpretación de los resultados, debe tenerse un cuidado especial al utilizarlo, pues podrían cometerse errores al considerar únicamente el valor de este índice para evaluar la calidad de un agua, sin analizar cada parámetro individualmente, para corroborar que se cumple con lo establecido en la normatividad para considerar que un agua tiene la calidad requerida para un uso determinado.

Para la determinación del índice de calidad del agua intervienen 18 parámetros, el índice varía de 0 a 100, donde 0 indica un agua de pésima calidad y 100 un agua de excelente calidad.

La fórmula para calcular el ICA es la siguiente:

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

Donde:

ICA= índice de calidad general

I_i = índice de calidad del parámetro considerado

W_i = importancia relativa del parámetro considerado

En el cuadro 1.1 se presentan las ecuaciones que deben emplearse para calcular el índice de calidad de cada parámetro (I_i).

Cuadro 1.1. Ecuaciones para calcular I_i.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	UNIDADES
Alcalinidad	$I_A = 105 * (A)^{-0.186}$	[mg/l]
Cloruros	$I_{Cl} = 121 (Cl)^{-0.223}$	[mg/l]
Coliformes fecales	$I_{CF} = 97.5 \times (5 \times CF)^{-0.27}$	NMP/ml
Coliformes totales	$I_{CT} = 97.5 \times CT^{-0.27}$	NMP/ml
Color	$I_C = 123 * C^{-0.295}$	Unidades de color escala de Platino - Cobalto
Conductividad eléctrica	$I_{CE} = 540 * (CE)^{-0.375}$	[μS/cm]
DBO	$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.0673}$	[mg/l]
Detergentes	$I_{SAAM} = 100 - 16.678 \times SAAM + 0.1587 \times SAAM^2$	[mg/l]
Dureza total	$I_D = 10^{1.974 - 0.00174 (D)}$	[mg/l] como CaCO ₃
Fosfatos totales	$I_{PO_4} = 34.215 PO_4^{-0.46}$	[mg/l]
Grasas y aceites	$I_{G y A} = 87.25 * (G y A)^{0.298}$	[mg/l]
N amoniacal	$I_{NH_3} = 45.8 NH_3^{-0.343}$	[mg/l]
N de nitratos	$I_{NO_3} = 162.2 NO_3^{-0.343}$	[mg/l]
Oxígeno disuelto	$I_{OD} = 100 \times \frac{OD}{OD_{sat}}$	[mg/l]
pH	Si pH < 6.7	
	$I_{pH} = 10^{0.2335 pH + 0.440}$	
	Si 6.7 < pH < 7.3	
	$I_{pH} = 100$	
Sólidos disueltos	Si pH > 7.3	
	$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 pH}$	
Sólidos disueltos	$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 * (SD)$	[mg/l]
Sólidos suspendidos	$I_{SS} = 266.5 * (SS)^{-0.37}$	[mg/l]
Turbiedad	$I_T = 108 * T^{-0.178}$	UTJ

Fuente SARH, (1979).

En el cuadro 1.2 se muestra la importancia relativa que tiene cada parámetro

Cuadro 1.2. Importancia relativa (W_i)

Parámetro	Importancia relativa (Peso W_i)	Parámetro	Importancia relativa (Peso W_i)
pH	1.0	N de nitratos	2.0
Color	1.0	N amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos totales	2.0
Grasas y aceites	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos suspendidos	1.0	Oxígeno disuelto	5.0
Sólidos disueltos	0.5	DBO	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0
Dureza total	1.0	Detergentes (SAAM)	3.0

Fuente SARH (1979).

El índice de calidad del agua también puede calcularse con el método de Dinius (1974) con modificaciones del Instituto de Ingeniería UNAM (1987), de la siguiente forma:

$$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{w_i}$$

Donde:

W_i = pesos específicos asignados a cada parámetro

Q_i = es la calidad del parámetro

Π = operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la w

El ICA calculado de esta forma, da como resultado un número entre 0 y 100 que permite calificar la calidad del agua y en función de su uso puede estimarse el nivel de contaminación.

La Cuadro 1.3 muestra las unidades de los parámetros y los valores de los pesos específicos W_i

Cuadro 1.3. Pesos específicos de los parámetros

Parámetro	Unidad	Peso (W_i)
Oxígeno disuelto	% sat	0.103
Demanda bioquímica de Oxígeno	mg/l	0.096
Demanda química de oxígeno	mg/l	0.053
pH	u pH	0.063
Sólidos suspendidos	mg/l	0.033
Coliformes totales	#/100	0.083
Coliformes fecales	#/100	0.143
Nitratos	mg/l	0.053
Namoniacal	mg/l	0.043
Fosfatos	mg/l	0.073
Fenoles	µg/l	0.033
Diferencia de temperatura	°C	0.043
Alcalinidad	mg/l CaCO_3	0.055
Dureza	mg/l CaCO_3	0.058
Cloruros	mg/l	0.068

Cuadro 1.4 Usos del agua según el índice de calidad del agua

ICA		USOS DEL AGUA					
Valor	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte Desechos Tratados
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	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	Sin tratamiento para la industria	Aceptable	Aceptable
70	Poco contaminado			Dudoso para el contacto directo			
60		Contaminado	Dudoso	Sin contacto con el agua	Solo Organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria	Aceptable
50	Uso muy restringido			Inaceptable	Uso muy restringido		
40	Altamente Contaminado	Inaceptable	Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
30				Uso muy restringido			
20	Altamente Contaminado	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
10							
0							Inaceptable

Nota: Los intervalos de las categorías del ICA son: 0-29, Altamente contaminado, 30-49, Contaminado; 50-69, poco contaminado; 70-84, Aceptable; 85-100, No contaminada. La escala actual incluye diferencias tanto en algunos intervalos como en las denominaciones de algunas categorías respecto de las que se publicaron en la edición anterior de esta obra, lo cual obedece a que se busca tanto describir técnicamente de mejor manera lo que en la naturaleza ocurre, como lograr una mejor interpretación de la calidad del agua en el ámbito nacional.

Fuente: Semarnat, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 2002.

2. PARÁMETROS FÍSICOS DE CALIDAD DEL AGUA

La medición de los parámetros físicos de la calidad del agua en muchos casos es relativamente fácil, algunas de estas características pueden percibirse a través de los sentidos, los parámetros organolépticos, normalmente tienen poco significado para la salud, algunos otros de estos parámetros tienen importancia para la salud. Los siguientes son algunos de los parámetros físicos de calidad del agua.

2.1 Color

El color en el agua puede deberse al contenido natural de metales o iones metálicos en disolución, humus, residuos orgánicos, plancton o desechos industriales.

El color que se produce en el agua debido a materia suspendida y disuelta, es el color aparente, y el que permanece una vez que se ha eliminado la materia suspendida es el color verdadero. En general, el término color se refiere al verdadero del agua.

La unidad de color es el color producido por un mg/l de Platino, en la forma de ión cloroplatinato, se denominan unidades de color en la escala Platino – Cobalto (UC Pt – Co). El color puede determinarse por comparación visual de la muestra con soluciones coloridas de concentraciones conocidas o con discos de vidrio de colores previamente calibrados.

2.2 Potencial hidrógeno

El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$ en una disolución acuosa.

$$pH = -\log_{10} H^+ = \log_{10} \frac{1}{H^+}$$

La escala del pH puede tomar valores de 0 a 14, el pH=7 corresponde a una disolución neutra, mientras que pH menor a 7 indica que se trata de una disolución ácida y pH superior a 7 indica que se trata de una disolución alcalina. La actividad biológica se restringe a valores de pH entre 6 y 8.

2.3 Temperatura

La temperatura del agua, afecta otras propiedades, como: la solubilidad de los gases, acelera reacciones químicas y bioquímicas, el crecimiento de los microorganismos, entre otras.

2.4 Conductividad

Es la capacidad del agua para permitir el paso de la electricidad, depende de la concentración de sustancias en solución, cuya disociación genera iones capaces de transmitir la energía eléctrica.

Debido a que en aguas el valor de la conductividad es pequeño, se expresa en $\mu\text{mho/cm}$ o en $\mu\text{siemens/cm}$, $1 \text{ mho} = 1 \text{ siemens}$.

2.5 Turbiedad

Es la expresión de la propiedad óptica de una muestra de agua que provoca que al pasar a través de ella los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por partículas suspendidas y disueltas, como arcilla y limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, descargas de agua residual, desechos industriales o la presencia de numerosos microorganismos.

La unidad de turbiedad, fue definida como “la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada”,

$$1 \text{ unidad de turbiedad nefelométrica (UTN)} = 7.5 \text{ ppm de SiO}_2$$

Actualmente, la unidad utilizada es la UTN, unidad de turbiedad nefelométrica y que equivale a:

$$1 \text{ UTN} = 1 \text{ ppm de formazina estándar}$$

2.6 Sólidos

Los sólidos pueden estar en suspensión, solución o ambos y se dividen en materia orgánica e inorgánica. Los *sólidos totales* son el residuo que

permanece después de la evaporación y secado a 103 °C de un volumen determinado de muestra, equivalen a la suma de los sólidos suspendidos y los disueltos, o bien, a la suma de los sólidos fijos y volátiles, y se miden en mg/l.

Los *sólidos suspendidos o residuos no filtrables*, es la materia que queda retenida en un filtro de fibra de vidrio con una porosidad de 2 µm o menor, se miden en mg/l. Los *sólidos disueltos o filtrables*, son sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua que no son retenidas en un elemento filtrante, se pueden determinar directamente secando y evaporando una muestra, previamente filtrada, a 103 °C o por diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos totales, sus unidades de medición son mg/l.

Los *sólidos volátiles* son la materia que se volatiliza por efecto de la calcinación a 550 °C, mientras que los *sólidos fijos* son aquellos que no se volatilizan a 550 °C. Los sólidos volátiles se asocian con material orgánico, mientras que los fijos se asocian con material inorgánico, la unidad de medición de estos sólidos es mg/l.

Sólidos sedimentables: son aquellos que se sedimentan por acción de la gravedad en un cono Imhoff al cabo de una hora en mg/l.

3. PARÁMETROS QUÍMICOS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros químicos de calidad del agua están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias, las sustancias disueltas en el agua pueden ser de origen natural o por contaminación, y los efectos que estas sustancias pueden causar a la salud humana, a la flora y fauna del lugar, dependerán de su concentración en el agua.

3.1 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad para reaccionar con iones hidrogeno (H^+). La alcalinidad es causada principalmente por los carbonatos (CO_3^{-2}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-) presentes en solución, contribuyen también a la alcalinidad la presencia de boratos fosfatos y silicatos.

La alcalinidad en las aguas naturales y residuales es muy útil, ya que proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH y se expresa como la concentración equivalente de iones hidroxilo en mg/l, o la cantidad equivalente de $CaCO_3$, en mg/l.

3.2 Cloruros

Los cloruros proporcionan al agua un sabor salobre, y este sabor varia dependiendo de los demás componentes en el agua. Los cloruros se encuentran en mayores concentraciones en las aguas residuales, debido al contenido de cloruro en la orina y las heces, dado que algunas actividades humanas generan residuos con grandes concentraciones de cloruro, la presencia de cloruro en las aguas es un buen indicador de afectación antrópica. Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud.

3.3 Cloro residual

El cloro residual es la cantidad de cloro remanente después de un periodo de contacto especificado, protege al agua de contaminaciones posteriores.

En el proceso de cloración se producen dos tipos de cloro residual, el cloro libre residual y el cloro combinado residual, que se forma cuando el agua tiene amoniaco y productos orgánicos.

3.4 Nitrógeno

Es importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden ocurrir en presencia de suficiente nitrógeno. La química del nitrógeno es compleja debido a los diferentes estados de valencia que puede tener este elemento y a que los cambios de valencia puede efectuarlos organismos vivos.

En los ambientes acuáticos el nitrógeno puede presentarse en varias formas:

- Nitrato
- Nitrito
- Amoniacó
- Amonio
- Óxido nitroso
- Nitrógeno molecular
- Nitrógeno orgánico disuelto: péptidos, purinas, aminas aminoácidos.

3.5 Oxígeno disuelto

El oxígeno es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica, desafortunadamente el oxígeno es poco soluble en el agua y aunque las aguas superficiales limpias están saturadas de oxígeno, la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. El oxígeno disuelto depende de varios factores, tales como la temperatura, la altitud, el movimiento del cuerpo receptor, entre otras.

3.6 Fosfatos

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivos, su determinación es importante debido a la influencia que tiene en el proceso de eutroficación. Los fosfatos pueden provenir de diversas fuentes, como los detergentes, algunos procesos industriales, fertilizantes, escurrimientos superficiales y agua de uso de retorno agrícola.

El fósforo se encuentra principalmente en dos formas: ortofosfatos y polifosfatos. Las siguientes son las formas de ortofosfatos más comunes :

- Fosfato trisódico (Na_3PO_4).
- Fosfato disódico (Na_2HPO_4).
- Fosfato monosódico (NaH_2PO_4).
- Fosfato de amonio [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$].

Las formas más comunes de polifosfatos son:

- Hexametáfosfato de sodio [Na₃(PO₅)⁶].
- Tripolifosfato de sodio (Na₃P₅O₁₀).
- Pirofosfato trisódico

3.7 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. Generalmente se determina la DBO_{5, 20}; cuando se realiza la prueba de DBO, se debe tomara en cuenta que si el agua esta poco cargada de bacterias, se deberá inocular el agua y si los valores de DBO son elevados, entonces la solubilidad del oxígeno en el agua es limitado, por lo que de deberán hacer diluciones.

El agua de dilución se prepara con nutrientes que son necesarios para la actividad biológica y además se airea para saturarla de oxígeno antes de mezclarla con el agua de muestra. Las diluciones que se utilizan en ausencia de datos previos según lo establece la norma NMX – AA – 028 – SCFI – 2001 son:

0% - 1%	Residuos industriales fuertes
1% - 5%	Aguas residuales sedimentadas o crudas
5% -25%	Efluente tratado bacteriológicamente
25% - 100%	Aguas superficiales contaminadas.

La DBO se obtiene como la diferencia de oxígeno disuelto inicial en el agua, menos el oxígeno disuelto final, sobre el porcentaje de dilución expresado en forma decimal

$$DBO_{5,20} = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}} \quad [\text{mg/l}]$$

3.8 Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO), es una medida de la cantidad de oxígeno en mg /l consumida en la oxidación de las sustancias reductoras presentes en el agua; en un cuerpo de agua se entiende como la cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

Esto se lleva a cabo por medio de la acción de agentes fuertemente oxidantes en un medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro ($\text{mg O}_2/\text{L}$). La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. La oxidación usualmente se lleva a cabo químicamente mediante el uso del dicromato en una solución ácida.

4. ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS

4.1 Indicadores de contaminación

La realización de análisis bacteriológicos en el agua es muy importante para el control de la calidad microbiológica, estos análisis están orientados a la detección de organismos patógenos, que causan enfermedades y se encuentran en el agua debido a la contaminación de la misma; sin embargo, la detección de estos patógenos es costosa, requiere de mucho tiempo y de laboratorios especializados, por lo que, se realiza la detección de organismos indicadores, ya que la presencia de estos implica que los microorganismos patógenos también están presentes, pero su detección es más fácil, rápida y económica.

Las características que debe cumplir un organismo para ser considerado como indicador son las siguientes:

- No debe ser patógeno
- Debe estar presente cuando existe una contaminación fecal
- Debe ser fácil de aislar
- Estar presente en las heces de animales de sangre caliente
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de los patógenos
- Debe formar parte de la flora intestinal de un individuo sano

La selección de un organismo indicador depende del tipo de contaminación que se está buscando.

4.2 Coliformes totales y fecales.

Los coliformes son un grupo de bacterias considerados un indicador de contaminación bacteriana en el agua, ya que se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente. Son considerados un buen indicador debido a que permanecen en el agua por más tiempo que las bacterias patógenas y a que se comportan de manera similar a las bacterias patógenas en los sistemas de desinfección.

Los microorganismos que forman parte del grupo de los coliformes totales son: Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Serratia, Edwardsiella y Citrobacter; son bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, a 35° fermentan la lactosa con producción de

gas, algunos pueden ser fermentadores tardíos, como *Citrobacter*, o no fermentadores como *Serratia*.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*, fermentan la lactosa a 44.5° C, son un buen indicador de contaminación por materia fecal ya que se encuentran en las heces de animales de sangre caliente. Los coliformes fecales crecen a una temperatura superior a la de los coliformes totales.

5. ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO.

5.1 Determinación de los sitios de muestreo

La determinación de los sitios de muestreo en el vaso de la presa Valle de Bravo fueron determinados utilizando las imágenes satelitales, las cuales se analizaron digitalmente agrupando los diferentes datos de la imagen en clases espectrales. Con base en el análisis espectral e incluyendo sitios de muestreo en todo el embalse, se definió la ubicación de 50 sitios de muestreo.

La Figura 5.1 resultado del análisis digital muestra la ubicación de los sitios propuestos para el muestreo.

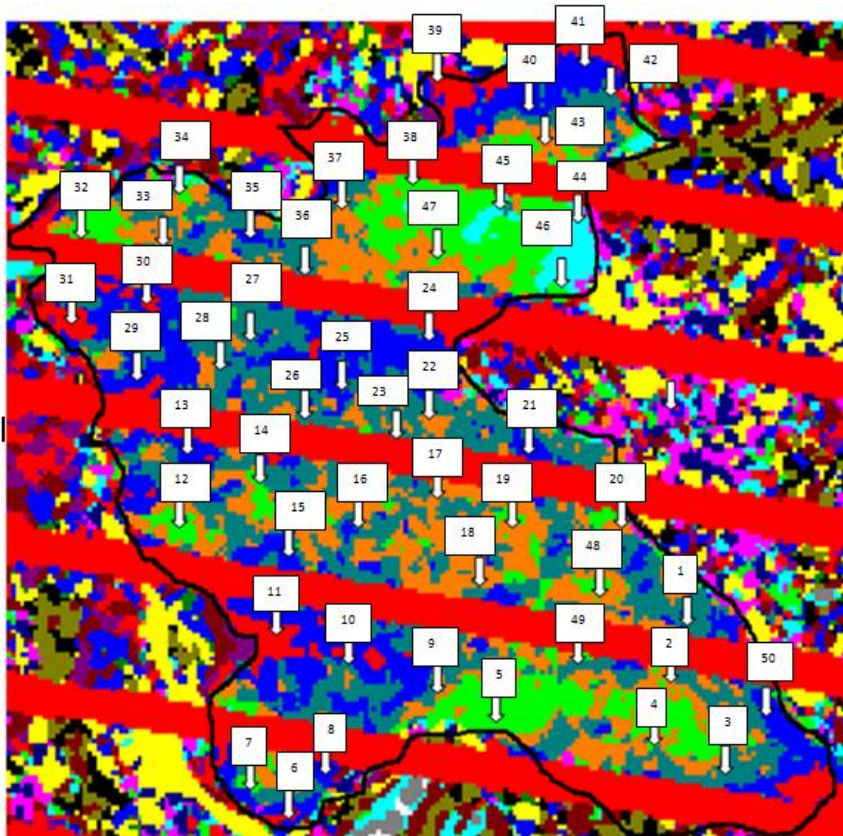


Figura 5.1 Imagen de la región correspondiente al embalse de Valle de Bravo con los 50 Puntos de Muestreo distribuidos por toda su área Fuente: UGSC Análisis ILWIS

Dado que este trabajo forma parte del proyecto *Monitoreo de la calidad del agua mediante percepción remota*, en el que será necesario correlacionar datos de campo y de la imagen satelital, 9 sitios que se ubican en las zonas de bandeo de la imagen por una falla en los sensores, no se incluirán en la

correlación. Para fines del presente trabajo el Cuadro 5.1 presenta las coordenadas geográficas de los 50 sitios de muestreo. Los renglones sombreados son aquellos que se descartarán debido al bandeado.. Los renglones marcados en amarillo son estaciones donde se determinaron parámetros complementarios (Coliformes, DBO₅, etc). El muestreo en campo se realizó el 24 de abril de 2010.

Cuadro 5.1 Coordenadas de los sitios de muestreo

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

5.2 Técnicas de muestreo y preservación de muestras

Muestreo

Se tomaron muestras simples para su posterior análisis, para la determinación de análisis físico – químicos se recolectaron muestras en envases limpios, de 1l; para la determinación de análisis bacteriológicos, se tomaron las muestras en frascos winkler, dichos frascos estaban estériles y declorados.

Procedimiento de toma de muestras. Para llevar a cabo la toma de muestras, para análisis físico - químicos, se enjuagaba el envase con el agua del vaso de la presa, para después tomar la muestra. En el caso de los frascos winkler no se realizaba este procedimiento debido a que contenían tiosulfato de sodio como declorante, se introducía el frasco bajo la superficie, teniendo especial cuidado, en evitar que el agua que entraba al frasco tocara primero las manos de quien tomaba la muestra, pues eso provocaría la contaminación de dicha muestra; una vez que se tenía el volumen deseado (aproximadamente al hombro de la botella) en el frasco, este se tapaba. Cada muestra fue marcada con un número con el que se le podría identificar, pues ese mismo número se guardaba en la memoria del medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828, almacenando las coordenadas y la hora del muestreo, así como otros parámetros. Las Figuras 5.2, 5.3 y 5.4 ilustran el procedimiento de toma de muestras para análisis microbiológicos.



Figura 5.2. Procedimiento de toma de muestras para análisis microbiológico.



Figura 5.3. Procedimiento de toma de muestras para análisis microbiológico.



Figura 5.4. Procedimiento de toma de muestras para análisis microbiológico.

Preservación

Una vez que las muestras fueron tomadas, y los frascos fueron tapados y etiquetados, se mantuvieron con hielo hasta que fueron trasladadas al laboratorio, al día siguiente, en donde se les realizaron los análisis correspondientes o bien, se les colocó en refrigeración hasta que fueron utilizadas.

5.3 Análisis de campo y laboratorio

➤ *En el sitio de muestreo.*

Se realizaron los siguientes análisis:

Temperatura

pH

OD

Conductividad

Resistividad
Sólidos disueltos totales
Salinidad
Presión atmosférica
Turbiedad

Parámetros determinados con el medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828

Los parámetros antes mencionados, con excepción de la turbiedad, fueron obtenidos empleando el medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828; utilizando este aparato, también fue posible calcular las coordenadas geográficas. Las Figuras 5.5 y 5.6 muestran el medidor multiparamétrico con GPS.

La información que proporciona el GPS de este aparato, sobre la ubicación de los sitios de muestreo, puede verse usando el software Google maps, está provisto de una sonda multisensor, gracias a la cual pueden medirse parámetros como el porcentaje de oxígeno disuelto, conductividad, pH y temperatura; también es posible usar la sonda con diferentes medidores, la sonda multisensor aloja 3 electrodos diferentes, uno para oxígeno disuelto, otro para conductividad eléctrica y uno más para pH.

Para cada uno de los parámetros que pueden medirse con el HI 9828 se puede realizar una calibración diferente, o bien hay una calibración rápida a un punto para todos los parámetros. Cuando se utilizará el medidor multiparamétrico en campo, es conveniente y práctico realizar la calibración rápida, pues requiere únicamente de una solución de calibración (HI 9828-25). La forma de realizar la calibración se describe detalladamente en el manual del instrumento.

Para realizar la determinaciones basta con conectar la sonda al medidor, fijar el capuchón protector a la sonda y sumergirla en el sitio en que se muestreará, las lecturas de los parámetros se visualizarán en el medidor, y podrán guardarse en el mismo, para revisarlas posteriormente.



Figura 5.5. Medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828



Figura 5.6. Medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828

Medición de turbiedad en campo

Así mismo se llevó a cabo la determinación de la turbiedad en campo, haciendo uso de un disco Secchi, lo cual se realizó introduciendo este disco en el agua, en el sitio del muestreo y midiendo la longitud de la cadena, para la cual el disco Secchi dejaba de ser visible. En las Figuras 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10 se presenta el procedimiento de medición de turbiedad empleando el disco Secchi.



Figura 5.7. Procedimiento para la determinación de la turbiedad. Introduciendo el disco Secchi.



Figura 5.8. Procedimiento para la determinación de la turbiedad.
A mayor profundidad todavía se observan los cuadrantes.



Figura 5.9. Procedimiento para la determinación de la turbiedad.
Aumentando la longitud sumergida de la cadena, todavía se perciben los cuadrantes.



Figura 5.10. Procedimiento para la determinación de la turbiedad.
El disco Secchi ya no se observa.

➤ *En campo posterior al muestreo.*

Se realizaron los siguientes análisis: fosfatos, nitrógeno amoniacal y nitratos.

Para la realización de estos análisis se usó el Espectrofotómetro HACH DR 2800, para análisis de campo, este aparato tiene programas almacenados, que permiten realizar la medición de parámetros, como los antes mencionados. Para cada determinación se selecciona el programa y se sigue el procedimiento tal y como se indica en el manual; para realizar estas determinaciones debe agregarse uno o en algunos casos dos reactivos a la muestra, agitar y esperar un tiempo de reacción, limpiar las celdas e introducir las en el Espectrofotómetro HACH DR 2800, para la medición del parámetro correspondiente en mg/l. Las Figuras 5.11, 5.12 y 5.13 muestran el funcionamiento del aparato.

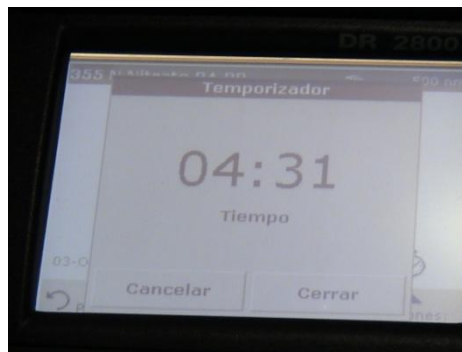


Figura 5.11. Espectrofotómetro HACH DR 2800

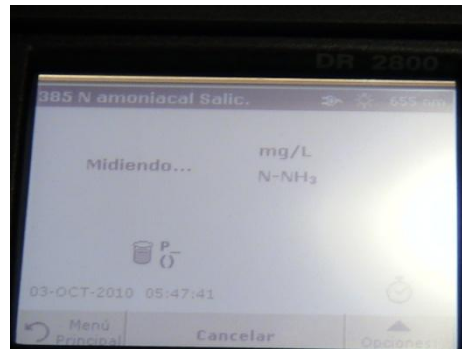


Figura 5.12. Espectrofotómetro HACH DR 2800
Midiendo N-NH₃



Figura 5.13. Espectrofotómetro HACH DR 2800
Mostrando concentración de N-NH₃

➤ En laboratorio

Los trabajos del laboratorio se iniciaron el domingo 25 de abril de 2010 a partir. Se realizaron los siguientes análisis: coliformes totales y fecales, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y turbiedad.

Determinación de coliformes totales y fecales

Para la determinación de coliformes fecales y totales se utilizó el método de filtración de membrana, para realizar este análisis fue necesario tener el área de trabajo estéril, razón por la cual se colocaron 2 mecheros encendidos en la mesa en que se trabajó, como se muestra en la figura 5.14, el material empleado también estaba estéril, y se evitó hablar mientras se realizaba el procedimiento, para no contaminar las muestras.

Se realizaron 2 diluciones diferentes (10 y 50 ml de muestra en 100 ml de agua de dilución estéril. Se colocó un soporte de borosilicato en la boca de un matraz Kitasato, utilizando unas pinzas se sacó un papel filtro y se colocó sobre el soporte (Figura 5.15), en la parte superior del matraz Kitasato se colocó un matraz invertido (Figura 5.16), y después se agregaron en este los 100 ml de muestra y se hicieron pasar a través del filtro utilizando una bomba de vacío: Una vez que se había filtrado todo el volumen seleccionado, el filtro se retiró y colocó con la cuadrícula hacia arriba en una caja de petri, en la que previamente se añadió sobre un cojín absorbente el medio de cultivo ENDO, para coliformes totales, o el medio de cultivo MFC si se trata de coliformes fecales. La caja de petri, previamente marcada, se cerró y se colocó en la incubadora a 35°C con el cojín absorbente y el papel filtro hacia arriba, durante 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo la caja de petri se revisó para realizar el conteo de las colonias que se formaron, algunas de las cuales se muestran en las Figuras 5.17, 5.18.



Figura 5.14. Procedimiento para la determinación de coliformes totales y fecales
Preparación del área



Figura 5.15. Procedimiento para la determinación de coliformes totales y fecales
Toma de papel filtro con la ayuda de pinzas estériles.



Figura 5.16. Procedimiento para la determinación de coliformes totales y fecales
Colocación de matraz sobre matraz Kitasato.

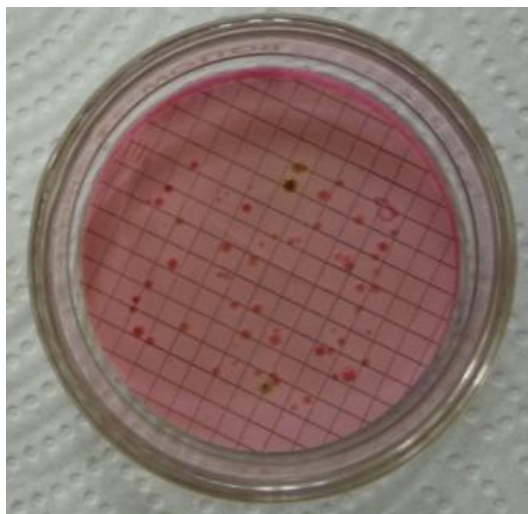


Figura 5.17. Colonias de coliformes totales

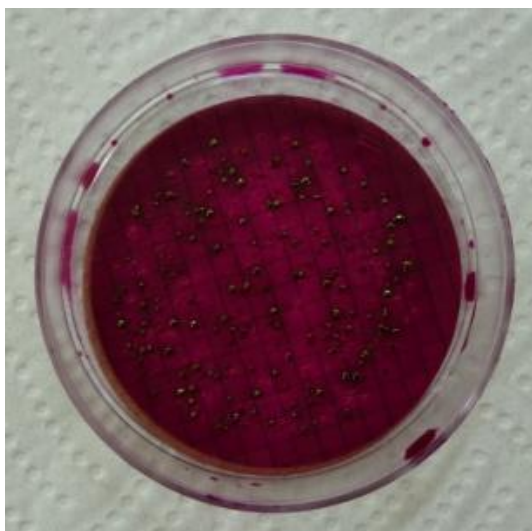


Figura 5.18. Colonias de coliformes fecales

Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El método empleado consiste en determinar la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica contenida en el agua, por diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto luego de 5 días de incubación a 20 °C, entre el porcentaje de dilución.

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}}$$

Para la determinación de este análisis se hicieron 2 diluciones (5 y 10 %) para cada muestra, el agua de dilución se preparó añadiendo 1 ml de cada una de los siguientes nutrientes: sulfato de magnesio, cloruro calcio, cloruro férrico y disolución amortiguadora, por cada litro de agua de dilución, además esta agua fue aireada para saturarla de oxígeno antes de mezclarla con el agua de la muestra.

Dado que para su determinación es necesario conocer el oxígeno disuelto de la muestra, primero se fijó el oxígeno, para lo cual se agregó, a la muestra contenida en el frasco Winkler 2 ml de sulfato manganoso y luego 2 ml de álcali – yoduro – nitrato, se tapó la botella, se agitó y se dejó sedimentar, cuando el precipitado llegó al hombro de la botella, entonces se mezcló nuevamente, se agregaron 2 ml de ácido sulfúrico 2N (Figura 5.19 y 5.20), se mezcló nuevamente hasta que el precipitado se disolvió. Entonces se midieron, con ayuda de una probeta, 200 ml de la muestra, y se colocaron en un matraz Erlen Meyer, se le agregaron unas gotas de almidón; se llenó una bureta con Tiosulfato de Sodio 0.025N hasta la marca de cero (Figura 5.21), se colocó el matraz debajo de la bureta y se dosificó el Tiosulfato de Sodio a la muestra, mientras se agitaba, hasta que la muestra regresó a su color original, los ml de

Tiosulfato usados corresponderán a la concentración de oxígeno disuelto inicial en mg/l de la muestra. Para conocer el oxígeno disuelto final de la muestra, fue necesario realizar el procedimiento antes descrito luego de 5 días de incubación a 20 °C.



Figura 5.19. Dosificación de reactivos
Adición de álcali-yoduro-nitruro.



Figura 5.20. Dosificación de reactivos
Adición de ácido sulfúrico



Figura 5.21 Titulación con tiosulfato de sodio

Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)

Se filtraron 100 ml de la muestra haciendo pasar el agua a través del crisol Gooch, al que previamente se le coloca un filtro de fibra de vidrio y un papel Whatman, por la aplicación de vacío. Una vez que la muestra es filtrada, el crisol se colocó en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 1 hora (Figura 5.22), una vez transcurrido este tiempo se dejó enfriar en un desecador (Figura 5.23) para posteriormente registrar su peso (W_{SST}) (Figura 5.24). El contenido de sólidos suspendidos totales se obtuvo de la siguiente forma:

$$SST \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{W_{SST} - W_{CG}}{V_{muestra}}$$

Para llevar a cabo la determinación de sólidos suspendidos totales se emplearon crisoles Gooch con filtro, que estaban a peso constante.



Figura 5.22. Procedimiento para la determinación de SST
Secado a 105 °C durante una hora



Figura 5.23. Procedimiento para la determinación de SST
Enfriamiento en desecador



Figura 5.24. Procedimiento para la determinación de SST
Registro de peso final

Determinación de la turbiedad

Se llevó a cabo en laboratorio empleando un nefelómetro Hach 2100 A (Figura 5.25), este instrumento utiliza varios ámbitos para medir la turbiedad de una muestra, dependiendo de los requerimientos de dicha muestra, estos rangos van de: 0- 0.2, 0 – 1, 0 – 10, 0 – 100 y 0 – 1000 UTN. Tiene cuatro patrones con los que se compara la muestra y esto permite seleccionar el patrón con el que se calibrará el instrumento.

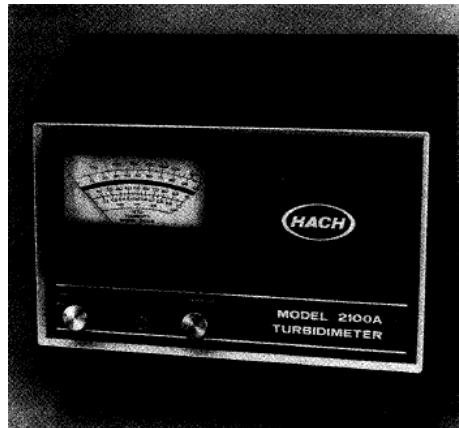


Figura 5.25. Nefelómetro Hach 2100 A.
Fuente: manual del instrumento

Este aparato opera dirigiendo un haz de luz desde la parte inferior de la celda de cristal que contiene la muestra, cuando este haz ilumina las partículas de la muestra es descubierta por un tubo fotomultiplicador sensible a 90 °C del haz de luz incidente, La cantidad de luz recibida por el tubo fotomultiplicador es proporcional a la turbiedad de la muestra, como se muestra en la figura 5.26..

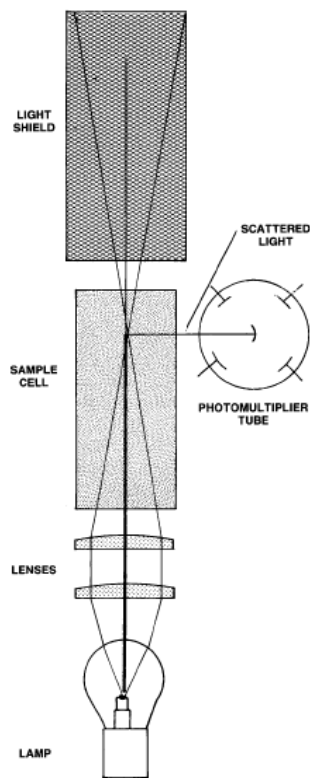


Figura 5.26 Luz recibida por el tubo fotomultiplicador
Fuente: manual del intrumento.

Para su determinación se encendió el aparato 30 minutos antes de usarlo para calentarlo, mientras el aparato estaba apagado se ajusto al cero mecánico con el tornillo, se compara el agua de muestra con los patrones que incluye el mismo aparato y se selecciono el patrón con el que se calibró el aparato. Una vez que el aparato estaba calibrado se introdujo la celda que contenía el agua de la muestra analizar, se tapó con el capuchón y se leyó en la escala correspondiente el valor de turbiedad en UTN, siempre teniendo cuidado de limpiar las celdas con una tela especial antes de introducirlas.

5.4 Procesamiento y análisis de la información

El Cuadro 5.2 y 5.3 presenta los resultados de calidad el agua obtenidos en los 50 sitios de muestreo.

Cuadro 5. 1 Resultado del estudio realizado en el embalse de la presa de Valle de Bravo 2010

ID punto	Temperatura [°C]	pH	Oxígeno Disuelto [mg/l]	Conductividad [µmhos/cm]	Sólidos Disueltos [mg/l]	Sólidos Suspendedos [mg/l]	Turbiedad [UTN]
1	21.92	9.44	7.37	138	69	14.9	8
2	22.27	9.45	7.30	138	69	9.2	11
3	23.79	9.40	7.05	144	72	1.5	7.1
4	23.02	9.48	7.12	143	72	6.3	8.2
5	21.69	9.49	7.36	145	73	36.5	11
6	22.42	9.36	6.55	151	76	1008.7	11
7	21.99	9.46	7.33	141	71	410.2	11
8	22.58	9.51	7.72	139	69	0.9	11
9	22.59	9.41	7.61	144	72	6.4	11
10	22.55	9.57	7.69	146	73	8.9	11
12	22.13	9.48	7.67	121	61	5.5	11
13	22.28	9.49	7.69	134	67	8.9	11
14	21.91	9.53	7.88	142	71	6.7	11
15	21.92	9.53	7.70	144	72	4.4	11
16	21.88	9.52	7.67	145	72	1.5	11
18	22.37	9.51	7.73	148	74	4.6	11
19	22.27	9.54	7.75	150	75	5.6	12
21	22.68	9.53	7.82	150	75	10.5	12
22	22.35	9.49	7.58	152	76	9.2	12
23	22.47	9.52	7.76	155	78	791.3	12
24	22.53	9.52	7.73	152	76	3.8	12
25	22.53	9.54	7.96	155	77	12.5	11
26	22.44	9.56	7.84	156	78	11.4	11
27	22.18	9.56	7.78	150	75	45.6	11
28	21.93	9.56	7.85	151	75	6.2	11

Continuación del cuadro 5.2

ID punto	Temperatura [°C]	pH	Oxígeno Disuelto [mg/l]	Conductividad [µmhos/cm]	Sólidos Disueltos [mg/l]	Sólidos Suspendidos [mg/l]	Turbiedad [UTN]
29	21.49	9.56	7.61	150	75	1.9	11
31	21.53	9.55	7.58	154	77	6	11
32	21.78	9.53	7.66	156	78	9.3	12
33	21.82	9.58	8.10	157	79	9.3	12
34	21.68	9.57	8.03	157	79	7.9	11
35	22.37	9.52	7.50	156	78	8.4	10
36	22.79	9.51	7.70	155	77	5.4	10
37	22.55	9.48	7.70	161	81	16.5	11
39	22.18	9.50	7.88	157	79	9.9	12
40	22.54	9.45	7.43	158	79	9.1	12
42	22.93	9.49	7.87	161	80	27.8	13
43	23.31	9.51	8.07	161	80	109.6	12
46	23.24	9.49	7.96	159	80	7.9	11
47	22.56	9.54	7.99	157	78	8.3	11
48	22.35	9.52	7.84	159	79	7.3	11
50	22.62	9.55	7.97	158	79	16.3	10

Cuadro 5. 2 Parámetros complementarios

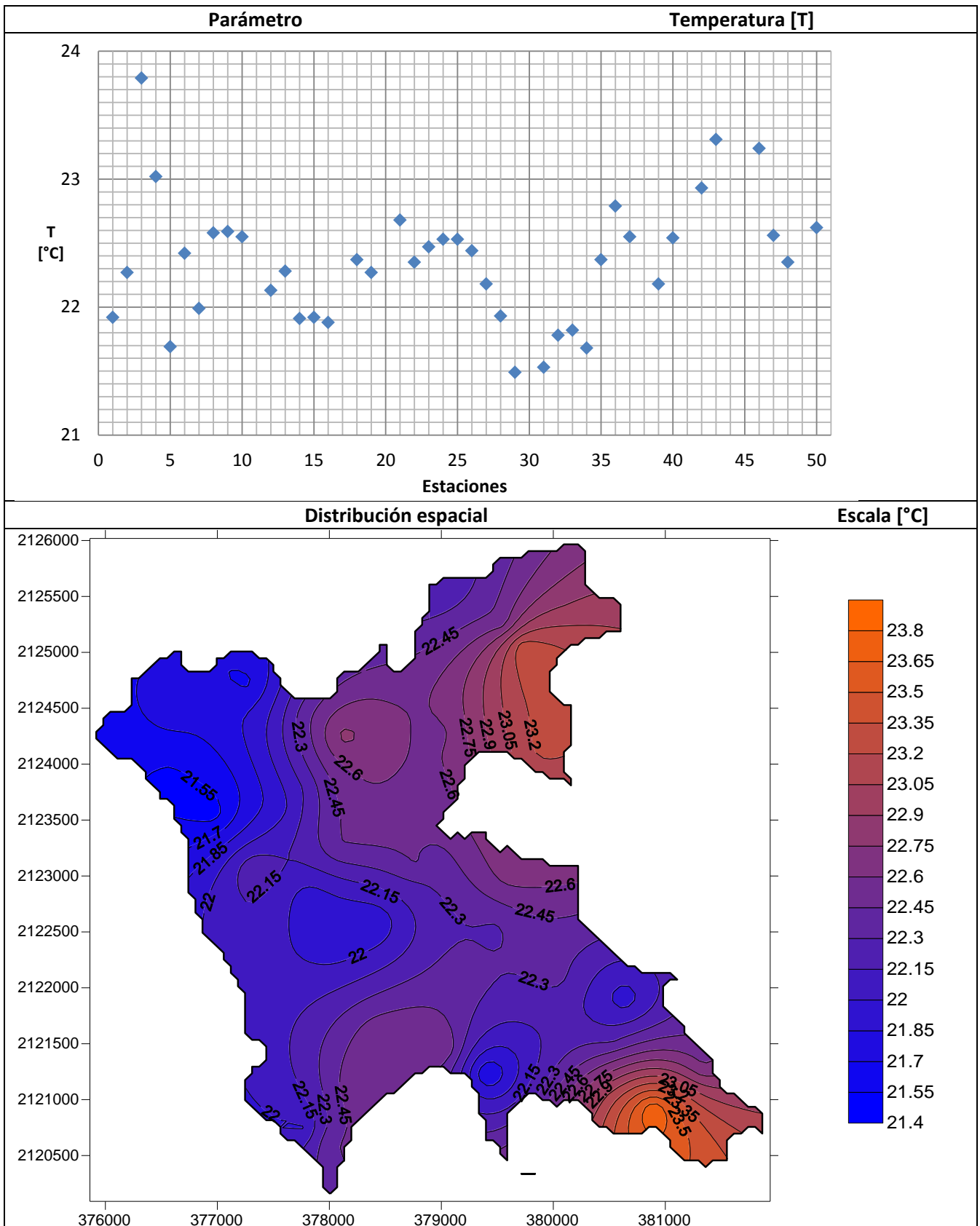
ID punto	Coliformes Fecales [No. de colonias/100 ml]	Coliformes Totales [No. de colonias/100 ml]	Nitrógeno Amoniacal [mg/l]	Nitratos [mg/l]	Fosfatos [mg/l]	DBO ₅ [mg/l]
3	24	150	0.06	0.4	0.18	32
6	252	828	0.01	0.7	0.11	50
25	538	incontables	0.01	0.4	0.09	30
31	170	278	0.06	0.5	0.1	28
42	886	incontables	0	0.6	0.09	34
46	incontables	Incontables	0.01	0.6	0.11	36

Para el análisis de los datos de calidad del agua se recurrió al programa SURFER 8 con el objetivo de generar curvas de nivel y determinar el comportamiento espacial de las concentraciones de los parámetros medidos. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

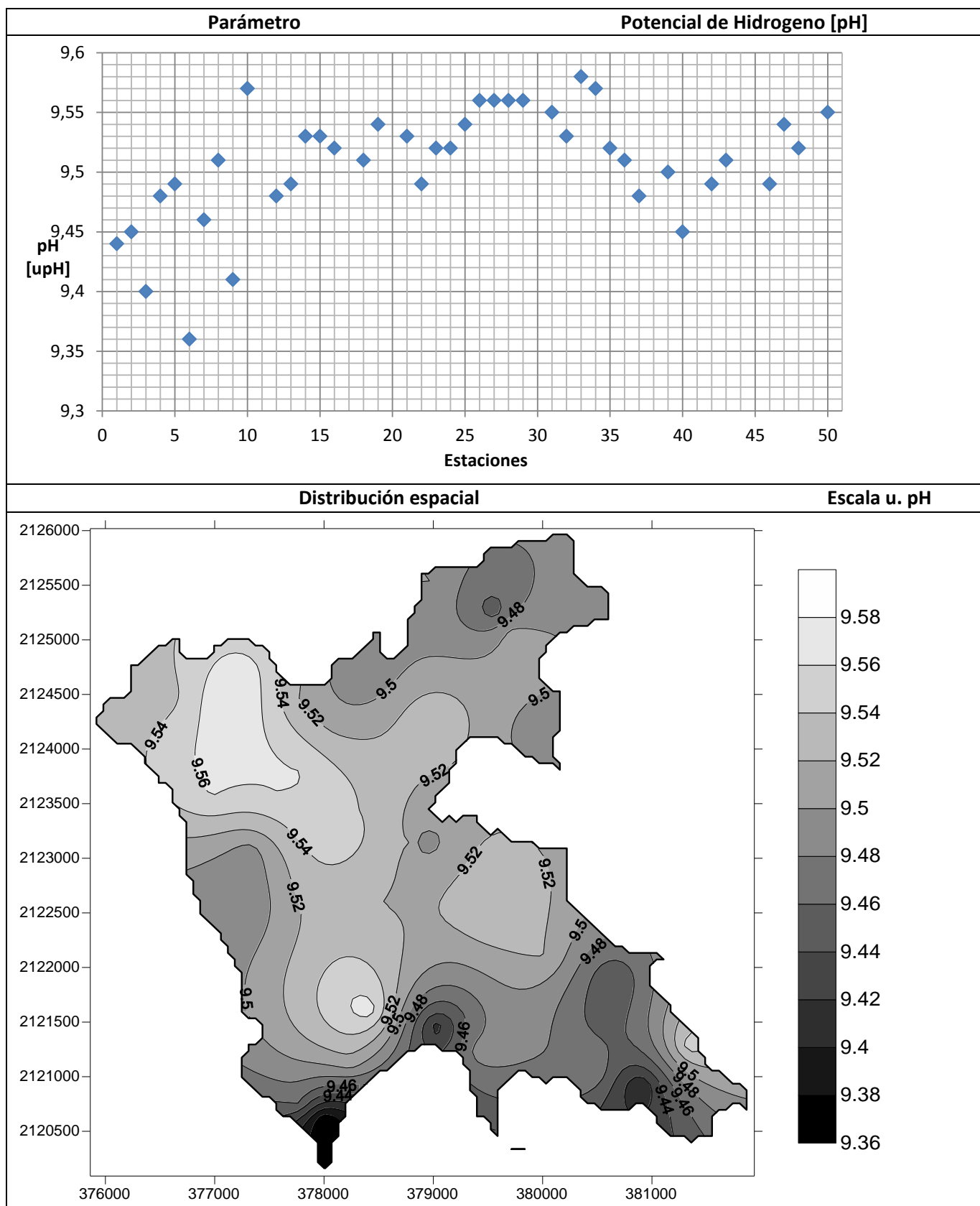
Para los parámetros de temperatura, pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y conductividad se obtuvieron las curvas de igual concentración; así como, la gráficas que muestran el valor de la concentración en cada estación, dicha información se presenta en las Fichas de resultado por parámetro. Las Fichas 5.1 a 5.7 presentan la concentración puntual y espacial de parámetros.

Los coliformes fecales y totales, nitrógeno amoniacal, nitratos, fosfatos, DBO₅, se obtuvieron en 6 estaciones seleccionadas por estar cerca de las descargas y una estación se ubicó en el centro del embalse. Las gráficas 5.1 a 5.6 muestran la concentración de los parámetros medidos en las seis estaciones.

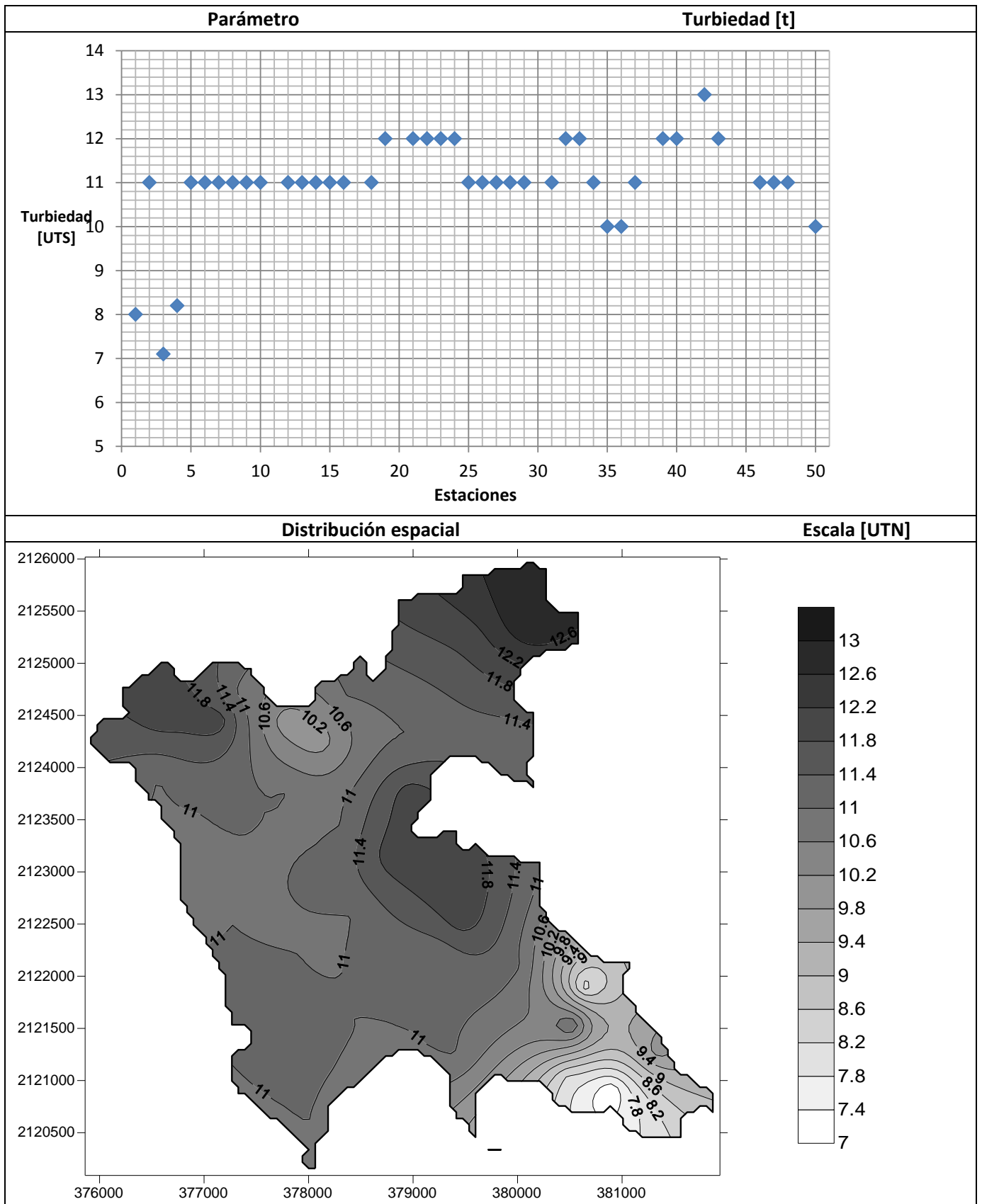
Ficha 5. 1 Representación puntual y espacial de la temperatura del agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



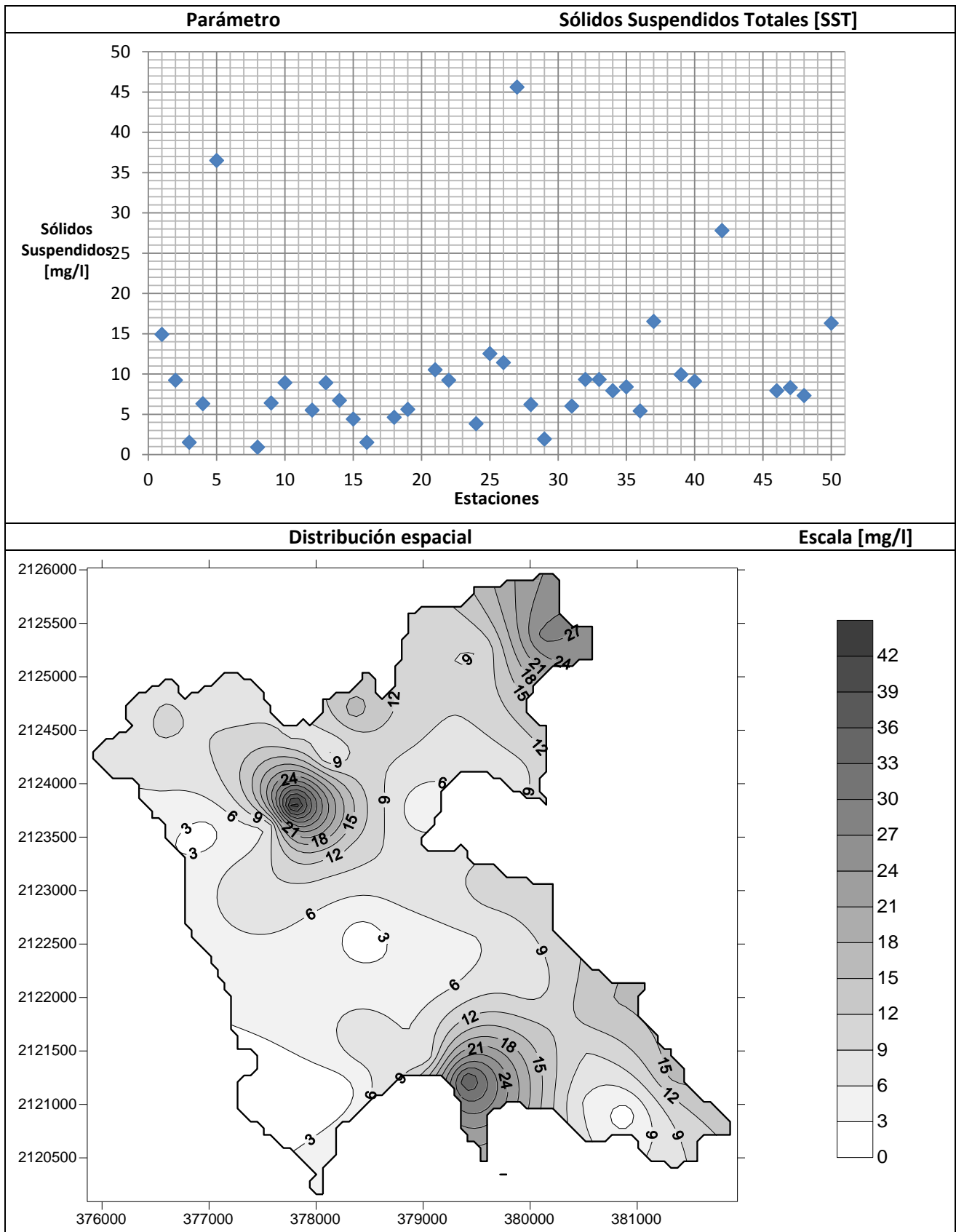
Ficha 5. 2 Representación puntual y espacial de pH en el agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



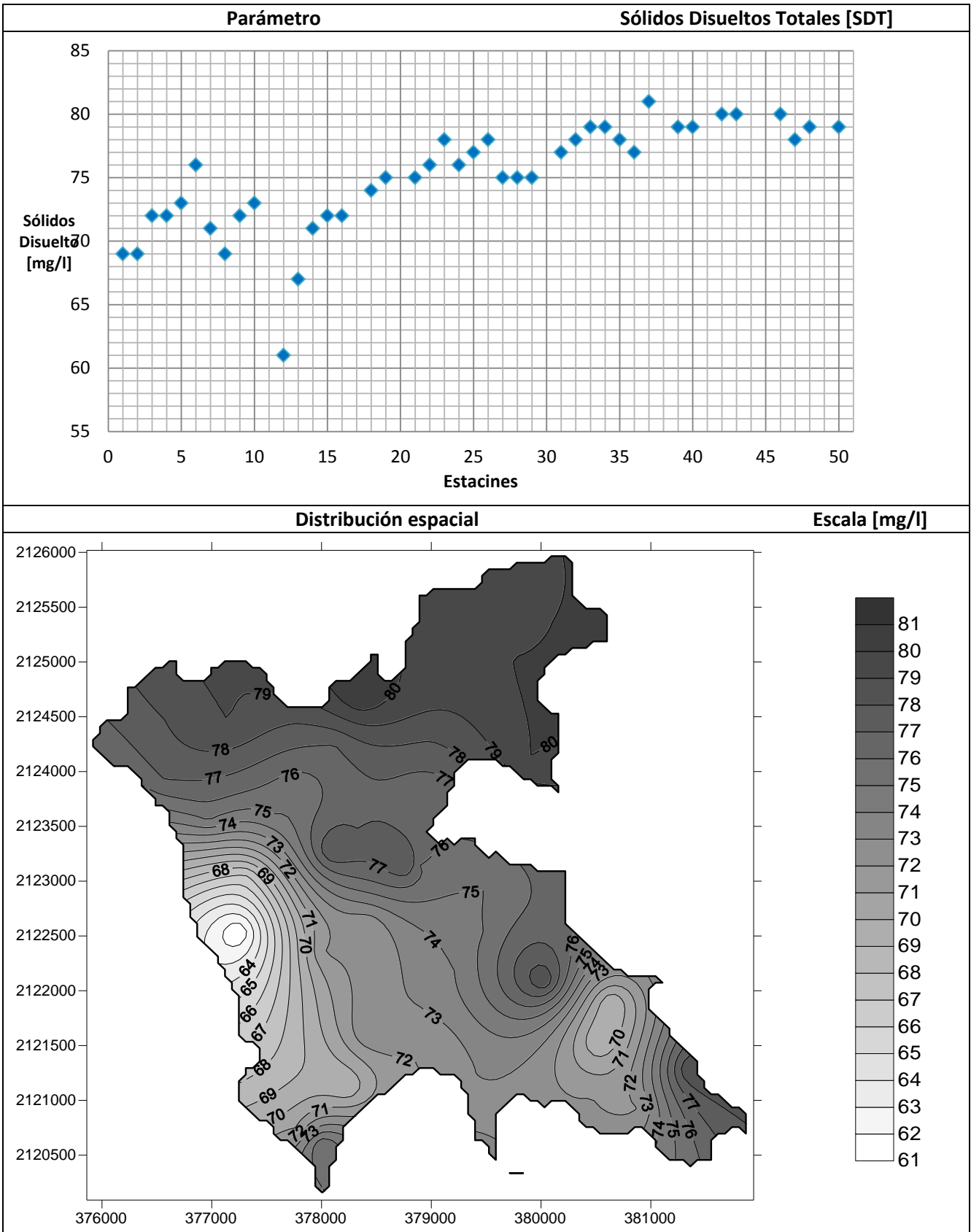
Ficha 5. 3 Representación puntual y espacial de la turbiedad del agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



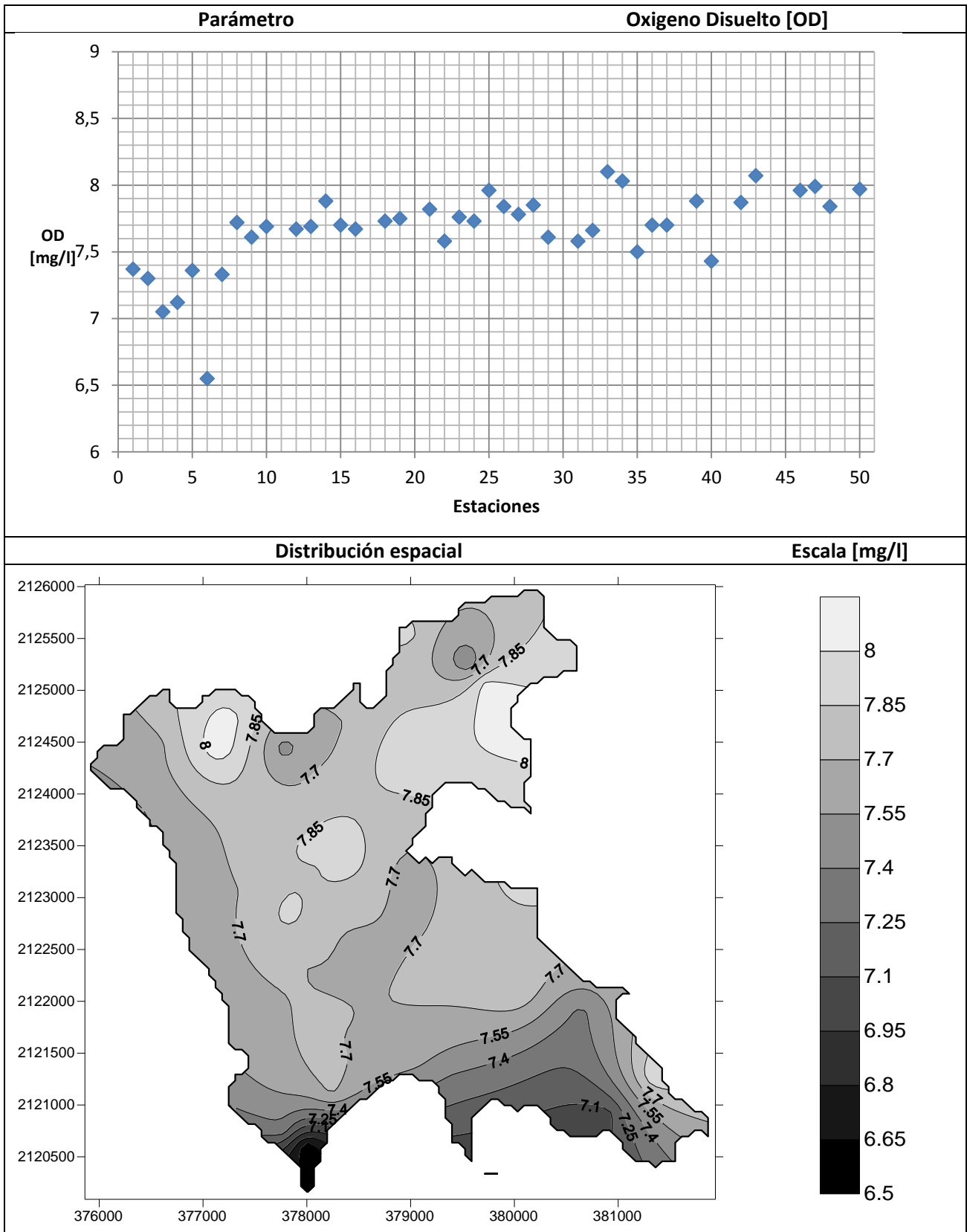
Ficha 5. 4 Representación puntual y espacial de los sólidos suspendidos totales en el agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



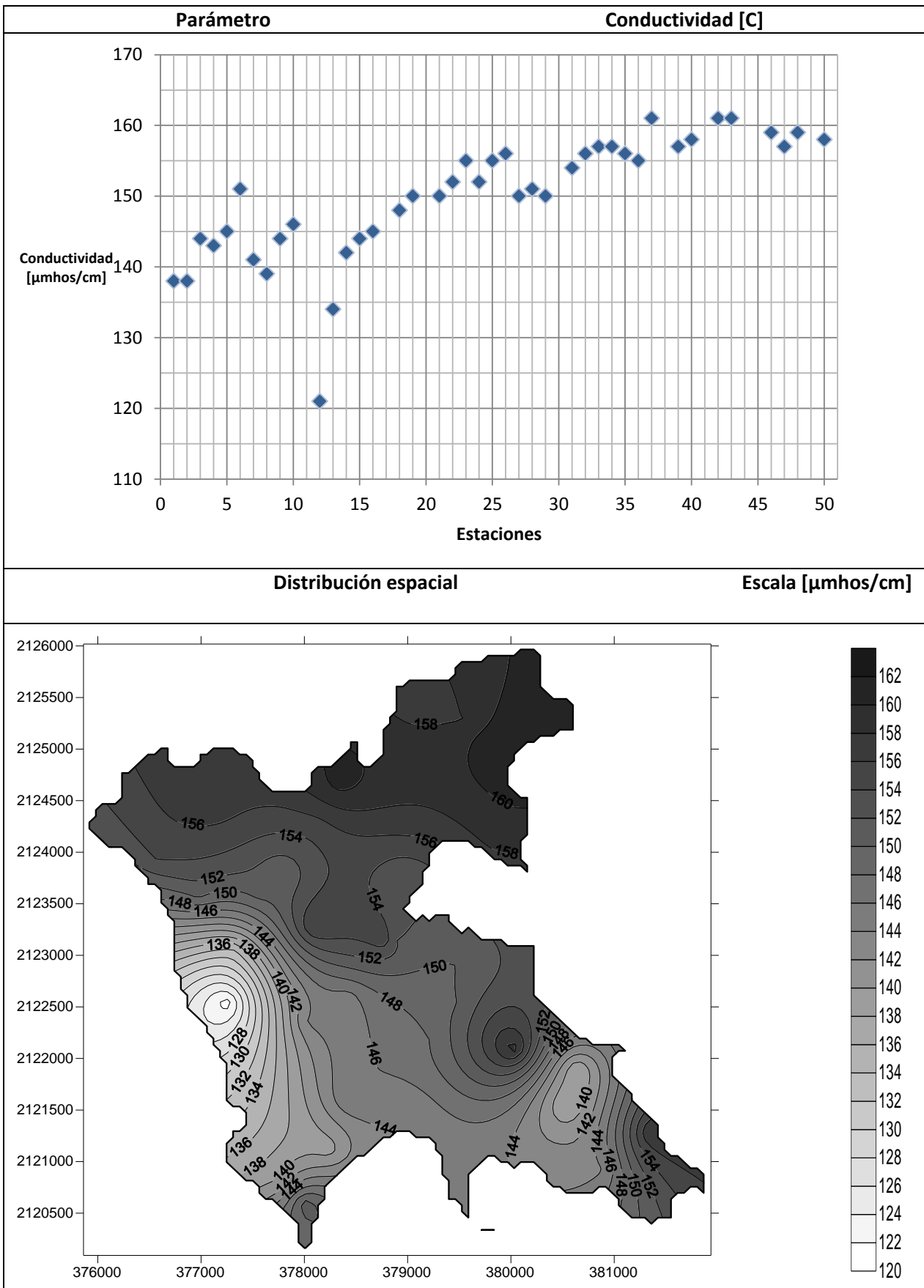
Ficha 5. 5 Representación puntual y espacial de sólidos disueltos totales en el agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



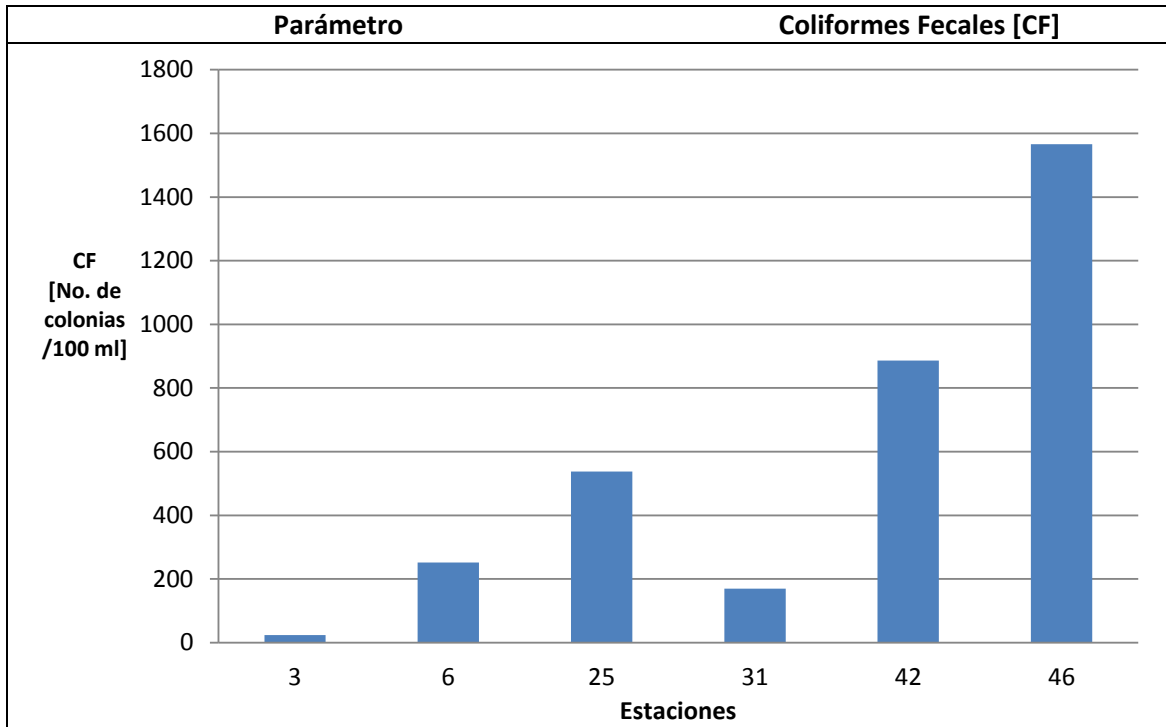
Ficha 5. 6 Representación puntual y espacial del oxígeno disuelto en el agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



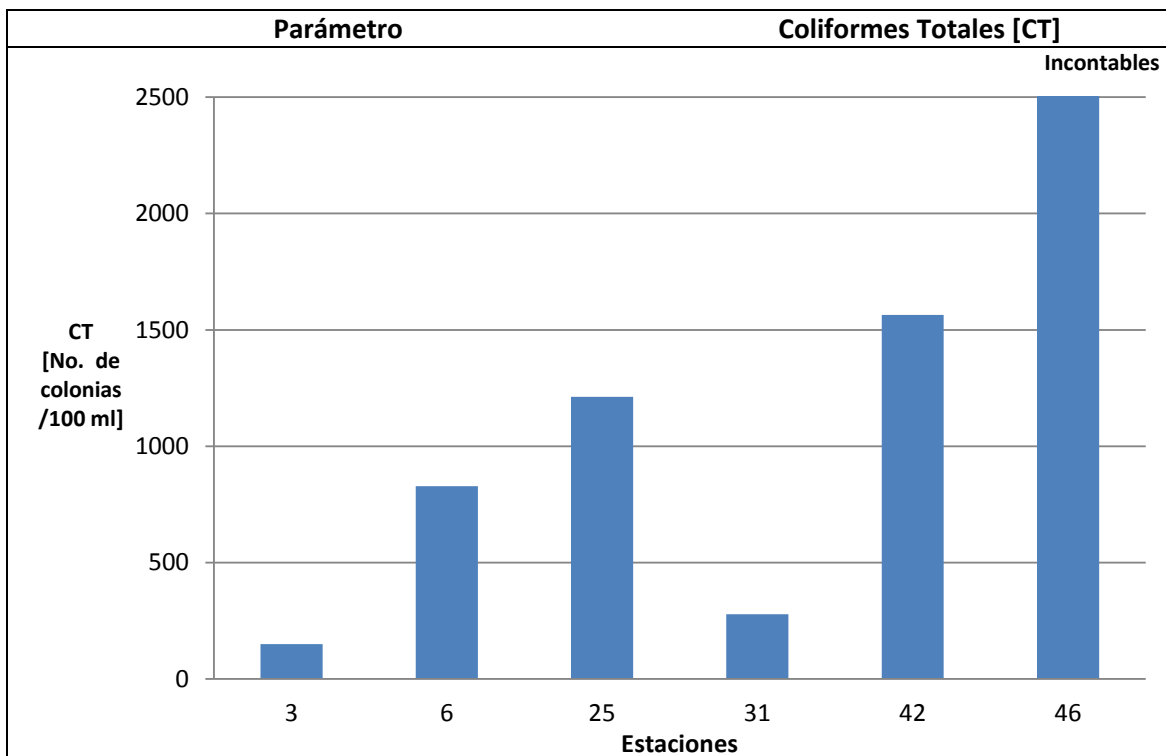
Ficha 5. 7 Representación puntual y espacial de la conductividad del agua, en el embalse de la presa Valle de Bravo 2010



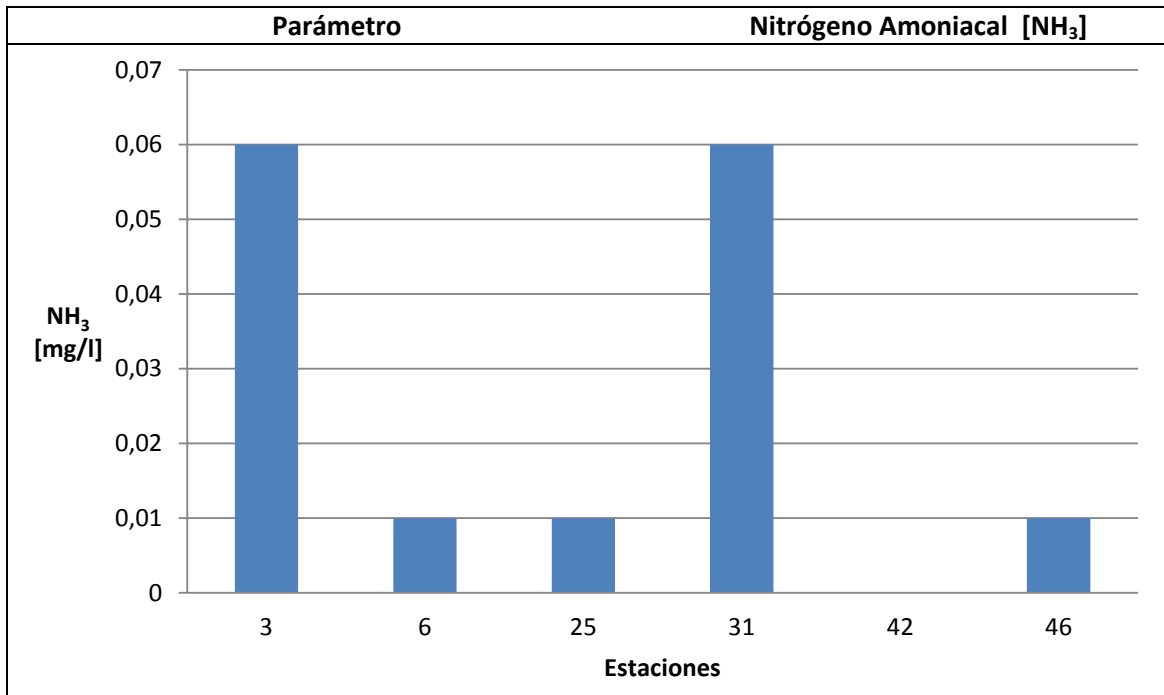
Gráfica 5. 1 Resultados de coliformes fecales en las estaciones del embalse en la presa Valle de Bravo 2010



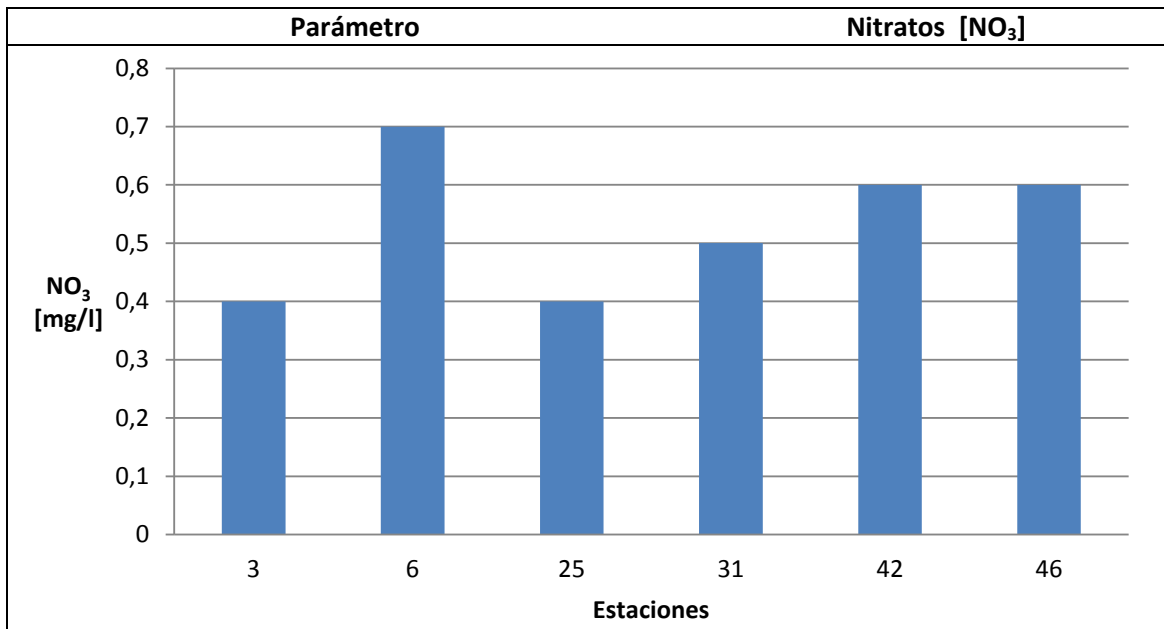
Gráfica 5. 2 Resultados de coliformes totales en las estaciones del embalse en la presa Valle de Bravo 2010



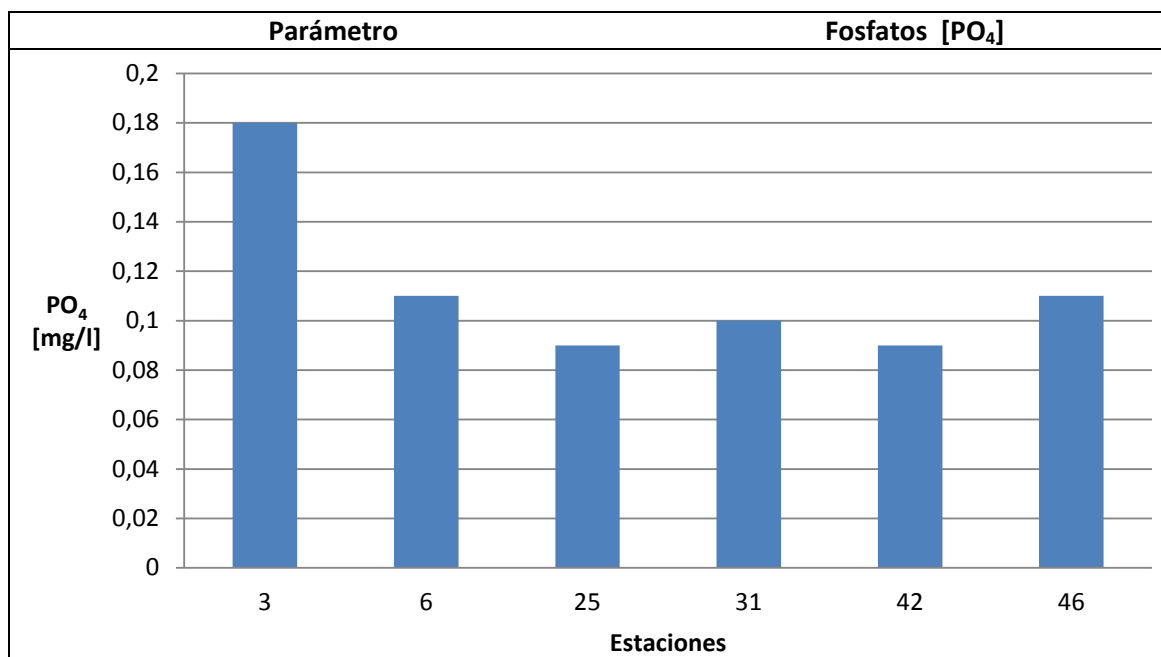
Gráfica 5. 3 Resultados de nitrógeno amoniacal en las estaciones del embalse de la presa de Valle de Bravo 2010



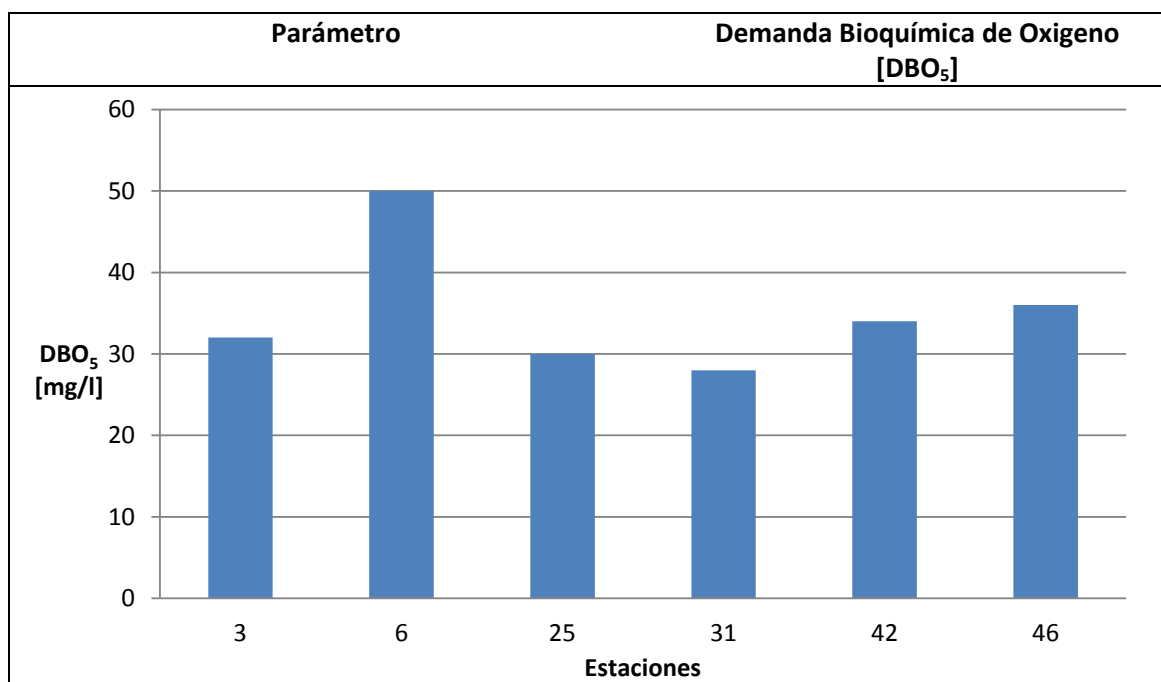
Gráfica 5. 4 Resultados de nitratos encontrados en las estaciones del embalse de la presa de Valle de Bravo 2010



Gráfica 5. 5 Resultados de fosfatos encontrados en las estaciones del embalse de la presa de Valle de Bravo 2010



Gráfica 5. 6 Resultados de demanda bioquímica de oxígeno en las estaciones del embalse de la presa de Valle de Bravo 2010



Índice de Calidad del agua.

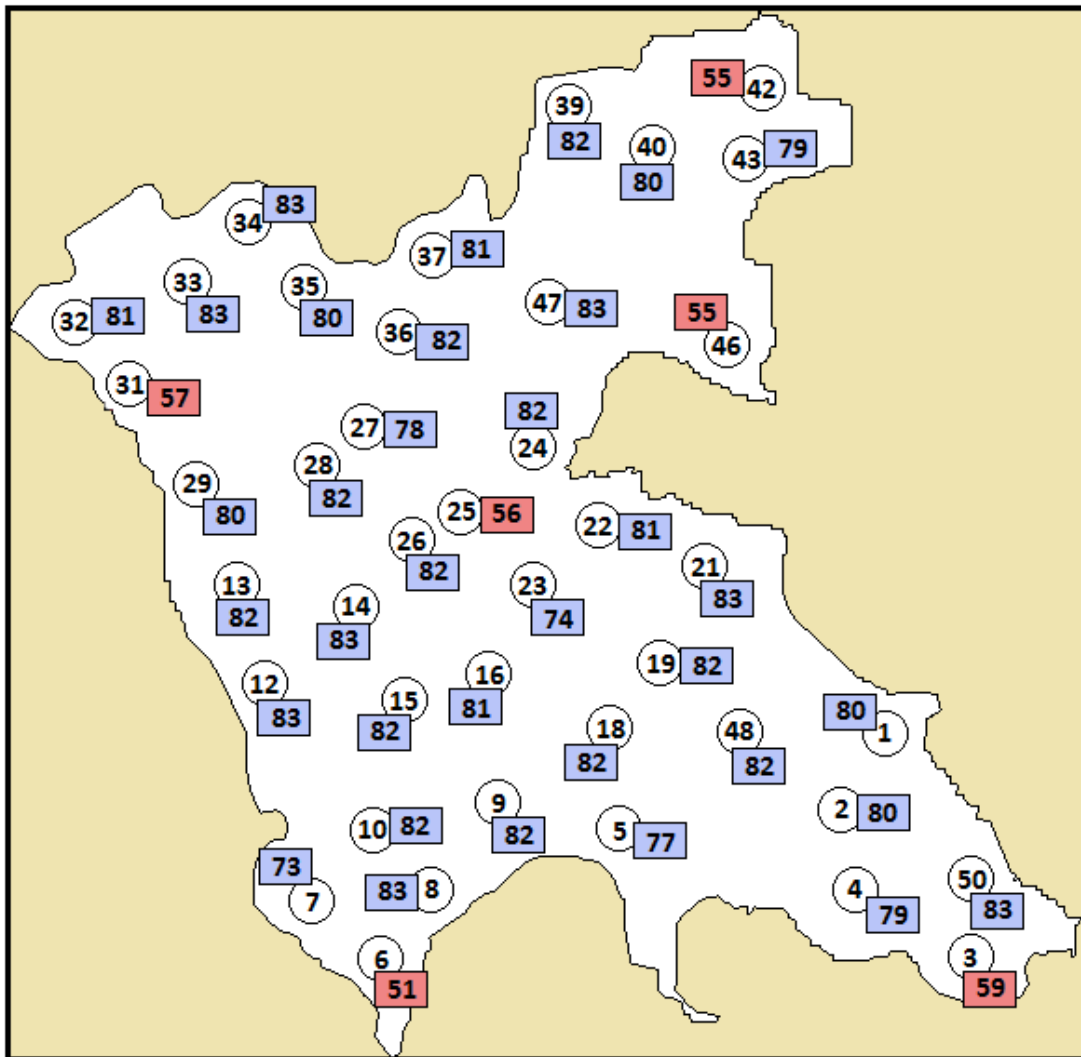
Con los parámetros obtenidos en campo se determinó el Índice de Calidad del Agua en las 50 estaciones. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.4 además de su representación espacial en la Figura 5.27. Las hojas de cálculo se encuentran en el ANEXO de este trabajo.

Cuadro 5. 3 Calificación de ICA de la presa de Valle de Bravo 2010


Sitios de muestreo	ICA	Calificación
1	80	Aceptable
2	80	Aceptable
3	59	Poco contaminado
4	79	Aceptable
5	77	Aceptable
6	51	Poco contaminado
7	73	Aceptable
8	83	Aceptable
9	82	Aceptable
10	82	Aceptable
12	83	Aceptable
13	82	Aceptable
14	83	Aceptable
15	82	Aceptable
16	81	Aceptable
18	82	Aceptable
19	82	Aceptable
21	83	Aceptable
22	81	Aceptable
23	74	Aceptable
24	82	Aceptable


Sitios de muestreo	ICA	Calificación
25	56	Poco contaminado
26	82	Aceptable
27	78	Poco contaminado
28	82	Aceptable
29	80	Aceptable
31	57	Poco contaminado
33	83	Aceptable
32	81	Aceptable
34	83	Aceptable
35	80	Aceptable
36	82	Aceptable
37	81	Aceptable
39	82	Aceptable
40	80	Aceptable
42	55	Poco contaminado
43	79	Aceptable
46	55	Poco contaminado
47	83	Aceptable
48	82	Aceptable
50	83	Aceptable

Figura 5. 27 Ubicación y calificación del ICA en las zonas de muestreo del embalse de Valle de Bravo 2010



Simbología

Nº de Estación 

Calificación ICA 

5.5 Discusión de resultados.

De acuerdo a la información obtenida, el agua de la presa Valle de Bravo, no puede usarse como agua para consumo humano, sin previo tratamiento, debido a que en ella se encontró la presencia de coliformes totales y fecales, y la NOM – 127 – SSA1 – 1994 establece que estos deben estar ausentes o no ser detectables; el pH tiene valores entre 9.36 y 9.58, valores que también están fuera del intervalo establecido en la mencionada norma (6.5 - 8.5 u pH). En las estaciones 3, 6, 25, 31, 42 y 46 se encontraron concentraciones de nitrógeno amoniacal y nitratos; e indican que el agua ha sido contaminada con aguas residuales domésticas; por otro lado debido a que en la presa se realizan actividades como: esquí, veleo, canotaje y pesca deportiva, deberían tomarse medidas para restringir algunas de estas actividades ya que implican contacto directo con el agua.

Tomando como referencia los límites máximos permisibles de contaminantes básicos establecidos en la NOM – 001- SEMARNAT - 1996 para embalses artificiales de uso público urbano, la concentración de sólidos suspendidos rebasa el límite establecido en 4 estaciones, mientras que los parámetros de temperatura y DBO₅, están dentro de los límites establecidos en la norma.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones generales

La realización de un estudio de calidad del agua comprende una serie de actividades de gabinete, campo y laboratorio. Por ejemplo entre las actividades de gabinete están la planeación, recopilación de la información entre otras; entre las de campo están la recolección de muestras y la medición de algunos parámetros; en las de laboratorio la obtención de parámetros, los cuales requieren de equipo especializado. Uno de los aspectos importantes a considerar en la evaluación de la calidad de un cuerpo de agua es el económico, ya que de este dependerá el cumplimiento del objetivo, pues limitará los alcances del estudio. Es importante considerar que en la medida de lo posible, debe invertirse en la adquisición de equipo que permita la obtención de algunos parámetros en el estudio de calidad, así como contar con el apoyo de programas de computadora, ya que son una herramienta muy útil en la realización de un estudio de calidad.

Otro aspecto a considerar es la selección de las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Técnicas Mexicanas, que permiten estandarizar los procedimientos, lo cual será de ayuda para realizar comparaciones con otros estudios y obtener resultados más confiables, además de que establecen criterios para la evaluación, tal es el caso de la NOM-127-SSA1-1994.

Conclusiones particulares

Con base en la experiencia obtenida durante la realización del estudio de la calidad del agua del vaso de la presa Valle de Bravo, se puede resaltar la importancia de la recopilación de información ya que ayudó a conocer las características del lugar, establecer sitios de interés para el estudio de calidad, entre otros; una planeación adecuada, pues permitió organizar el tiempo y evitar imprevistos, asegurando en buena medida el éxito del muestreo.

Tomando en cuenta que para la obtención de algunos parámetros (pH, conductividad, turbiedad, etc.) se requiere de instrumentos especiales para cada uno, el factor económico fue muy importante ya que se pudo realizar la adquisición del medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828, que proporciona 13 parámetros, representando un ahorro significativo de tiempo, durante el muestreo.

Tradicionalmente la definición de los sitios de muestreo se realiza tomando en cuenta los sitios de descarga, sin embargo, en el caso estudio se realizó, a partir de un software de Sistema de Información Geográfica (SIG), un análisis digital de la imagen satelital del vaso de la presa Valle de Bravo, que permitió de manera sustentada en la respuesta espectral determinar los sitios de muestreo.

Tomando en cuenta el valor del ICA, en términos generales, el agua de la presa Valle de Bravo, tiene una calidad aceptable; sin embargo, al comparar los valores de algunos parámetros con lo establecido en la normatividad mexicana, se rebasan los límites máximos permisibles como se detalla en el Capítulo 5.

Por lo antes mencionado se recomienda implantar las medidas para mejorar la calidad del agua, como por ejemplo, ampliar la cobertura del alcantarillado para evitar la descarga directa de aguas residuales a la presa, construir más plantas de tratamiento de aguas residuales, o bien ampliar la capacidad de tratamiento de las ya existentes, e informar a las personas sobre el riesgo que corren al realizar alguna actividad que implique contacto directo con el agua.

BIBLIOGRAFÍA

Ley de Aguas Nacionales.

Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (CE – CCA – 001/89),

NOM – 127 – SSA1 – 1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NOM – 003 – SEMARNAT – 1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

NMX – AA – 014 – 1980. Cuerpos receptores.- muestreo

NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua – Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

NMX – AA – 028 – SCFI – 2001. Análisis de agua – Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas – Método de prueba.

NMX – AA – 042 – 1987. Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichiacoli presuntiva.

NMX – AA – 102 – SCFI – 2006. Calidad del agua detección y enumeración organismos coliformes, organismos coliformestermotolerantes y Escherichiacoli presuntiva – Método de filtración en membrana.

NMX – AA – 038 – SCFI – 2001. Análisis de agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

Tebbutt T. H. Y. 1996. *Fundamentos de Control de Calidad del Agua*. 3ra edición, Limusa, México.

Gabriel Alfonso Roldán Pérez, John Jairo Ramírez Restrepo, *Fundamentos de limnologianeotropical*. 2da edición.

M. I. Menéndez Martínez Carlos Manuel. *Estudios de calidad del agua*. Curso de Administración de la Calidad del Agua.

Cortes Morales Roberto Salvador, 2002. *Evaluación de la calidad bacteriológica y físico química de la presa Valle de Bravo*. Tesis de licenciatura en Biología, UNAM. Facultad de Ciencias.

M. I. Vázquez González Alba Beatriz, 2006. *Manual de prácticas de laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental*. Facultad de Ingeniería. UNAM.

CONAGUA, Organismo del Agua del Estado de México. Comisión de cuenca Valle de Bravo – Amanalco. Consultado en febrero de 2011.

ANEXO

Cálculo del ICA y calificación del nivel de contaminación a cada una de las estaciones del embalse de la presa de Valle de Bravo 2010

ESTACIÓN 1	VALOR	UNIDADES	Wi	iiWi	CALIFICACIÓN
pH	9.44	Unidades de pH			Abastecimiento Ligera purificación Recreación Aceptable para cualquier deporte acuático Pesca y vida Acuática Aceptable para todos los organismos Industrial y agrícola Ligera purificación Navegación Aceptable Transporte de desechos tratados Aceptable Criterio General Aceptable
I pH	28.44		1	28.45	
TURBIEDAD	8.00	Unidades técnicas JACK UTJ			
I t	74.58		0.5	37.29	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	14.90	mg/l			
I SST	98.08		1	98.09	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	69.00	mg/l			
I SDT	107.89		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	138.00	µmhos/cm			
I CE	83.44		2	166.88	
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.37	mg/l			
TEMPERATURA (T)	21.92	°C			
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.76	mg/l			
I OD	84.15		5	420.80	
SUMA			10	801.51	

ESTACIÓN 2	VALOR	UNIDADES	Wi	iiWi	CALIFICACIÓN
pH	9.45	Unidades de pH			Abastecimiento Ligera purificación Recreación Aceptable para cualquier deporte acuático Pesca y vida Acuática Aceptable para todos los organismos Industrial y agrícola Ligera purificación Navegación Aceptable Transporte de desechos tratados Aceptable Criterio General Aceptable
I pH	28.25		1	28.26	
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			
I t	70.47		0.5	35.24	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	9.20	mg/l			
I SST	117.24		1	100.00	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	69.00	mg/l			
I SDT	107.89		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	138.00	µmhos/cm			
I CE	83.44		2	166.88	
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.30	mg/l			
TEMPERATURA (T)	22.27	°C			
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.69	mg/l			
I OD	83.92		5	419.61	
SUMA			10	799.99	

ESTACIÓN 3	VALOR	UNIDADES	Wi	IiWi	CALIFICACIÓN
pH	9.4	Unidades de pH			
I pH	29.22		1	29.23	
TURBIEDAD	7.1	Unidades técnicas JACK UTJ			
I t	76.19		0.5	38.10	Abastecimiento
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1.5	mg/l			Mayor necesidad de tratamiento
I SST	229.37		1	100.00	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	72	mg/l			Recreación
I SDT	107.84		0.5	50.00	Aceptable pero no recomendable
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	144	µmhos/cm			
I CE	82.1		2	164.21	Pesca y vida Acuática
NITRATOS (NO3)	0.4	mg/l			Dudoso para especies sensibles
I NO3	222.09		2	200.00	
NITROGENO AMONIACAL (N-NH3)	0.06	mg/l			Industrial y agrícola
I N-NH3	120.21		2	200.00	Sin tratamiento para la industria
FOSFATOS TOTALES (PO4)	0.18	mg/l			
I PO4	75.29		2	200.00	Navegación
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.05	mg/l			Aceptable
TEMPERATURA (T)	23.79	°C			
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.45	mg/l			Transporte de desechos tratados
I OD	83.41		5	417.09	Aceptable
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	32	mg/l			
I DBO	11.64		5	58.24	Criterio General
COLIFORMES TOTALES	24	NMP/100 ml			Poco contaminado
I CT	41.33		3	124.01	
COLIFORMES FECALES	150	NMP/100 ml			
I CF	16.32		4	65.28	
		SUMA	28.00	1646.16	ICA 59

ESTACIÓN 4	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.48	Unidades de pH			Abastecimiento
I pH	27.69		1	27.69	Mayor necesidad de tratamiento
TURBIEDAD	8.20	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	74.26		0.5	37.13	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	6.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	134.87		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	72.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.84		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	143.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	82.32		2	164.65	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.12	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	23.02	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.57	mg/l			Criterio General
I OD	83.03		5	415.16	Aceptable
		SUMA	10	794.63	ICA 79

ESTACIÓN 5	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.49	Unidades de pH			Abastecimiento
I pH	27.50		1	27.51	Mayor necesidad de tratamiento
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.47		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	36.50	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	70.41		1	70.41	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	73.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.82		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	145.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	81.89		2	163.78	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.36	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	21.69	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.79	mg/l			Criterio General
I OD	83.67		5	418.36	Aceptable
		SUMA	10	765.30	ICA 77

ESTACIÓN 6	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.36	Unidades de pH			
I pH	30.02		1	30.03	
TURBIEDAD	11	Unidades técnicas JACK UTJ			Abastecimiento
I t	70.47		0.5	35.24	Mayor necesidad de tratamiento
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1008.7	mg/l			
I SST	20.62		1	20.62	Recreación
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	76	mg/l			Aceptable pero no recomendable
I SDT	107.77		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	151	µmhos/cm			Pesca y vida Acuática
I CE	80.64		2	161.28	Dudoso para especies sensibles
NITRATOS (NO3)	0.7	mg/l			
I NO3	183.3		2	200.00	Industrial y agrícola
NITROGENO AMONICAL (N-NH3)	0.01	mg/l			Sin tratamiento para la industria
I N-NH3	222.26		2	200.00	
FOSFATOS TOTALES (PO4)	0.11	mg/l			Navegación
I PO4	94.44		2	200.00	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	6.55	mg/l			
TEMPERATURA (T)	22.42	°C			Transporte de desechos tratados
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.67	mg/l			Aceptable
I OD	75.51		5	377.59	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	50	mg/l			Criterio General
I DBO	8.62		5	43.13	Poco contaminado
COLIFORMES TOTALES	252	NMP/100 ml			
I CT	21.9		3	65.73	
COLIFORMES FECALES	828	NMP/100 ml			
I CF	10.28		4	41.16	
		SUMA	28.00	1424.77	ICA 51

ESTACIÓN 7		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.46	Unidades de pH			Abastecimiento
	I pH	28.06		1	28.07	Mayor necesidad de tratamiento
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.47		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		410.20	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	28.76		1	28.77	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		71.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.85		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		141.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	82.76		2	165.53	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.33	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		21.99	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.74	mg/l			Criterio General
	I OD	83.81		5	419.08	Acceptable
SUMA				10	726.68	ICA 73

ESTACIÓN 8		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.51	Unidades de pH			Abastecimiento
	I pH	27.13		1	27.14	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		0.90	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	277.09		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		69.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.89		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		139.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	83.21		2	166.43	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.73	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		22.58	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.65	mg/l			Criterio General
	I OD	89.39		5	446.97	Acceptable
SUMA				10	825.78	ICA 83

ESTACIÓN 9	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.41	Unidades de pH			Abastecimiento
I pH	29.03		1	29.03	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	6.40	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	134.09		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	72.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.84		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	144.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	82.11		2	164.21	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.61	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.59	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.65	mg/l			Criterio General
I OD	88.02		5	440.12	Acceptable
		SUMA	10	818.60	ICA 82

ESTACIÓN 10	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.57	Unidades de pH			Abastecimiento
I pH	26.06		1	26.06	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	8.90	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	118.69		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	73.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.82		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	146.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	81.68		2	163.36	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.69	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.55	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.65	mg/l			Criterio General
I OD	88.88		5	444.41	Acceptable
		SUMA	10	819.06	ICA 82

ESTACIÓN 12		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.48	Unidades de pH			Abastecimiento
	I pH	27.69		1	27.69	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		5.50	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	141.83		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		61.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	108.03		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		121.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	87.70		2	175.41	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.67	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		22.13	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.72	mg/l			Criterio General
	I OD	87.94		5	439.70	Acceptable
SUMA				10	828.04	ICA 83

ESTACIÓN 13		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.49	Unidades de pH			Abastecimiento
	I pH	27.51		1	27.51	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		8.90	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	118.69		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		67.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.93		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		134.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	84.38		2	168.75	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.69	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		22.28	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.70	mg/l			Criterio General
	I OD	88.42		5	442.12	Acceptable
SUMA				10	823.61	ICA 82

ESTACIÓN 14	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.53	Unidades de pH			Abastecimiento
I pH	26.77		1	26.77	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	6.70				Pesca y vida Acuática
I SST	131.84		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	71.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.86		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	142.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	82.54		2	165.08	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.88	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	21.91	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.75	mg/l			Criterio General
I OD	89.97		5	449.83	Aceptable
		SUMA	10	826.93	ICA 83

ESTACIÓN 15	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.53				Abastecimiento
I pH	26.77		1	26.77	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	4.40	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	154.04		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	72.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.84		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	144.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	82.11		2	164.21	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.70	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	21.92	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.76	mg/l			Criterio General
I OD	87.93		5	439.64	Aceptable
		SUMA	10	815.86	ICA 82

ESTACIÓN 16	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.52				Abastecimiento
I pH	26.96		1	26.96	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1.50	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	229.37		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	72.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.84		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	145.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	81.89		2	163.78	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.67	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	21.88	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.76	mg/l			Criterio General
I OD	87.52		5	437.59	Aceptable
SUMA			10	813.56	ICA 81

ESTACIÓN 18	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.51				Abastecimiento
I pH	27.14		1	27.14	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	4.60	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	151.52		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	74.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.81		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	148.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	81.26		2	162.52	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.73	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.37	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.68	mg/l			Criterio General
I OD	89.04		5	445.18	Aceptable
SUMA			10	820.08	ICA 82

ESTACIÓN 19	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.54				Abastecimiento
I pH	26.59		1	26.59	Ligera purificación
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5.60	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	140.89		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	75.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.79		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	150.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	80.85		2	161.69	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.75	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.27	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.70	mg/l			Criterio General
I OD	89.10		5	445.48	Aceptable
SUMA			10	818.46	ICA 82

ESTACIÓN 21	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.53				Abastecimiento
I pH	26.77		1	26.77	Ligera purificación
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10.50	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	111.65		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	75.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.79		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	150.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	80.85		2	161.69	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.82	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.68	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.63	mg/l			Criterio General
I OD	90.61		5	453.04	Aceptable
SUMA			10	826.20	ICA 83

ESTACIÓN 22	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.49				Abastecimiento
I pH	27.51		1	27.51	Ligera purificación
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	9.20	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	117.25		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	76.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.77		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	152.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	80.44		2	160.88	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.58	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.35	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.69	mg/l			Criterio General
I OD	87.28		5	436.38	Aceptable
		SUMA	10	809.46	ICA 81

ESTACIÓN 23	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.52				Abastecimiento
I pH	26.96		1	26.96	Mayor necesidad de tratamiento
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	791.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	22.56		1	22.56	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	78.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.74		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	155.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.85		2	159.69	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.76	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.47	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.67	mg/l			Criterio General
I OD	89.55		5	447.77	Aceptable
		SUMA	10	741.67	ICA 74

ESTACIÓN 24	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.52				Abastecimiento
I pH	26.96		1	26.96	Ligera purificación
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	3.80	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	162.62		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	76.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.77		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	152.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	80.44		2	160.88	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.73	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.53	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.66	mg/l			Criterio General
I OD	89.31		5	446.55	Aceptable
		SUMA	10	819.08	ICA 82

ESTACIÓN 25	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.54				
I pH	26.59		1	26.59	
TURBIEDAD	11	Unidades técnicas JACK UTJ			Abastecimiento
I t	70.47		0.5	35.24	Mayor necesidad de tratamiento
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	12.5	mg/l			
I SST	104.67		1	100.00	Recreación
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	77	mg/l			Aceptable pero no recomendable
I SDT	107.75		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	155	µmhos/cm			Pesca y vida Acuática
I CE	79.84		2	159.69	Dudoso para especies sensibles
NITRATOS (NO3)	0.4	mg/l			
I NO3	222.09		2	200.00	Industrial y agrícola
NITROGENO AMONIACAL (N-NH3)	0.01	mg/l			Sin tratamiento para la industria
I N-NH3	222.26		2	200.00	
FOSFATOS TOTALES (PO4)	0.9	mg/l			Navegación
I PO4	35.91		2	200.00	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.96	mg/l			
TEMPERATURA (T)	22.53	°C			Transporte de desechos tratados
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.65	mg/l			Aceptable
I OD	91.96		5	459.83	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	30	mg/l			Criterio General
I DBO	12.16		5	60.82	Poco contaminado
COLIFORMES TOTALES	1212	NMP/100 ml			
I CT	14.33		3	43.01	
COLIFORMES FECALES	538	NMP/100 ml			
I CF	11.56		4	46.24	
SUMA			28.00	1581.43	ICA 56

ESTACIÓN 26	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.56				Abastecimiento
I pH	26.24		1	26.24	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	11.40	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	108.30		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	78.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.74		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	156.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.65		2	159.31	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.84	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.44	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.67	mg/l			Criterio General
I OD	90.42		5	452.12	Acceptable
		SUMA	10	822.90	ICA 82

ESTACIÓN 27	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.56				Abastecimiento
I pH	26.24		1	26.24	Mayor necesidad de tratamiento
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	45.60	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	64.85		1	64.85	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	75.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.79		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	150.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	80.85		2	161.69	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.78	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.18	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.71	mg/l			Criterio General
I OD	89.29		5	446.43	Acceptable
		SUMA	10	784.45	ICA 78

ESTACIÓN 28		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.56				Abastecimiento
	I pH	26.24		1	26.24	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		6.20	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	135.68		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		75.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.79		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		151.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	80.64		2	161.28	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.85	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		21.93	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.76	mg/l			Criterio General
	I OD	89.66		5	448.29	Aceptable
SUMA				10	821.05	ICA 82

ESTACIÓN 29		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.56				Abastecimiento
	I pH	26.24		1	26.24	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		1.90	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	210.16		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		75.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.79		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		150.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	80.85		2	161.69	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.61	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		21.49	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.83	mg/l			Criterio General
	I OD	86.18		5	430.90	Aceptable
SUMA				10	804.07	ICA 80

ESTACIÓN 31	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.55				
I pH	26.41		1	26.41	
TURBIEDAD	11	Unidades técnicas JACK UTJ			Abastecimiento
I t	70.47		0.5	35.24	Mayor necesidad de tratamiento
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	6	mg/l			
I SST	137.33		1	100.00	Recreación
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	77	mg/l			Aceptable pero no recomendable
I SDT	107.75		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	154	µmhos/cm			Pesca y vida Acuática
I CE	80.04		2	160.09	Dudoso para especies sensibles
NITRATOS (NO3)	0.5	mg/l			
I NO3	205.73		2	200.00	Industrial y agrícola
NITROGENO AMONIACAL (N-NH3)	0.06	mg/l			Sin tratamiento para la industria
I N-NH3	120.21		2	200.00	
FOSFATOS TOTALES (PO4)	0.1	mg/l			Navegación
I PO4	98.67		2	200.00	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.58	mg/l			
TEMPERATURA (T)	21.53	°C			Transporte de desechos tratados
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.82	mg/l			Aceptable
I OD	85.9		5	429.54	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	28	mg/l			Criterio General
I DBO	12.74		5	63.71	Poco contaminado
COLIFORMES TOTALES	170	NMP/100 ml			
I CT	24.36		3	73.10	
COLIFORMES FECALES	278	NMP/100 ml			
I CF	13.81		4	55.27	
		SUMA	28.00	1593.35	ICA 57

ESTACIÓN 34	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.57				Abastecimiento
I pH	26.06		1	26.06	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	7.90	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	124.04		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.72		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	157.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.46		2	158.92	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	8.03	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	21.68	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.80	mg/l			Criterio General
I OD	91.27		5	456.36	Acceptable
SUMA			10	826.58	ICA 83

ESTACIÓN 35	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.52				Abastecimiento
I pH	26.96		1	26.96	Ligera purificación
TURBIEDAD	10.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	71.68		0.5	35.84	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	8.40	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	121.26		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	78.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.74		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	156.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.65		2	159.31	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.50	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.37	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.68	mg/l			Criterio General
I OD	86.39		5	431.94	Acceptable
SUMA			10	804.04	ICA 80

ESTACIÓN 36	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.51				Abastecimiento
I pH	27.14		1	27.14	Ligera purificación
TURBIEDAD	10.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	71.68		0.5	35.84	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5.40	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	142.79		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	77.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.75		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	155.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.85		2	159.69	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.70	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.79	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.61	mg/l			Criterio General
I OD	89.40		5	447.02	Acceptable
		SUMA	10	819.70	ICA 82

ESTACIÓN 37	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.48				Abastecimiento
I pH	27.69		1	27.69	Ligera purificación
TURBIEDAD	11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	16.50	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	94.46		1	94.46	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	81.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.68		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	161.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	78.71		2	157.41	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.70	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.55	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.65	mg/l			Criterio General
I OD	89.00		5	444.98	Acceptable
		SUMA	10	809.78	ICA 81

ESTACIÓN 39	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.50				Abastecimiento
I pH	27.32		1	27.32	Ligera purificación
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	9.90	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	114.11		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.72		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	157.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.46		2	158.92	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.88	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.18	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.71	mg/l			Criterio General
I OD	90.43		5	452.17	Aceptable
		SUMA	10	823.11	ICA 82

ESTACIÓN 40	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.45				Abastecimiento
I pH	28.26		1	28.26	Ligera purificación
TURBIEDAD	12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	69.40		0.5	34.70	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	9.10	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	117.72		1	100.00	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.72		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	158.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.27		2	158.54	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.43	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.54	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.65	mg/l			Criterio General
I OD	85.86		5	429.30	Aceptable
		SUMA	10	800.79	ICA 80

ESTACIÓN 32		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.53				Abastecimiento
	I pH	26.77		1	26.77	Ligera purificación
TURBIEDAD		12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	69.40		0.5	34.70	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		9.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	116.78		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		78.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.74		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		156.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	79.65		2	159.31	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.66	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		21.78	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.78	mg/l			Criterio General
	I OD	87.23		5	436.17	Acceptable
SUMA				10	806.95	ICA 81

ESTACIÓN 33		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.58				Abastecimiento
	I pH	25.89		1	25.89	Ligera purificación
TURBIEDAD		12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	69.40		0.5	34.70	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		9.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	116.78		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		79.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.72		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		157.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	79.46		2	158.92	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		8.10	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		21.82	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.77	mg/l			Criterio General
	I OD	92.32		5	461.59	Acceptable
SUMA				10	831.09	ICA 83

ESTACIÓN 42	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.49				
I pH	27.5		1	27.51	
TURBIEDAD	13	Unidades técnicas JACK UTJ			Abastecimiento
I t	68.41		0.5	34.21	Mayor necesidad de tratamiento
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	27.8	mg/l			
I SST	77.87		1	77.88	Recreación
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	80	mg/l			Aceptable pero no recomendable
I SDT	107.7		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	161	µmhos/cm			Pesca y vida Acuática
I CE	78.7		2	157.41	Dudoso para especies sensibles
NITRATOS (NO3)	0.6	mg/l			
I NO3	193.26		2	200.00	Industrial y agrícola
NITROGENO AMONIACAL (N-NH3)	0	mg/l			Sin tratamiento para la industria
I N-NH3	-		2	200.00	
FOSFATOS TOTALES (PO4)	0.09	mg/l			Navegación
I PO4	103.57		2	200.00	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.87	mg/l			
TEMPERATURA (T)	22.93	°C			Transporte de desechos tratados
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.58	mg/l			Aceptable
I OD	91.62		5	458.11	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	34	mg/l			Criterio General
I DBO	11.18		5	55.91	Poco contaminado
COLIFORMES TOTALES	886	NMP/100 ml			
I CT	15.6		3	46.81	
COLIFORMES FECALES	1564	NMP/100 ml			
I CF	8.66		4	34.67	
		SUMA	28.00	1542.49	ICA 55

ESTACIÓN 43		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.51				Abastecimiento
	I pH	27.14		1	27.14	Mayor necesidad de tratamiento
TURBIEDAD		12.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	69.40		0.5	34.70	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		109.60	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	46.88		1	46.88	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		80.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.70		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		161.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	78.71		2	157.41	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		8.07	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		23.31	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.53	mg/l			Criterio General
	I OD	94.63		5	473.14	Acceptable
SUMA				10	789.27	ICA 79

ESTACIÓN 46	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.49				
I pH	27.5		1	27.51	
TURBIEDAD	11	Unidades técnicas JACK UTJ			Abastecimiento
I t	70.47		0.5	35.24	Mayor necesidad de tratamiento
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	7.9	mg/l			
I SST	124.04		1	100.00	Recreación
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	80	mg/l			Aceptable pero no recomendable
I SDT	107.7		0.5	50.00	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	159	µmhos/cm			Pesca y vida Acuática
I CE	79.07		2	158.16	Dudoso para especies sensibles
NITRATOS (NO3)	0.6	mg/l			
I NO3	193.26		2	200.00	Industrial y agrícola
NITROGENO AMONICAL (N-NH3)	0.01	mg/l			Sin tratamiento para la industria
I N-NH3	222.26		2	200.00	
FOSFATOS TOTALES (PO4)	0.11	mg/l			Navegación
I PO4	94.44		2	200.00	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.96	mg/l			
TEMPERATURA (T)	23.24	°C			Transporte de desechos tratados
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.53	mg/l			Aceptable
I OD	93.21		5	466.08	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	36	mg/l			Criterio General
I DBO	10.75		5	53.80	Poco contaminado
COLIFORMES TOTALES	1566	NMP/100 ml			
I CT	13.37		3	40.14	
COLIFORMES FECALES	Incontable	NMP/100 ml			
I CF	0		4	0.00	
		SUMA	28.00	1530.92	ICA 55

ESTACIÓN 47		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.54				Abastecimiento
	I pH	26.59		1	26.59	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		8.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	121.80		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		78.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.74		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		157.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	79.46		2	158.92	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.99	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		22.56	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.65	mg/l			Criterio General
	I OD	92.37		5	461.83	Acceptable
SUMA				10	832.58	ICA 83

ESTACIÓN 48		VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH		9.52				Abastecimiento
	I pH	26.96		1	26.96	Ligera purificación
TURBIEDAD		11.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
	I t	70.48		0.5	35.24	Acceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		7.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
	I SST	127.72		1	100.00	Acceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES		79.00	mg/l			Industrial y agrícola
	I SDT	107.72		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		159.00	µmhos/cm			Navegación
	I CE	79.08		2	158.16	Acceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)		7.84	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)		22.35	°C			Acceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)		8.69	mg/l			Criterio General
	I OD	90.27		5	451.35	Acceptable
SUMA				10	821.70	ICA 82

ESTACIÓN 50	VALOR	UNIDADES	Wi	liWi	CALIFICACIÓN
pH	9.55				Abastecimiento
I pH	26.41		1	26.41	Ligera purificación
TURBIEDAD	10.00	Unidades técnicas JACK UTJ			Recreación
I t	71.68		0.5	35.84	Aceptable para cualquier deporte acuático
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	16.30	mg/l			Pesca y vida Acuática
I SST	94.88		1	94.88	Aceptable para todos los organismos
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79.00	mg/l			Industrial y agrícola
I SDT	107.72		0.5	50.00	Ligera purificación
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	158.00	µmhos/cm			Navegación
I CE	79.27		2	158.54	Aceptable
OXIGENO DISUELTO (OD)	7.97	mg/l			Transporte de desechos tratados
TEMPERATURA (T)	22.62	°C			Aceptable
OXIGENO DISUELTO SATURADO (OD SAT)	8.64	mg/l			Criterio General
I OD	92.24		5	461.20	Aceptable
		SUMA	10	826.88	ICA 83