



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### División de Ingenierías Civil y Geomática

Evaluación de la calidad del agua del vaso de  
la presa Villa Victoria a partir de campañas  
de muestreo realizadas en 2012

TESIS

Para obtener el título de:

**INGENIERA CIVIL**

Presenta:

**Arlette Camacho Hernández**

Directora de Tesis:

**M.I. Alba Beatriz Vázquez González**



México, D.F.

Abril, 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/158/12

Señorita.  
**ARLETTE CAMACHO HERNÁNDEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ**, y que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título de **INGENIERO CIVIL**.

**"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA A PARTIR DE  
CAMPAÑAS DE MUESTREO REALIZADAS EN 2012"**

- INTRODUCCIÓN**
- I. CARACTERIZACIÓN REGIONAL.**
  - II. EVALUACIÓN TRADICIONAL Y CON PR DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES.**
  - III. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA.**
  - IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 5 de junio del 2013.  
**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ.**

  
**M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**

JTS/MTH.rvm

A mis padres:

Mamá, aunque físicamente ya no estás conmigo, quiero que sepas que todo el esfuerzo y empeño que puse en este trabajo, fueron pensando en ti.

Papá, te dedico este trabajo como una forma de agradecerte todo lo que has hecho por mí, y quiero decirte que sin ti nada de esto hubiera sido posible.

Agradezco el apoyo económico recibido a través del proyecto de *Colaboración Conjunta II-FI “Modelos de calidad del agua obtenidos a partir de percepción remota: presa Villa Victoria, Edo. de México (perteneciente al sistema Cutzamala)”*.

El presente trabajo forma parte del citado proyecto.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis representa para mí el resultado de varios meses de esfuerzo, trabajo y dedicación; sin embargo, tengo que reconocer que no lo hubiera podido lograr sola, razón por la cual quiero agradecer a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a la realización de este gran logro.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme los conocimientos necesarios para convertirme en una profesionista.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería, quienes me guiaron durante mi paso por la licenciatura, y de los cuales aprendí mucho, no solo en lo que se refiere a las asignaturas, sino también respecto a experiencias profesionales y personales.

A la M.I. Alba B. Vázquez González, por dirigir el presente trabajo, pero sobre todo por su paciencia y confianza en mí.

A mi familia: mi padre Teodoro Camacho, mi madre Guadalupe Hernández y mis hermanos David y Evelyn; gracias por apoyarme a pesar de todo, por ayudarme cuando lo necesité y por impulsarme a convertirme en una mejor persona.

A mis amigos Carolina Alcalá y Javier Ramos, por su apoyo durante la realización de los análisis de laboratorio, pero principalmente por brindarme su amistad y consejos durante todos estos años. Siempre recordaré todas las experiencias que compartimos como estudiantes, en la vida laboral y personal.

A Iván A. García Martínez, por su ayuda para la realización de algunas imágenes presentadas en los capítulos 2 y 3. Quiero agradecerle también por impulsarme a terminar este trabajo y por todo el apoyo que me brindaste cuando más lo necesitaba.

A mis amigos de la Facultad de Ingeniería, muchas gracias por todos los momentos compartidos: noches de desvelo en las entregas de proyectos, ayuda en la resolución de algunas tareas y experiencias personales. Gracias a Adán Granados, Adrián Santiago, Carlos Armenta, Diego Hernández, José Carlos Mejía, Leslie Sandoval, Marco Santos, Néstor Hernández, Ramón Moncada, Raúl Carrillo, Iván Vázquez, y a todos los demás que me hayan hecho falta, saben que los estimo mucho.

A mis amigos de antaño: Itzel Gorostieta, Ivonne García, Leticia Salgado, Rainier Mares y Víctor “Yayo” Vargas; muchas gracias por su confianza en mí y por compartir todos los momentos importantes en mi vida.

A mis amigas Blanca García y Elizabeth Vicente, quiero agradecerles por su amistad y apoyo durante todo el tiempo que tenemos de conocernos.

Finalmente, agradezco a la Gerencia de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua por la información proporcionada para la realización del presente trabajo.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	13
INTRODUCCIÓN .....	15
OBJETIVOS .....	17
1. CARACTERIZACIÓN REGIONAL .....	19
1.1 Descripción de la cuenca hidrológica .....	19
1.2 Medio físico .....	20
1.2.1 Clima .....	20
1.2.2 Flora y fauna .....	21
1.2.3 Geología, geomorfología y relieve .....	22
1.2.4 Hidrología superficial y subterránea .....	23
1.2.5 Estudios previos de calidad del agua .....	25
1.3 Medio socioeconómico .....	30
1.3.1 Población .....	30
1.3.2 Salud .....	30
1.3.3 Educación .....	31
1.3.4 Agua potable, alcantarillado y tratamiento.....	31
1.3.5 Empleo .....	32
1.3.6 Actividades económicas .....	33
2. EVALUACIÓN TRADICIONAL Y CON PERCEPCIÓN REMOTA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES.....	34
2.1 Evaluación tradicional de la calidad del agua .....	34
2.1.1 Técnicas de muestreo.....	34
2.1.2 Actividades realizadas en campo.....	40
2.1.3 Actividades de laboratorio .....	46
2.1.4 Índice de Calidad del Agua y generación de mapas de calidad.....	66
2.2 Evaluación de la calidad del agua con percepción remota .....	70
2.2.1 Fundamentos de la percepción remota.....	70
2.2.2 Generación de modelos y mapas de calidad .....	72
3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA .....	75

3.1 Actividades previas al trabajo de campo .....	75
3.2 Materiales y equipos utilizados .....	80
3.3 Primera campaña de muestreo .....	82
3.3.1 Resultados .....	86
3.3.2 Cálculo del ICA .....	90
3.3.3 Mapas de calidad del agua en el vaso de la presa Villa Victoria .....	96
3.4 Segunda campaña de muestreo .....	101
3.4.1 Resultados .....	103
3.4.2 Cálculo del ICA .....	106
3.4.3 Mapas de calidad del agua en el vaso de la presa Villa Victoria .....	112
3.5 Diagnóstico de la calidad del agua .....	117
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	122
ANEXO A. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....	124
ANEXO B. TÉCNICAS DE LABORATORIO .....	185
Sólidos suspendidos totales .....	186
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	186
Coliformes totales y fecales .....	188
FUENTES DE CONSULTA .....	190

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización de las 8 subcuencas que integran la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.....	20
Figura 1.2 Geología de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.....	23
Figura 1.3 Distribución de los cauces que llegan a la presa Villa Victoria.....	25
Figura 1.4 Sitios de muestreo en la presa Villa Victoria.....	26
Figura 2.1 Recomendaciones para ubicar las estaciones de muestreo en un lago o embalse.....	38
Figura 2.2 Estratificación térmica en un cuerpo de agua.....	38
Figura 2.3 Botella Van Dor.....	44
Figura 2.4 Muestreador Kemmerer.....	44
Figura 2.5 Colorímetro (esquina superior izquierda), tubos Nessler (esquina superior derecha), espectrofotómetro (esquina inferior izquierda) y papel pH (esquina inferior derecha).....	47
Figura 2.6 Disco Secchi.....	49
Figura 2.7 Turbidímetro de bujía de Jackson.....	49
Figura 2.8 Diagrama de los diferentes tipos de sólidos presentes en el agua.....	52
Figura 2.9 Esquema de los conos Imhoff.....	52
Figura 2.10 Curva de titulación de alcalinidad.....	56
Figura 2.11 Curva característica de DBO.....	63
Figura 2.12 Criterios de calidad en función del uso del agua.....	69
Figura 2.13 Elementos de la percepción remota.....	71
Figura 3.1 Ubicación de los sitios de muestreo propuestos.....	77
Figura 3.2 Actividades que se realizan en el embalse de la presa Villa Victoria: lavado de ropa, pesca y recolección de agua en cubetas y baldes.....	79
Figura 3.3 Medidor multiparamétrico con GPS HANNA.....	81
Figura 3.4 Espectrofotómetro HACH.....	81
Figura 3.5 Descarga de agua residual en el embalse de la presa Villa Victoria.....	83
Figura 3.6 Localización de los sitios de muestreo de la primera campaña.....	84
Figura 3.7 Determinación de la turbiedad con el disco Secchi.....	85
Figura 3.8 Determinación de parámetros in situ, utilizando el medidor multiparamétrico.....	85
Figura 3.9 Determinación de parámetros químicos, utilizando el espectrofotómetro.....	85
Figura 3.10 Resultados obtenidos para los siete puntos en los que se realizaron análisis adicionales.....	89
Figura 3.11 Valores del ICA para los siete sitios en los que se realizaron análisis adicionales.....	96
Figura 3.12 Distribución espacial de la conductividad eléctrica en la época de estiaje....	97
Figura 3.13 Distribución espacial del oxígeno disuelto en la época de estiaje.....	97
Figura 3.14 Distribución espacial del pH en la época de estiaje.....	98
Figura 3.15 Distribución espacial de los sólidos disueltos totales en la época de estiaje.	98
Figura 3.16 Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales en la época de estiaje.....	99
Figura 3.17 Distribución espacial de la temperatura en la época de estiaje.....	99
Figura 3.18 Distribución espacial de la turbiedad en la época de estiaje.....	100
Figura 3.19 Distribución espacial del Índice de Calidad del Agua en la época de estiaje.	100
Figura 3.20 Localización de los sitios de muestreo de la segunda campaña.....	102
Figura 3.21 Resultados obtenidos para los seis puntos en los que se realizaron análisis adicionales.....	105



Figura 3.22 Valores de ICA para los seis sitios en los que se realizaron análisis adicionales.....	112
Figura 3.23 Distribución espacial de la conductividad eléctrica en la época de lluvias.....	113
Figura 3.24 Distribución espacial del oxígeno disuelto en la época de lluvias.....	113
Figura 3.25 Distribución espacial del pH en la época de lluvias.....	114
Figura 3.26 Distribución espacial de los sólidos disueltos totales en la época de lluvias.	114
Figura 3.27 Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales en la época de lluvias.....	115
Figura 3.28 Distribución espacial de la temperatura en la época de lluvias.....	115
Figura 3.29 Distribución espacial de la turbiedad en la época de lluvias.....	116
Figura 3.30 Distribución espacial del Índice de Calidad del Agua en la época de lluvias..	116
Figura B.1 Después de la filtración, se colocan los crisoles con filtro Gooch en el horno a 105°C.....	186
Figura B.2 Fijación del oxígeno disuelto añadiendo Ácido Sulfúrico.....	187
Figura B.3 Titulación de la muestra agregando Tiosulfato de Sodio.....	187
Figura B.4 Área de trabajo donde se realizó la técnica de filtro de membrana.....	189
Figura B.5 Cajas Petri con cultivos: a la derecha, cultivo MFC; a la izquierda, cultivo ENDO.....	189

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Principales Estaciones Meteorológicas Automatizadas con influencia en la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.....	21
Tabla 1.2 Características hidrológicas de la presa Villa Victoria.....	24
Tabla 1.3 Parámetros determinados en el embalse de la presa Villa Victoria.....	26
Tabla 1.4 Parámetros determinados en los cauces de la presa Villa Victoria.....	27
Tabla 1.5 Parámetros determinados en el embalse de la presa Villa Victoria (1988-2009).....	28
Tabla 1.6 Parámetros determinados en los cauces de la presa Villa Victoria (2000-2007)	29
Tabla 2.1 Principales parámetros a muestrear en cuerpos de agua.....	37
Tabla 2.2 Criterio de clasificación del agua en términos de su dureza.....	55
Tabla 2.3 Parámetros usados para el cálculo del ICA.....	67
Tabla 2.4 Valores de importancia relativa de los parámetros usados para el cálculo del ICA.....	67
Tabla 2.5 Índice de calidad para cada parámetro.....	68
Tabla 3.1 Rangos de medición de los parámetros que pueden ser determinados con el equipo multiparamétrico.....	81
Tabla 3.2 Coordenadas UTM de los sitios de la primera campaña de muestreo.....	86
Tabla 3.3 Resumen de resultados obtenidos para los parámetros físicos y químicos determinados en la primera campaña de muestreo.....	87
Tabla 3.4 Resumen de los valores del ICA para la primera campaña y criterio de calidad para cada uso del agua.....	90
Tabla 3.5 Coordenadas UTM de los sitios de la segunda campaña de muestreo.....	101
Tabla 3.6 Resumen de resultados obtenidos para los parámetros físicos y químicos determinados en la segunda campaña de muestreo.....	103
Tabla 3.7 Resumen de los valores del ICA para la segunda campaña y criterio de calidad para cada uso del agua.....	106
Tabla A.1 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1.....	126
Tabla A.2 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 2.....	126
Tabla A.3 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 3.....	127
Tabla A.4 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 4.....	127
Tabla A.5 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 5.....	128
Tabla A.6 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 6.....	128
Tabla A.7 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 7.....	129
Tabla A.8 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 8.....	129
Tabla A.9 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 9.....	130
Tabla A.10 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10.....	130
Tabla A.11 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 11.....	131
Tabla A.12 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 12.....	131
Tabla A.13 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 13.....	132
Tabla A.14 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 14.....	132
Tabla A.15 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 15.....	133
Tabla A.16 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 16.....	133
Tabla A.17 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 17.....	134
Tabla A.18 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 18.....	134
Tabla A.19 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19.....	135
Tabla A.20 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 20.....	135
Tabla A.21 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 21.....	136



Tabla A.74 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 27.....	162
Tabla A.75 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 28.....	163
Tabla A.76 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 29.....	163
Tabla A.77 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 30.....	164
Tabla A.78 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 31.....	164
Tabla A.79 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 32.....	165
Tabla A.80 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 33.....	165
Tabla A.81 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 34.....	166
Tabla A.82 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 35.....	166
Tabla A.83 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 36.....	167
Tabla A.84 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 37.....	167
Tabla A.85 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 38.....	168
Tabla A.86 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 39.....	168
Tabla A.87 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 40.....	169
Tabla A.88 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 41.....	169
Tabla A.89 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 42.....	170
Tabla A.90 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 43.....	170
Tabla A.91 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 44.....	171
Tabla A.92 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 45.....	171
Tabla A.93 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1, considerando parámetros adicionales.....	172
Tabla A.94 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10, considerando parámetros adicionales.....	173
Tabla A.95 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 15, considerando parámetros adicionales.....	174
Tabla A.96 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19, considerando parámetros adicionales.....	175
Tabla A.97 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 26, considerando parámetros adicionales.....	176
Tabla A.98 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 41, considerando parámetros adicionales.....	177
Tabla A.99 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 42, considerando parámetros adicionales.....	178
Tabla A.100 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1, considerando parámetros adicionales.....	179
Tabla A.101 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10, considerando parámetros adicionales.....	180
Tabla A.102 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19, considerando parámetros adicionales.....	181
Tabla A.103 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 21, considerando parámetros adicionales.....	182
Tabla A.104 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 28, considerando parámetros adicionales.....	183
Tabla A.105 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 40, considerando parámetros adicionales.....	184

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACP	Análisis de Componentes Principales
CCVM	Consejo de Cuenca del Valle de México
CE	Conductividad Eléctrica
CF	Coliformes Fecales
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAFE	Consejo Nacional de Fomento Educativo
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CT	Coliformes Totales
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDTA	Ácido Etilén-Diamino-Tetraacético
EMAs	Estaciones Meteorológicas Automatizadas
FI	Facultad de Ingeniería
GPS	Global Positioning System
ICA	Índice de Calidad del Agua
II	Instituto de Ingeniería
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
L	Litros
NMP	Número Más Probable
NMX	Norma Mexicana
N-NH <sub>3</sub>	Nitrógeno Amoniacal
N-NO <sub>2</sub>	Nitritos
N-NO <sub>3</sub>	Nitratos
NOM	Norma Oficial Mexicana
N-Orgánico	Nitrógeno Orgánico
NTK	Nitrógeno Total Kjeldahl
OD	Oxígeno Disuelto
OPDAPAS	Organismo Público Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
ORP	Potencial Óxido-Reducción o Potencial redox
OS	Oxígeno de Saturación
P. Atm.	Presión Atmosférica
PDS	Profundidad del Disco Secchi
pH	Potencial de Hidrógeno
PO <sub>4</sub> orto	Ortofosfatos
Potencial OR	Potencial Óxido-Reducción o Potencial redox
ppm	Partes por millón
PSU	Unidades Prácticas de Salinidad
PVC	Cloruro de Polivinilo
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
SDF	Sólidos Disueltos Fijos
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SDV	Sólidos Disueltos Volátiles
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SIG	Sistema de Información Geográfica
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SS	Sólidos Sedimentables
SSF	Sólidos Suspendidos Fijos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
ST	Sólidos Totales
STF	Sólidos Fijos Totales
STV	Sólidos Volátiles Totales
T	Temperatura del agua
T <sub>amb</sub>	Temperatura ambiente
Turb	Turbiedad
UC Pt-Co	Unidades de Color en la escala Platino-Cobalto
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
USGS	U.S. Geological Survey
UTJ	Unidades de Turbiedad Jackson
UTM	Universal Transversal Mercator
UTN	Unidades de Turbiedad Nefelométricas
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México

**Nota:** Todos los mapas presentados se encuentran en coordenadas UTM.

## INTRODUCCIÓN

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México tiene una población de 20,116,842 habitantes (INEGI, 2012), concentrando aproximadamente el 18% de la población del país, razón por la cual puede considerarse la zona metropolitana más importante de México. Abarca 16 delegaciones del Distrito Federal, 37 municipios conurbados del Estado de México y uno del estado de Hidalgo.

Entre los principales problemas de la ZMCM se encuentra la demanda de agua potable, que se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas, por lo que resulta cada vez más difícil de abastecer. Para el abastecimiento se ha recurrido a buscar diferentes fuentes, entre las que destaca el sistema Cutzamala por su gran aporte y complejidad.

El sistema Cutzamala está integrado por siete presas de almacenamiento y/o derivación, seis plantas de bombeo, una planta potabilizadora, un vaso de regularización y 162 km de conducción; entre otros elementos. Da servicio a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México; proporcionando un gasto de 14.76 m<sup>3</sup>/s (CONAGUA, 2012). Su construcción se realizó en tres etapas: la primera inició operaciones en 1982, la segunda en 1985 y la tercera en 1993 (CCVM, 2014); y su gasto de diseño es de 19 m<sup>3</sup>/s (considerando las tres etapas). Como parte de la primera etapa, se consideró la aportación de 4 m<sup>3</sup>/s de la presa Villa Victoria a la planta potabilizadora Los Berros, que emplea como sistema de tratamiento el proceso de coagulación-floculación.

La presa Villa Victoria se construyó por la CFE durante el periodo de 1934 a 1944; su propósito inicial era la generación de energía eléctrica como parte del Sistema Hidroeléctrico “Miguel Alemán”. Forma parte de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón. De acuerdo con CONAGUA, su volumen útil es de 185.7 Mm<sup>3</sup> y en un año de operación normal se extrae el 53% del mismo; sin embargo, la presa presenta problemas de azolvamiento que en ocasiones repercuten en la reducción del gasto que se envía a la planta potabilizadora. El caso más desfavorable documentado por CONAGUA ocurrió el 18 de junio de 2009, día en que la presa Villa Victoria estuvo al 19.74% de su capacidad.

Debido a su importancia como parte del sistema Cutzamala (la segunda presa que más gasto aporta), y por lo tanto como fuente de abastecimiento, resulta bastante significativo conocer su calidad del agua. Aunado a esto, la problemática de la cuenca –que se ve reflejada en la baja cobertura de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales; por mencionar algunos ejemplos –compromete la calidad del agua de la presa, y se ve agravada por el hecho de que no se está protegiendo la fuente de abastecimiento. Lo anterior repercute, principalmente, en el tratamiento que se realiza en la planta potabilizadora Los Berros, el cual podría resultar insuficiente si la calidad del agua se deteriora demasiado.

Es por esto que el presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal realizar la evaluación de la calidad del agua del vaso de la presa Villa Victoria, emitiendo un diagnóstico de la situación actual de la calidad del agua del embalse y proponiendo algunas recomendaciones al respecto.

En el Capítulo 1 se realiza una descripción de los aspectos físicos y socioeconómicos de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, enfatizando la problemática de la misma. Además, se incluyen los estudios previos de calidad del agua que fueron proporcionados por personal de CONAGUA.

El Capítulo 2 trata sobre las técnicas utilizadas para evaluar la calidad del agua: tradicional y con percepción remota; específicamente para el caso de lagos y embalses. Si bien se detalla la descripción de la primera, se procura abarcar de forma sustanciosa la evaluación de la calidad del agua empleando percepción remota, mostrando sus ventajas como técnica complementaria –mas no sustituta –de las técnicas tradicionales.

En el Capítulo 3 se desarrolla el estudio de calidad del agua que se realizó como parte del proyecto de *Colaboración Conjunta II-FI “Modelos de calidad del agua obtenidos a partir de percepción remota: presa Villa Victoria, Edo. de México (perteneciente al sistema Cutzamala)”*. Cabe mencionar que, aunque en este capítulo se describe la metodología empleada para evaluar la calidad del agua, los resultados detallados se presentan en el Anexo A. Asimismo, las técnicas de laboratorio utilizadas para la obtención de los parámetros microbiológicos y de algunos parámetros químicos se describen en el Anexo B.

Finalmente, el Capítulo 4 presenta las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.



## OBJETIVOS

### **Objetivo General:**

Conocer la calidad del agua del vaso de la presa Villa Victoria, mediante técnicas de muestreo tradicionales, para realizar un diagnóstico con base en los requerimientos de calidad para diferentes usos del agua.

### **Objetivos específicos:**

- Calcular el Índice de Calidad del Agua para cada uno de los sitios de muestreo.
- Generar mapas de calidad del agua que faciliten análisis o estudios futuros.
- Analizar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de la presa Villa Victoria, obtenidas en las campañas de muestreo.



## 1. CARACTERIZACIÓN REGIONAL

### 1.1 Descripción de la cuenca hidrológica

Una cuenca hidrológica se define como aquella superficie en la que toda el agua que escurre llega hacia un mismo punto a través del cauce o corriente principal; está delimitada por un parteaguas, línea imaginaria que une los puntos más elevados. Puede ser endorreica (cerrada) o exorreica (abierta); y con base en su extensión puede ser pequeña, si tiene un área menor a 250 km<sup>2</sup>, o grande, si el área que ocupa es mayor a o igual a 250 km<sup>2</sup>.

La presa Villa Victoria, perteneciente al Sistema Cutzamala, se encuentra dentro de la cuenca hidrológica Villa Victoria-San José del Rincón, la cual se localiza en la parte occidental del Estado de México, en una superficie comprendida entre los paralelos 100°16'-99°53' y los meridianos 19°40'-19°23'; abarcando una extensión de 61,926 ha. Del área total de la cuenca, el 86.16% pertenece a los municipios de San José del Rincón y Villa Victoria; el porcentaje restante se integra por pequeñas fracciones de los municipios de San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez, Villa de Allende e Ixtlahuaca (en el Estado de México) y Zitácuaro, Angangueo y Ocampo (en Michoacán).

La cuenca Villa Victoria-San José del Rincón se divide en ocho subcuencas: San José del Rincón, Palizada, Los Coyotes, San Antonio del Rincón, Villa Victoria, Gustavo Baz, Jesús María y El Sitio; de las cuales la de mayor extensión es la primera. Pertenece a la región hidrológica número 18 y a la región hidrológico-administrativa IV: Balsas. En la Figura 1.1 se observa el área correspondiente a cada una de las subcuencas.

El cuerpo de agua más importante de la cuenca es la presa Villa Victoria. Fue construida por la CFE durante los años 1934 a 1944, sobre el río San José Malacatepec. Está construida con materiales graduados y enrocamiento, tiene un vertedor libre hacia el canal de salida, y la cortina tiene las siguientes dimensiones: 18 m de altura, 175 m de longitud y 6 m de ancho.

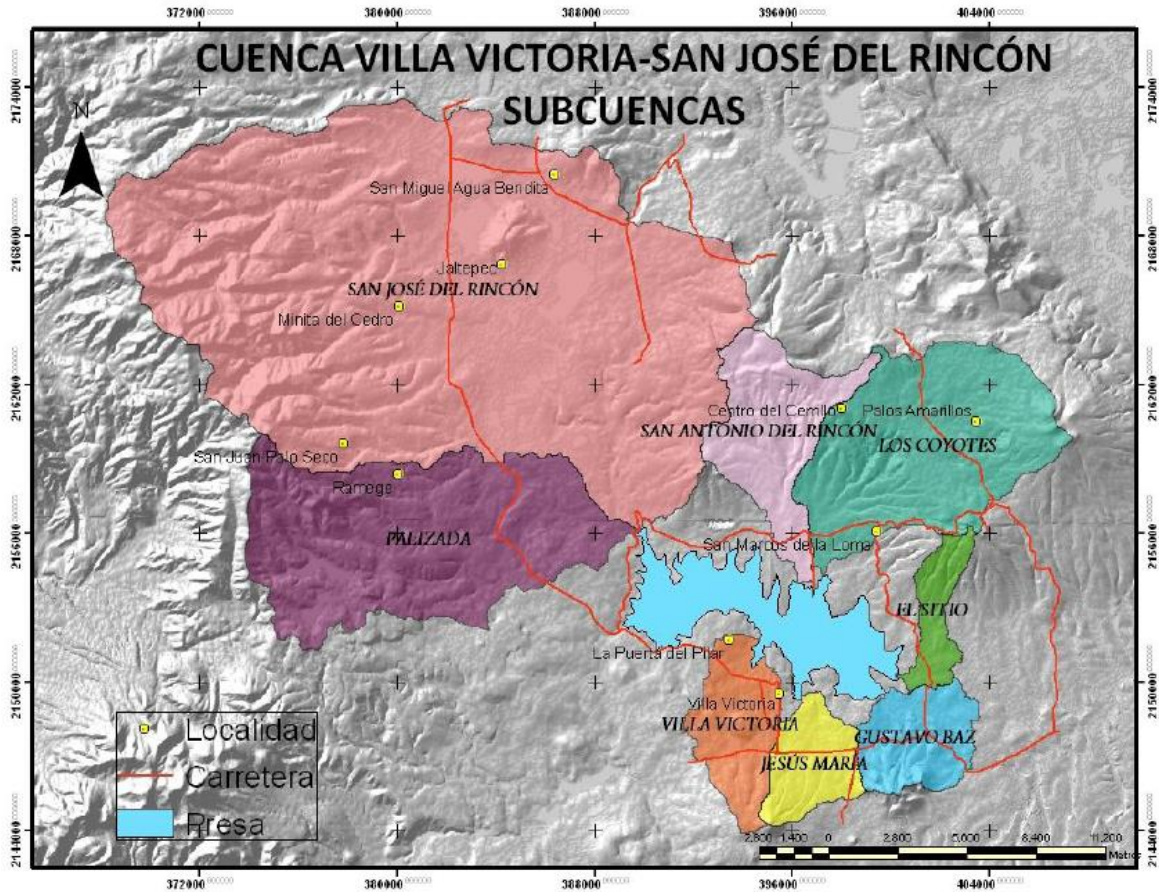


Figura 1.1 Localización de las 8 subcuencas que integran la cuenca Villa Victoria- San José del Rincón.  
Fuente: OCAVM y Colegio de Postgraduados, 2007.

## 1.2 Medio físico

### 1.2.1 Clima

La variación del clima en la cuenca no es significativa, pues su temperatura media anual oscila entre los 10 y los 18 °C. A lo largo del año, el clima cambia entre templado, frío y subhúmedo; y la precipitación media anual registrada varía entre 880 y 940 mm.

La información referente a la climatología se obtiene de las EMAs que tienen influencia en la cuenca, la Tabla 1.1 presenta la información correspondiente.

**Tabla 1.1 Principales Estaciones Meteorológicas Automatizadas con influencia en la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.**

Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación anual (mm)
Cuesta del Carmen	Villa de Allende	19°27'46" N	100°11'52" W	2823	13.9	907.5
La Ciénega	San Felipe del Progreso	19°38'08" N	100°02'20" W	2610	10.4	879.8
Mina Vieja	Villa Victoria	19°33'22" N	99°56'51" W	2880	11.7	938.7
Palizada	Villa Victoria	19°30'27" N	100°05'52" W	2635	11.2	903.6
Presa Tepetitlán	San Felipe del Progreso	19°39'45" N	99°57'28" W	2564	13.0	760.4
Presa Villa Victoria (CFE)	Villa Victoria	19°27'26" N	99°50'31" W	2245	13.2	890.8
Santiago del Monte	Villa Victoria	19°24'00" N	99°57'00" W	2680	12.7	932.4

Fuente: SMN, 2010.

### 1.2.2 Flora y fauna

La flora de la región ha sufrido graves alteraciones. Esto se debe, principalmente, a la excesiva deforestación (aproximadamente el 60% del área de la cuenca) provocada por la sobreexplotación de recursos forestales destinados a la elaboración de durmientes para el ferrocarril y al abastecimiento de las minas de la región. En el área restante, el tipo de vegetación que se observa corresponde a bosques de coníferas, bosques de encino y pastizales. Además, abundan árboles frutales, especialmente el capulín, ciruelo, durazno, manzana, pera, tejocote, chabacano e higo.

En la cuenca también se observan gran variedad de plantas medicinales, como la hierbabuena, manzanilla, ruda, ajeno, epazote, mirto, árnica, entre otras. Asimismo, abundan flores de ornato como la rosa, clavel, dalia, alcatraz, azucena, geranio, etc.

Con respecto a la fauna, el cambio de uso de suelo de forestal a agrícola ha influido considerablemente en la ausencia de condiciones favorables para el desarrollo de organismos de talla mayor; a pesar de esto, en la región habitan gran variedad de mamíferos, especialmente roedores y murciélagos. También hay ardillas y tuzas de diversos géneros, así como tlacuaches (*Didelphys virginianus*) y cacomixtles (*Bassariscus astutus*).

Abundan gran variedad de aves, siendo la más común la gallareta (*Fulica americana*), la cual habita en el embalse todo el año. Además, destacan las diversas especies de peces, tanto nativas como exóticas; dentro de las primeras se encuentran el charal (*Chirostoma sp*) y la

tilapia (*Oreochromis sp*); y con respecto a las especies exóticas, las cuales fueron introducidas con fines comerciales, deportivos y recreativos, se encuentran la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*), carpa común (*Cyprinus carpio*), lobina negra (*Microperus salmoides*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*). Esta última no se encuentra propiamente dentro del embalse, sino en algunos de los arroyos que desembocan en la presa.

Es importante mencionar la presencia de mariposas monarcas durante el invierno, las cuales establecen colonias para invernar en las montañas localizadas en los límites entre el Estado de México y Michoacán, desde finales de octubre y principios de noviembre.

### 1.2.3 Geología, geomorfología y relieve

Mediante la geología es posible determinar los diferentes tipos de suelo que existen en determinada región; para el caso de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, estos se distribuyen de la siguiente manera: andesita y toba en la región noreste; suelos basálticos, esquistos, aluviales y volcanoclásticos en las regiones más cercanas al embalse. En la Figura 1.2 se observa la distribución de tipos de suelo previamente descrita.

En la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón el tipo de suelo predominante es el Andosol (de diversos tipos), el cual cubre un 83.2% del área total de la cuenca. El problema con este tipo de suelo es su elevada susceptibilidad a la erosión, ya que es muy esponjoso y suelto, sobre todo cuando ha perdido su cubierta vegetal. Debido a lo anterior, el suelo de la cuenca ha sufrido serios problemas de erosión desde hace varios años, teniendo como consecuencia la elevación del grado de las pendientes. En la región cercana al embalse, los tipos de suelo que se presentan son: Feozem, caracterizado por tener una capa superficial rica en materia orgánica y nutrientes, y que se localiza en la zona norte; Pluvisol, Vertisol y Luvisol, todos ellos suelos fácilmente erosionables, que se ubican en la zona sur.

Los usos del suelo en la cuenca han cambiado de forma acelerada, destacando el cambio de tipo forestal a agrícola. Actualmente, la proporción con respecto al uso de suelo es la siguiente: 59% agrícola, 21% forestal, 9% pecuario y 11% suelos erosionados y cuerpos de agua.

La geomorfología es una ciencia que se ocupa del estudio de las formas de la corteza terrestre. Para el caso de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, la configuración territorial es muy variada, ya que incluye planicies, elevaciones orográficas, lagos, bordos, valles y tierras de cultivo; además de que una parte de la cuenca pertenece a la provincia geológica del Eje Neovolcánico.

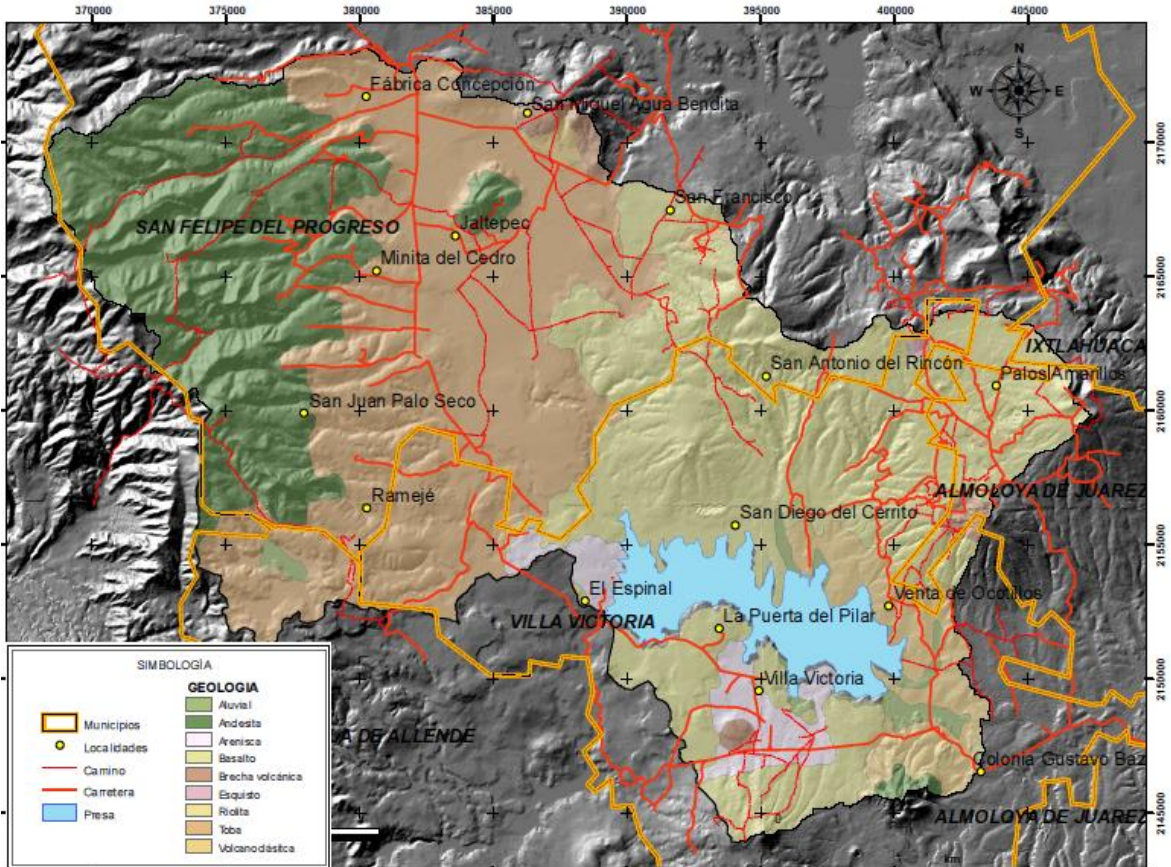


Figura 1.2 Geología de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.  
Fuente: OCAVM, 2007.

Las elevaciones principales son: el cerro de Suchitepec, localizado al norte del municipio de Villa Victoria, con una altura aproximada de 2,850 msnm; el cerro de San Agustín, cuya altura es de 3,110 msnm, aproximadamente, y se ubica al sur de Villa Victoria; y, hacia el poniente del mismo municipio, la cadena de pequeños montes denominada cerro Colorado, con una altitud estimada de 2,869 msnm; la Sierra del Campanario y la de Rancho Verde, esta última localizada en los límites entre el municipio de San José del Rincón y el estado de Michoacán, y ambas consideradas como Área de Protección de Flora y Fauna, Santuario de la Mariposa Monarca.

#### 1.2.4 Hidrología superficial y subterránea

En la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón hay, aproximadamente, 667 km de corrientes; cuyos órdenes de cauce van del 1 al 5. Algunas de las corrientes corresponden a ríos perennes. La corriente de agua más importante es el río La Compañía; otros ríos menos caudalosos son el Río Prieto, el Río de los Coyotes, el río San José Malcatepec, el de San Marcos, el de San Diego, el Ramal y el Molino. En la Tabla 1.2 se observan las principales aportaciones de algunos de los ríos antes mencionados a la presa Villa Victoria, así como las principales extracciones.

Tabla 1.2 Características hidrológicas de la presa Villa Victoria.

<b>Aportaciones</b>	<b>Gasto medido (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volumen (x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año)</b>
Lluvia	1.338	42.190
La Compañía	2.720	85.800
San Diego	0.482	15.200
Ramal	0.119	3.750
El Molino	0.174	5.500
Escurrimiento directo	0	0
<b>SUMA</b>	<b>4.833</b>	<b>152.440</b>
<b>Extracciones</b>	<b>Gasto medido (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volumen (x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año)</b>
Cortina	3.123	98.487
Evaporación	0.832	26.235
Infiltraciones deducidas	0.941	29.678
<b>TOTAL DE SALIDAS</b>	<b>4.896</b>	<b>154.4</b>

Fuente: CONAGUA, 2010.

También hay alrededor de 850 manantiales, de los cuales aproximadamente 692 se localizan en el municipio de Villa Victoria; sin embargo, este dato no es definitivo, pues se siguen realizando estudios al respecto. Entre los principales manantiales se encuentran: el Ojo de Agua de la Cabecera Municipal de Villa Victoria, el manantial de Los Padres y el de San Marcos de la Loma. Además, hay abundantes mantos acuíferos.

El cuerpo de agua más importante es la presa Villa Victoria, la cual abastece al Sistema Cutzamala con 4 m<sup>3</sup>/s, y tiene una superficie aproximada de 2,915 hectáreas. Además, es “Santuario del Agua” dentro del Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de México desde junio de 2004. En la Figura 1.3 se muestra la distribución de las corrientes que llegan a la presa Villa Victoria.



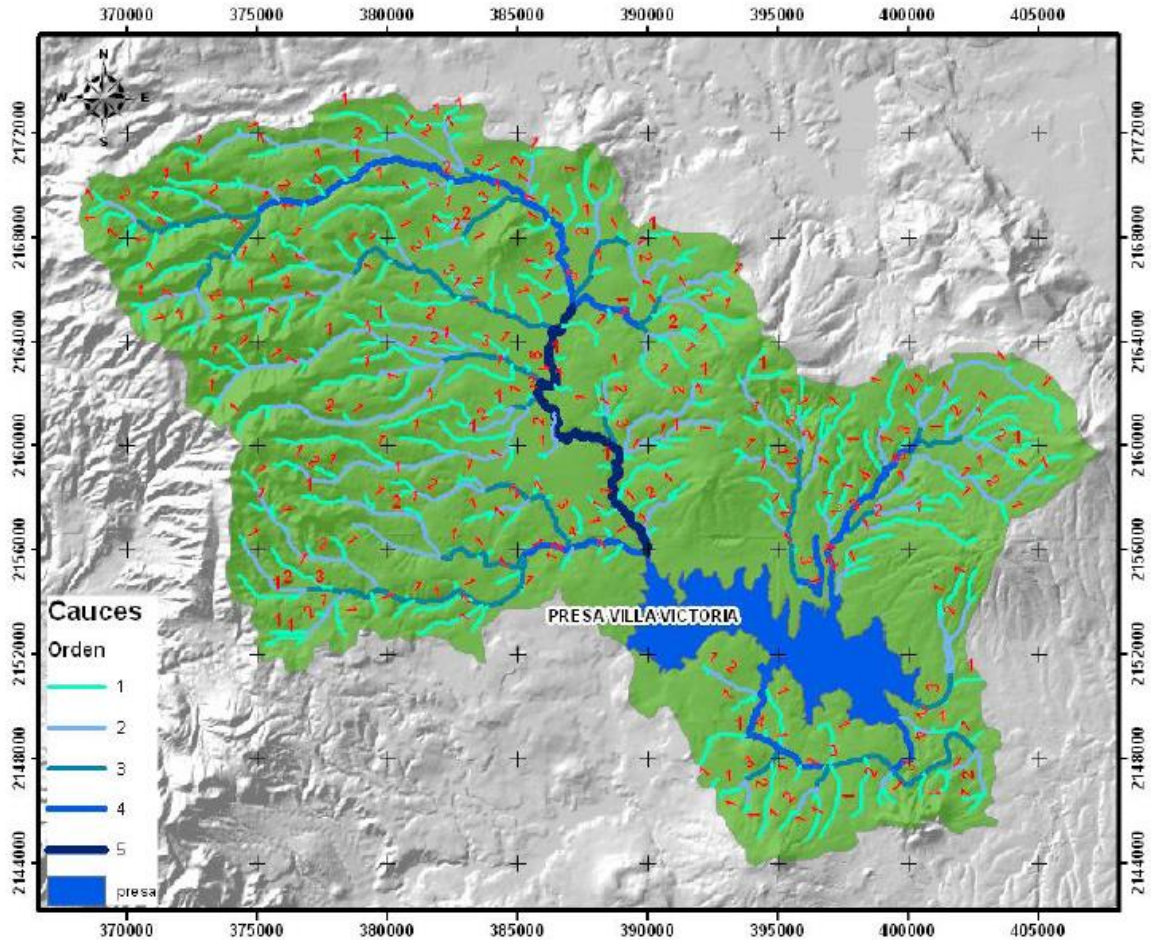


Figura 1.3 Distribución de los cauces que llegan a la presa Villa Victoria.  
Fuente: OCAVM y Colegio de Postgraduados, 2009.

### 1.2.5 Estudios previos de calidad del agua

Con respecto a este apartado, es importante mencionar que la información disponible es muy escasa; sin embargo, de acuerdo con los datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), desde el año 2000 se realiza un monitoreo de la calidad del agua en el vaso de la presa Villa Victoria, así como en los principales afluentes de la misma. El estudio más antiguo del que se tiene registro se realizó en 1988, el cual no estuvo a cargo de CONAGUA.

Acerca de los estudios realizados por CONAGUA, resulta significativo mencionar que primero se realizó una visita de reconocimiento, esto con la finalidad de ubicar con precisión los puntos de monitoreo; posteriormente se procedió a realizar cada uno de los muestreos. Las muestras de agua se tomaron para tres profundidades diferentes: superficie, media agua en la zona eufótica<sup>1</sup> y fondo; excepto para las zonas poco profundas, en las cuales sólo se tomaron muestras en la superficie y el fondo. Para el caso de los cauces, únicamente se tomaron

<sup>1</sup> Se refiere a la zona en la cual se lleva a cabo actividad fotosintética.

muestras en la superficie. Los sitios elegidos para el monitoreo fueron: Cortina, Centro Este y Centro Oeste dentro del embalse; y el Río La Compañía, Río El Salto y Canal efluente fuera de ésta; todos ellos se observan en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Sitios de muestreo en la presa Villa Victoria.  
Fuente: CONAGUA, 2010.

A partir del año 2002, los muestreos fueron realizados por CONAGUA en colaboración con ACUAGRANJAS. A continuación se enlistan los parámetros elegidos, tanto para el embalse como para los cauces, en las Tablas 1.3 y 1.4, respectivamente.

Tabla 1.3 Parámetros determinados en el embalse de la presa Villa Victoria.

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
pH	unidades de pH	N-Orgánico	mg/L	Sólidos Totales	mg/L
Conductividad	μS/cm	N-NH <sub>3</sub>	mg/L	STF	mg/L
Turbiedad	UTN	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	STV	mg/L
Alcalinidad	mg/L	Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	SDT	mg/L
Dureza	mg/L	Fósforo total	mg/L	SST	mg/L
Transparencia Disco Secchi	m	PO <sub>4</sub> orto	mg/L	SSV	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L	Grasas y aceites	mg/L	Coliformes totales	NMP/100 ml
DQO	mg/L	SAAM (detergentes)	mg/L	Coliformes fecales	NMP/100 ml
NTK	mg/L				

Fuente: CONAGUA, 2010.

Tabla 1.4 Parámetros determinados en los cauces de la presa Villa Victoria.

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Temperatura del agua	°C	Fósforo total	mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	PO <sub>4</sub> orto	mg/L
pH	unidades de pH	Grasas y aceites	mg/L
Conductividad	μS/cm	SAAM	mg/L
Turbiedad	UTN	Sulfatos	mg/L
Dureza total	mg/L	Silicatos	mg/L
Alcalinidad	mg/L	Sólidos sedimentables	mg/L
Cloruros	mg/L	Sólidos totales	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L	STV	mg/L
DQO	mg/L	STF	mg/L
NTK	mg/L	SDT	mg/L
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	SST	mg/L
N-NO <sub>2</sub>	mg/L	Coliformes totales	NMP/100 ml
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	Coliformes fecales	NMP/100 ml

Fuente: CONAGUA, 2010.

Los parámetros que se determinaron en sitio fueron los siguientes: temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, color, conductividad eléctrica, pH y potencial redox; además de la profundidad y el gasto, este último solamente para los cauces.

En la Tabla 1.5 se presentan, de forma resumida, los valores promedio obtenidos para cada parámetro, en cada uno de los muestreos realizados en el embalse de la presa Villa Victoria.

De manera análoga, en la Tabla 1.6 se presentan los resultados para las principales corrientes que llegan a la presa Villa Victoria.

Tabla 1.5 Parámetros determinados en el embalse de la presa Villa Victoria (1988-2009).

Parámetro	Olvera, 1988	CNA/ IDECA, 2000	CNA/ ACUAGRANJAS, 2002	CNA/ ACUAGRANJAS, 2003	CNA/ ACUAGRANJAS, 2004	CNA/ ACUAGRANJAS, 2005	CNA/ ACUAGRANJAS, 2006	CNA/ ACUAGRANJAS, 2007	CNA/ ACUAGRANJAS, 2009
pH	7.2	6.9	6.7	7.83	7.05	8.59	7.75	7.5	8.6
Conductividad	104	107	124.4	109.87	117.02	122.76	127.95	112.5	165.1
Turbiedad	17	7.5	17.6	24.5	23.74	22.68	31.57	19.91	38.6
Alcalinidad	51.3	64.6	65.3	66.38	67.86	69.01	ND	ND	86.4
Dureza	61	68.6	48.6	64.54	47.6	52.75	ND	ND	ND
Transparencia Disco Secchi	0.57	0.78	0.6	0.55	0.63	0.54	0.43	0.74	0.6
DBO <sub>5</sub>	4	ND	8	8.8	5.1	6.54	ND	ND	ND
DQO	15.4	12	17	17.55	10.16	16.36	37.22	18.3	64.6
NTK		1.19	1.057	0.771	0.643	0.967	0.960	0.853	1.6
N-Orgánico	0.55	ND		ND	ND	0.799	0.766	0.69	1.42
N-NH <sub>3</sub>	0.13	0.21	0.267	0.39	0.154	0.167	0.194	0.162	0.18
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	0.47	0.074	0.088	0.261	0.329	0.466		0.449	0.75
Nitritos (NO <sub>2</sub> )		0.004	0.014	0.012	0.018	0.01	0.017	0.011	0.01
Fósforo total	0.029	0.044	0.254	0.102	0.034	0.054	0.037	0.06	.07
PO <sub>4</sub> orto	<0.010	0.001	0.088	ND	ND	0.034	0.011	0.04	.03
Grasas y aceites		0	0.22	Nd	1.65	2.90	Nd	0.028	0.00
SAAM (detergentes)		0	0	Nd	Nd	0.04	0.06	ND	0.01
Sólidos Totales		114	82.3	89.75	90.17	110.45	109.64	92.65	111.4
STF		45	29.66	29.31	33.1	ND	ND	ND	ND
STV	56	69	51.59	60.43	57.70	ND	ND	ND	ND
SDT		67	68.45	53.56	76.58	86.06	79.71	77.76	99.6
SST		48	13.33	36.06	13.41	24.39	29.93	14.88	11.9
SSV	12	33	7.04	10.68	8.08	ND	ND	ND	ND
Coliformes totales		361	108,893.80	106452.3	8818	28491.58	ND	ND	ND
Coliformes fecales		66	1,848.11	99,397.53	5,058.75	11,208.58	7,861.89	3,916.1	39,301.8

Fuente: CONAGUA, 2010.

ND= No determinado, Nd= No detectado.

Tabla 1.6 Parámetros determinados en los cauces de la presa Villa Victoria (2000-2007).

Parámetro	CNA/ IDECA, 2000	CNA/ ACUAGRANJAS, 2002	CNA/ ACUAGRANJAS, 2003	CNA/ ACUAGRANJAS, 2004	CNA/ ACUAGRANJAS, 2005	CNA/ ACUAGRANJAS, 2006	CNA/ ACUAGRANJAS, 2007
Temperatura del agua	17.6 ± 2.4	17.9	20.24	18.45	17.3	18.65	17.4
Oxígeno disuelto	7.9 ± 1.0	5.9	6.61	7.34	5.9	3.69	6.3
pH	7.0 ± 0.5	7.3	7.47	7.27	7.1	6.56	6.9
Conductividad	100 ± 19	158.4	114.88	99.38	114.8	133.45	121
Turbiedad	27.0 ± 48.9	112.6	26.55	33.31	42.0	139.22	22.78
Dureza total	71	49.3	62.1	48.90	50.9	ND	ND
Alcalinidad	59	71.8	70.61	91.87	59.9	ND	ND
Cloruros	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DBO <sub>5</sub>	ND	8.8	9.53	5.93	4.2	ND	ND
DQO	15	17.8	16.45	12.20	41.5	16.73	13.5
NTK	0.54	0.9	0.748	0.569	1.2	0.71	0.78
N-NH <sub>3</sub>	0.06	0.6	0.382	0.383	0.2	0.27	0.107
N-NO <sub>2</sub>	0.006	0.1	0.03	0.031	0.1	0.04	0.014
N-NO <sub>3</sub>	0.504	0.2	0.155	0.177	0.3	0.55	0.478
Fósforo total	0.129	0.4	0.083	0.093	0.203	0.11	0.10
PO <sub>4</sub> orto	0.063	0.2	ND	ND	0.1	0.01	0.026
Grasas y aceites	1	0	0.44	0.883	1.6	ND	0.4
SAAM (detergentes)	0.855	0.2	ND	ND	0.3	2.21	0.305
Sulfatos	ND	6.7	12.23	0.252	33.1	ND	ND
Silicatos	26	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sólidos sedimentables	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sólidos totales	175	202.4	120.88	215.55	205.6	386.89	167.56
STV	108	162	92.22	162.44	ND	ND	ND
STF	67	40.1	28.66	53.11	ND	ND	ND
SDT	99	99.8	96.22	109.11	57.3	112	103.56
SST	76	102.7	24.66	106.44	148.2	273.11	64
Coliformes totales	ND	339,333.30	1,459,222	317,132	678,761.6	ND	ND
Coliformes fecales	ND	383,433.30	61,452	11,361	79,033.5	187,367.50	55,176

Fuente: CONAGUA, 2010. ND= No determinado, Nd= No detectado.

## 1.3 Medio socioeconómico

### 1.3.1 Población

Dado que la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón está integrada por varios municipios de dos estados diferentes, resulta complicado estimar la cantidad de habitantes que hay dentro de ésta. Sin embargo, en un estudio realizado por el INE, se menciona que en la cuenca residen poco más de 114,000 habitantes (INE, 2009), con una tasa de crecimiento poblacional anual de 1.14% durante el periodo de 2000-2005.

Debido a que los municipios de Villa Victoria y San José del Rincón son los que ocupan la mayor superficie, resulta conveniente conocer sus características socioeconómicas, por lo que en los siguientes apartados se incluye la información específica de estos dos municipios.

De acuerdo con el INEGI, al año 2010 la población en Villa Victoria era de 94,369 habitantes; mientras que en San José del Rincón había 91,345 habitantes.

El municipio de Villa Victoria cuenta con 104 localidades y se caracteriza por tener un crecimiento demográfico moderado (aunque cabe mencionar que desde hace varias décadas sus tasas de crecimiento demográfico han superado a las del Estado de México). Existen alrededor de 39 comunidades con presencia de población indígena, en las cuales hay 4,405 personas que hablan algún dialecto; el grupo más representativo e influyente en el municipio es el de los mazahuas, quienes se ubican, principalmente, en la zona norte y centro del municipio.

En cuanto al municipio de San José del Rincón, cuenta con 122 localidades, que incluyen 99 delegaciones y sus respectivos barrios, rancherías y colonias. Dado que es un municipio de reciente creación (2002), el único dato censal con que se cuenta es el de 2010, por lo que toda la información anterior a este año se basa en datos del municipio San Felipe del Progreso, al cual pertenecía San José del Rincón.

### 1.3.2 Salud

En Villa Victoria existen 22 unidades médicas (INEGI, 2010), de ellas la única de nivel intermedio que cuenta con personal y equipo es la unidad médica familiar localizada en Jesús María, todas las demás son básicamente centros de salud que únicamente prestan el servicio de consulta. En la Cabecera Municipal hay una clínica particular que cuenta con servicios intermedios, así como 12 consultorios particulares en todo el municipio. Es importante mencionar que únicamente 17 localidades tienen cobertura de servicios de salud, las cuales representan el 16.3% del territorio municipal; de manera análoga, solo el 29.8% de la población total tiene acceso directo a este servicio, el resto de la población se ve en la necesidad de acudir a otra comunidad para recibir el servicio de consulta, y para el caso de enfermedades graves resulta indispensable acudir a los hospitales en Toluca o Valle de Bravo.

Con respecto a San José del Rincón, en el municipio existen 33 unidades médicas (INEGI, 2010). De ellas, 22 son Centros de Salud Rural que atienden de forma continua a 22 localidades de este municipio.

### 1.3.3 Educación

Existen 248 escuelas en el municipio de Villa Victoria: 91 jardines de niños, 105 primarias (de las cuales siete son para adultos y tres de apoyo a la educación regular), 43 secundarias (de las cuales 22 son telesecundarias, tres son técnicas y ocho para adultos), dos escuelas de educación especial, una escuela de educación para adultos, cuatro escuelas de capacitación para trabajadores, un colegio de bachilleres y una preparatoria. Todas éstas, de forma conjunta, atienden al 15% de la población total, la gran mayoría de ellas en turno matutino. Un aspecto importante con respecto a los servicios de educación es la existencia de escuelas que atienden específicamente a la población indígena, de las cuales hay 13 jardines de niños y cinco primarias.

En San José del Rincón existen 56 jardines de niños, de los cuales 15 son federales, 33 estatales, dos federales bilingües y uno a cargo del CONAFE; 112 primarias, de las cuales 57 son estatales, 43 federales, seis a cargo de CONAFE, tres para la población indígena y una comunitaria; 22 secundarias, de las cuales nueve son telesecundarias (siete estatales, una federal y una rural), cinco federales y siete estatales; y una escuela a nivel bachillerato; sumando en total 190 escuelas. Sin embargo, de acuerdo con el INEGI, en San José del Rincón existen 311 escuelas en educación básica y media superior.

### 1.3.4 Agua potable, alcantarillado y tratamiento

La cuenca Villa Victoria-San José del Rincón es una región con abundancia de recursos hídricos, ya que cuenta con suficientes manantiales y pozos como para abastecer a toda su población; sin embargo, existen varios factores que influyen en la falta de cobertura del servicio de abastecimiento de agua potable. En primer lugar, la falta de un órgano de gobierno que se encargue de administrar el servicio de agua potable en algunas de las localidades que integran la cuenca origina que se recurra a la creación de comités ciudadanos, los cuales no están capacitados para brindar un servicio eficiente.

En segundo lugar, la infraestructura existente no es suficiente ni adecuada, lo cual limita la cantidad de habitantes que tienen acceso al servicio de agua potable. Se estima que alrededor del 50% de las instalaciones hidráulicas están deterioradas, lo cual contribuye a que haya cada vez más fugas. Como consecuencia de esta problemática, muchas familias recurren a abastecerse mediante pipas (en el mejor de los casos), o se ven forzados a acarrear el agua que necesitan desde la presa mediante burros o cubetas, además de lavar su ropa a las orillas del embalse.

La población de la cuenca que tiene acceso al servicio de agua potable se abastece principalmente de manantiales (65%) y pozos. Para el caso de Villa Victoria, la red de distribución es de PVC y existen tres tanques de regularización, los cuales abastecen únicamente a la Cabecera Municipal y a la comunidad de Las Peñas; lo anterior implica una cobertura municipal de tan sólo el 69%, debido a la falta de ampliación de redes locales. En San José del Rincón, el OPDAPAS es el encargado de la prestación del servicio de agua potable en algunas localidades; las cuales se abastecen de un manantial ubicado en la zona noreste de la Cabecera Municipal, desde este punto el agua baja por gravedad a través de un

acueducto subterráneo, para finalmente llegar a un depósito desde donde se distribuye al 41.46% de las viviendas habitadas.

Para el caso de la cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, la situación es aún peor. De acuerdo con datos del INEGI, a nivel municipal el porcentaje de cobertura alcanza apenas el 8%, existiendo algunas localidades donde este porcentaje es prácticamente cero. Debido a esto, en ciertas regiones de la cuenca los habitantes emplean fosas sépticas o defecan al aire libre, lo que agrava la situación de contaminación de agua, suelo y aire.

En el municipio de Villa Victoria, únicamente 1,089 viviendas cuentan con servicio de drenaje. Esta situación se debe, principalmente, al alto grado de dispersión de las viviendas, lo cual dificulta el tendido de redes, pues incrementa considerablemente los costos. En San José del Rincón, únicamente 989 viviendas tienen acceso al servicio de drenaje, lo cual representa una situación alarmante en materia de infraestructura sanitaria. Es importante mencionar que, de todas las viviendas que cuentan con servicio de drenaje, el 100% descarga sus aguas residuales sin tratar.

Con base en información de CONAGUA, se estima que en la cuenca se generan 127 L/s de aguas residuales, las cuales se descargan sin ningún tipo de tratamiento previo a diversos cuerpos de agua, que en su mayoría llegan a la presa Villa Victoria. Existe una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Villa Victoria, con una capacidad instalada de 22.5 L/s, que nunca ha operado debido a la falta de colectores. Asimismo, se tiene un proyecto para la construcción de una planta de tratamiento en San José del Rincón, que tendrá una capacidad de 8 L/s, la cual no sólo no es suficiente para contribuir al saneamiento de la cuenca, sino que será inutilizable de no ampliarse primero la infraestructura sanitaria.

### 1.3.5 Empleo

De acuerdo con el INEGI, la población económicamente activa del municipio de Villa Victoria es de 30,600 habitantes, de los cuales el 95% se encuentra ocupado. En cuanto al nivel de ingresos, del total de la población económicamente activa destaca el rango de uno a dos salarios mínimos; de lo anterior puede deducirse que, en general, el nivel de ingresos del municipio es bajo. Sin embargo, el porcentaje de desempleo es relativamente bajo (únicamente 1,447 habitantes se encuentran desempleados); esto se debe a que muchos de los pobladores posee algún empleo externo al municipio, o bien se auto emplea en prestación de servicios o trabajos del campo.

En San José del Rincón, el 89% de la población económicamente activa se encuentra ocupada, es decir, 23,327 habitantes corresponden a la población ocupada. Lo anterior evidencia un bajo porcentaje de desempleo; sin embargo, la mayoría de la población ocupada recibe menos de dos salarios mínimos al mes, por lo que una gran parte de la población se encuentra en condiciones de pobreza extrema.



### 1.3.6 Actividades económicas

#### ACTIVIDADES PRIMARIAS

La agricultura y la ganadería representan las actividades económicas primarias más importantes en la cuenca. Es común la práctica de rotación de cultivos, destacando la avena, maíz, papa y trigo; de estos aproximadamente el 80% es para autoconsumo. Debido a lo anterior, se complementa con actividades comerciales y de servicios, ya que no resulta rentable por sí sola. Con respecto a la ganadería, destacan la cría y explotación de especies de bovino, caprino, porcino, equino, ovino, aves de corral, conejos y colmenas.

La acuicultura se practica principalmente en el municipio de Villa Victoria, en donde existe una alta producción de especies como la carpa, el charal y la trucha, debido a la abundancia de cuerpos de agua, entre los que destaca la presa Villa Victoria.

Otra actividad importante es la silvicultura, así como la recolección de candelilla, lechuguilla, barbasco y resina; estas actividades se realizan con fines de autoconsumo. Un aspecto importante a considerar es que la tala se realiza de forma clandestina, lo cual contribuye a la deforestación.

Con respecto a la actividad minera, existen bancos de piedra, tepojal y tezontle.

#### ACTIVIDADES SECUNDARIAS

En los últimos años, las actividades económicas secundarias han tenido un mayor desarrollo en la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón. Con respecto a la actividad industrial, en el municipio de Villa Victoria operan 33 unidades productivas, las cuales se desglosan a continuación: dos maquiladoras de ropa interior, una empacadora de forraje, dos productoras de alambre requemado, una fábrica de arillos de alambrón, 11 fábricas de block, siete productoras de lácteos y siete productoras de dulces regionales, entre otras.

#### ACTIVIDADES TERCIARIAS

Se observa un rezago importante en el área del transporte, ya que la relación vehículo-personas es de 39 (cada vehículo debería transportar a 39 personas). El taxi es el transporte que predomina, seguido de la bicicleta, el caballo, el burro y la lancha.

Con respecto al turismo, pese a la carencia de infraestructura y servicios, se estima que cada fin de semana alrededor de 6,700 personas visitan alguna región de la cuenca, por lo cual esta actividad representa una alternativa para el crecimiento económico de la zona.

## 2. EVALUACIÓN TRADICIONAL Y CON PERCEPCIÓN REMOTA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES

### 2.1 Evaluación tradicional de la calidad del agua

Al hablar de calidad del agua, resulta indispensable abordar el tema de los usos del agua; ya que la calidad requerida depende fundamentalmente de la actividad en la que se empleará el agua. De acuerdo con las Estadísticas del Agua en México (CONAGUA, 2011), los principales usos del agua<sup>2</sup> en el país son: agrícola (76.7%), abastecimiento público (14.1%), industria autoabastecida (4.1%) y energía eléctrica (5.1%); éste último excluye la hidroelectricidad. Estos usos son considerados por CONAGUA como usos agrupados, ya que en el REPDA, se tienen registrados los usos del agua en 12 rubros; sin embargo, para fines prácticos se optó por agruparlos en cinco rubros.

Para determinar la calidad del agua, se pueden emplear tres tipos de mediciones:

- **Monitoreo:** se refiere a una medición continua y estandarizada.
- **Estudio:** en este caso, la medición se realiza por un plazo finito, con un propósito definido y mediante un programa intensivo.
- **Vigilancia:** consta de una medición continua, la cual está relacionada con el control o administración del recurso.

El empleo de alguno de ellos depende fundamentalmente del propósito para el cual se requieran las mediciones, por ejemplo: vigilancia, investigación, predicción, clasificación de cuerpos de agua o simplemente recopilación de información base.

#### 2.1.1 Técnicas de muestreo

Para determinar la calidad del agua, es importante seguir una metodología que permita llevar a cabo un muestreo confiable. Mediante las técnicas de muestreo, es posible obtener los datos necesarios sobre el cuerpo de agua que se está analizando.

En materia de normatividad, solo existen dos normas mexicanas referentes a muestreos de agua:

- NMX-AA-014-1980: Muestreo en cuerpos receptores<sup>3</sup>
- NMX-AA-003-1980: Muestreo de aguas residuales

---

<sup>2</sup> El uso del agua implica necesariamente su consumo, por lo cual no debe confundirse con aprovechamiento, en el que el agua utilizada no es consumida.

<sup>3</sup> “Toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que son susceptibles de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales” (NMX-AA-014-1980 Cuerpos Receptores.- Muestreo).

De acuerdo con la norma NMX-AA-014-1980 Cuerpos Receptores.- Muestreo, pueden distinguirse dos grandes grupos de cuerpos receptores, los cuales presentan diferencias significativas en las actividades a realizar durante el muestreo, principalmente en lo que se refiere a la localización de las estaciones de muestreo:

- Muestreo en corrientes
- Muestreo en lagos, lagunas, presas y embalses.

Dado que el tema del presente trabajo pertenece exclusivamente a la segunda categoría, se detalla la información al respecto en los siguientes apartados.

Para llevar a cabo un muestreo confiable, es necesario realizar ciertas actividades que permitan minimizar los errores y maximizar la seguridad de las personas involucradas. Éstas se pueden dividir en tres fases principales: planeación, preparación y ejecución.

#### FASE DE PLANEACIÓN

En esta fase se realizan todas las actividades relacionadas con la recopilación bibliográfica, determinación de estaciones de muestreo, visita de reconocimiento, elaboración de listas de verificación, hojas de campo, plan de seguridad y plan de muestreo.

A continuación se describen brevemente las principales actividades que integran la fase de planeación:

- 1) Definición del objetivo del estudio.** Es fundamental que el objetivo sea claro, con esto se garantiza que todas las actividades que se realicen estén encaminadas a cumplirlo.
- 2) Recopilación de la información disponible sobre la zona de estudio.** El objetivo de esta actividad es conocer lo mejor posible la región o área de interés. Se deben incluir datos de: características de la cuenca, usos del agua, usos del suelo, fuentes de contaminación, período de avenidas, corrientes tributarias, gasto promedio de estas corrientes y estudios de calidad del agua realizados anteriormente, entre otros.
- 3) Ubicación probable de las estaciones de muestreo.** Contrario a lo que podría pensarse, para localizar las estaciones de muestreo no se sigue un criterio científico, sino más bien se determinan con base en la necesidad de obtención de datos. Debido a esto, es indispensable que la ubicación sea lo más detallada posible, utilizando mapas, croquis, marcas permanentes (de ser viable) y GPS; así como proporcionar coordenadas geográficas (latitud y longitud). Lo anterior con la finalidad de que cualquier persona sea capaz de ubicar las estaciones de muestreo, en caso de requerirse para estudios posteriores. En concordancia con la normatividad aplicable (NMX-AA-014-1980 Cuerpos Receptores.- Muestreo), se sugiere elaborar una red de muestreo, que para el caso de lagos, lagunas, presas y embalses, recomienda que los sitios de muestreo deben establecerse:

- en los afluentes, antes de desembocar en el cuerpo receptor;

- dentro del cuerpo receptor, en aquellas zonas donde se observe una mezcla uniforme con los afluentes; y
- en las salidas del cuerpo receptor.

La Figura 2.1 ilustra las recomendaciones anteriormente mencionadas.

Además, es necesario (para cualquier cuerpo receptor), que la “red de muestreo represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiéndose tomar las muestras en la parte superior, media o inferior” (NMX-AA-014-1980 Cuerpos Receptores.- Muestreo).

Otras consideraciones que deben tomarse en cuenta para la localización de las estaciones de muestreo son: problemas existentes, condiciones de calidad presentes, puntos potenciales de desarrollo (consultar el Plan Municipal de Desarrollo Urbano), características físicas y sociales de la región, facilidad de acceso a los puntos de muestreo, limitaciones presupuestales y cooperación por parte de las autoridades. Además, es importante mencionar que no es necesario establecer muchas estaciones de muestreo, se trata más bien de ubicar el menor número de estaciones de muestreo con el que se asegure que el objetivo del estudio se cumplirá.

**4) Establecimiento de los parámetros de interés.** Su selección depende en gran medida del objetivo del estudio. Sin embargo, el factor económico puede ser una limitante importante, al no contarse con el material, equipo y personal suficiente para realizar todas las mediciones requeridas. Lo ideal para el caso de un estudio de calidad del agua es medir el mayor número de parámetros posible, y repetir las mediciones a lo largo del año. En la Tabla 2.1 se muestran los principales parámetros a muestrear en cuerpos de agua.

**5) Determinación de la frecuencia del muestreo.** Para poder determinar la frecuencia con la que se realizará el muestreo, es importante conocer la variabilidad de los parámetros de interés. Asimismo, resulta importante definir las épocas de avenidas y de estiaje; y la ubicación de las descargas, ya sean de tipo industrial, agrícola, provenientes de un poblado o de los ríos y corrientes tributarios.

También debe establecerse el número de muestras que se tomarán, aspecto que depende, principalmente, de los parámetros a determinar y el número de estaciones de muestreo. Otro punto a considerar es el del tipo de muestra, la cual dependerá de la característica que se desea investigar, y puede ser:

-Muestra simple: este tipo de muestra se toma en un lugar y momento determinado. Mediante ésta se obtienen características instantáneas del cuerpo de agua del que proceden. Se recomienda su utilización en los casos en que se desean conocer características extremas, los efectos de una descarga puntual, las variaciones de la composición de una descarga (con respecto al tiempo) y cuando se trata de cuerpos de agua que fluyen de forma intermitente.

Tabla 2.1 Principales parámetros a muestrear en cuerpos de agua.

Parámetro	Volumen mínimo requerido (ml)	Recipiente	Preservación	Tiempo máximo de análisis
Oxígeno disuelto	N/A	N/A	Analizar inmediatamente	N/A
Temperatura del agua	N/A	N/A	Analizar inmediatamente	N/A
Conductividad eléctrica	N/A	N/A	Analizar inmediatamente	N/A
Potencial de hidrógeno (pH)	N/A	N/A	Analizar inmediatamente	N/A
Cloruros	100	Plástico	4 °C	7 días
Alcalinidad, como CaCO <sub>3</sub>	100	Plástico	4 °C	7 días
Coliformes totales y fecales	150	Bolsa o frasco de vidrio de vidrio estéril	Previamente con EDTA + Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 4 °C	24 horas
Nitratos	200	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4 °C	7 días
Nitrógeno amoniacal	200	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4 °C	7 días
Color verdadero	200	Plástico	4 °C	2 días
Turbiedad	200	Plástico	4 °C	1 a 2 días
Dureza, como CaCO <sub>3</sub>	250	Plástico	HNO <sub>3</sub> , pH<2, 4 °C	180 días
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	500	Plástico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH<2, 4 °C	7 días
Sólidos disueltos	500-1000	Plástico	4 °C	7 días
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1000	Plástico	4 °C	48 horas
Grasas y aceites	1000	Frasco de vidrio, de boca ancha	HCl, pH<2, 4 °C	28 días
Sólidos suspendidos	1000	Plástico	4 °C	7 días
Fósforo total	1000	Plástico	4 °C	28 días
Color verdadero	200	Plástico	4 °C	2 días
Turbiedad	200	Plástico	4 °C	1 a 2 días

N/A= No aplica (parámetros que se determinan en campo). EDTA= Sal Tetrasódica de Ácido Etilén-Diamino-Tetraacético al 15%.

Fuente: Bravo, L., 2004.

- Muestra compuesta: es aquella que se conforma por varias muestras simples, y puede ser compuesta respecto al tiempo, al espacio o respecto al caudal (para el caso de una descarga). En el primer caso, las muestras simples se toman en el mismo lugar, pero en instantes de tiempo diferente; en el segundo caso, las muestras simples se obtienen en diferentes sitios del cuerpo de agua, pero en el mismo instante de tiempo; y para el último caso, la composición se realiza con muestras de diferente volumen, el cual está en proporción al caudal que tenga la descarga en el momento del muestreo, tomadas en intervalos de tiempo constantes.

Para el caso de un lago o embalse, es necesario recordar que en estos cuerpos de agua se presenta un fenómeno de estratificación, por lo cual la profundidad a la que se tomen las muestras será crucial. Se distinguen tres zonas principales cuya temperatura y densidad, así como oxígeno disuelto, confieren a cada una diferencias muy marcadas en cuanto a calidad del agua: epilimnio, zona superficial, bien mezclada, con mayor temperatura y oxígeno disuelto; hipolimnio, zona más profunda, sin mezcla y baja en oxígeno disuelto; y termoclina, la zona de transición entre las dos anteriores (Figura 2.2). Para cualquier cuerpo de agua debe evitarse muestrear la nata superficial; es recomendable tomar las muestras más superficiales de 30-50 cm de profundidad.



Figura 2.1 Recomendaciones para ubicar las estaciones de muestreo en un lago o embalse.  
Fuente: Bravo, L., 2004.

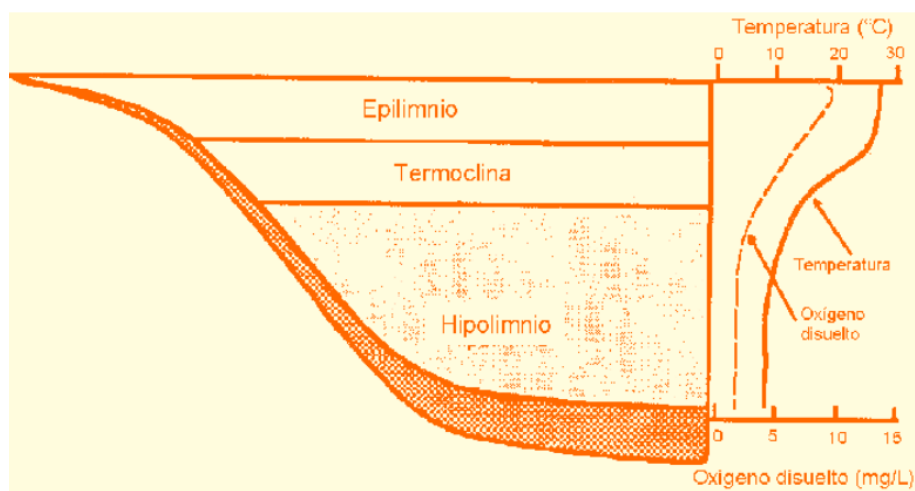


Figura 2.2 Estratificación térmica en un cuerpo de agua.  
Fuente: Bravo, L., 2004.

**6)** Elaboración de la lista de verificación de materiales, reactivos y equipo para el muestreo. Se deben incluir todos los componentes que serán necesarios durante el muestreo, como artículos de papelería, hieleras, sustancias para preservación, equipo de protección, etc. Además, es importante verificar que se lleven en cantidad suficiente, considerando repuestos.

**7)** Equipo de trabajo. El personal necesario para llevar a cabo el muestreo debe ser suficiente y estar capacitado para realizar las actividades que se le asignen; con esto se reduce el riesgo de accidentes y se procura que haya menos errores.

**8)** Elaboración del plan de seguridad. Antes de realizar un muestreo es fundamental contar con un plan de seguridad en el que se consideren posibles situaciones de riesgo, así como la forma de evitarlas. De forma general, debe contemplar: ubicación de servicios médicos más cercanos; el itinerario completo, el cual debe ser notificado a personas que no acudirán al muestreo; equipo de protección, como bata, calzado adecuado, lentes de seguridad, chaleco salvavidas, entre otros, según lo amerite el estudio en particular; medidas de seguridad para la protección y preservación de las muestras, así como de los materiales y equipos a utilizar.

Para el caso específico de lagos y embalses, en el que es necesaria la utilización de una lancha, además de lo anteriormente descrito se debe considerar: contar con gente experimentada en navegación, y que asimismo esté familiarizada con la normatividad aplicable; protegerse del sol (bloqueador solar, gorras, etc.); llevar remos, por si motor llegara a fallar; consultar las condiciones meteorológicas de la zona, con un máximo de un día de diferencia con respecto al día del muestreo; emplear una lancha suficientemente amplia y en buen estado, de preferencia con techo, así como revisar que el motor se encuentre en condiciones óptimas y que se cuente con la gasolina necesaria para todo el trayecto.

**9)** Definición de los medios de transporte. El medio de transporte a utilizar, así como la ruta a seguir para llegar a la zona de estudio y desde ésta al laboratorio, son aspectos que repercuten tanto en los costos como en la eficacia al preservar las muestras. Por ningún motivo debe excederse el tiempo recomendado entre el muestreo y el análisis.

**10)** Visita de reconocimiento. Como parte de la etapa de planeación, se requiere una visita de reconocimiento al sitio de muestreo para poder corroborar y/o modificar el plan de muestreo propuesto. Entre otras cosas, esta visita puede ser útil para: corroborar la ubicación de las estaciones de muestreo, verificar la facilidad de acceso a éstas y registrar los tiempos de traslado; asimismo, sirve para identificar algunas descargas importantes que pudieran ser significativas para el estudio.

**11)** Estimación del costo del estudio. Uno de los aspectos más importantes a considerar en la etapa de planeación es precisamente el económico, ya que éste limitará los alcances del estudio de calidad del agua. Algunos de los principales conceptos a considerar son: adquisición de materiales, reactivos y equipo; análisis de laboratorio; número de parámetros que se medirán; número de muestras; entre otros.

### FASE DE PREPARACIÓN

Durante esta fase se llevan a cabo todas las actividades necesarias para tener listos todos los materiales, reactivos y equipos previstos en la etapa de planeación a tiempo para el muestreo. Dichas actividades incluyen: lavar y esterilizar (en su caso) todos los recipientes que van a utilizarse, calibrar los equipos, revisar que todo lo contenido en la lista de verificación se encuentre en buen estado y en cantidad suficiente, entre otras.

Con respecto a la calibración de los equipos, ésta debe realizarse en las 24 horas previas al muestreo. Entre los equipos que requieren calibración se encuentran: conductímetro, potenciómetro y equipo multiparamétrico. Se debe revisar el estado de las baterías o pilas: asegurarse de que la pila esté cargada en su totalidad, o si se requieren baterías, llevar repuestos. Es importante inspeccionar los termómetros (las columnas de mercurio), e inspeccionar que las soluciones de calibración no estén caducadas. Además, resulta conveniente apegarse al manual de operación proporcionado por el fabricante, por lo que debe revisarse minuciosamente.

Para esta fase es sumamente importante que la lista de verificación se haya realizado de la forma más detallada posible, esto es, incluir hasta lo más obvio; asimismo, se recomienda anexar fotografías.

### FASE DE EJECUCIÓN

La tercera y última fase de un muestreo confiable corresponde propiamente al muestreo. Durante éste, deben considerarse todas las medidas de seguridad establecidas en la fase de planeación; así como las recomendaciones para la toma de muestras (orden, forma de preservarlas, etc.) y apegarse al plan de muestreo elaborado.

Si todas las fases se realizaron de forma adecuada, es de esperarse que los errores que se tengan sean mínimos, con lo cual se evitará el tener que invalidar los resultados obtenidos o descartar muestras. En los siguientes apartados se abordarán de manera más amplia las recomendaciones para la realización del muestreo.

#### **2.1.2 Actividades realizadas en campo**

Como se mencionó en la sección 2.1.1, algunas de las actividades realizadas en campo pertenecen a la fase de planeación de un muestreo confiable. Tal es el caso de la visita de reconocimiento. En esta sección, se explicará con mayor detalle lo referente a las actividades realizadas propiamente en el muestreo.

Una de las principales actividades que se realizan en campo es la colecta de muestras. Atendiendo las recomendaciones para llevar a cabo un muestreo confiable, es importante mencionar cuatro de los componentes principales de la colecta de muestras: en primer lugar, no debe faltar la seguridad e higiene del personal que se ocupará de tomar las muestras; la muestra recolectada debe ser representativa, esto significa que debe constituir la masa total del agua en un tiempo y lugar determinados; durante el proceso de muestreo debe procurarse realizar todo con la mayor calidad posible; y, finalmente, generar un registro completo y preciso del muestreo.



Para asegurar la colecta de muestras representativas, es indispensable tener preparada una lista con todos los parámetros que se analizarán, así como el volumen mínimo de muestra requerido, el tipo de recipiente necesario y la forma de preservarse. En cuanto a los recipientes de muestreo, es importante asegurarse de que se lleven recipientes suficientes, además de recipientes adicionales por si alguno sufre alguna rotura. En la norma NMX-AA-014-1980 Cuerpos Receptores.- Muestreo, se establece que todos los recipientes empleados en el muestreo deben tratarse para eliminar cualquier sustancia que pudiera alterar los resultados de los análisis; y que las tapas deben proveer un cierre hermético, y ser de un material afín al recipiente.

Con respecto a la identificación de muestras, CONAGUA recomienda la utilización de etiquetas pegadas o colgadas, y etiquetar los recipientes antes del muestreo, con esto se garantiza la identificación de las muestras en cualquier momento; estas etiquetas deben llenarse con tinta indeleble, y contener la siguiente información: fecha de muestreo (día/mes/año), hora de muestreo, identificación de la estación o sitio de muestreo, número de muestra, tipo de muestra, análisis solicitado, tipo de preservación, nombre del muestreador y cualquier observación adicional que se considere pertinente (lluvia, viento intenso, etc.). Además, se debe registrar la información de cada muestra en la hoja de campo.

En cuanto al procedimiento de muestreo, se recomienda que antes de recolectar la muestra se enjuague el recipiente con el agua del lago o embalse. También debe seguirse un orden, el cual depende del parámetro que se analizará: primero deben tomarse las muestras para análisis microbiológicos (coliformes totales y fecales, por ejemplo), esto con la finalidad de evitar la alteración de la muestra con la probable contaminación debida a la introducción de los recipientes necesarios para los demás análisis; a continuación se colectan las muestras de grasas y aceites; posteriormente, se miden la temperatura ambiente y del agua, el pH, oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica; después se procede a tomar las demás muestras de agua necesarias.

De acuerdo con las recomendaciones de tiempo máximo de análisis para los parámetros a muestrear (Tabla 2.1), algunos parámetros deben ser medidos en campo, y son: oxígeno disuelto, temperatura del agua, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno (pH). Se recomienda medirlos a 50 cm de profundidad y, de ser posible, a cada metro hasta llegar a los 50 cm por encima del fondo. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos:

### **Temperatura del agua**

Con base en la norma NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua- Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba, la temperatura se define como el “potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo”. Este parámetro es importante en los análisis de calidad del agua debido a que es un indicador de actividad biológica, física y química, por lo que afecta considerablemente a la vida acuática e influye en los tratamientos para potabilización –ya que la densidad y la viscosidad del agua dependen de la temperatura. Afecta varias propiedades que repercuten en la calidad del agua, tales como: modificación en la velocidad de reacciones químicas y bioquímicas, intensificación

de sabores y olores, alteración de la solubilidad de los gases, y afecta la respiración de los organismos acuáticos.

Para su determinación se recomienda medir la temperatura directamente, sin extraer muestra. De no ser posible, se requiere un volumen mínimo de 1 L en un recipiente de polietileno o de vidrio para medir la temperatura con un termómetro de inmersión parcial<sup>4</sup>, o de 500 ml para Termopar u otro instrumento.

### **Conductividad eléctrica**

La CE se define como la habilidad del agua para transportar una corriente eléctrica, y depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas y de la temperatura. En estudios de calidad del agua, suele medirse en  $\mu\text{mho/cm}$  o  $\mu\text{S/cm}$  ( $1 \text{ mho} = 1 \text{ siemens}$ ), ya que los valores reportados son muy pequeños. Se considera un parámetro de calidad importante para cuerpos de agua destinados al consumo humano, puesto que proporciona una idea del grado de mineralización del agua.

La norma NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de agua- Determinación de la conductividad electrolítica- Método de prueba, recomienda la determinación de este parámetro de forma inmediata y sin extraer muestra. Cuando esto no es posible, debe tomarse una muestra en un recipiente de polietileno (el volumen mínimo dependerá del instrumento utilizado) y realizarse la medición de forma inmediata. El tiempo máximo para su determinación es de 24 horas, siempre y cuando la muestra sea sellada herméticamente y preservada a  $4^\circ\text{C}$  en la oscuridad.

### **Oxígeno disuelto**

Los niveles de OD en cuerpos de agua, dependen principalmente de factores como la altitud, la temperatura y el movimiento del agua; así como de la actividad biológica que se lleve a cabo en el cuerpo de agua. Afecta principalmente el desarrollo de vida acuática, pues la mayoría de las especies requieren de al menos  $4 \text{ mg/L}$  para sobrevivir.

Para su determinación, la norma NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba, recomienda evitar que la muestra se agite o entre en contacto con el aire, y realizar la medición inmediatamente. En caso de que la muestra deba ser transportada, debe almacenarse a  $4^\circ\text{C}$  por no más de ocho horas. Si se va a realizar un análisis de laboratorio, el OD debe fijarse con Sulfato Manganoso.

### **Potencial de hidrógeno**

El pH es un indicador de la concentración de iones hidrógeno en una disolución acuosa, influye ampliamente en el desarrollo de vida acuática- la actividad biológica solo se lleva a cabo entre valores de pH de 6 y 8. Es un parámetro muy importante para el funcionamiento efectivo de

---

<sup>4</sup> “Termómetro de líquido en vidrio, diseñado para indicar valores correctos de temperatura cuando el bulbo y una porción definida del vástago están expuestos a la temperatura por medir” (NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua- Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba).

los procesos de potabilización y tratamiento de aguas, por ejemplo: coagulación-floculación, desinfección con cloro, entre otros.

La norma NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de agua- Determinación del pH- Método de prueba, recomienda medir el pH de una muestra lo más rápidamente posible, sin exceder de seis horas. En el caso de que esto no sea posible, la muestra debe conservarse sin cambios bruscos de temperatura ni intercambio gaseoso con la atmósfera, y analizarse antes de las 24 horas posteriores a la toma de la muestra.

#### OBTENCIÓN DE MUESTRAS PROFUNDAS

Para el caso de lagos y embalses, puede ser necesaria la colecta de muestras a diferentes profundidades, especialmente para el caso de cuerpos de agua en donde sea probable la estratificación (profundidad mayor a 12-15 m).

El equipo a utilizar para coleccionar muestras profundas incluye: botella Van Dor o muestreador Alfa (Figura 2.3) y el muestreador Kemmerer (Figura 2.4), siendo este último el más económico. Sus capacidades son muy variables, pero se les encuentra a partir de dos litros de capacidad.

#### EMPAQUE Y TRANSPORTE DE MUESTRAS

Una vez que se han recolectado las muestras necesarias, es importante preservarlas de forma adecuada (para el caso de aquellos parámetros que no se necesiten determinar en campo) y transportarlas al laboratorio donde se analizarán. Para asegurar la integridad de las muestras, conviene verificar que: a) no quede ningún recipiente sin empacar; b) todos los recipientes estén acomodados de forma vertical; c) al acomodarlos, no se golpeen unos con otros; y d) de ser posible, se envuelvan con plástico burbuja para mayor seguridad.

En cuanto a la preservación de las muestras, para la mayoría basta con mantenerlas a 4°C, lo cual se logra fácilmente colocándolas en hielo; sin embargo, algunos parámetros requieren de reactivos adicionales. A continuación se describen brevemente las recomendaciones de las normas mexicanas, con respecto a la colecta y preservación de muestras, para tres parámetros:

#### **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

Previamente al muestreo (fase de preparación), se deben lavar muy cuidadosamente y esterilizar los recipientes en donde se coleccionarán las muestras para los análisis bacteriológicos. En el interior de estos (previo a la esterilización), se debe colocar 0.1 cm<sup>3</sup> de solución de Tiosulfato de Sodio al 1%, con la finalidad de inhibir la acción del Cloro que pudiera contener la muestra. Además, se requiere cubrir con papel aluminio desde el tapón del frasco o recipiente hasta el cuello.

Durante el muestreo, se debe procurar que el recipiente muestreador se abra hasta que se haya introducido al cuerpo de agua, llenarlo aproximadamente a 2/3 partes de su capacidad (una cantidad menor podría ser insuficiente y una mayor disminuiría el espacio de aire disponible) y taponarlo antes de sacarlo del agua, verificando que el papel aluminio vuelva a cubrir el tapón y cuello del recipiente. Para el caso de muestras profundas, se debe conseguir un equipo especial que permita taponar y destapar el recipiente bajo el agua.

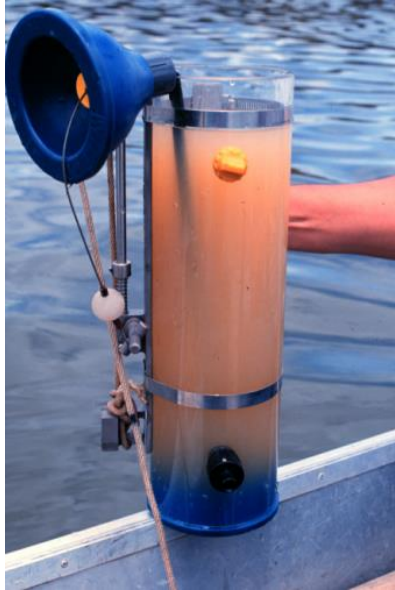


Figura 2.3 Botella Van Dor.

Fuente: Apuntes de la clase Evaluación de la Calidad del Agua, impartida por el M.I. Carlos M. Menéndez Martínez, 2012.



Figura 2.4 Muestreador Kemmerer.

Fuente: Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente  
[[http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/manual/investigacion\\_cont\\_suelo/es\\_doc/adjuntos/02.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/manual/investigacion_cont_suelo/es_doc/adjuntos/02.pdf)].

Con respecto a la preservación de la muestra, la norma recomienda que el análisis se efectúe inmediatamente después de su recolección; sin embargo, en el caso de que esto no sea posible, puede realizarse en las dos horas posteriores y hasta un máximo de 24 horas después (cuando se trate de agua potable) o seis horas después (para otros tipos de agua). Si el análisis se realizará después de la colecta de la muestra, es necesario preservarla a 4 °C para inhibir la actividad bacteriana.

NMX-AA-102-1987 Calidad del Agua- Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y Escherichia coli presuntiva- Método de filtración en membrana

Las recomendaciones de preparación del recipiente, muestreo y preservación son las mismas que las descritas en la norma anterior, lo único que cambia es el método que se emplea para realizar el análisis.

### **Nitratos**

NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de aguas- Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- Método de prueba

Se deben coleccionar 500 ml de muestra en recipientes de vidrio o polietileno. En el caso de que la muestra presente turbiedad (no se especifica qué valor de turbiedad), se debe filtrar (emplear filtro de 0.45 µm).

En cuanto a la preservación de las muestras, se recomienda realizar los análisis lo más pronto posible (sin exceder de 48 horas) manteniendo la muestra a 4 °C. Si se desea analizar después del tiempo recomendado, se deben agregar 2 ml de Ácido Sulfúrico por cada litro de muestra, y almacenar a 4 °C; sin embargo, de esta forma no es posible determinar Nitritos y Nitratos individualmente, debido a la presencia del Ácido Sulfúrico.

NMX-AA-082-1986 Contaminación del agua- Determinación de nitrógeno de nitrato- Método espectrofotométrico ultravioleta

No se mencionan muchas recomendaciones para la obtención y preservación de las muestras, únicamente se indica que los recipientes deben ser de vidrio o plástico, y que los análisis deben realizarse lo más pronto posible (sin exceder de 48 horas), manteniendo las muestras en un intervalo de temperatura de 2-5 °C.

### **Grasas y aceites**

NMX-AA-005-SCFI-2000 Análisis de agua- Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba

Para determinar este parámetro no se permite la colecta de una muestra compuesta, debido a que puede haber pérdidas de grasas y aceites por el equipo de muestreo. Se deben emplear recipientes de vidrio de boca ancha, con tapa de politetrafluoroetileno, poliamida, PVC o metálica. La muestra debe obtenerse de la superficie, a menos que se observen aceites emulsionados, en cuyo caso se coleccionará a 20 o 30 cm de profundidad. Se debe recoleccionar 1 L

de muestra, la cual se ocupará en su totalidad para la determinación de grasas y aceites, por lo que no se podrán realizar más análisis a partir de ésta.

Para preservar la muestra, se debe agregar Ácido Clorhídrico 1:1 con un valor de pH menor a 2, y mantenerse a 4 °C hasta por 28 días.

### **2.1.3 Actividades de laboratorio**

Una parte importante en todo estudio de calidad del agua está conformada por las actividades de laboratorio. Básicamente, en el laboratorio se realiza la determinación de todos los parámetros necesarios para el estudio y que, ya sea por falta de tiempo, recursos o personal, no pudieron determinarse en campo.

Dependiendo del objetivo del estudio de calidad del agua, así como de los recursos disponibles, las actividades de laboratorio pueden ser muy variadas, e incluyen la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos. Los laboratorios donde se llevan a cabo dichas determinaciones deben cumplir con los requisitos de control de calidad establecidos en las Normas Mexicanas, las cuales emiten recomendaciones con respecto a los materiales, equipos, reactivos y procedimientos empleados.

Los procedimientos que se llevan a cabo en el laboratorio pueden dividirse como sigue:

#### **Análisis gravimétricos**

Están basados en la medición directa del peso de cierta impureza presente en el agua. Para removerla, es necesario evaporar, filtrar o precipitar una muestra.

Mediante los análisis gravimétricos se determinan grasas y aceites, sólidos y Sulfatos.

#### **Análisis volumétricos**

Consisten en la medición del volumen de un reactivo líquido de concentración conocida, el cual es utilizado para llevar a cabo una o varias reacciones, empleando un indicador que permita identificar el punto final de la reacción.

El OD, DBO, alcalinidad, acidez y Cloruros, se pueden determinar mediante este tipo de análisis.

#### **Análisis colorimétricos**

Para determinar parámetros mediante este tipo de análisis, se requiere de un compuesto con características de color bien definidas, en el cual se cumple que la densidad del color es proporcional a la concentración de la sustancia analizada. Para esto, se requiere la aplicación de la Ley de Beer (la luz absorbida es proporcional a la concentración) y de la Ley de Lambert (la intensidad de la luz transmitida es inversamente proporcional a la longitud de onda de una solución).

La medición del color obtenido puede realizarse empleando métodos visuales (papel pH, tubos comparadores o patrones, tubos Nessler) o instrumentales (espectrofotómetros, colorímetros o

absorciómetros, entre otros). En la Figura 2.5 se observan algunos de los equipos utilizados para realizar análisis colorimétricos.



Figura 2.5 Colorímetro (esquina superior izquierda), tubos Nessler (esquina superior derecha), espectrofotómetro (esquina inferior izquierda) y papel pH (esquina inferior derecha).

Fuente: Elaboración propia con imágenes de García, R., 2012; y Agrorural, 2012.

Con los análisis colorimétricos se pueden medir los siguientes parámetros: Nitrógeno, Fosfatos, Cromo, y casi todos los metales.

### Análisis instrumentales

También conocidos como análisis potenciométricos, consisten en la medición del potencial eléctrico mediante el empleo de electrodos para ciertos iones específicos.

Algunos parámetros que se pueden determinar mediante este tipo de análisis son: pH, OD, Cloruros, Calcio y Sodio.

### Análisis biológicos

Este tipo de análisis pueden ser de dos tipos: cuenta directa de organismos o microorganismos, o bioensayos. En el primer caso, se puede realizar una observación directa al microscopio, o una cuenta visual de colonias formadas en cultivos; en el segundo caso, se estudian ciertas características de un grupo de organismos o microorganismos seleccionados (como su crecimiento, reproducción, entre otros), con el propósito de determinar límites de tolerancia a sustancias tóxicas.

### PARÁMETROS FÍSICOS DE CALIDAD DEL AGUA

La medición de este tipo de parámetros es relativamente sencilla, ya que algunos de ellos pueden determinarse a través de los sentidos, en cuyo caso se denominan características organolépticas del agua. A continuación se describen algunos de estos parámetros.

### Turbiedad

De acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba, la turbiedad se define como “una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que origina que al pasar un haz de luz a través de ella, la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta”.

La presencia de partículas suspendidas en el agua —tales como arcilla, materia orgánica e inorgánica, plancton y diversos microorganismos— origina turbiedad, causando una apariencia poco atractiva que puede llegar a ser dañina; asimismo, las descargas de agua residual y los desechos industriales contribuyen a incrementar la turbiedad. Esto ocasiona problemas de calidad, principalmente en el caso de que el agua se emplee para el consumo humano o para la elaboración de productos destinados al mismo, ya que las partículas asociadas con la turbiedad (coloidales) proporcionan sitios para la adsorción de sustancias químicas y microorganismos que pueden ser nocivos, o causar olores y/o sabores desagradables.

Para medir la turbiedad, es necesario determinar la transmisión de la luz en una muestra de agua. Las partículas que ocasionan turbiedad pueden dispersar o absorber la luz, dependiendo de sus características; sin embargo, la principal es el tamaño, ya que éste determina si se produce o no turbiedad en una muestra de agua. Dadas dos muestras que contengan la misma cantidad (en masa) de sólidos en suspensión, aquella que tenga las partículas de menor tamaño será la que presente mayor turbiedad; debido a esto, no se puede considerar a la turbiedad como una medida cuantitativa de los sólidos en suspensión.

Las unidades empleadas para medir este parámetro son: unidades Jackson y UTN, de las cuales la segunda es la más utilizada, y tiene la equivalencia mostrada en la Ecuación 2.1.

$$1 \text{ UTN} = 1 \text{ ppm de formazina estándar} \quad (2.1)$$

Entre los equipos utilizados para su medición se encuentran los siguientes:

a) Disco Secchi (Figura 2.6), instrumento de medición de la penetración luminosa, se usa específicamente en cuerpos lénticos<sup>5</sup>. Mide 30 cm de diámetro, posee una cadena que tiene la longitud marcada y está dividido en cuadrantes blancos y negros (alternadamente) con lo cual se mejora el contraste. Es muy útil para determinar la turbiedad en campo, ya que únicamente se requiere introducir el disco en el agua hasta que ya no es posible verlo, repitiendo al menos en tres ocasiones y registrando los resultados (longitud de la cadena introducida en el agua) para obtener una media.

b) Turbidímetros. Los más empleados son el turbidímetro de bujía de Jackson (Figura 2.7), el de Hellige y el de Bayles. El primero, que mide en UTJ, es un aparato que consta de un vidrio calibrado (de tal forma que se pueden obtener lecturas directas de turbiedad), una vela especial que proporciona una intensidad de luz fija y un soporte que separa y alinea la vela y el

---

<sup>5</sup> Referente a ecosistemas de agua dulce, en los cuales el agua permanece prácticamente estancada, como lagos y embalses (Apuntes de la clase Impacto Ambiental y Manejo de Residuos Municipales, impartida por el Dr. Enrique César Valdez, 2010).



tubo. Para determinar la turbiedad, la muestra de agua se vacía lentamente a través del tubo, hasta que ya no es posible apreciar la llama de la vela. Una de sus desventajas es que no se puede utilizar para medir valores bajos de turbiedad, ya que el valor mínimo que se puede registrar es 25 UTJ. El turbidímetro de Hellige es de tipo nefelométrico, y está basado en el efecto Tyndall. Su funcionamiento consiste en hacer pasar hacia arriba de la muestra un rayo de luz, y compararlo con la luz dispersada hacia arriba por las partículas en suspensión de la misma muestra, siendo ésta iluminada lateralmente a  $90^\circ$ .

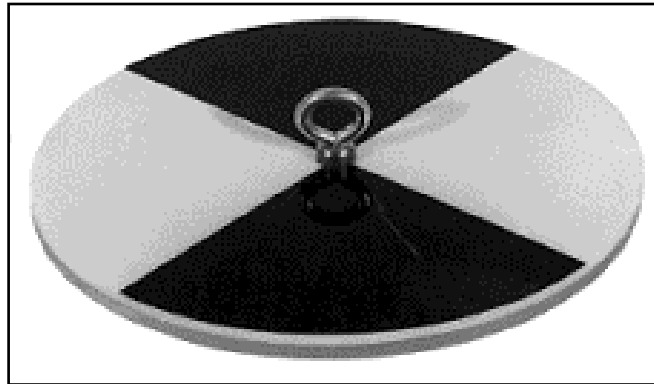


Figura 2.6 Disco Secchi.

Fuente: Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente

[[http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/manual/investigacion\\_cont\\_suelo/es\\_doc/adjuntos/02.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/manual/investigacion_cont_suelo/es_doc/adjuntos/02.pdf)].

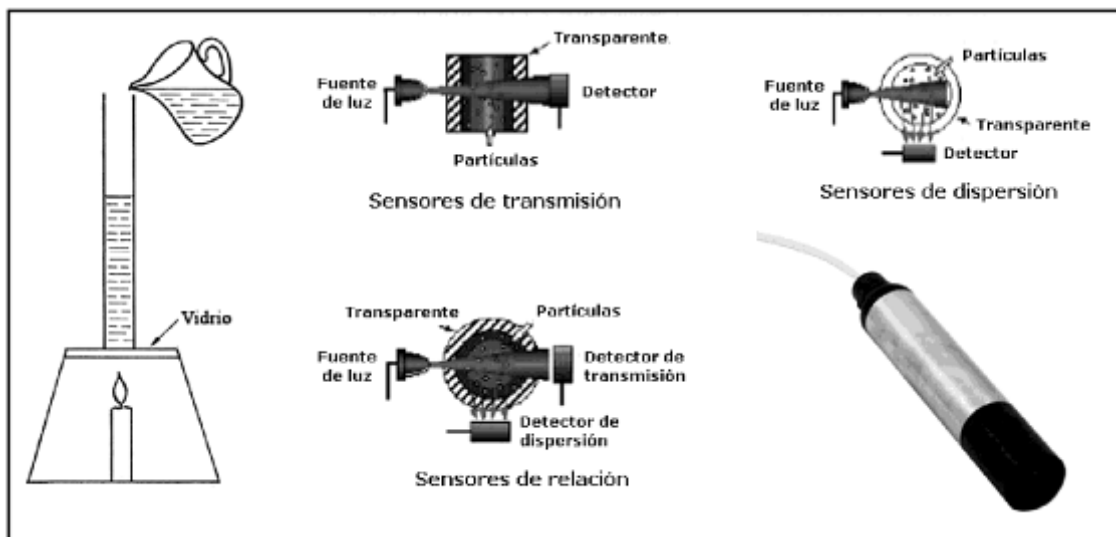


Figura 2.7 Turbidímetro de bujía de Jackson.

Fuente: Creus, A., 2011.

c) Nefelómetros. Estos equipos expresan los resultados en UTN, y miden el grado de dispersión de la luz mediante celdas fotoeléctricas, realizando una comparación de la muestra analizada con una suspensión estándar de referencia (de polímero de formazina), bajo las mismas condiciones de medida.

La importancia de determinar la turbiedad se debe a que este parámetro ayuda a establecer el grado de tratamiento requerido por un cuerpo de agua, ya que influye enormemente en la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación, filtración, desinfección, entre otros.

### Color

El término color, aplicado en estudios de calidad del agua, está definido en la norma mexicana NMX-AA-017-1980 Aguas.- Determinación de color, como “valor numérico expresado en por ciento de luminancia y pureza, longitud de onda dominante y tono; obtenido de la medición de la luz transmitida”. En palabras más simples, puede entenderse como el resultado de las longitudes de onda que son absorbidas o reflejadas por un objeto, y que son percibidas por el ojo humano.

La coloración del agua se debe a la presencia de sustancias suspendidas y disueltas, las cuales le confieren diferentes tonalidades, dependiendo de la sustancia de que se trate. Por ejemplo, la materia orgánica –hojas, madera, humus –ocasiona un matiz amarillento-marrón; mientras que los metales causan agua rojiza en el caso de los óxidos de Hierro, y agua marrón o negruzca en el caso de los óxidos de Manganeso.

Es importante distinguir entre el color aparente y el color verdadero. El primero, también llamado color natural, se refiere al color originado tanto por sustancias disueltas como por sustancias suspendidas; mientras que el color verdadero es debido únicamente a sustancias disueltas, por lo que solamente puede medirse después haber filtrado la muestra.

Para medir el color se emplean las unidades de color en la escala Platino-Cobalto, las cuales representan el color producido por 1 mg/L de platino, en la forma de ion Cloroplatinato. Los métodos de medición de color se basan, principalmente, en la comparación visual de la muestra con soluciones coloridas de concentración conocida (soluciones estandarizadas) o con discos de vidrio de colores (empleados generalmente en trabajos de campo), los cuales deben ser calibrados previamente. En la norma mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba, se describe de forma más detallada la determinación del color, tanto aparente como verdadero.

En general, debe removerse el color del agua para prácticamente cualquier uso doméstico e industrial: consumo humano, procesamiento de alimentos (bebidas, producción lechera), producción de textiles, fabricación de papel, producción de plásticos, etc. Aunado al desagradable aspecto estético, el agua que tiene un valor alto de unidades de color puede interferir con ciertos procesos de tratamiento, como la desinfección, ya que los compuestos orgánicos causantes de color verdadero pueden ejercer una demanda de cloro, reduciendo la efectividad de este desinfectante. Además, los compuestos derivados de productos vegetales muertos –como los taninos<sup>6</sup> –producen compuestos de sabor y olor desagradable al combinarse con el Cloro.

---

<sup>6</sup> Compuestos polifenólicos provenientes de la corteza de árboles como roble y castaño.

## Sólidos

Los sólidos presentes en el agua pueden dividirse con base en: el tipo de análisis empleado para su determinación (análisis gravimétricos o volumétricos), su origen (materia orgánica o inorgánica) o su tamaño y estado (sólidos sedimentables, suspendidos, coloidales o disueltos). En la Figura 2.8 pueden observarse los diferentes tipos de sólidos. Todos los contaminantes presentes en el agua contribuyen con la carga de sólidos, excepto los gases disueltos.

Los únicos sólidos que se determinan mediante un análisis volumétrico son los sedimentables, y se definen como aquellos que se depositan en el fondo de un recipiente, en un lapso de una hora, debido a su sedimentación. El recipiente empleado se conoce como cono Imhoff (Figura 2.9), y se miden en ml/L. La norma mexicana NMX-AA-004-SCFI-2000 Análisis de agua- Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba, establece la metodología a seguir para la determinación de este tipo de sólidos.

Los demás tipos de sólidos se determinan mediante análisis gravimétricos y las unidades empleadas para medirlos son mg/L. En la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba, se establecen los pasos a seguir para determinarlos. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

Los ST son aquellos que permanecen después de la evaporación y secado a 103°C de un volumen de muestra conocido. Representan la totalidad de los sólidos suspendidos y disueltos presentes en el agua, así como la totalidad de los sólidos fijos y volátiles.

Los SST, también conocidos como sólidos no filtrables, son aquellos que son retenidos en un filtro de fibra de vidrio de porosidad menor o igual a 2 µm (aunque cabe mencionar que el diámetro nominal es de 1.2 µm).

Los SDT, también llamados sólidos filtrables, son las sustancias que no son retenidas por el filtro antes descrito. Para su determinación, se requiere primeramente filtrar la muestra, para después secarla y evaporarla a 103°C; aunque, si se requiere un análisis aproximado de la cantidad de SDT presentes en el agua, puede obtenerse determinando la conductividad eléctrica, ya que ésta última depende de la concentración de sustancias disueltas (únicamente las ionizadas). Las sustancias disueltas producen, por lo general, características estéticamente inaceptables –como color, sabor y olor–; sin embargo, no todas son indeseables, además de que, al haber muy pocos sólidos disueltos en el agua, ésta disolverá más fácilmente los materiales con los que entre en contacto.

Los STF, también llamados sólidos no volátiles, se definen como la materia que se mantiene después de someter una muestra a una calcinación a 550°C, y se asocian con la cantidad de materia inorgánica presente en el agua –minerales, metales, entre otros. Los STV son aquellos que se volatilizan al calcinar una muestra a 550°C, y suelen ser identificados como sólidos orgánicos.

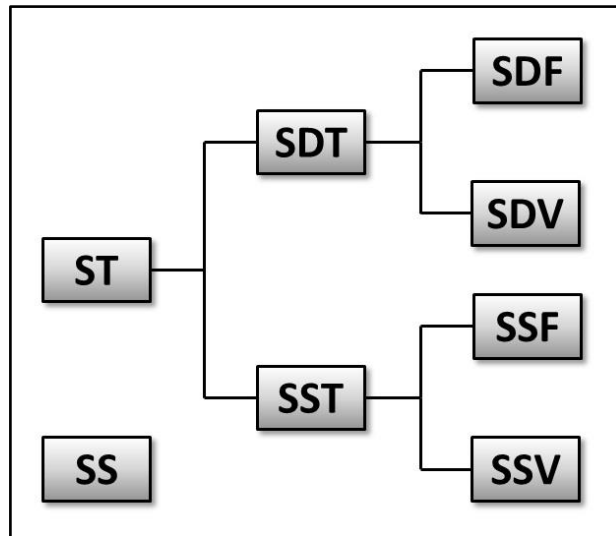


Figura 2.8 Diagrama de los diferentes tipos de sólidos presentes en el agua.

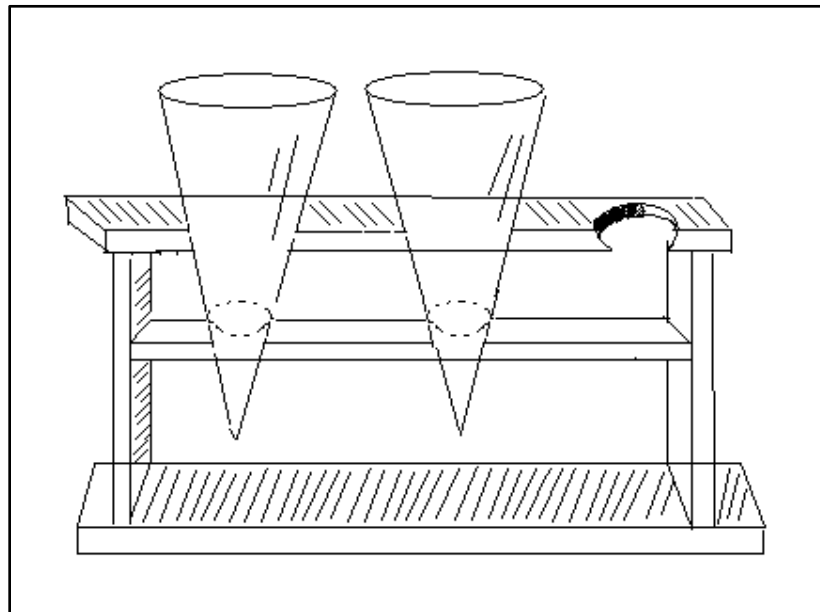


Figura 2.9 Esquema de los conos Imhoff.  
Fuente: Universidad Centroamericana, 2013.

La importancia de la determinación de los sólidos presentes en el agua se debe a que, cuando se encuentran en grandes concentraciones, no es posible utilizar dicha agua de forma directa, ya sea para procesos industriales o en las plantas potabilizadoras. Además, cabe mencionar que, para el caso de agua destinada al consumo humano, agricultura y algunos procesos industriales, es recomendable conocer de forma más detallada la composición de los sólidos.

### Sabor

Este parámetro pertenece a la categoría de características organolépticas y se determina exclusivamente para agua potable, debido a que, si se está buscando contaminación en el agua, el probarla podría resultar perjudicial para la salud.

El sabor del agua está ampliamente relacionado con el olor; sin embargo, muchas sustancias producen sabor pero no olor. En general, puede decirse que las sustancias inorgánicas son las que producen sabor no acompañado de olor, mientras que los compuestos orgánicos generalmente imparten sabor y olor al agua. En algunas ocasiones, la combinación de dos o más sustancias –que individualmente no producen sabor ni olor –causa problemas de sabor y olor.

Los minerales, metales, sales del suelo, entre otros, le confieren diversos sabores al agua. Por ejemplo, las sustancias alcalinas originan un sabor amargo, mientras que las sales metálicas ocasionan un sabor salado o amargo.

Para fines de evaluación de la calidad del agua, la norma oficial mexicana NOM-127-SSA-1994 Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe Someterse el Agua para su Potabilización, establece que el sabor se determina cualitativamente, teniendo como límite permisible ser agradable a la mayoría de los consumidores, siempre y cuando el agua no presente características químicas y/o biológicas objetables.

### Olor

La presencia de materia orgánica en descomposición, así como de ciertos compuestos químicos, confiere olores al agua. Por ejemplo, la presencia de aminas le confiere al agua un olor a pescado, mientras que el azufre ocasiona olor a huevo podrido. Generalmente, suele presentarse más de un olor en el agua, por lo que resulta difícil distinguirlos y separarlos.

El olor es un parámetro organoléptico y por lo tanto subjetivo, razón por la cual su determinación es principalmente de tipo cualitativa; sin embargo, es posible realizar una prueba cuantitativa, la cual se describe en la norma mexicana NMX-AA-083-1982 Análisis de agua.- Determinación de olor. En esta norma se define al Índice de intensidad de olor, también conocido como número de olor incipiente, como el número de veces en que una muestra es diluida con agua inodora, de modo que el olor percibido sea el mínimo. Para calcularlo se emplea la Ecuación 2.2, y es necesario registrar la temperatura a la que se realizó la prueba, debido a que, a mayor temperatura, el olor se hace más perceptible.

$$\text{Índice de intensidad de olor} = \frac{V_{\text{muestra}} + V_{\text{agua inodora}}}{V_{\text{muestra}}} \quad (2.2)$$

Aunque pudiera parecer un parámetro poco significativo para fines de evaluación de la calidad del agua, el olor puede ayudar a determinar qué compuestos podrían encontrarse en la muestra, y de esta forma establecer si es necesario realizar análisis extra. Debido a esto, es importante reportar el olor del agua lo más detalladamente posible. Además, cabe mencionar

que las sustancias que producen olores en el agua pueden representar más que un simple problema estético, ya que es probable que se trate de sustancias nocivas para la salud.

#### PARÁMETROS QUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros químicos de calidad del agua están relacionados con la capacidad de ésta para disolver sustancias. El origen de estas sustancias puede deberse tanto a causas naturales como a contaminación, y los efectos que produzcan a la flora y fauna del lugar, así como a la salud humana, dependen de su concentración. A continuación se describen algunos de estos parámetros.

##### Dureza

El agua dura es aquella que requiere grandes cantidades de jabón para producir espuma. Este término se aceptó como consecuencia de la dificultad (dureza) para lavar en un agua en la que se requiere mucho jabón. Otro aspecto a tener en consideración es que la dureza del agua provoca incrustaciones en las tuberías, aunado a lo cual se presenta un cambio en el pH.

Los iones de Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y de Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) son los principales causantes de dureza; sin embargo, los iones de Estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ), Hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), Manganeseo ( $\text{Mn}^{2+}$ ) y Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) también contribuyen, aunque de forma mucho menos significativa, por lo que para fines prácticos solo se considera la suma de la dureza de Calcio y de Magnesio. La razón de que se requiera mucho jabón en un agua dura es que el Sodio que éste contiene reacciona con los compuestos de dureza presentes en el agua formando precipitados, y es hasta que todos ellos han precipitado (momento en el que el jabón ha ablandado el agua) cuando se observa espuma en el agua; sin embargo, recientemente se ha resuelto este problema con la fabricación de jabones que no reaccionan con los compuestos de dureza.

Cuando se combinan los cationes causantes de dureza –Calcio, Magnesio, etc. –con aniones causantes de alcalinidad –Bicarbonato, Carbonato e Hidróxido –se tiene como resultado una dureza de carbonatos, también llamada dureza temporal, la cual es fácilmente removida y disminuye con la temperatura –precipita fácilmente a altas temperaturas. Para el caso en el que se combinen estos mismos cationes con iones ácidos –Sulfato, Cloruro, Nitrato –el resultado es una dureza de no carbonatos, también llamada dureza permanente. A la suma de la dureza de carbonatos y de la dureza de no carbonatos se le denomina dureza total; para su determinación puede utilizarse el método indicado en la norma mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

Las unidades empleadas para expresar la dureza del agua son mg/L como  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio), esto se debe a que es necesario representar la suma de las concentraciones de todos los compuestos causantes de dureza. Para medir la dureza pueden emplearse técnicas espectrofotométricas o titulación química. En el segundo caso, se usa negro eriocromo como indicador (si la muestra cambia a color rojo indica presencia de compuestos de dureza) y se titula con EDTA hasta que la muestra vire a color azul.

Con respecto a los niveles de aceptación de la cantidad de compuestos de dureza existen varios criterios, los cuales dependen principalmente del uso que se le dará al agua; sin embargo, puede tomarse como referencia el criterio mostrado en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Criterio de clasificación del agua en términos de su dureza.**

Clasificación	Rango, en mg/L como CaCO <sub>3</sub>
Blanda	<50
Moderadamente dura	50 a 150
Dura	150 a 300
Muy dura	>300

Fuente: Apuntes de la clase Tratamiento de Aguas para Consumo Humano, impartida por el Dr. Enrique César Valdez, 2011.

### Alcalinidad

Se define a la alcalinidad como la capacidad del agua para reaccionar con iones Hidrógeno (H<sup>+</sup>), lo cual implica neutralizar ácidos. Es causada principalmente por Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e Hidróxidos (OH<sup>-</sup>); sin embargo, también contribuyen los Fosfatos, Boratos y Silicatos, estos dos últimos en concentraciones altas.

La presencia de estos compuestos en el agua se debe, principalmente, a la disolución de sustancias minerales, aunque los Fosfatos también son producto de la utilización de detergentes, fertilizantes e insecticidas. Otros dos compuestos que producen alcalinidad, aunque en mucho menor medida, son el Sulfuro de Hidrógeno (HS<sup>-</sup>) y el Amoníaco (NH<sub>3</sub>), los cuales pueden estar presentes en el agua debido a la descomposición de material orgánico.

El Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es un constituyente de la atmósfera y un producto de la descomposición microbiana del material orgánico. Al encontrarse disuelto en el agua puede reaccionar y dar origen a los tres principales compuestos causantes de alcalinidad.

El ion Bicarbonato es frecuentemente utilizado como fuente de Carbono por las algas, lo cual ocasiona una acumulación de iones Hidróxido. Debido a esto, en cuerpos de agua con crecimiento excesivo de algas es común obtener valores de pH muy altos (9 o 10 unidades de pH).

Las unidades empleadas para medir la alcalinidad son, usualmente, mg/L como CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio), aunque también puede usarse la concentración equivalente de iones Hidroxilo en mg/L. La determinación de este parámetro es muy importante, principalmente en los procesos de ablandamiento, coagulación química y control de la corrosión. Además, es de mucha utilidad ya que la alcalinidad proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH.

Para medir la alcalinidad se emplea un análisis de tipo volumétrico, que consiste en titular una muestra de agua (a la que previamente se le ha agregado un indicador) con un ácido fuerte, hasta que se observe el vire: de rosa a incoloro si el indicador utilizado fue fenolftaleína, y de canela a amarillo si se empleó anaranjado de metilo. En el primer caso se determina la alcalinidad a la fenolftaleína, y en el segundo la alcalinidad total. Si se usa para titular Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.02 N, 1 ml de ácido neutralizará 1 mg de alcalinidad como CaCO<sub>3</sub>. Si se

requiere mayor detalle sobre este procedimiento, puede consultarse la norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

En algunos casos puede ser necesario obtener una curva de titulación, como la mostrada en la Figura 2.10, para lo cual se requiere agregar el ácido lentamente y registrar el pH de la muestra después de cada adición.

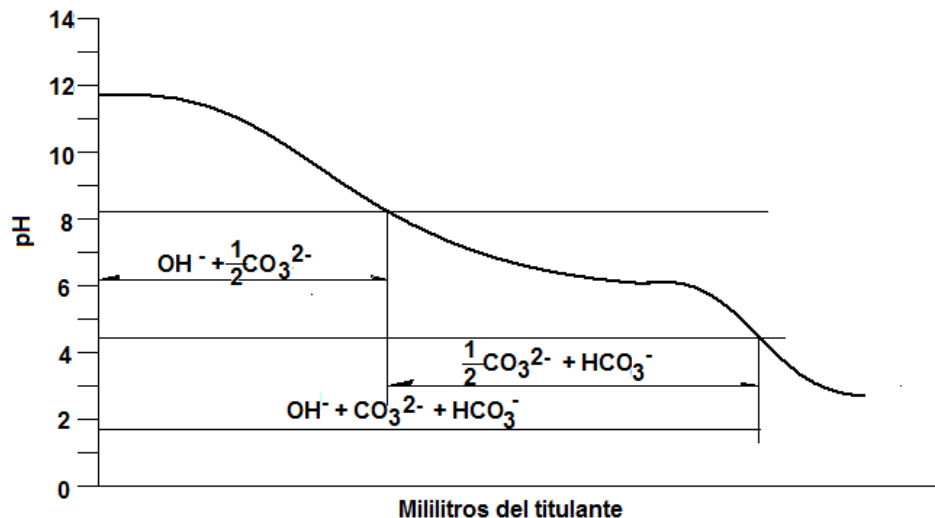


Figura 2.10 Curva de titulación de alcalinidad.

Fuente: Apuntes de la clase Tratamiento de Aguas para Consumo Humano, impartida por el Dr. Enrique César Valdez, 2011.

En la curva de la Figura 2.10 se observan dos puntos de inflexión: uno a pH de 8.3 y otro a pH de 4.5; ambos de particular significado. Cuando la muestra presenta un pH igual a 8.3 significa que todo el Hidróxido y la mitad del Carbonato han sido medidos, y cuando se alcanza un pH de 4.5 se han medido el resto del Carbonato y todo el Bicarbonato. De esta forma, la cantidad de ácido requerida para cambiar el pH de una muestra a 4.5 equivale al valor de la alcalinidad total.

### Especies iónicas menores

En los cuerpos de agua es frecuente encontrar especies iónicas, algunas en mayor cantidad que otras. Algunas de las especies iónicas mayores están asociadas con otros parámetros químicos de calidad del agua, como el Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), causantes de dureza, y el ion Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), causante de alcalinidad; otras de ellas representan parámetros importantes de determinar por sí solos, como los Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

Las especies iónicas menores, aunque se encuentran en cantidades mucho menores, también son significativas, sobre todo cuando su concentración en el agua se incrementa al grado de poner en riesgo la salud humana. A continuación se describen brevemente algunas de ellas.

- Aluminio. Es un metal de alta toxicidad para los peces, la cual depende en gran medida de algunas propiedades físico-químicas del agua, principalmente del pH. Si éste presenta valores



elevados, el Aluminio precipita y puede flocular en el agua; este flóculo es mucho menos tóxico. Para el caso de los humanos, si se ingiere en grandes dosis provoca irritación en el tracto gastrointestinal. La concentración de Aluminio en cuerpos de agua generalmente es menor de 0.1 mg/L.

- Boro. Es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, las cuales requieren una concentración de Boro en el agua de al menos 1 mg/L; sin embargo, en concentraciones elevadas afecta su desarrollo. La concentración de Boro en el agua destinada al consumo humano es generalmente muy baja, por lo que no se considera que represente un problema de salud; no obstante, si se ingieren concentraciones elevadas de Boro por un tiempo prolongado puede afectarse el sistema nervioso. En los cuerpos de agua es común encontrar Boro en baja concentración, aunque puede incrementarse debido a la descarga de desechos industriales, particularmente de productos de limpieza. Para su determinación es recomendable consultar la norma mexicana NMX-AA-063-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de boro en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

- Fluoruros. No representan un problema de salud en bajas concentraciones, de hecho, algunas prácticas de salud dental incluyen la fluoración del agua potable como medida para prevenir la caries; no obstante, en concentraciones mayores los fluoruros son tóxicos para el ser humano y algunos animales. Cuando se ingiere agua cuya concentración de Fluoruros excede los 2 mg/L es probable que se presente decoloración de los dientes (moteado), y dosis mucho mayores causan fluorosis en los huesos y algunas anormalidades esqueléticas. Su presencia en cuerpos de agua ocurre de forma natural; sin embargo, puede incrementarse debido a la descarga de aguas residuales e industriales, principalmente de las industrias del acero y Aluminio, fertilizantes, fabricación de esmaltes, vidrios, gomas y almidones, así como del pretratamiento de cueros y pieles. Para determinar la cantidad de fluoruros presente en el agua se sugiere la consulta de la norma mexicana NMX-AA-SCFI-2001 Análisis de aguas- Determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

- Manganeso. Causa problemas de color en concentraciones tan bajas como 0.05 mg/L; y algunas bacterias lo utilizan como fuente de energía, resultando en problemas de sabor y olor. Para el caso de lagos estratificados en donde se encuentren iones oxidados de Manganeso ( $Mn^{3+}$  y  $Mn^{5+}$ ), es probable que haya una concentración significativa de este elemento en la última capa, ya que estos iones son prácticamente insolubles; sin embargo, algunos ácidos derivados de la descomposición vegetal pueden evitar la oxidación del Manganeso y su subsecuente precipitación. Su ingesta en concentraciones elevadas provoca cambios en la capacidad de concentración y atención, además de movimientos involuntarios, irritabilidad, conducta compulsiva, dolores de cabeza, inestabilidad emocional, debilidad, somnolencia y cambios neurológicos. En las últimas etapas de intoxicación es probable que se desarrollen síntomas parecidos a los de la enfermedad de Parkinson.

### **Cloruros**

El ion Cloruro ( $Cl^-$ ) es uno de los más abundantes tanto en aguas naturales como en residuales. En las aguas superficiales, los cloruros se encuentran, generalmente, en

concentraciones menores que los Bicarbonatos y Sulfatos; mientras que para el caso de las aguas residuales, se encuentran en grandes concentraciones debido al alto contenido de cloruro en la orina y las heces. Su presencia en el agua potable es necesaria, y el sabor que producen depende del catión con el que se combinen: si es Sodio, basta con 25 mg/L para que se detecte el sabor, pero si se excede de 250 mg/L el resultado es un agua muy salada; mientras que en el caso del Calcio y el Magnesio, a concentraciones de 1 g/L es posible que siga sin detectarse sabor.

En grandes concentraciones, los Cloruros pueden dañar estructuras metálicas e interferir con el crecimiento de las plantas, sobre todo en los casos en que se emplea agua residual cruda para el riego de cultivos. Debido a que varias actividades humanas generan residuos que contienen elevadas concentraciones de cloruros, este parámetro resulta un buen indicador de contaminación antrópica.

Las unidades para medir los Cloruros son generalmente mg/L. Para su determinación, se puede emplear Cromato de Potasio como indicador y titular con Nitrato de Plata, tal como se indica en la norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

### **Metales**

Los efectos que causan los metales en el agua son muy variados (tanto benéficos como tóxicos), dependiendo de su concentración. Debido a esto, es muy importante determinar su concentración, para lo cual se emplea el método de espectrofotometría de absorción atómica descrito en la norma mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001 Análisis de agua- Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- Método de prueba. En los cuerpos de agua como embalses y lagos, las principales fuentes de metales incluyen la disolución de depósitos naturales y las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas.

A pesar de que todos los metales son tóxicos en cantidades excesivas, solo aquellos que son perjudiciales en cantidades relativamente pequeñas son etiquetados como tóxicos, todos los demás son considerados como no tóxicos.

Generalmente, los metales tóxicos se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones; no obstante, las actividades mineras, industriales y agrícolas pueden incrementar considerablemente su concentración. En el caso de los metales bioacumulables, su peligrosidad aumenta debido a que se acumulan a lo largo de toda la cadena alimenticia, aumentando el riesgo de intoxicación para los organismos cercanos a la cúspide de la cadena.

A continuación se describen brevemente algunos de los metales tóxicos.

- Arsénico. Es un metal bioacumulable, es uno de los elementos más tóxicos que existen. Se encuentra de forma natural en el suelo y algunos minerales, por lo que puede ingresar a los cuerpos de agua a través de las aguas de escorrentía. Causa la enfermedad del pie negro (hiperpigmentación) y daños cardiovasculares; además, ocasiona afecciones de las vías respiratorias, alteraciones gastrointestinales, anemia, cáncer y disminución de la audición, así

como debilidad muscular y, en ocasiones, parálisis de pies y manos. Para determinar la concentración de Arsénico en el agua puede consultarse la norma mexicana NMX-AA-046-1981 Análisis de agua.- Determinación de arsénico.- (Método espectrofotométrico).

- Cadmio. Metal bioacumulable que se encuentra frecuentemente en estiércoles y pesticidas, es un subproducto inevitable de las industrias del Zinc, Plomo y de las extracciones de Cobre, así como de la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Causa la enfermedad conocida como itai-itai (osteomalacia con osteoporosis). Ocasiona fragilidad y dolor intenso en los huesos, presión arterial alta, daño renal y esterilidad en hombres.

- Cianuros. Este término abarca todos los compuestos que pueden ser determinados como ion Cianuro ( $CN^-$ ). Un cambio en el pH del agua puede liberar Ácido Cianhídrico, el cual es considerado como el más tóxico de este tipo de compuestos. En concentraciones mayores a 0.2 mg/L puede provocar lesiones en el sistema nervioso o problemas de tiroides. Los Cianuros se absorben en la piel, el tracto intestinal y los pulmones. El método para determinar la concentración de Cianuros en el agua se detalla en la norma mexicana NMX-AA-058-SCFI-2001 Análisis de aguas- Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

- Cobre. Es un buen fungicida, ya que elimina las algas del agua. Su presencia en el agua puede deberse a la descomposición de la vegetación, actividades mineras, producción de metal, madera y fertilizantes fosfatados. Irrita el sistema gastrointestinal y puede provocar lesiones hepáticas o renales.

- Cromo. Se utiliza ampliamente en la industria, dependiendo de cuál sea su estado de oxidación: el Cromo hexavalente ( $Cr^{6+}$ ) se emplea en las industrias del acero, cerámicas, colorantes y pinturas; mientras que el Cromo trivalente ( $Cr^{3+}$ ) se usa en fotografía y las industrias curtidora, de la cerámica y del vidrio. En su estado hexavalente es tóxico para los humanos y los animales, incluyendo a la fauna acuática; sus efectos potenciales sobre la salud dependen, principalmente, de la cantidad, el tiempo de exposición y la forma de incorporación al organismo (ingestión, inhalación o absorción a través de la piel); así como de la edad, el sexo, el peso corporal y el estado de salud del individuo en cuestión. No obstante, si se inhala puede producir cáncer de pulmón, en concentraciones mayores a 0.1 mg/L puede dañar la piel, y además causa daños en el tracto gastrointestinal, hígado y riñones. Si se requiere realizar un análisis de Cromo en el agua puede emplearse la metodología de la norma mexicana NMX-AA-044-SCFI-2001 Análisis de aguas- Determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- Método de prueba.

- Mercurio. Es un elemento bioacumulable, producto de actividades humanas tales como la minería, quema de productos fósiles y combustión de residuos sólidos; aunque su presencia en el agua puede deberse, principalmente, al uso de fertilizantes y las descargas de aguas residuales industriales. Los cuerpos de agua cuyo pH es ácido pueden contener concentraciones significativas de Mercurio, debido a que éste se moviliza del suelo cuando se presentan valores de pH entre 5 y 7. El Mercurio causa daños en el tracto gastrointestinal, pulmones y riñones. Algunos microorganismos pueden convertirlo en Metil Mercurio, el cual es fácilmente absorbido por los humanos y los peces, y cuando se ingiere en concentraciones

mayores a 0.002 mg/L provoca trastornos neurológicos. En el caso de una intoxicación severa, causa la enfermedad de Minamata, principalmente en niños pequeños.

- Plomo. Metal bioacumulable que causa daño hepático y cerebral en los niños (cuando se encuentra en la sangre en grandes concentraciones); así como anemia, convulsiones, cáncer de riñón y retardo mental en adolescentes. Cuando una persona presenta una intoxicación severa por Plomo, presenta los siguientes síntomas: dolor de cabeza, cambios de personalidad y debilidad de las extremidades, entre otros.

### Nitrógeno

El Nitrógeno (N) es un nutriente muy importante, debido a que su presencia es indispensable para que se lleven a cabo las reacciones biológicas; no obstante, el exceso de Nitrógeno ocasiona el crecimiento acelerado de las plantas. Su química es compleja, pues existen ciertos organismos que pueden efectuar cambios de valencia en este elemento.

En cuerpos de agua, el Nitrógeno puede encontrarse en diversas formas: Amoníaco, Amonio, Óxido Nitroso, Nitrógeno Orgánico disuelto (péptidos, aminas, aminoácidos, purinas, urea), Nitratos, Nitritos y Nitrógeno Amoniacal. A continuación se describirán brevemente algunas de éstas.

- Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Está presente de forma natural en aguas naturales, producto de la desaminación de compuestos que contienen Nitrógeno Orgánico. Las principales fuentes de Nitrógeno Amoniacal en el agua son el aire (que es asimilado por cierto tipo de algas) y la materia orgánica en descomposición (como hojas y excretas); puede encontrarse como ion disuelto o ser adsorbido<sup>7</sup> en el material suspendido. En concentraciones menores a 5 mg/L puede considerarse que no representa un problema de contaminación (CONAGUA, 2010). Este compuesto se oxida parcialmente a Nitritos, y estos a su vez son oxidados a Nitratos. Este proceso reversible de nitrificación/desnitrificación lo realizan bacterias del género nitrobacter y nitrosomas.

- Nitritos (NO<sub>2</sub>). Son compuestos intermedios en el proceso de oxidación del Nitrógeno Amoniacal a Nitratos. En estudios de evaluación de la calidad de agua son poco significativos, ya que son compuestos muy inestables que se oxidan fácilmente a Nitratos; sin embargo, es importante determinar su concentración, ya que son tóxicos para los peces y otras especies acuáticas e indican contaminación. Su origen en el agua se debe principalmente a procesos de mineralización, nitrificación/desnitrificación, descargas de aguas residuales industriales (industria alimentaria, metalúrgica, etc.) domésticas y de retorno agrícola –debido a la utilización de fertilizantes y pesticidas. En lagos y embalses, los Nitritos no suelen rebasar una concentración de 1 mg/L de forma natural (CONAGUA, 2010). Para determinar la concentración de Nitritos, la norma mexicana NMX-AA-099-SCFI-2006 Análisis de agua – Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales – Método de prueba, establece un método espectrofotométrico para un intervalo de 0.01 a 1 mg/L de N-NO<sub>2</sub>.

---

<sup>7</sup> La adsorción se refiere a la acumulación de una sustancia, en fase líquida o gaseosa, sobre la superficie de un sólido (Apuntes de la clase Tratamiento de Aguas para Consumo Humano, impartida por el Dr. Enrique César Valdez, 2011).

- Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). El Nitrato es la forma más estable y abundante en las aguas naturales, representa el estado más oxidado del Nitrógeno. De forma natural, se encuentra en concentraciones menores a los 5 mg/L (CONAGUA, 2010). Si se ingiere en concentraciones mayores a 45 mg/L causa dificultad respiratoria y el síndrome de los niños azules (metahemoglobinemia) en menores de seis meses. Además, una concentración alta de nitratos indica que los compuestos del Nitrógeno llevan bastante tiempo en el agua, pues ha habido tiempo suficiente para que se oxiden. Para determinar la concentración de Nitratos en el agua, la norma mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de aguas – Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método de prueba, establece dos métodos: el método de reducción con Cadmio Cuperizado y el método de Sulfato de Brucina.

### **Fosfatos**

Los Fosfatos son compuestos que influyen de manera importante en el proceso de eutroficación, debido a que contribuyen al crecimiento de organismos fotosintéticos (la descarga de 1 g de Fósforo puede contribuir a la formación de más de 100 g de materia orgánica). Debido a esto, su determinación en estudios de contaminación o calidad del agua es muy importante. Para el caso particular de lagos y embalses, este proceso puede acelerarse, debido a que en el hipolimnio prácticamente no hay oxígeno disuelto, y por lo tanto no se regula la concentración de Fósforo, lo cual resulta en la acumulación de éste en los sedimentos.

Proviene de diversas fuentes, entre las que se encuentran los detergentes, escurrimientos superficiales, descargas de aguas residuales domésticas e industriales, fertilizantes, productos de limpieza y agua de retorno agrícola.

En cuerpos de agua, se encuentran principalmente en dos formas: compuestos orgánicos (proteínas) y compuestos minerales (polifosfatos y ortofosfatos); ya sea en solución o como material suspendido. Los polifosfatos provienen principalmente de los detergentes sintéticos (no biodegradables); mientras que los ortofosfatos provienen de los fertilizantes o abonos.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La DBO es un indicador de la materia orgánica presente en el agua, medida como la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable, en condiciones aerobias. Suele medirse a los cinco días a una temperatura de 20 °C, valores que fueron estandarizados por los ingleses.

Para su determinación, debe analizarse lo siguiente: si el agua contiene pocas bacterias, deberá inocularse; por el contrario, si contiene gran cantidad de materia orgánica, deberán hacerse diluciones con agua aireada (saturada de Oxígeno) y preparada con nutrientes (necesarios para la actividad biológica), la cual se conoce comúnmente como agua de dilución. Además, debe determinarse en condiciones que inhiban los procesos fotosintéticos de producción de Oxígeno.

Para el cálculo de la DBO se emplea la Ecuación 2.3:

$$DBO_{5,20} = \frac{OD_i - OD_f}{\% \text{ dilución}} \quad (2.3)$$

Donde:

$DBO_{5,20}$	Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días y a 20 °C
$OD_i$	Oxígeno Disuelto inicial
$OD_f$	Oxígeno Disuelto final
$\% \text{ dilución}$	Porcentaje de dilución, expresado en decimales

Sin embargo, también es común realizar la prueba de DBO para varios días, y de esta forma poder obtener una gráfica (Figura 2.11) que nos muestre la variación de la DBO con respecto al tiempo. En este caso, como la prueba de DBO se realiza en frascos aislados, cada uno se convierte en un ecosistema diferente, por lo que es probable que un día la DBO resulte menor que la del día anterior. En este caso, y considerando que se emplee agua de dilución inoculada, la expresión a utilizar para el cálculo de la DBO es la Ecuación 2.4. Para realizar esta prueba se determina el OD de la muestra diluida y el OD del agua de dilución, y se resta el oxígeno consumido por la materia orgánica agregada.

$$DBO_t = \frac{(D_0 - D_t) - (B_0 - B_t)f}{P} \quad (2.4)$$

Donde:

$DBO_t$	Demanda Bioquímica de Oxígeno medida al día t
$D_0$	Oxígeno disuelto de la muestra diluida al día t-1
$D_t$	Oxígeno disuelto de la muestra diluida al día t
$B_0$	Oxígeno disuelto del agua de dilución al día t-1
$B_t$	Oxígeno disuelto del agua de dilución al día t
$P$	ml de muestra/ 300 ml (volumen del frasco Wrinkler <sup>8</sup> )

La norma mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua – Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales ( $DBO_5$ ) y residuales tratadas – Método de prueba, establece el método de análisis para la determinación de la DBO.

<sup>8</sup> Instrumento de laboratorio empleado típicamente para determinar la concentración de OD en una muestra de agua, su volumen es de 300 ml.

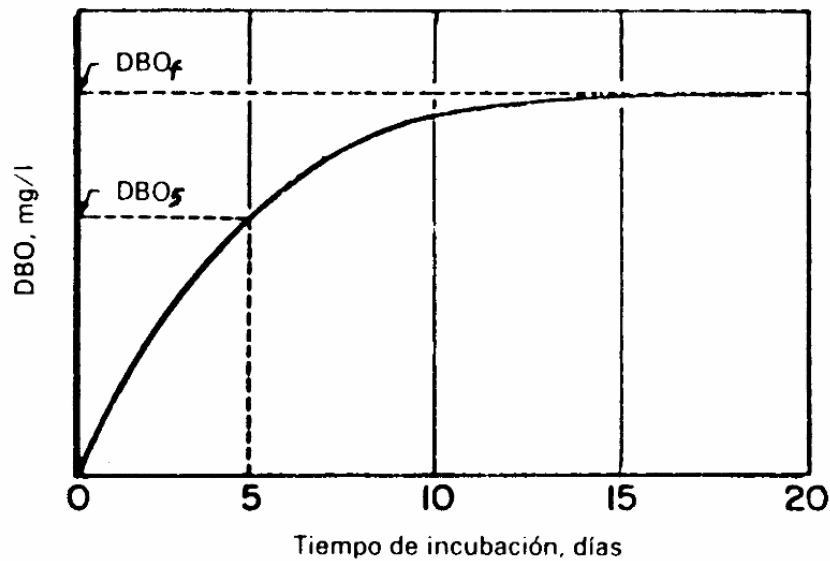


Figura 2.11 Curva característica de DBO.  
Fuente: Universidad de Alicante, 2013.

#### PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA

El control de la calidad microbiológica en el agua está orientado a la detección de microorganismos patógenos, los cuales causan enfermedades y están asociados a la contaminación del agua. Sin embargo, la detección de este tipo de microorganismos es costosa y requiere de mucho tiempo y de laboratorios especializados –ya que los microorganismos patógenos presentes en el agua son escasos y difíciles de aislar e identificar; por lo que se recurre a la detección de los denominados organismos indicadores, pues resulta más fácil, rápida y económica.

Para que un microorganismo pueda ser considerado como indicador, debe cumplir con las siguientes características:

- Estar presente en un número igual o mayor que el de los patógenos de interés.
- No ser patógeno.
- Estar presente cuando exista contaminación fecal.
- Estar presente en las heces de animales de sangre caliente.
- Formar parte de la flora intestinal de un individuo sano.
- Fácil de aislar y cuantificar.
- Tener un tiempo de supervivencia igual o mayor al de los patógenos.

Es importante mencionar que la selección de un organismo indicador depende principalmente del tipo de contaminación que se está buscando. A continuación se describe brevemente uno de los principales organismos indicadores.

### Coliformes

Los coliformes son un grupo de especies bacterianas asociadas a la contaminación del agua, ya que se encuentran en el intestino de los seres humanos, de los animales de sangre caliente, de sangre fría y en el suelo. Este grupo de bacterias incluye a aquellas de forma bacilar; y se encuentran en gran cantidad en las heces humanas (entre  $125 \times 10^9$  y  $400 \times 10^9$  al día). Se consideran organismos indicadores debido a que tienen un tiempo de supervivencia mayor al de las bacterias patógenas y se comportan de manera similar a éstas en los procesos de desinfección.

Para fines de evaluación de la calidad del agua, se determinan dos parámetros principales: coliformes totales y coliformes fecales.

- Coliformes totales. A este grupo pertenecen los siguientes microorganismos: Escherichia, Enterobacter, Edwardsiella, Citrobacter, Klebsiella y Serratia; fermentan la lactosa a  $35^\circ\text{C}$  (con producción de gas) y pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos.

- Coliformes fecales. Son un subgrupo de los coliformes totales, aunque se desarrollan a una temperatura superior a estos. Fermentan la lactosa a  $44.5^\circ\text{C}$ , y se consideran buenos indicadores de contaminación fecal debido a que se encuentran en las heces de los animales de sangre caliente; los coliformes fecales son microorganismos cuya presencia indica estrictamente la contaminación del agua con heces fecales. A este subgrupo pertenecen los siguientes microorganismos: Escherichia Coli y ciertas especies de Klebsiella.

Los exámenes bacteriológicos deben realizarse dentro de las primeras 24 horas posteriores a la toma de las muestras. Si se sabe que el agua de muestra fue clorada, debe agregarse Tiosulfato de Sodio para eliminar el poder desinfectante del Cloro. Una muestra de agua tomada para examen bacteriológico debe ser representativa y tomarse en un frasco de vidrio previamente esterilizado.

Para la determinación de los coliformes totales y fecales existen varios métodos; algunos de los cuales se describen en las siguientes normas mexicanas:

- NMX-AA-042-1987 Calidad del agua Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva

En esta Norma Mexicana se describe el método de tubos múltiples de fermentación (medio líquido) y se calcula el NMP de coliformes en la muestra. Éste último puede estimarse mediante la distribución de Poisson (Ecuación 2.5), la ecuación de Thomas (Ecuación 2.6) o mediante tablas estadísticas de NMP, las cuales están calculadas para volúmenes de muestra de 10, 1 y 0.1 ml (si se usaran otros volúmenes, hay que corregir, multiplicando por el factor que haga que el primer valor sea 10).



$$y = \frac{1}{a} \left[ (1 - e^{-n_1 \lambda})^{p_1} (e^{-n_1 \lambda})^{q_1} \right] \left[ (1 - e^{-n_2 \lambda})^{p_2} (e^{-n_2 \lambda})^{q_2} \right] \left[ (1 - e^{-n_3 \lambda})^{p_3} (e^{-n_3 \lambda})^{q_3} \right] \dots \quad (2.5)$$

Donde:

$y$	Probabilidad de ocurrencia de un resultado dado
$a$	Constante para un conjunto de datos dado
$n_1, n_2, n_3$	Tamaño de la muestra en cada dilución, en ml
$\lambda$	Densidad de bacterias, NMP/ml
$p_1, p_2, p_3$	Número de tubos positivos en cada dilución
$q_1, q_2, q_3$	Número de tubos negativos en cada dilución

$$\frac{NMP}{100 \text{ ml}} = \frac{p \cdot 100}{\sqrt{v_n \cdot v_t}} \quad (2.6)$$

Donde:

$p$	Número total de tubos positivos
$v_n$	Volumen de muestra en el total de tubos negativos, en ml
$v_t$	Volumen de muestra en el total de tubos, en ml

La ecuación de Thomas y las tablas estadísticas de NMP solo pueden emplearse para el caso en que se realicen tres diluciones; si se usaron más diluciones, debe realizarse un ajuste de datos, el cual consiste en:

- Para las tablas estadísticas de NMP: seleccionar la mayor dilución que tenga resultados positivos en todos los tubos y las dos siguientes (con la condición de que ninguna dilución menor tenga resultados negativos). En el caso de que alguna dilución mayor tenga resultados positivos, estos pueden sumarse a la mayor de las diluciones seleccionadas (hasta completar cinco).

- Para la ecuación de Thomas: seleccionar la mayor dilución en la que haya por lo menos un resultado negativo (no considerar las diluciones menores a ésta en que todos los tubos dan positivo) y todas las siguientes.

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

En esta Norma Mexicana se describe el método de filtración en membrana celulósica, después de la cual se cultiva la muestra en un medio lactosado y finalmente se estima el número de organismos indicadores en la muestra (UFC).

Una vez descritos algunos de los parámetros de calidad del agua, es importante mencionar que la determinación de cada uno de ellos no es significativa si no se logra integrar toda esta

información; para lo cual pueden aplicarse metodologías que faciliten el análisis y la presentación de los resultados.

#### 2.1.4 Índice de Calidad del Agua y generación de mapas de calidad

Para poder homogeneizar los datos obtenidos en un estudio de evaluación de la calidad del agua –y por lo tanto facilitar la comprensión de estos por el público en general, se han desarrollado diversos índices de calidad, los cuales permiten asociar los valores cuantitativos obtenidos en campo y en laboratorio, con características cualitativas referentes a la calidad de un cuerpo de agua. Uno de ellos es el ICA, publicado en 1979 por la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

Este índice agrupa de manera ponderada 18 parámetros (Tabla 2.3), y toma valores de cero a 100 (donde cero es altamente contaminado y 100 representa agua de excelente calidad). Sin embargo, no debe perderse de vista que el ICA proporciona una idea de la calidad en general de un determinado cuerpo de agua, por lo que para un estudio más preciso se requerirá analizar cada parámetro individualmente y compararlo con la normatividad vigente, la cual dependerá del uso que se le dé al cuerpo de agua en estudio.

Para calcular el ICA se requiere conocer los índices de calidad de todos los parámetros a analizar, cada uno de los cuales tiene una importancia relativa o peso ponderado. Una de las principales ventajas de utilizar el ICA radica en que éste te permite determinar, con base en el valor obtenido, el uso al que puede destinarse un determinado cuerpo de agua. La Ecuación 2.7 nos permite calcular el valor del ICA.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i \cdot W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2.7)$$

Donde

$I$	Índice de calidad general
$I_i$	Índice de calidad del parámetro considerado
$W_i$	Valor de importancia relativa del parámetro
$n$	Número total de parámetros

Los valores de importancia relativa de cada parámetro son los indicados en la Tabla 2.4.

Tabla 2.3 Parámetros usados para el cálculo del ICA.

Parámetro	Unidad
Alcalinidad	mg/L
Cloruros (Cl <sup>-1</sup> )	mg/L
Coliformes totales	NMP/ml
Coliformes fecales	NMP/ml
Color	UC Pt-Co
Conductividad eléctrica	μS/cm
DBO <sub>5</sub>	mg/L
Detergentes (SAAM)	mg/L
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/L como CaCO <sub>3</sub>
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	mg/L
Grasas y aceites	mg/L
Nitratos	mg/L
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> )	mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L
pH	Unidades de pH
SDT	mg/L
SST	mg/L
Turbiedad	UTJ

Fuente: SEMARNAT, 2002.

Tabla 2.4 Valores de importancia relativa de los parámetros usados para el cálculo del ICA

Parámetro	Peso (W <sub>i</sub> )	Parámetro	(W <sub>i</sub> )
Oxígeno disuelto	5	Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> )	2
DBO <sub>5</sub>	5	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	2
pH	1	Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	1
SST	1	Cloruros (Cl <sup>-1</sup> )	0.5
Coliformes totales	3	Turbiedad	0.5
Coliformes fecales	4	SDT	0.5
Nitratos	2	Conductividad eléctrica	2
Detergentes (SAAM)	3	Grasas y aceites	2
Color	1	Alcalinidad	1

Fuente: SEMARNAT, 2002.

En la Tabla 2.5 se indican los índices de calidad de cada parámetro.

Tabla 2.5 Índice de calidad para cada parámetro

Parámetro	Ecuación
pH	$I = 10^{0.2335pH+0.440}$ Si el pH es menor que 6.7
	$I = 100$ Si el pH está entre 6.7 y 7.3
	$I = 10^{4.22-0.293pH}$ Si el pH es mayor que 7.3
Turbiedad	$I = 108T^{-0.178}$
SST	$I = 266.5 \cdot SST^{-0.37}$
Conductividad eléctrica	$I = 540CE^{-0.379}$
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	$I = 10^{1.974-0.00174D}$
Nitratos	$I = 162.2NO_3^{-0.343}$
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> )	$I = 45.8NH_3^{-0.343}$
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	$I = 34.215PO_4^{-0.46}$
Cloruros (Cl <sup>-1</sup> )	$I = 121Cl^{-0.223}$
Oxígeno disuelto	$I = \frac{OD}{OS} * 100$
DBO <sub>5</sub>	$I = 120DBO^{-0.0673}$
Coliformes totales	$I = 97.5CT^{-0.27}$
Coliformes fecales	$I = 97.5 \cdot (5CF)^{-0.27}$
Alcalinidad	$I = 105A^{-0.186}$
Color	$I = 123C^{-0.295}$
Detergentes (SAAM)	$I = 100 - 16.678SAAM + 0.1587SAAM^2$
Grasas y aceites	$I = 87.25GyA^{-0.298}$
SDT	$I = 109.1 - 0.0175 \cdot SDT$

Fuente: SEMARNAT, 2002.

Finalmente, una vez que se ha obtenido el valor del ICA, se compara con la Figura 2.12, en la cual se encuentran desglosados los rangos de calidad para diversos usos 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	Acceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles Dudoso para especies sensibles	Sin tratamiento para la industria	Aceptable			
70	Poco contaminado								
60	Contaminado	Dudoso	Dudoso para el contacto directo	Solo Organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria	Aceptable			
50			Sin contacto con el agua						
40			Uso muy restringido	Uso muy restringido	Restringido				
30	Altamente Contaminado	Inaceptable	Inaceptable			Inaceptable		Inaceptable	
20				Inaceptable	Inaceptable				Inaceptable
10									
0	Inaceptable								

Figura 2.12 Criterios de calidad en función del uso del agua.

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 contaminado.

Fuente: Vázquez et al., 2011.

### Mapas de calidad del agua

Como parte de un estudio de evaluación de la calidad del agua, el empleo de representaciones gráficas puede ser muy útil; principalmente para fines de análisis y presentación de resultados.

Los mapas de calidad del agua permiten visualizar la distribución espacial y/o temporal de los valores obtenidos por parámetro o por ICA. Sin embargo, para una mejor interpretación de los resultados, se requiere considerar suficientes sitios de muestreo.

Actualmente existen diversas herramientas que nos facilitan la obtención de los mapas de calidad; una de ellas es el Surfer 8, un software diseñado para obtener curvas de nivel a partir de la interpolación de datos puntuales.

A pesar de la utilidad de emplear este tipo de representaciones gráficas, es importante considerar que la decisión de generar mapas de calidad dependerá fundamentalmente del propósito del estudio.

## 2.2 Evaluación de la calidad del agua con percepción remota

Una vez que se han descrito los aspectos más representativos de la evaluación tradicional de la calidad del agua, resulta importante mencionar que existen metodologías que pueden complementar a las técnicas tradicionales, las cuales ofrecen varias ventajas –dependiendo del tipo de estudio de que se trate. Una de estas metodologías es la evaluación de la calidad del agua con percepción remota, la cual requiere del uso de imágenes satelitales y la obtención de modelos.

La evaluación de la calidad del agua con percepción remota resulta muy útil para los casos de monitoreo y vigilancia, pues representa un ahorro económico y se puede realizar en menos tiempo, además de que se obtienen valores de cualquier punto del cuerpo de agua –lo cual no siempre resulta posible en las campañas de muestreo. Sin embargo, la principal desventaja es que no sustituye a la evaluación tradicional, ya que proporciona una idea de la variación temporal de la calidad del agua, y cuya precisión no iguala a la de los análisis de laboratorio; sumado a esto, los parámetros a determinar utilizando percepción remota son muy pocos (sólidos, turbiedad, color e índice de estado trófico).

### 2.2.1 Fundamentos de la percepción remota

La percepción remota hace referencia a la obtención de información de un objeto, sin estar en contacto con éste. Puede definirse como la adquisición, procesamiento e interpretación de información de los objetos que están sobre la corteza terrestre.

Los principales elementos de la percepción remota se ilustran en la Figura 2.13, y se describen a continuación. Todo comienza con el sol, el cual representa la principal fuente de energía electromagnética, ésta es considerada la “mensajera” de la información. Dicha energía es emitida desde el Sol hacia la corteza terrestre, a lo cual se le conoce como irradiancia. A su vez, los objetos que se encuentran en la corteza terrestre absorberán una parte de esta energía (absorbancia) y el resto la reflejarán (reflectancia); ésta última es detectada por el sensor del satélite –en percepción remota se utilizan los satélites de estudio de los recursos de la Tierra– además de la emitancia (cantidad de energía que radia un objeto).

La cantidad de energía que mide el sensor se conoce como radiancia, ésta es almacenada y posteriormente transmitida, generalmente de forma electrónica, a una estación de recepción y procesamiento de datos, en la cual se obtienen imágenes digitales. Los sensores de los satélites desglosan los componentes de la energía que miden (radiancia), dependiendo de la longitud de onda<sup>9</sup> del espectro electromagnético, formando lo que se conoce como bandas espectrales.

Las imágenes satelitales tienen muchas aplicaciones, y de ellas se puede obtener una gran cantidad de información. En este punto resulta importante mencionar que, dependiendo del satélite del cual se obtengan, poseen diferentes características. Lo anterior depende de la resolución de cada satélite, la cual puede ser espacial, espectral, temporal o radiométrica.

---

<sup>9</sup> Distancia que hay entre dos máximos o dos mínimos de una onda electromagnética.

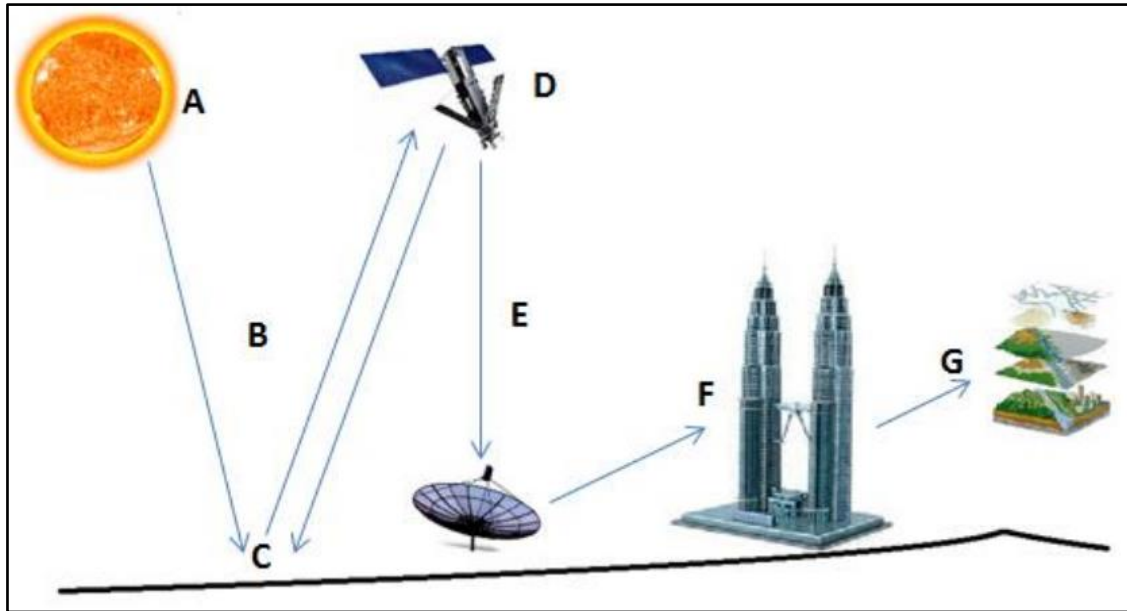


Figura 2.13 Elementos de la percepción remota.

- Resolución espacial: se refiere al área de la imagen y su nivel de detalle (tamaño del pixel).
- Resolución espectral: hace referencia al número y amplitud de las bandas espectrales; entre menor sea la amplitud de banda es mejor, pues la imagen se acerca más a la realidad. La resolución es mayor entre más bandas abarque.
- Resolución radiométrica: se refiere a las variaciones en la radiancia espectral (niveles de gris). Debido a que el ojo humano no percibe más de 64 niveles de gris, se considera suficiente contar con 16 niveles de gris; sin embargo, cuando se requiere procesar o tratar la imagen, pueden ser aprovechados todos los niveles de gris (256 niveles digitales por banda).
- Resolución temporal: puede definirse como el tiempo que tarda en pasar el satélite por el mismo punto de la superficie terrestre.

Dependiendo del uso y procedencia de las imágenes satelitales, en ocasiones resulta necesario realizar un procesamiento de éstas. Principalmente se realizan correcciones radiométricas, debido a efectos atmosféricos y problemas en el funcionamiento de los sensores, como las descritas a continuación:

- Restauración de líneas o pixeles perdidos: se utiliza cuando se presentan pixeles o líneas aisladas con niveles digitales “extraños”, aplicando el criterio de vecindad (sustituir el nivel digital de cada línea o pixel por el de los procedentes o posteriores).
- Corrección del bandeo de la imagen: se requiere cuando el sensor del satélite está mal calibrado.
- Corrección atmosférica: se realiza para corregir los efectos de la dispersión o absorción (atenuación).

También es común realizar correcciones geométricas, las cuales sirven para referenciar las imágenes satelitales a mapas existentes de la zona. Para este tipo de corrección se emplean métodos de interpolación, como el del vecino más próximo, bi-lineal o de convolución cúbica.

Posterior a las correcciones, en ocasiones es necesario realizar un tratamiento de las imágenes satelitales, dependiendo del tipo de información que quiera extraerse de ellas. Para esto pueden realizarse:

- Realces, mejoran la imagen para una mejor interpretación visual; pueden ser de contraste o espacial.
- Filtros, suavizan o enfatizan las variaciones en los niveles digitales de la imagen; pueden ser de alto paso o de bajo paso.
- Composiciones de color, combinan la información contenida en diferentes bandas espectrales.
- Transformaciones, integran la información de varias bandas en una o dos, permiten desplegar información muy detallada de una imagen para cada banda espectral; por ejemplo, análisis de componentes principales y clasificación digital.

Entre las aplicaciones de la percepción remota se encuentra la evaluación de la calidad del agua. Para este caso específico se requiere, además de las correcciones y tratamientos mencionados previamente, la generación de modelos que permitan monitorear o vigilar un cuerpo de agua.

### **2.2.2 Generación de modelos y mapas de calidad**

Como parte de la evaluación de la calidad del agua con percepción remota, resulta necesario generar modelos, los cuales tienen la finalidad de correlacionar los datos obtenidos en campo (parámetros de calidad del agua) con los niveles digitales de la imagen satelital del cuerpo de agua de interés.

De manera general, la metodología para generar dichos modelos se describe brevemente a continuación:

#### **1. Obtener la imagen satelital.**

Existen varios satélites de estudio de los recursos de la Tierra de los cuales podemos obtener imágenes satelitales (Landsat 7, SPOT, etc.); sin embargo, la decisión de cuál elegir dependerá principalmente de las resoluciones (espacial, espectral, radiométrica y temporal) y de la facilidad para obtener dicha imagen (costo de adquisición y disponibilidad).

Además, para el caso específico de la evaluación de la calidad del agua, es importante mencionar que debe tenerse cuidado de que la fecha de la imagen satelital tenga una diferencia máxima de dos días con respecto al día que se realiza el muestreo (del cual se obtendrán los datos a correlacionar).



## 2. Procesamiento y tratamiento de la imagen.

Como ya se describió anteriormente, factores como los efectos atmosféricos y problemas en el funcionamiento de los sensores ocasionan alteraciones en la imagen que es necesario corregir. Además, con las composiciones de color se logra sintetizar la información y presentarla de forma que es más fácil de comprender.

Además, puede ser necesario aplicar realces, filtros o realizar una clasificación digital.

## 3. Extraer los niveles digitales.

Una vez que se ha procesado y tratado la imagen, se procede a la extracción de los niveles digitales. Estos niveles deben convertirse a valores de radiancia y, posteriormente, a valores de reflectancia. Lo anterior se realiza con el propósito de corregir errores de tipo radiométricos, para lo cual se emplean ecuaciones ya establecidas<sup>10</sup>.

## 4. Obtener los modelos.

Una vez que se han obtenido los niveles digitales en valores de reflectancia, se procede a la generación del modelo. Para esto se utiliza un método de ajuste denominado regresión lineal por pasos atrasados, el cual consiste en un proceso iterativo para dar solución a un sistema de ecuaciones de primer grado, que tiene como incógnita los coeficientes que se indican en la Ecuación 2.8.

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_{k-1} X_{k-1} + \beta_k X_k \quad (2.8)$$

Donde:

$Y$	Variable dependiente (datos del muestreo)
$\beta_1$	Coefficientes a determinar
$X_i$	Variables independientes (niveles digitales)

## 5. Comprobación

Para la etapa de comprobación se utiliza el denominado Índice de Concordancia, el cual compara los valores de campo con los valores obtenidos con el modelo; en este caso el mejor índice de concordancia es el más cercano a uno. Además, debe considerarse que entre menos bandas espectrales se hayan utilizado para generar el modelo, es mejor.

## 6. Elaboración de mapas de calidad

Al igual que en la evaluación tradicional, los mapas de calidad pueden facilitar la presentación y compresión de los resultados obtenidos con el modelo.

---

<sup>10</sup> Monitoreo de la calidad del agua mediante el uso de la percepción remota.

### 7. Probar el modelo.

Finalmente, lo ideal es probar el modelo obtenido, para lo cual se requiere realizar un muestreo y comparar los valores obtenidos con el modelo (utilizando una imagen satelital que corresponda al día del muestreo) con los obtenidos en campo.

### 3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA

Como parte del proyecto de *Colaboración Conjunta II-FI “Modelos de calidad del agua obtenidos a partir de percepción remota: presa Villa Victoria, Edo. de México (perteneciente al sistema Cutzamala)”* fue necesaria la realización de un estudio de calidad del agua que permitiera determinar ciertos parámetros, para después correlacionarlos con información de imágenes satelitales. El presente capítulo trata sobre dicho estudio de calidad del agua.

Cabe mencionar que, aunque el propósito fundamental del proyecto antes mencionado fue obtener los modelos matemáticos de índice de estado trófico, turbiedad y sólidos disueltos totales, en el estudio de calidad del agua se incluyó la determinación de parámetros adicionales a los necesarios para cumplir con el propósito arriba citado.

#### 3.1 Actividades previas al trabajo de campo

De acuerdo a lo descrito en el Capítulo 2, para poder llevar a cabo un muestreo confiable es necesario considerar tres etapas principales: planeación, preparación y muestreo; y a continuación se describe lo relativo a las primeras dos etapas.

##### FASE DE PLANEACIÓN

###### **Definición del objetivo de estudio.**

Debido a que el estudio de calidad del agua fue un medio para obtener información de campo –la cual se utilizó posteriormente para la generación de modelos de calidad –estrictamente hablando únicamente se requería de la determinación de tres parámetros; sin embargo, se decidió que podrían obtenerse parámetros adicionales, los cuales permitieran realizar una evaluación de la calidad del agua del vaso de la presa Villa Victoria.

Esto último se convirtió en el objetivo principal del presente trabajo, por lo que también puede considerarse como el objetivo del estudio.

###### **Recopilación de la información disponible sobre la zona de estudio.**

Se realizó una búsqueda exhaustiva con la finalidad de conocer mejor la zona de estudio, de la cual se obtuvo información relativa a los usos del agua, problemática de la cuenca, fuentes de contaminación, datos constructivos y volúmenes de almacenamiento de la presa, estudios previos de calidad del agua del embalse, etc.

Cabe destacar que, con relación a los estudios previos realizados en la presa Villa Victoria, la información es escasa. En algunos casos se logró tener acceso a dichos estudios, los cuales se presentan de forma resumida en la sección 1.2.5. En otros casos, la información obtenida se limita al conocimiento de que se realizaron, por lo que no se tienen detalles al respecto (parámetros que se determinaron, número y localización de los sitios de muestreo, número de campañas de muestreo, etc.).

### Ubicación probable de las estaciones de muestreo.

De acuerdo con lo descrito en el Capítulo 2, para la determinación de los sitios de muestreo pueden tomarse como base las recomendaciones de la NMX-AA-014-1980 Cuerpos receptores- Muestreo, las cuales no especifican con detalle el establecimiento de los sitios. Por esta razón, y considerando que el estudio de calidad del agua debía proporcionar los datos necesarios para generar modelos de calidad, se decidió ubicar los sitios de muestreo mediante el procesamiento de análisis digital de imágenes satelitales, buscando determinar zonas con diferente calidad en el embalse. A continuación se presenta el procedimiento que se aplicó.

#### a) Adquisición de las imágenes.

Se seleccionó el satélite Landsat 7 por dos razones principales: su resolución espectral (abarca tres bandas en el visible y cuatro bandas en el infrarrojo) y la disponibilidad de las imágenes –ya que éstas pueden descargarse de forma gratuita desde el servidor de la USGS. Sin embargo, la principal desventaja de este satélite es que sus imágenes presentan un bandeo desde mayo de 2003, el cual es resultado de una falla mecánica en el sensor, y provoca pérdida de información en ciertas zonas de la imagen (aproximadamente 23% de los datos). Esta circunstancia no afectó la aplicación al proyecto. La imagen seleccionada fue del 25 de enero de 2012, ya que presentó mejores características (nubosidad= 0%) que las imágenes más recientes.

#### b) Procesamiento de imágenes

Para realizar el procesamiento de las imágenes se empleó el software IDRISI 17.0 Selva, el cual fue desarrollado por los Laboratorios para Tecnología Cartográfica y Análisis Geográfico de la Escuela de Posgrado en Geografía de la Universidad de Clark. Es uno de los SIG más utilizados a nivel mundial por sus capacidades de análisis, tanto para mapas como para imágenes de satélites.

Para facilitar el análisis que realiza el software y evitar en lo posible trabajar con información innecesaria, se realizó un recorte a la imagen satelital, acotándola al área de interés (zona del embalse). Posteriormente se utilizó una técnica de enmascaramiento, que consistió básicamente en la aplicación de un filtro de detección de bordes tipo Sobel (para resaltar el límite entre el cuerpo de agua y el terreno que lo rodea). Dicho filtro se aplicó a la banda 4, ya que en ésta el valor de reflectancia del agua disminuye considerablemente, por lo que es más fácil distinguirla del suelo.

Con la finalidad de eliminar la información correspondiente al suelo que rodea al embalse, para de este modo dejar únicamente la información del agua, se realizaron varias reclasificaciones, de las cuales resultó una imagen binaria (en la que es más fácil trazar un vector poligonal). Posteriormente, se convirtió a imagen raster, la cual se empleó para multiplicar por cada una de las bandas y de este modo eliminar el terreno que rodea al embalse.

El siguiente paso consistió en realizar una clasificación no supervisada fina. Al analizar el histograma, se observó que había 14 clústeres (clases o familias) que eran los más

representativos, aunque la mayoría de los píxeles se agrupaban en seis clústeres. Con base en esto, se procedió a realizar nuevamente una clasificación no supervisada (gruesa y fina) para todas las bandas.

Para eliminar información repetitiva, se realizó un ACP, del cual se obtuvo que la mayor carga de información se encontraba en las tres primeras componentes. Con base en esto, se repitió la clasificación supervisada fina (para seis y 14 clústeres).

Finalmente, se eligió la clasificación no supervisada fina para seis clústeres, de la cual resultaron un total de 42 sitios de muestreo (aproximadamente ocho sitios por familia). En la Figura 3.1 se muestra la localización de los sitios de muestreo seleccionados.

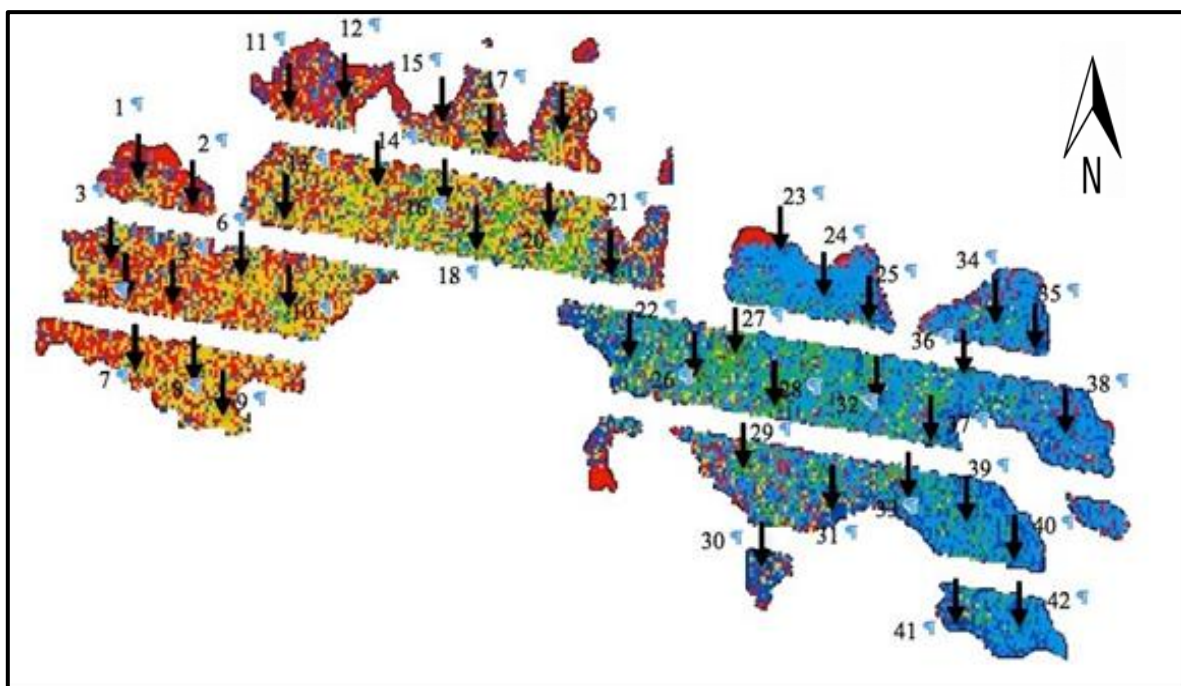


Figura 3.1 Ubicación de los sitios de muestreo propuestos.

Fuente: Vázquez et al., 2013.

Los sitios propuestos deben estar distribuidos en cada familia de píxeles, debido a que estos poseen reflectividades similares y por lo tanto es probable que la calidad varíe considerablemente de una familia a otra. Cabe destacar la importancia de realizar la clasificación con distinto número de familias, pues de esta forma se puede analizar cuáles son las zonas adecuadas para el muestreo.

#### Establecimiento de los parámetros de interés.

Con base en el objetivo del estudio, y considerando los recursos disponibles, se establecieron los siguientes parámetros de interés: temperatura del agua, CE, OD, pH, turbiedad (con disco Secchi y con turbidímetro), SDT, SST, potencial OR, presión atmosférica, salinidad, Nitrógeno Amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fosfatos, DBO<sub>5</sub>, CT y CF.

Sin embargo, es importante mencionar que los últimos siete parámetros se determinaron únicamente en siete sitios para la primera campaña de muestreo, y seis sitios para la segunda campaña.

#### **Determinación de la frecuencia del muestreo.**

Se determinó realizar dos muestreos, uno en la época de estiaje y uno en la época de lluvias, con la finalidad de conocer las condiciones extremas de calidad del agua. Con respecto al número de muestras, se decidió tomar una muestra simple de 500 ml en cada estación de muestreo, en la superficie del agua (pero evitando la nata superficial).

Además, considerando algunas de las descargas que se identificaron en la visita de reconocimiento, se resolvió tomar muestras adicionales de 1.5 L –para los parámetros químicos –y de 300 ml en frascos Winkler esterilizados –para los parámetros microbiológicos –en siete y seis puntos, para la primera y segunda campañas de muestreo, respectivamente.

#### **Elaboración de la lista de verificación de materiales, reactivos y equipo para el muestreo.**

La lista de verificación se realizó considerando todos los materiales, equipos y reactivos que serían necesarios para las campañas de muestreo, desde las cosas más básicas como plumones, hojas de papel y plumas; hasta lo más sofisticado (medidor multiparamétrico con GPS y espectrofotómetro).

#### **Equipo de trabajo.**

El equipo de trabajo estuvo integrado por personal capacitado, con conocimientos en ingeniería ambiental, análisis de calidad del agua y en algunos casos, con experiencia en campañas de muestreo. Asimismo, cada uno de los integrantes del equipo de trabajo se familiarizó con los equipos a emplear, lo cual se logró revisando los manuales y utilizando los equipos previamente en el laboratorio.

#### **Elaboración del plan de seguridad.**

Con respecto al plan de seguridad, aunado a la experiencia de los integrantes que ya habían participado en otros muestreos, se tomaron en cuenta las particularidades del lugar: se ubicó el centro de salud más cercano, como parte de la recopilación bibliográfica; se estableció el itinerario completo, dándolo a conocer a todos los integrantes del equipo y a personas que no acudieron al muestreo; se consultó con los lugareños acerca de personas con experiencia en navegación para que se encargaran de manejar la lancha, así como de revisar que estuviera en buenas condiciones; se optó por rentar una lancha con techo y lo suficientemente amplia; y se consultaron las condiciones meteorológicas correspondientes a los días del muestreo.

También se consideraron medidas para la protección y preservación de las muestras (hielo, parafilm, etc.) y para la protección y seguridad del equipo de trabajo (ropa cómoda, zapatos adecuados, bloqueador solar, etc.).

### Definición de los medios de transporte.

Debido a que la zona de interés se encuentra relativamente cerca de los laboratorios de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México (donde se realizaron los análisis de calidad del agua), se decidió que el medio de transporte a utilizar sería automóvil, para poder realizar el recorrido en dos horas aproximadamente.

### Visita de reconocimiento.

La visita de reconocimiento se realizó en febrero de 2012. Durante ésta se identificaron algunas descargas importantes (las descargas de aguas residuales del rastro municipal y del poblado cercano a la presa), corrientes perennes que desembocan en el embalse, la ubicación del muelle (el cual sirvió para determinar el orden de las estaciones de muestreo), la ubicación de los centros de salud más cercanos al embalse, algunas actividades que se realizan a orillas del embalse (lavar a mano, recolectar agua en cubetas y baldes) y se corroboró el tiempo de traslado. En la Figura 3.2 se observan algunas de las actividades que se realizan en el embalse.



Figura 3.2 Actividades que se realizan en el embalse de la presa Villa Victoria: lavado de ropa, pesca y recolección de agua en cubetas y baldes.

Asimismo, se tomaron fotografías del lugar y se preguntó a los lugareños acerca de los costos de la renta de la lancha, hospedaje y alimentos.

#### **Estimación del costo del estudio.**

Todas las actividades y gastos a realizar contemplados en las dos campañas de muestreo se ajustaron al presupuesto asignado para el proyecto de *Colaboración Conjunta II-FI “Modelos de calidad del agua obtenidos a partir de percepción remota: presa Villa Victoria, Edo. de México (pertenece al sistema Cutzamala)”*.

#### **FASE DE PREPARACIÓN**

La fase de preparación se llevó a cabo en los dos días previos a cada campaña de muestreo, durante los cuales se lavaron todos los recipientes y materiales a utilizar (botellas de plástico para las muestras, pissetas, etc.), se esterilizaron y decloraron (agregando Tiosulfato de Sodio) los frascos Wrinkler (después de lo cual se cubrieron con papel aluminio desde el tapón hasta el cuello) y se conocieron los equipos necesarios para el muestreo.

En el caso específico del multiparamétrico, se revisaron tutoriales en video para aprender a calibrarlo, ya que este equipo cuenta con tres electrodos, los cuales deben ser calibrados en un orden específico. Además, se realizaron pruebas en laboratorio para corroborar que los datos que midiera el equipo fueran correctos, y se dejó cargando la batería durante las 14 horas que especificaba el manual.

Con respecto al espectrofotómetro, se contó con la ayuda de personal del laboratorio que ya había trabajado previamente con este equipo, quienes explicaron paso a paso la forma de llevar a cabo las pruebas. Del mismo modo que para el multiparamétrico, se realizaron pruebas en laboratorio y se revisó que hubiera suficientes reactivos.

Lo último a realizar fue corroborar que se tuvieran listos todos los materiales y equipos necesarios, para lo cual se utilizó la lista de verificación. En la siguiente sección se describirán brevemente los principales equipos utilizados, tanto en campo como en laboratorio.

### **3.2 Materiales y equipos utilizados**

Previo a la fase de ejecución, es necesario conocer los equipos y materiales a utilizar. A continuación se enlistan y describen los principales materiales y equipos utilizados en las campañas de muestreo realizadas en 2012 en el vaso de la presa Villa Victoria.

#### **Equipos y materiales utilizados en campo**

- Medidor multiparamétrico con GPS HANNA (Figura 3.3). Este equipo cuenta con tres electrodos, cada uno de los cuales mide un parámetro diferente (principalmente): CE, pH y OD. Cuenta con una sonda de longitud de cable de 20 m, puerto USB y GPS; éste último facilita la asociación de los parámetros determinados con la estación de muestreo. Tiene capacidad para determinar hasta 13 parámetros de calidad del agua, ocho de los cuales son medidos y cinco son calculados. Además, posee la opción de realizar una calibración rápida, la cual permite calibrar los tres electrodos con una misma solución (ideal para realizarse en campo).



En la Tabla 3.1 se enlistan algunos de los parámetros que pueden ser determinados con el medidor multiparamétrico, así como los rangos de cada uno.

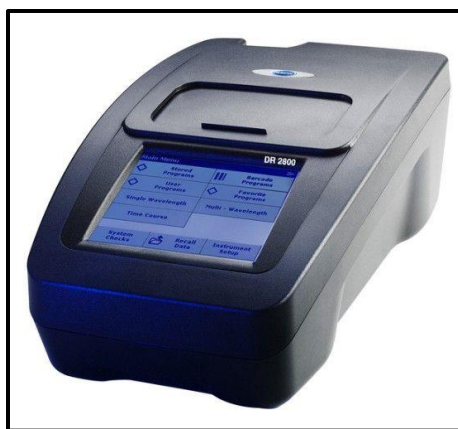
**Tabla 3.1 Rangos de medición de los parámetros que pueden ser determinados con el equipo multiparamétrico.**

Parámetro	Rango	Unidades
pH	0-14	Unidades de pH
Potencial OR	-20,000 – 20,000	mV
Oxígeno Disuelto	0-50	mg/L
Conductividad	0-200	mS/cm
SDT	0-400,000	mg/L
Salinidad	0-70	PSU
Presión atmosférica	600-1,133.2	mbar
Temperatura	-5 – 55	°C

Nota: PSU= Unidades Prácticas de Salinidad.  
Fuente: HANNA instruments, 2006.



**Figura 3.3 Medidor multiparamétrico con GPS HANNA.**  
Fuente: HANNA instruments, 2006.



**Figura 3.4 Espectrofotómetro HACH.**  
Fuente: Direct Industry, 2014.

- Espectrofotómetro HACH (Figura 3.4). Se utilizó para realizar las pruebas de los parámetros químicos. Cuenta con más de 200 programas almacenados, cada uno para medir un parámetro diferente, en los que se indica paso a paso el procedimiento a seguir: volumen de muestra necesario, volumen de blanco (en este caso se utilizó agua destilada), tipo de reactivo que debe agregarse, tiempo de agitación, tiempo de reacción, etc. La muestra y el blanco se vierten en celdas de vidrio de 10 o 25 ml (dependiendo de la prueba), las cuales deben ser limpiadas cuidadosamente con microfibra (o similar) antes de cada lectura. El rango de medición abarca desde 0.001 hasta 1000mg/l.

Otros equipos utilizados: disco Secchi. Este equipo se describió previamente en la sección 2.1.3 Actividades de laboratorio.

- Materiales. Se utilizaron, principalmente, botellas de plástico de 500 ml y de 1.5 L, pisetas y frascos Wrinkler.

#### **Equipos y materiales utilizados en laboratorio**

- Turbidímetro HACH. Este equipo cuenta con celdas de vidrio de 10 ml en las que se vierte la muestra, y deben ser limpiadas cuidadosamente con microfibra (o similar) antes de cada prueba. El rango depende de la solución patrón utilizada para calibrar: 0-1, 0-10, 0-100 o 0-1,000 UTN, la cual se elige al comparar cada patrón con la muestra a analizar.

- Otros equipos utilizados: balanza analítica, horno, mufla y bomba de vacío y una incubadora.

- Materiales: filtros Gooch, crisoles, desecadores, pinzas para crisol, frascos Wrinkler, pipetas, probetas, buretas, pisetas, propipetas, matraces Erlenmeyer, vasos de precipitados y soporte universal, mecheros Bunsen, soportes de Borosilicato (con tapón rosca y embudo), matraces Kitasato, papel filtro, matraces invertidos, cajas Petri y cojines absorbentes.

### **3.3 Primera campaña de muestreo**

Como parte de la fase de ejecución se realizaron dos campañas de muestreo, la primera campaña se realizó el 14 de abril de 2012 (época de estiaje). Además de los 42 sitios de muestreo definidos en la fase de planeación, se consideraron sitios adicionales debido a su importancia para el estudio: descarga de agua residual municipal (Figura 3.5), descarga del rastro y cortina de la presa (principal extracción). Aunado a esto, una vez estando sobre la lancha el conductor comentó que debido al azolvamiento de la presa existen algunas zonas muy someras (en las que la lancha podría quedar atascada), por lo cual no fue posible tomar muestras en dichas zonas.

Como resultado, tuvieron que redefinirse algunos sitios el día del muestreo, procurando apegarse a lo planeado en la medida de lo posible. Resultaron un total de 47 sitios de muestreo, incluyendo siete sitios donde se recolectó más volumen para realizar análisis adicionales. En la Figura 3.6 se muestra la localización de los 47 sitios, resaltando en rojo aquellos en los que se determinaron más parámetros; y en la Tabla 3.2 se observan las coordenadas de los sitios de muestreo.

El muestreo duró aproximadamente siete horas, durante las cuales se tomaron muestras simples de 500 ml en 40 sitios y muestras simples de 1.5 L en siete sitios. Para la toma de muestras se utilizó una cubeta, la cual se enjuagaba con agua del embalse en cada estación de muestreo, evitando la nata superficial. Posteriormente, con el agua recolectada en la cubeta se enjuagaba el envase donde se preservaría la muestra (excepto para el caso de los frascos Wrinkler, ya que estos contenían Tiosulfato de Sodio como decolorante) antes de colectarla, se marcaba el envase con plumón de aceite (colocándole el número de la estación de muestreo correspondiente) y se colocaba en hielo.

Con el medidor multiparamétrico se determinaron in situ los siguientes parámetros: temperatura del agua, CE, OD, pH, potencial OR, presión atmosférica salinidad y SDT. La turbiedad se determinó in situ con el disco Secchi (Figura 3.7). En la Figura 3.8 se observa la determinación de los parámetros in situ con el medidor multiparamétrico.

Al término del muestreo, se procedió a realizar la determinación de Nitrógeno Amoniacal, Nitritos (únicamente en tres sitios), Nitratos y Fosfatos; empleando el espectrofotómetro (Figura 3.9). La DBO<sub>5</sub>, los CT y CF se determinaron al día siguiente en la Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México; así mismo, se determinó nuevamente la turbiedad de las muestras, esta vez con un turbidímetro. Los SST se determinaron a lo largo de la semana, cuidando de conservar las muestras en refrigeración y no exceder el tiempo máximo de análisis recomendado. En el Anexo B se describen las técnicas de laboratorio utilizadas.



Figura 3.5 Descarga de agua residual en el embalse de la presa Villa Victoria.

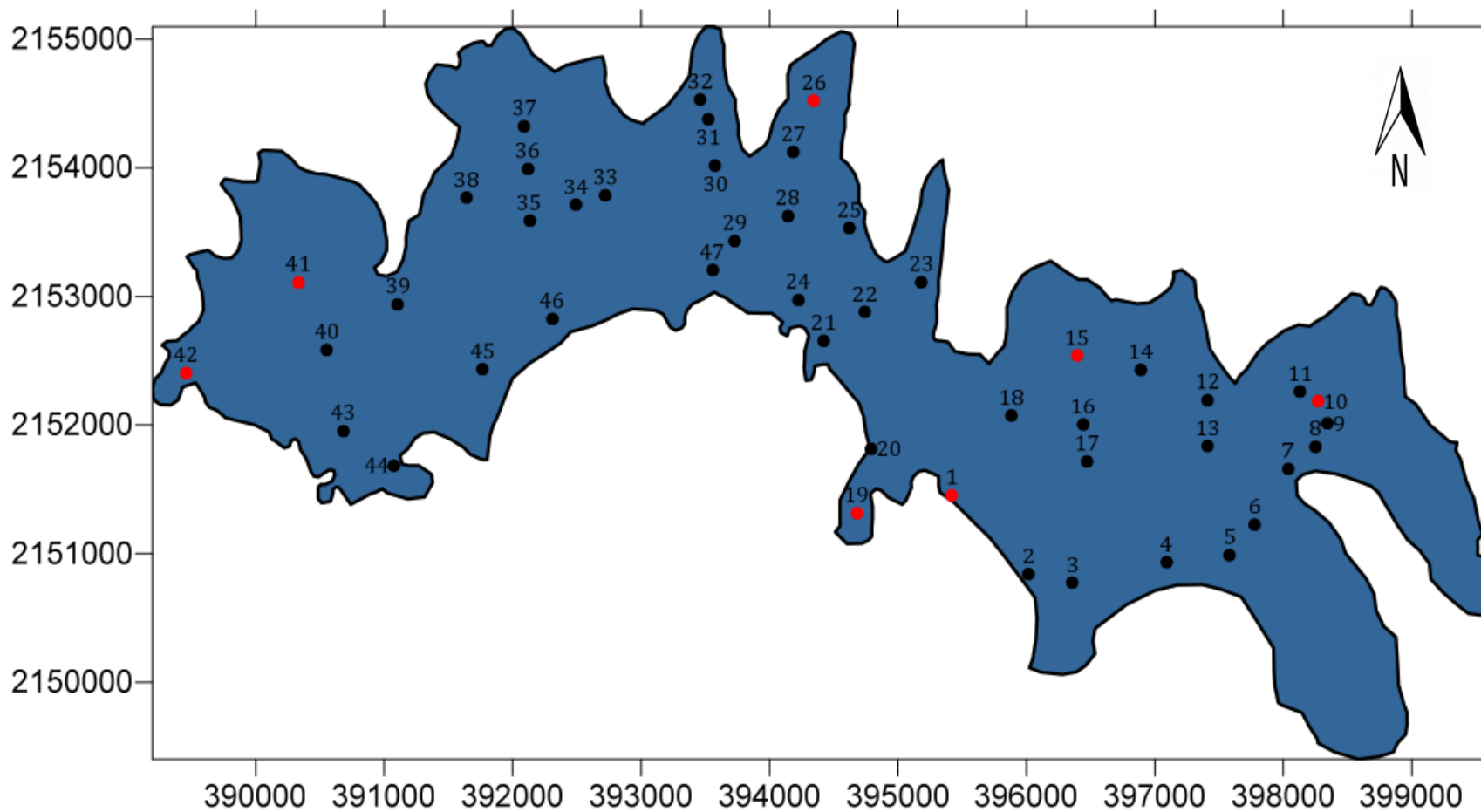


Figura 3.6 Localización de los sitios de muestreo de la primera campaña.

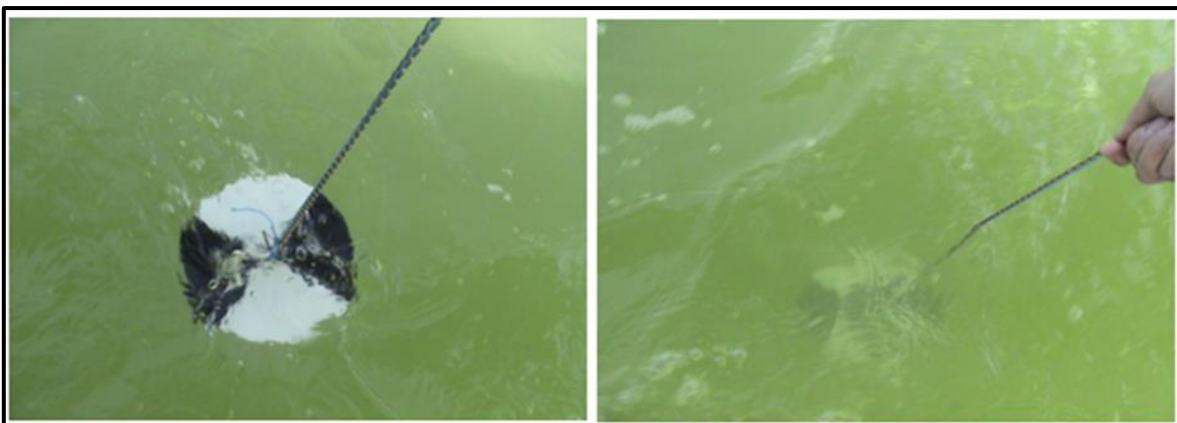


Figura 3.7 Determinación de la turbiedad con el disco Secchi.



Figura 3.8 Determinación de parámetros in situ, utilizando el medidor multiparamétrico.



Figura 3.9 Determinación de parámetros químicos, utilizando el espectrofotómetro.

Tabla 3.2 Coordenadas UTM de los sitios de la primera campaña de muestreo.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	395420.07	2151451.71	25	394621.56	2153531.43
2	396017.24	2150839.58	26	394344.54	2154522.94
3	396358.04	2150773.06	27	394184.77	2154124.23
4	397093.81	2150931.79	28	394146.84	2153623.36
5	397581.11	2150987.43	29	393728.77	2153432.14
6	397777.84	2151226.10	30	393577.69	2154017.13
7	398039.80	2151658.07	31	393524.42	2154377.13
8	398250.73	2151832.10	32	393461.19	2154531.21
9	398345.06	2152012.95	33	392722.03	2153785.49
10	398273.14	2152185.51	34	392494.18	2153713.06
11	398130.68	2152260.09	35	392134.81	2153589.17
12	397410.08	2152193.46	36	392122.64	2153991.96
13	397410.97	2151836.86	37	392089.64	2154324.17
14	396892.41	2152430.05	38	391643.13	2153767.35
15	396397.35	2152540.48	39	391104.55	2152937.48
16	396443.85	2152005.31	40	390554.23	2152584.20
17	396474.26	2151716.17	41	390332.89	2153108.16
18	395884.38	2152073.09	42	389459.66	2152403.34
19	394681.51	2151314.60	43	390684.54	2151953.19
20	394792.32	2151815.04	44	391076.57	2151683.37
21	394423.98	2152653.37	45	391766.34	2152435.47
22	394743.12	2152878.99	46	392311.03	2152825.71
23	395181.84	2153110.08	47	393558.32	2153205.66
24	394227.57	2152971.16			

### 3.3.1 Resultados

En la Tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros determinados en todos los sitios de muestreo.

La Figura 3.10 muestra los resultados obtenidos para los siete puntos en donde se determinaron parámetros adicionales.

**Tabla 3.3 Resumen de resultados obtenidos para los parámetros físicos y químicos determinados en la primera campaña de muestreo.**

Sitio	T [°C]	CE [μS/cm]	OD [mg/L]	pH	Turb [UTN]	SDT [mg/L]	SST [mg/L]	ORP [mV]	P. Atm. [mbar]	Salinidad [PSU]	PDS [m]
1	17.96	157	5.96	8.75	6.45	78	14	-493.0	757.3	0.07	0.66
2	17.79	151	5.76	8.67	7.09	75	20	-489.5	759.5	0.07	0.55
3	17.33	160	5.41	8.67	9.42	80	12	-455.7	759.9	0.08	0.49
4	18.58	162	5.91	9.03	9.16	81	10	-457.6	760.8	0.08	0.49
5	19.06	162	5.89	8.93	7.57	81	10	-444.3	761.4	0.08	0.62
6	18.83	161	5.84	8.88	7.27	81	28	-441.3	762.1	0.08	0.56
7	19.28	161	5.91	8.89	6.77	80	18	-435.2	762.6	0.08	0.51
8	19.46	159	6.08	8.99	7.01	79	18	-441.0	763.4	0.07	0.58
9	19.12	162	6.26	9.02	6.87	81	6	-427.7	763.9	0.08	0.58
10	19.60	164	6.02	8.99	7.03	82	18	-422.3	764.4	0.08	0.47
11	20.03	164	5.80	8.96	6.77	82	32	-420.5	761.6	0.08	0.63
12	19.96	160	6.07	9.04	6.43	80	8	-431.8	761.2	0.08	0.66
13	19.69	163	6.12	9.00	6.64	81	10	-411.0	760.3	0.08	0.67
14	19.74	158	6.34	9.15	7.4	79	12	-434.5	759.1	0.07	0.56
15	19.88	162	6.41	9.05	7.13	81	8	-402.3	758.6	0.08	0.6
16	19.91	162	6.34	9.01	6.94	81	4	-398.8	759.3	0.08	0.65
17	19.66	155	6.40	8.97	7.09	78	8	-426.0	758.7	0.07	0.66
18	20.18	162	6.36	9.08	7.25	81	38	-400.0	757.9	0.08	0.62
19	19.69	155	6.82	8.96	7.35	77	16	-423.6	755.1	0.07	0.62
20	19.98	161	6.80	9.41	7.6	81	16	-406.5	756.4	0.08	0.57
21	19.33	162	6.78	8.97	8.37	81	16	-396.4	756.6	0.08	0.53
22	20.24	162	6.77	8.97	6.95	81	8	-397.4	757.3	0.08	0.84
23	19.97	162	6.96	8.93	6.09	81	4	-396.0	757.3	0.08	0.73
24	19.45	162	6.89	8.93	6.05	81	4	-398.7	753.4	0.08	0.77
25	19.39	161	7.15	8.93	5.1	80	16	-395.4	751.5	0.08	0.92
26	18.97	160	7.19	8.84	7.43	80	16	-398.0	750.1	0.08	0.67
27	18.56	161	7.04	8.83	5.64	80	14	-401.0	751.4	0.08	0.76
28	18.91	160	7.20	8.95	5.23	80	10	-405.8	751.5	0.08	0.94
29	18.93	161	6.89	8.73	5.35	81	14	-397.9	751.7	0.08	0.88
30	18.68	162	7.36	8.87	5.31	81	4	-403.7	751.9	0.08	0.93
31	18.63	161	7.20	8.85	5.8	80	4	-408.6	751.5	0.08	1.09
32	18.66	160	7.17	8.79	7.2	80	8	-397.9	751.5	0.08	1.09
33	18.67	154	7.04	8.73	5.51	77	8	-430.4	751.3	0.07	1.08
34	18.33	152	7.05	8.78	5.82	76	2	-435.3	751.3	0.07	1.05
35	18.24	146	7.02	8.75	5.48	73	8	-457.4	751.5	0.07	1.05

Tabla 3.3 Continuación.

Sitio	T [°C]	CE [μS/cm]	OD [mg/L]	pH	Turb [UTN]	SDT [mg/L]	SST [mg/L]	ORP [mV]	P. Atm. [mbar]	Salinidad [PSU]	PDS [m]
36	17.98	153	6.94	8.69	5.86	77	16	-415.3	751.5	0.07	1.07
37	18.39	156	7.29	8.82	5.89	78	8	-414.5	751.8	0.07	0.91
38	17.63	153	6.61	8.59	5.82	77	6	-433.3	751.7	0.07	0.88
39	18.24	161	7.00	8.67	5.55	81	2	-398.4	751.5	0.08	1.11
40	17.53	157	7.11	8.68	6.09	79	6	-414.2	752	0.07	0.88
41	17.46	159	6.94	8.49	6.11	80	14	-397.6	752.5	0.08	0.81
42	16.84	156	6.51	8.29	6.19	78	20	-418.4	751.9	0.07	0.92
43	17.09	154	6.76	8.54	5.5	77	14	-411.9	750.8	0.07	1.04
44	18.76	152	7.00	8.77	4.73	76	2	-407.6	750.7	0.07	0.95
45	17.55	159	6.76	8.41	5.55	79	6	-402.4	749.5	0.07	1.04
46	17.88	154	6.94	8.60	5.49	77	10	-423.1	748.9	0.07	0.95
47	17.86	160	6.62	8.69	6.36	80	10	-410.7	748.1	0.08	0.78



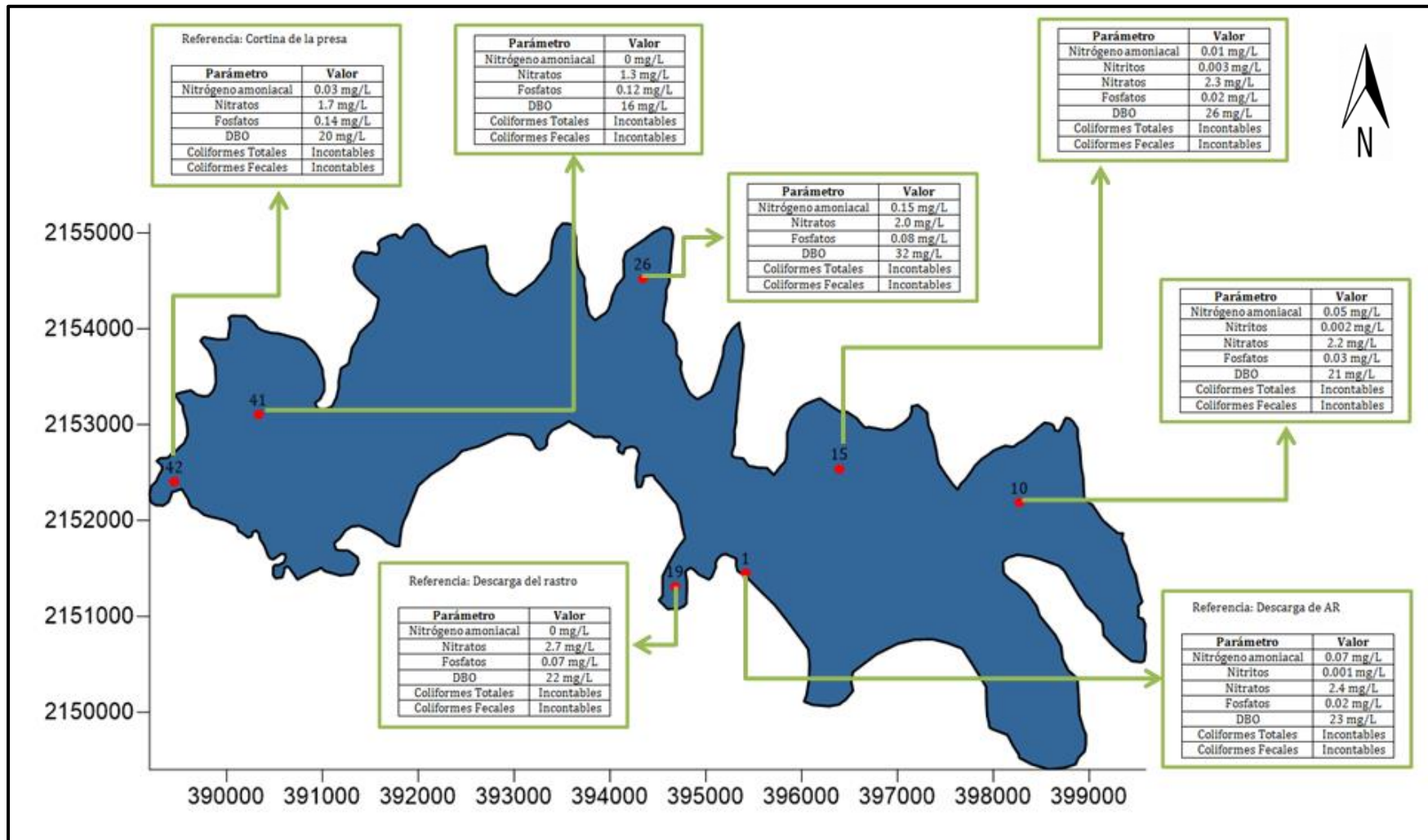


Figura 3.10 Resultados obtenidos para los siete puntos en los que se realizaron análisis adicionales.

### 3.3.2 Cálculo del ICA

Para el cálculo del ICA se emplearon seis parámetros: OD, CE, pH, SST, SDT y turbiedad. En la Tabla 3.4 se presentan los resultados obtenidos. El desglose para cada punto se encuentra en el Anexo A.

Tabla 3.4 Resumen de los valores del ICA para la primera campaña y criterio de calidad para cada uso del agua.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA					Transporte de Desechos Tratados	Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación		
1	80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	Descarga de aguas residuales
2	78	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
3	76	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
4	79	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
5	80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
6	77	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.4 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
7	79	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
8	80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
9	82	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
10	80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
11	77	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
12	82	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
13	82	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
14	83	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
15	84	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.4 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
16	84	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
17	84	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
18	81	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
19	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	Descarga del rastro
20	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
21	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
22	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
23	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
24	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.4 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA					Transporte de Desechos Tratados	Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación		
25	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
26	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
27	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
28	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
29	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
30	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
31	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
32	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
33	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.4 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
34	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
35	88	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
36	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
37	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
38	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
39	93	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	
40	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
41	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
42	84	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	Cortina de la presa

Tabla 3.4 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
43	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
44	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
45	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
46	88	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
47	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Con respecto a los siete puntos en los que se determinaron más parámetros, se calculó el ICA nuevamente considerando 12 parámetros: OD, DBO<sub>5</sub>, CF, CT, CE, Fosfatos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, pH, SST, SDT, y turbiedad. En la Figura 3.11 se muestran los resultados obtenidos.

Es importante mencionar que los valores de DBO<sub>5</sub> fueron determinados en el laboratorio con dilución al 5%, mientras que para el caso de los CT y CF se empleó el valor de referencia de 30 UFC/100ml, por considerarse como incontables a partir de este valor. En el Anexo A se presenta el desglose para cada punto.

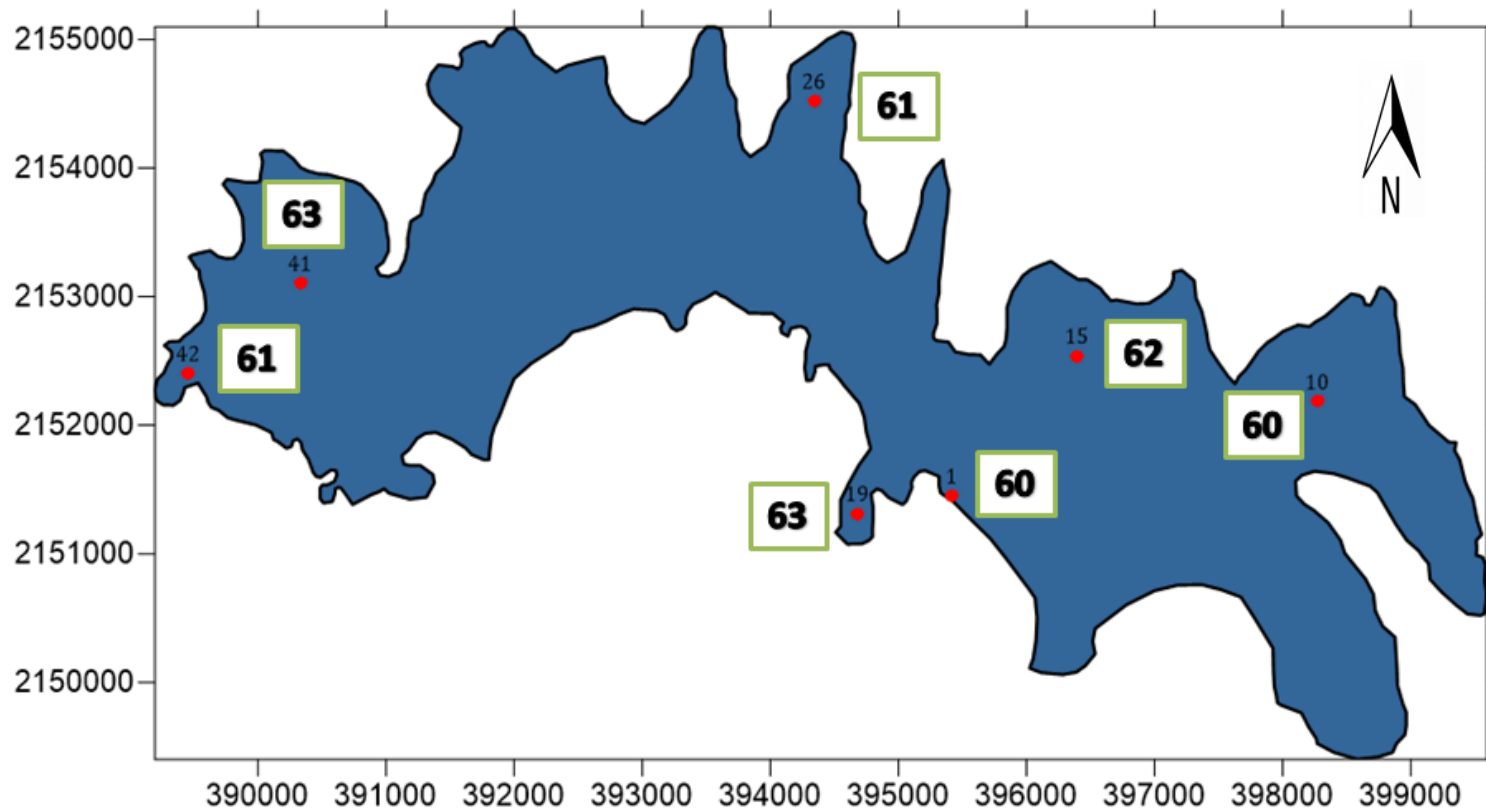


Figura 3.11 Valores del ICA para los siete sitios en los que se realizaron análisis adicionales.

### 3.3.3 Mapas de calidad del agua en el vaso de la presa Villa Victoria

Los mapas de calidad del agua se realizaron con el software Surfer 8, el cual sirve para generar curvas de nivel mediante interpolaciones de datos puntuales (cotas, parámetros de calidad del agua, etc.), empleando diversos métodos (por ejemplo la geoestadística).



Las Figuras 3.12 a 3.18 presentan la variación espacial de la concentración de siete parámetros: CE, OD, pH, SDT, SST, temperatura y turbiedad.

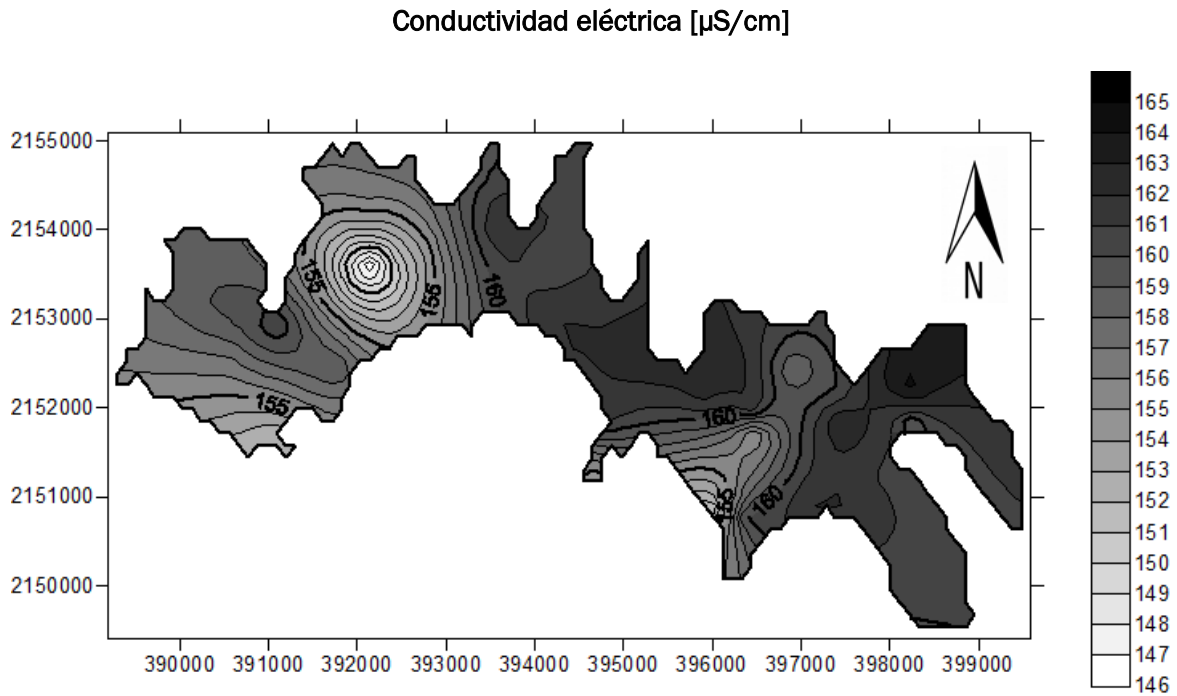


Figura 3.12 Distribución espacial de la conductividad eléctrica en la época de estiaje.

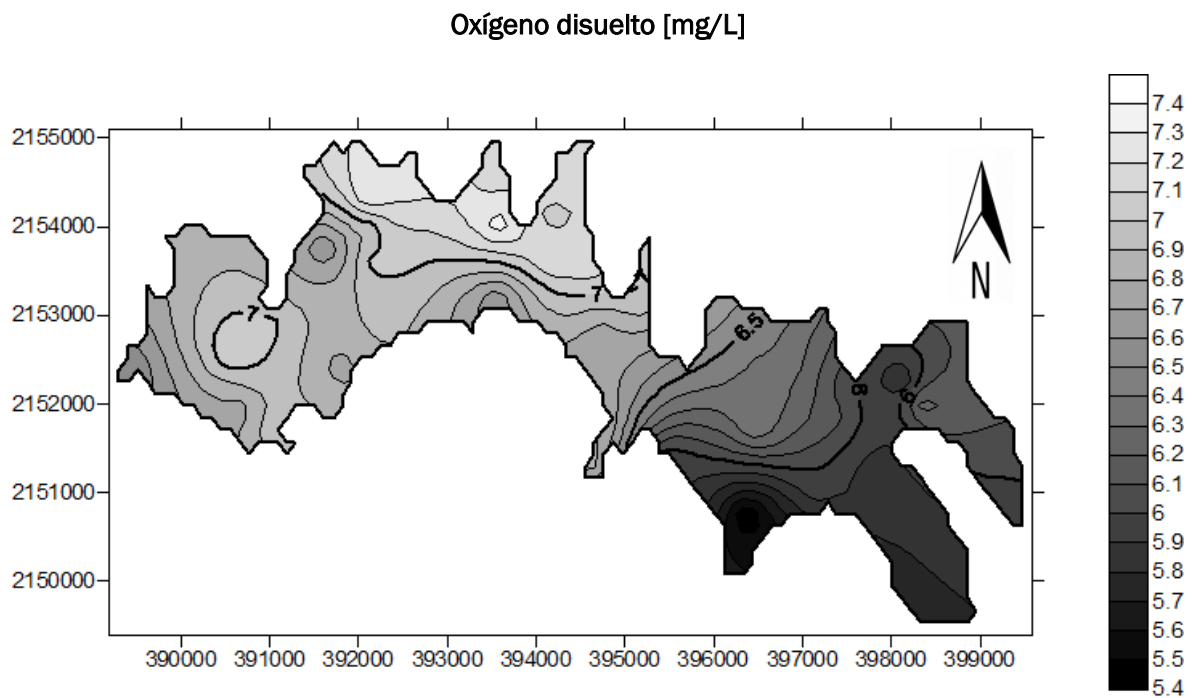


Figura 3.13 Distribución espacial del oxígeno disuelto en la época de estiaje.

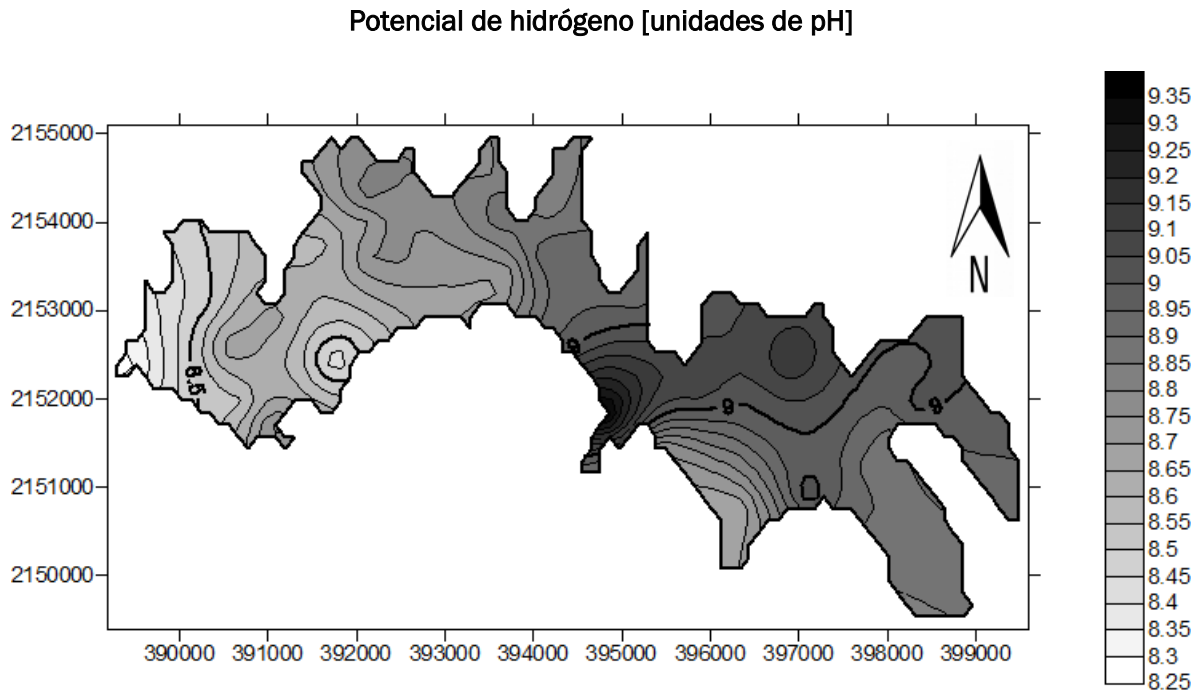


Figura 3.14 Distribución espacial del pH en la época de estiaje.

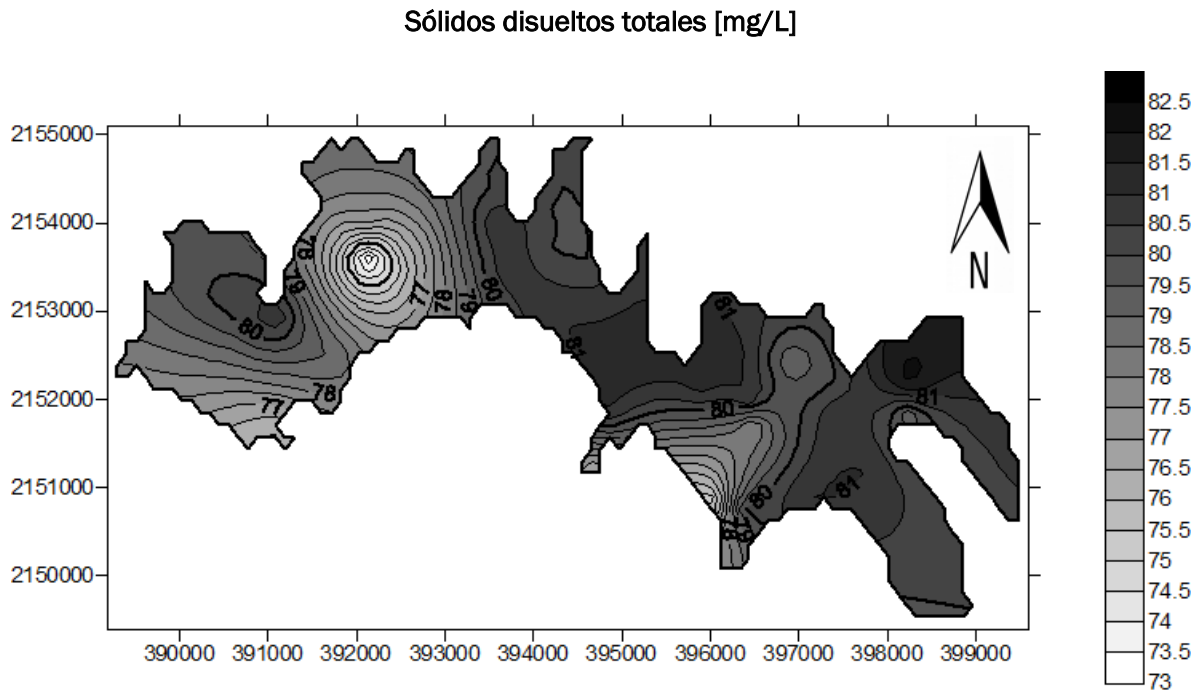


Figura 3.15 Distribución espacial de los sólidos disueltos totales en la época de estiaje.

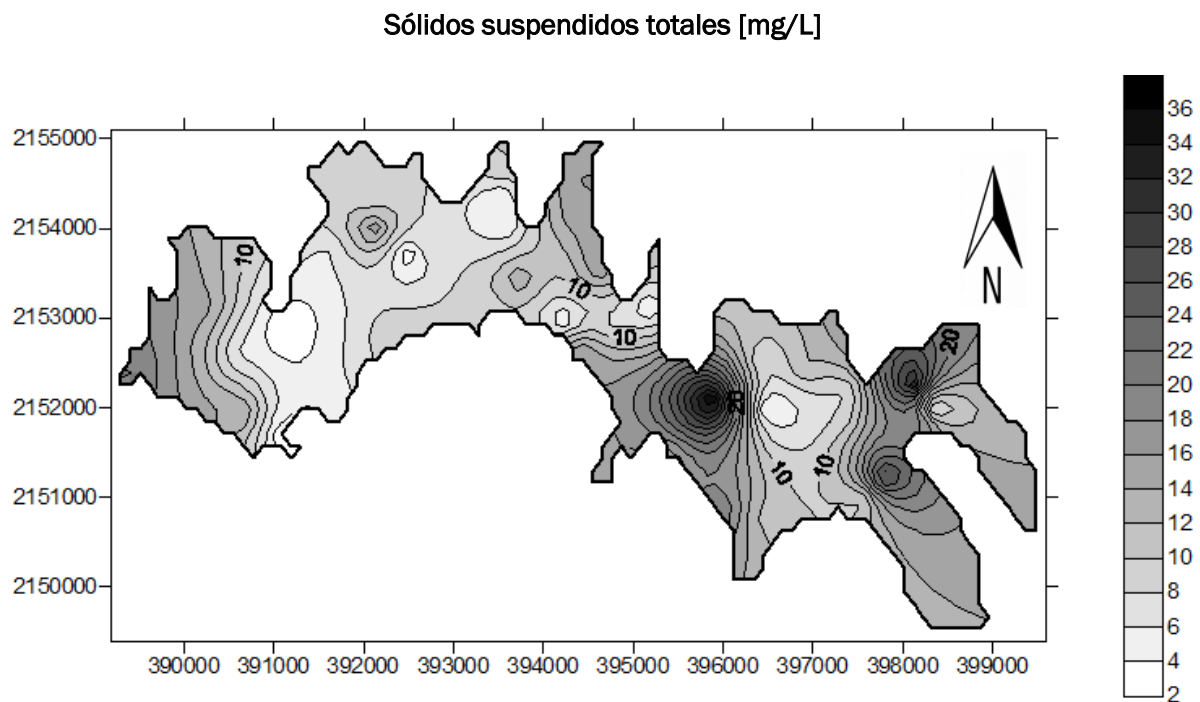


Figura 3.16 Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales en la época de estiaje.

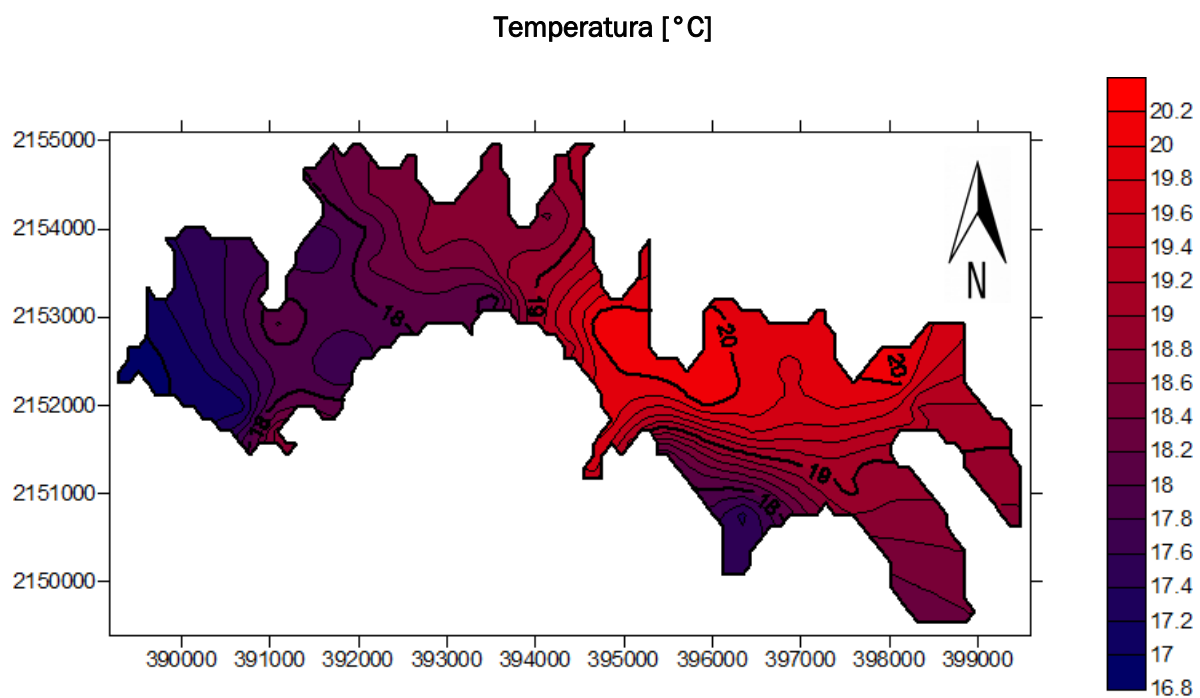


Figura 3.17 Distribución espacial de la temperatura en la época de estiaje.

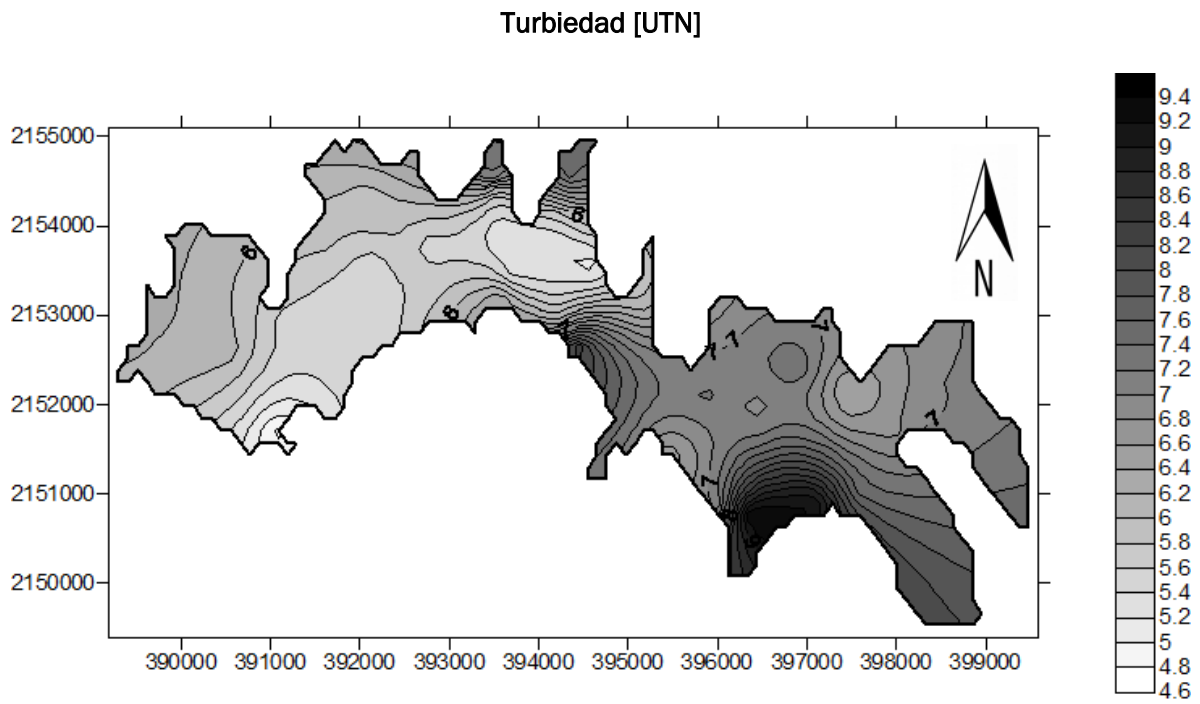


Figura 3.18 Distribución espacial de la turbiedad en la época de estiaje.

En la Figura 3.19 se observa la distribución espacial del ICA calculado con seis parámetros.

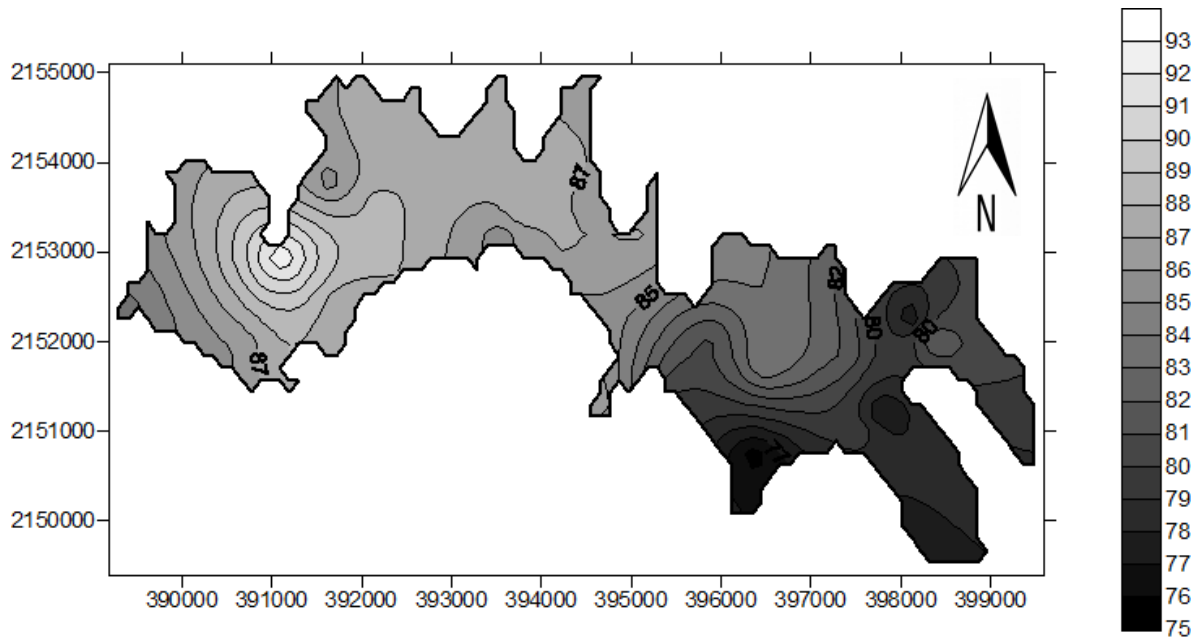


Figura 3.19 Distribución espacial del Índice de Calidad del Agua en la época de estiaje.

### 3.4 Segunda campaña de muestreo

La segunda campaña de muestreo se realizó el 17 de junio de 2012 (época de lluvias). Se consideraron los mismos sitios de muestreo que en la primera campaña (47 sitios); sin embargo, dado las condiciones climáticas particulares de ese día (viento intenso y lluvia), únicamente se recolectaron muestras en 45 sitios, dentro de los cuales se incluyeron seis sitios en los que se tomaron muestras de 1.5 L para análisis adicionales. En la Figura 3.20 se presenta la localización de los 45 sitios de muestreo, resaltando en rojo aquellos en los que se determinaron más parámetros; y en la Tabla 3.5 se indican las coordenadas de dichos sitios.

**Tabla 3.5 Coordenadas UTM de los sitios de la segunda campaña de muestreo.**

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	395391.4402	2151544.105	24	394776.1651	2153044.805
2	396264.8178	2150788.971	25	395126.8313	2153178.027
3	396863.3388	2150914.657	26	394193.392	2153109.698
4	397601.2593	2150941.2	27	394630.3932	2153546.748
5	397989.3101	2150462.511	28	394332.9368	2154532.228
6	398148.4281	2150237.201	29	394161.4959	2154133.589
7	397959.6356	2151919.824	30	394141.26	2153666.431
8	398367.4009	2151837.596	31	393737.5707	2153441.315
9	398421.9446	2152203.112	32	393475.5817	2154500.384
10	398391.1173	2152424.624	33	392856.3496	2153818.507
11	398003.2715	2152417.59	34	392178.4145	2153567.388
12	397462.4089	2152165.5	35	392113.8016	2153976.644
13	397109.8437	2152210.545	36	391897.643	2154396.031
14	397216.1872	2151939.413	37	391614.3947	2153838.225
15	397080.3002	2152143.082	38	391171.8297	2152973.962
16	396645.0786	2152520.616	39	390633.2525	2152632.906
17	396437.1085	2152355.804	40	389561.8483	2152424.236
18	396373.8124	2151996.49	41	390692.9869	2151903.955
19	396375.0165	2151698.29	42	391041.4454	2151662.06
20	395735.868	2152107.76	43	391608.0756	2152301.158
21	394790.656	2151529.151	44	392290.6335	2152828.909
22	394786.4007	2151799.704	45	393061.8044	2153064.109
23	394423.7847	2152619.553			

El muestreo duró aproximadamente siete horas. El procedimiento de toma de muestras y los parámetros determinados fueron los mismos que en la primera campaña.

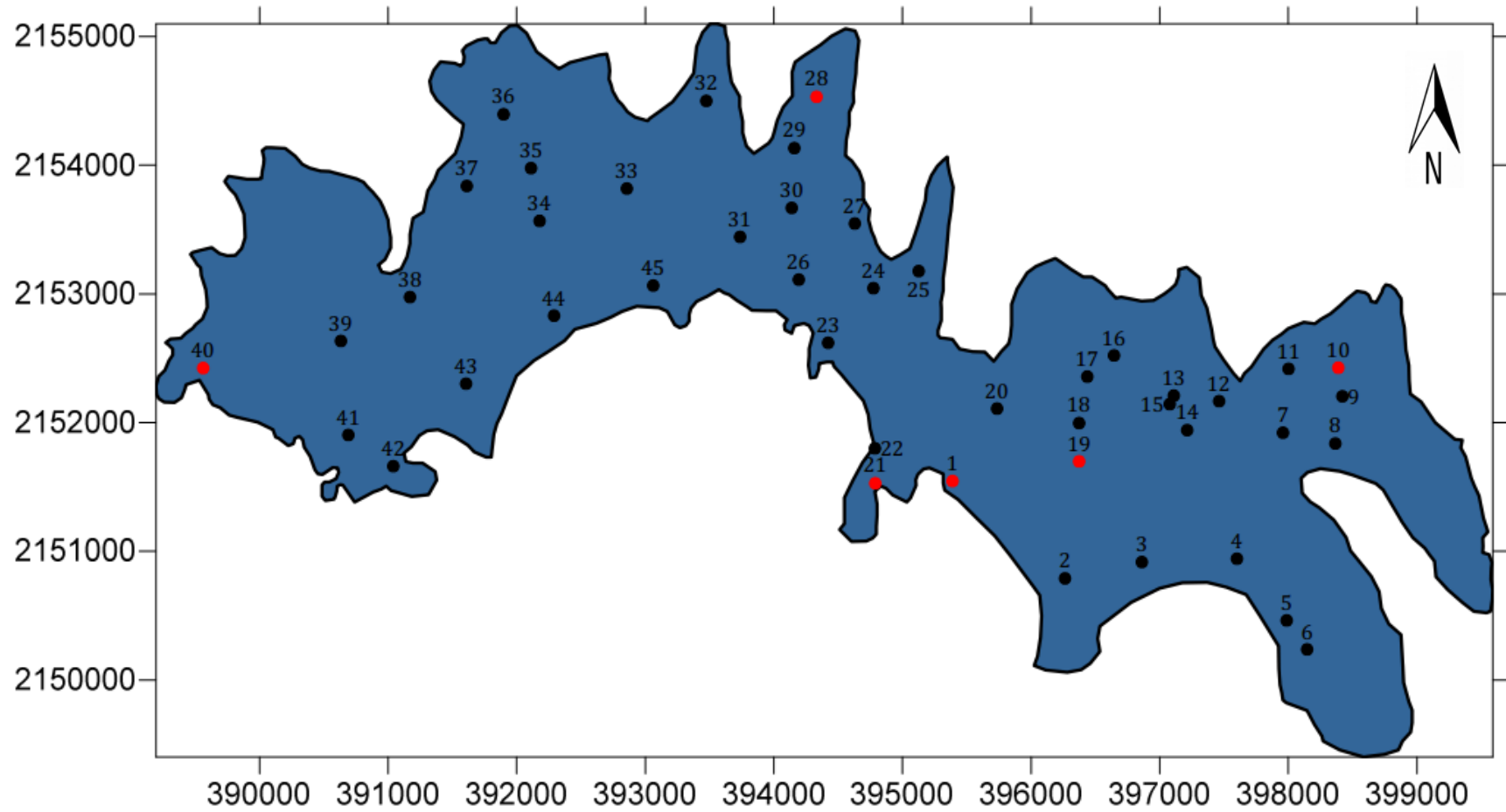


Figura 3.20 Localización de los sitios de muestreo de la segunda campaña.

### 3.4.1 Resultados

La Tabla 3.6 muestra los resultados de los parámetros determinados en los 45 sitios de muestreo.

**Tabla 3.6 Resumen de resultados obtenidos para los parámetros físicos y químicos determinados en la segunda campaña de muestreo.**

Sitio	T [°C]	CE [μS/cm]	OD [mg/L]	pH	Turb [UTN]	SDT [mg/L]	SST [mg/L]	ORP [mV]	P. Atm. [mbar]	Salinidad [PSU]	PDS [m]
1	18.76	156	6.51	7.74	10.4	78	18	-573.7	753.3	0.07	0.50
2	18.49	155	6.9	8.46	13.5	77	18	-605.9	755	0.07	0.44
3	18.47	161	6.39	8.23	12.8	81	30	-552.8	755	0.08	0.41
4	18.57	158	6.55	8.19	15.4	79	20	-515.6	754.4	0.07	0.39
5	17.82	157	7.38	8.62	15.3	78	32	-544.8	754.7	0.07	0.35
6	17.67	159	7.44	8.65	17.3	79	30	-529.2	756.4	0.07	0.35
7	18.81	159	7.05	7.79	11.5	79	10	-576.9	757.9	0.07	0.44
8	18.61	157	7.62	8.67	11.3	79	6	-565.1	752.8	0.07	0.50
9	18.59	158	7.59	8.73	11.9	79	6	-554.6	751	0.07	0.46
10	18.21	159	7.58	8.69	16.8	80	26	-531.1	749.7	0.08	0.34
11	18.74	158	7.41	8.61	11.2	79	10	-551.5	748.5	0.07	0.50
12	18.91	164	6.83	8.31	11.8	82	26	-489.5	747.5	0.08	0.51
13	19.01	141	6.96	8.41	12.7	71	24	-583.9	746.9	0.07	0.44
14	18.96	157	6.73	8.28	12.2	78	6	-514.7	746.6	0.07	0.47
15	18.99	164	6.79	8.34	13.3	82	10	-486.9	746.5	0.08	0.46
16	18.56	164	7.9	8.72	14.7	82	24	-476.9	747	0.08	0.41
17	19.05	160	7.61	8.63	12	80	24	-504.1	747.1	0.08	0.51
18	18.95	166	6.84	8.23	10.1	83	6	-474.6	747.3	0.08	0.54
19	18.81	164	6.85	8.18	9.67	82	18	-480.2	747.2	0.08	0.51
20	18.85	166	7.17	8.38	9.16	83	28	-475.9	747.3	0.08	0.57
21	19.08	165	7.7	8.68	9.74	83	10	-485.9	747.5	0.08	0.53
22	19.14	166	8.16	8.79	9.02	83	22	-469.5	747.5	0.08	0.58
23	19.02	164	7.26	8.08	8.77	82	6	-491.4	748.1	0.08	0.66
24	18.98	166	7.13	8	7.86	83	10	-469.6	748.4	0.08	0.70
25	18.96	166	6.96	8.22	9.07	83	24	-480.7	748.7	0.08	0.64
26	18.98	166	6.62	7.99	8.02	83	18	-472.4	748.3	0.08	0.64
27	18.96	165	7.25	8.36	7.33	83	6	-491.8	748.2	0.08	0.79
28	18.87	158	7.23	8.17	9.77	79	20	-511.8	747.5	0.07	0.59
29	18.89	161	7.44	8.36	7.77	80	4	-491.7	747	0.08	0.80
30	18.88	155	6.86	8.18	6.87	77	16	-516.5	746.2	0.07	0.83
31	18.97	158	6.76	8.18	7.85	79	14	-502.7	746	0.07	0.79

Tabla 3.6 Continuación.

Sitio	T [°C]	CE [μS/cm]	OD [mg/L]	pH	Turb [UTN]	SDT [mg/L]	SST [mg/L]	ORP [mV]	P. Atm. [mbar]	Salinidad [PSU]	PDS [m]
32	18.79	161	7.28	8.42	9.68	80	30	-479.4	745.9	0.08	0.71
33	18.9	156	6.83	8.15	7.1	78	6	-497.2	745.8	0.07	0.79
34	18.94	151	6.37	8.03	7.24	75	18	-524.5	745.7	0.07	0.81
35	18.86	154	6.74	8.15	7.57	77	8	-512.6	745.6	0.07	0.73
36	18.82	145	6.86	8.37	7.57	72	16	-546.9	745.3	0.07	0.66
37	18.98	138	6.86	8.35	7.23	69	18	-555.3	744.8	0.06	0.76
38	19.19	141	6.63	8.18	7.27	71	2	-550.7	744.4	0.07	0.74
39	19.26	149	6.55	8.22	6.97	75	20	-506	744.1	0.07	0.71
40	18.99	139	6.09	7.98	9.08	70	0	-576.9	743.8	0.07	0.65
41	19.2	155	6.42	8.05	8.59	77	6	-494.7	743.7	0.07	0.92
42	19.19	154	6.3	8.04	6.71	77	18	-501.3	743.7	0.07	0.88
43	19.08	156	6.4	8	6.81	78	12	-497.8	743.8	0.07	0.71
44	19.03	146	6.64	8.14	7	73	6	-535	743.5	0.07	0.83
45	18.86	161	7.09	7.99	7.34	81	16	-470.9	743.5	0.08	0.73

En la Figura 3.21 se presentan los resultados obtenidos para los seis sitios en los que se determinaron parámetros adicionales.



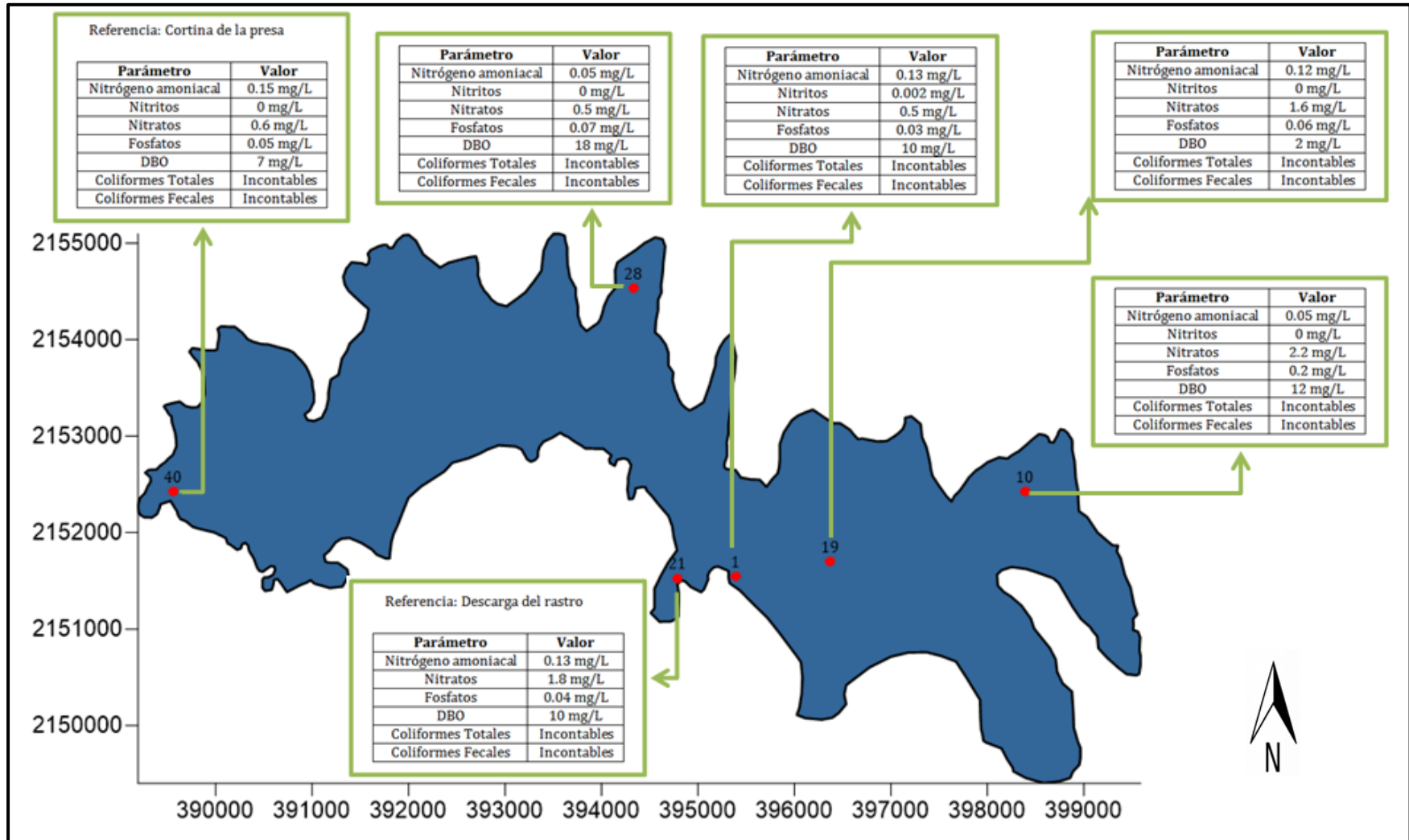


Figura 3.21 Resultados obtenidos para los seis puntos en los que se realizaron análisis adicionales.

## 3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA

## 3.4.2 Cálculo del ICA

Del mismo modo que para la primera campaña, el cálculo del ICA se dividió en dos partes: en la primera se consideraron seis parámetros para todos los sitios de muestreo, y en la segunda se consideraron 12 parámetros para los seis puntos en los que se recolectó un mayor volumen de muestra.

La Tabla 3.7 resume los resultados obtenidos para los 45 sitios de muestreo; mientras que la Figura 3.22 muestra los resultados de los seis puntos donde se realizaron análisis adicionales. El desglose para cada punto se encuentra en el Anexo A.

Tabla 3.7 Resumen de los valores del ICA para la segunda campaña y criterio de calidad para cada uso del agua.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA					Transporte de Desechos Tratados	Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación		
1	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
2	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
3	83	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
4	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
5	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.7 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
6	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
7	92	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	
8	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
9	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
10	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
11	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
12	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
13	88	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
14	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

## 3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA

Tabla 3.7 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
15	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
16	85	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
17	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
18	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
19	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
20	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
21	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	Descarga del rastro
22	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
23	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.7 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA					Transporte de Desechos Tratados	Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación		
24	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
25	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
26	88	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
27	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
28	88	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
29	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
30	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
31	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
32	86	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

## 3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL VASO DE LA PRESA VILLA VICTORIA

Tabla 3.7 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA						Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
33	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
34	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
35	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
36	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
37	89	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
38	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
39	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
40	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	Cortina de la presa
41	88	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

Tabla 3.7 Continuación.

Punto	ICA	Criterio General	USOS DEL AGUA					Transporte de Desechos Tratados	Información complementaria de referencia
			Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación		
42	87	Aceptable	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
43	88	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
44	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	
45	90	No contaminado	Ligera purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	Ligera purificación	Aceptable	Aceptable	

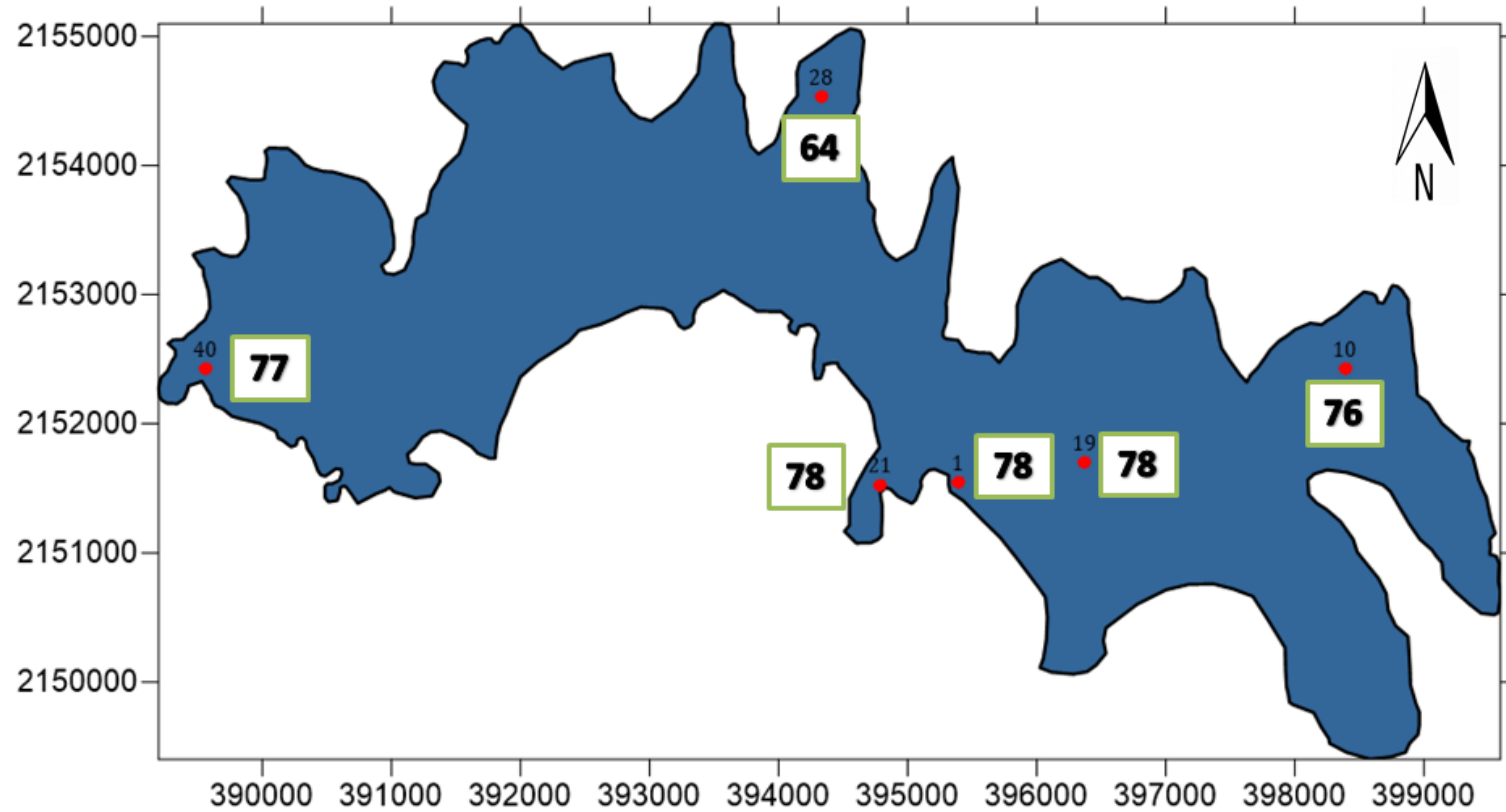


Figura 3.22 Valores del ICA para los seis sitios en los que se realizaron análisis adicionales.

### 3.4.3 Mapas de calidad del agua en el vaso de la presa Villa Victoria

En las Figuras 3.23 a 3.29 se observa la variación espacial de la concentración de siete de los parámetros determinados en los 45 sitios de muestreo.



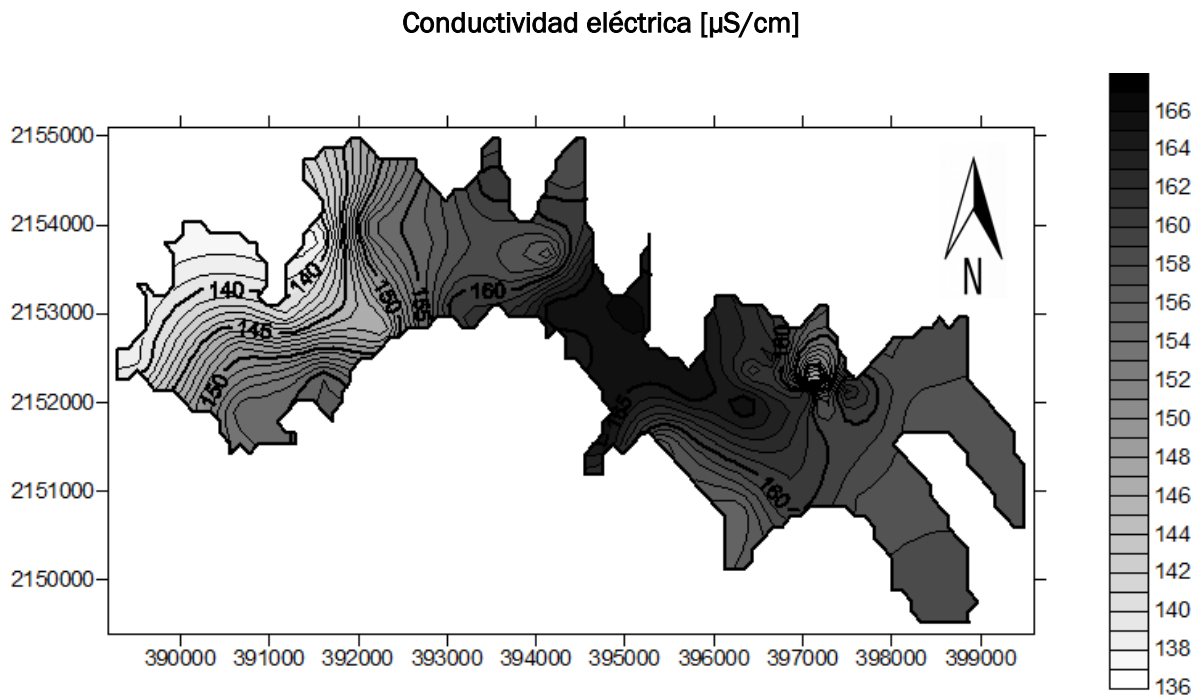


Figura 3.23 Distribución espacial de la conductividad eléctrica en la época de lluvias.

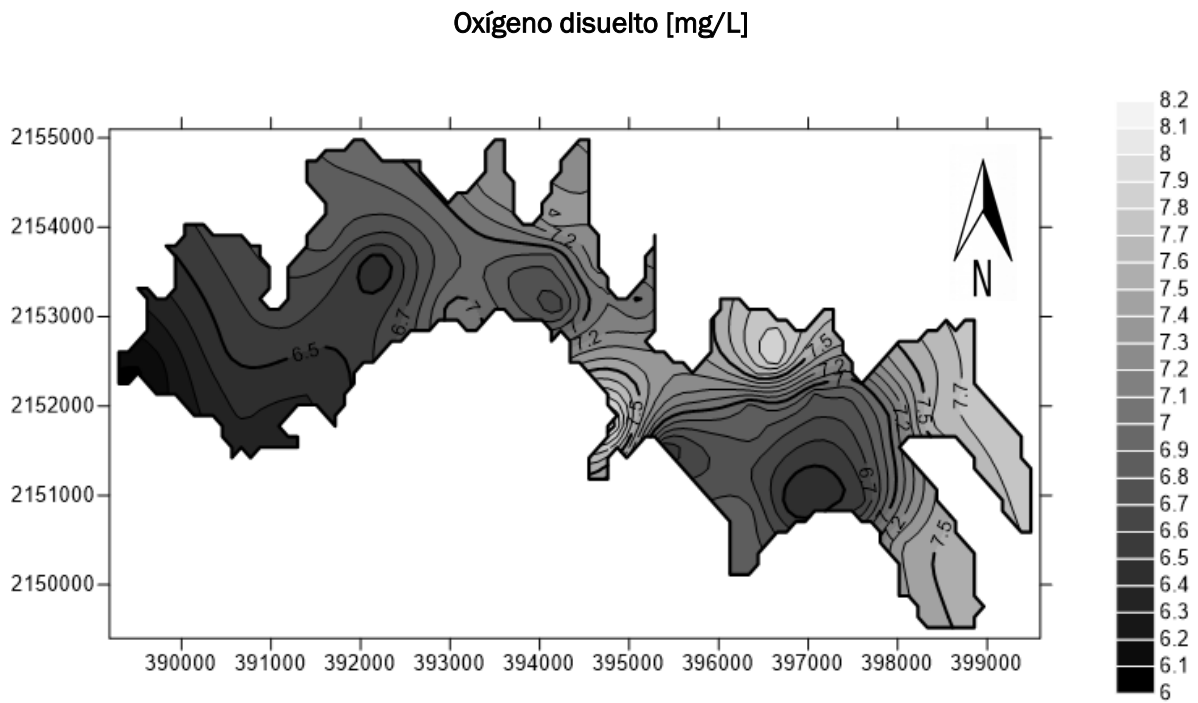


Figura 3.24 Distribución espacial del oxígeno disuelto en la época de lluvias.

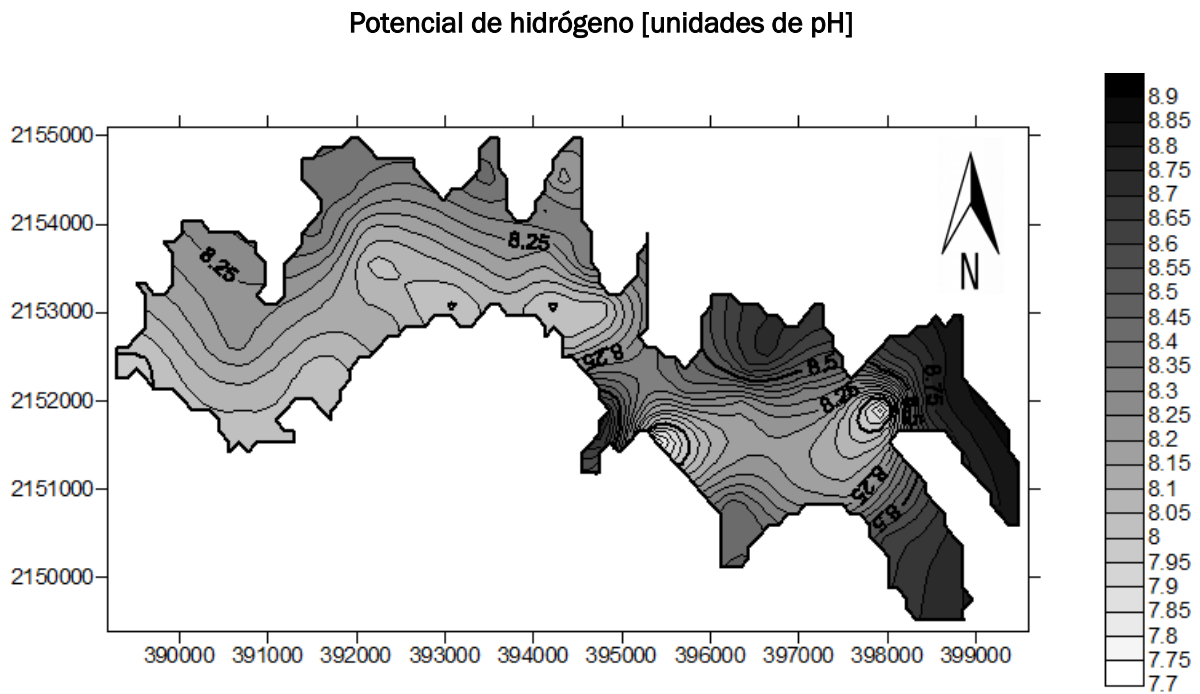


Figura 3.25 Distribución espacial del pH en la época de lluvias.

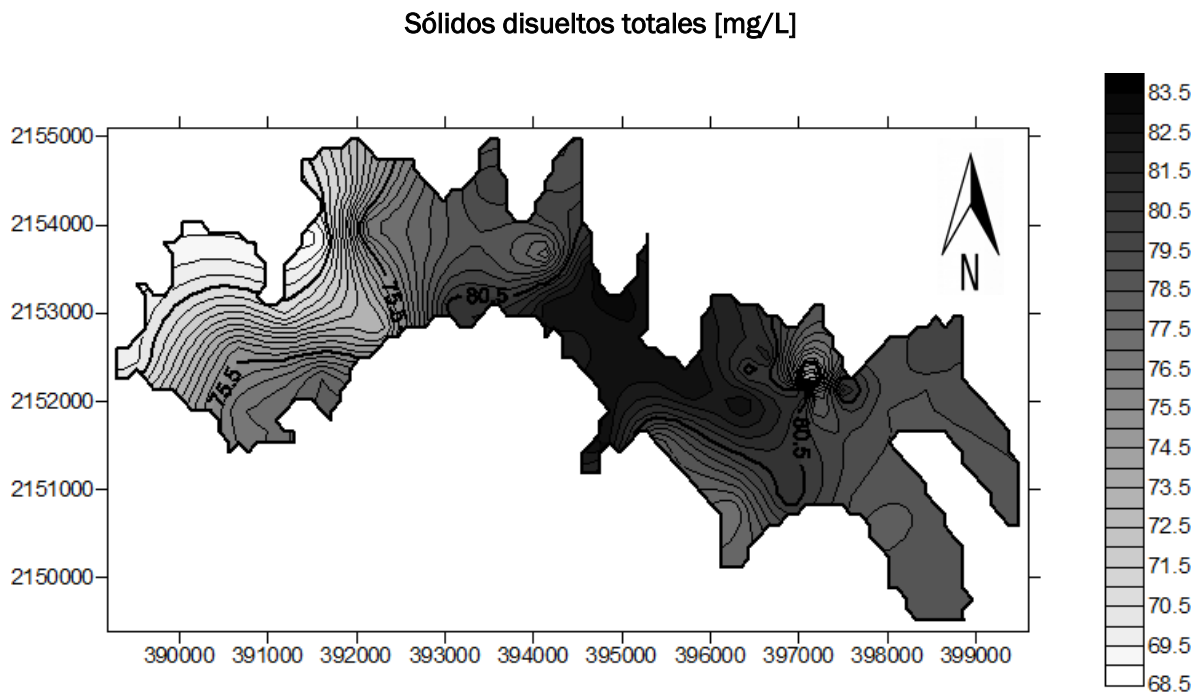


Figura 3.26 Distribución espacial de los sólidos disueltos totales en la época de lluvias.

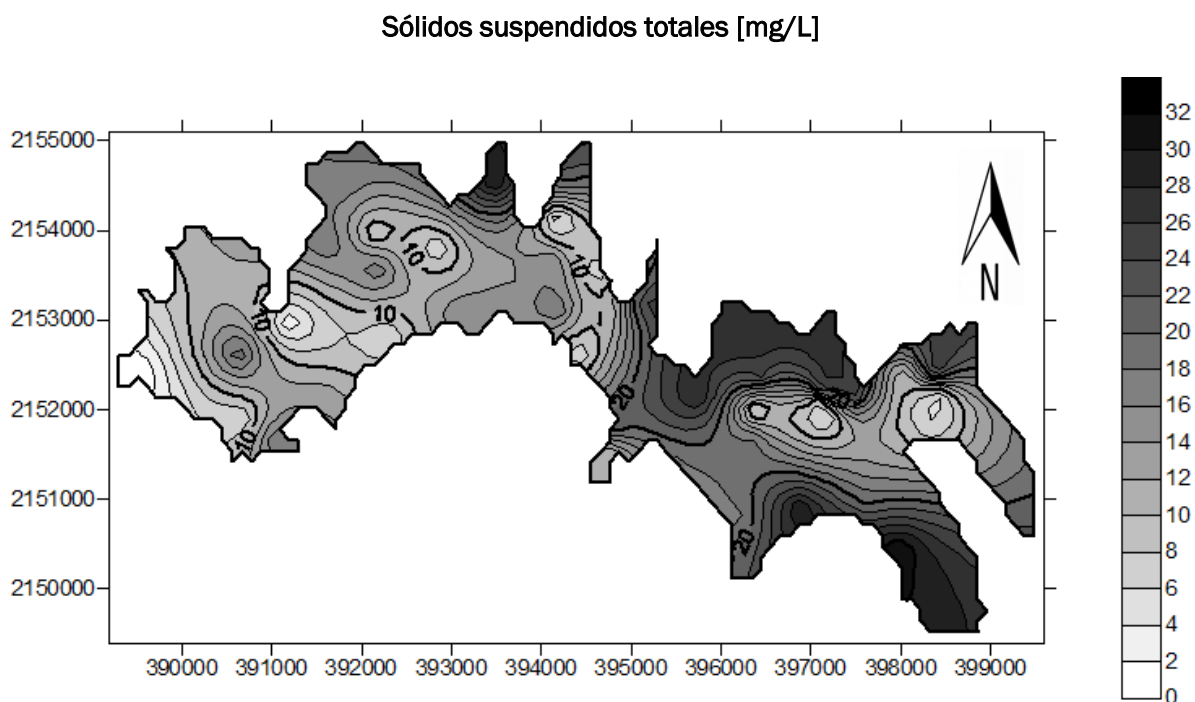


Figura 3.27 Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales en la época de lluvias.

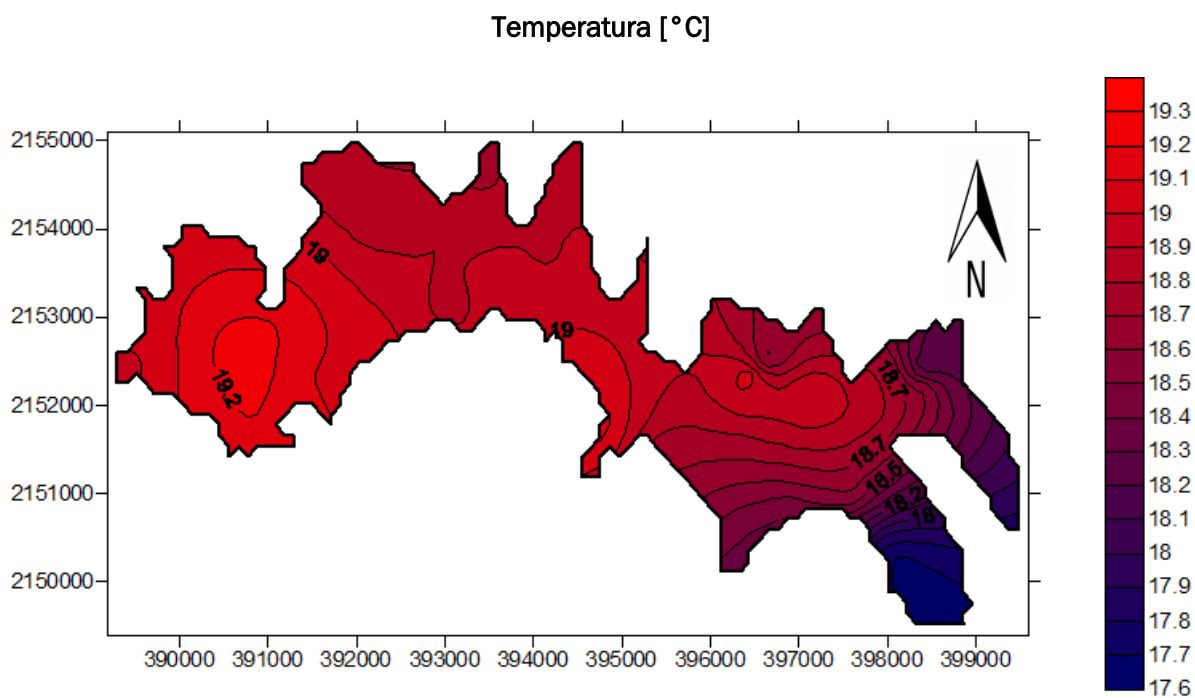


Figura 3.28 Distribución espacial de la temperatura en la época de lluvias.

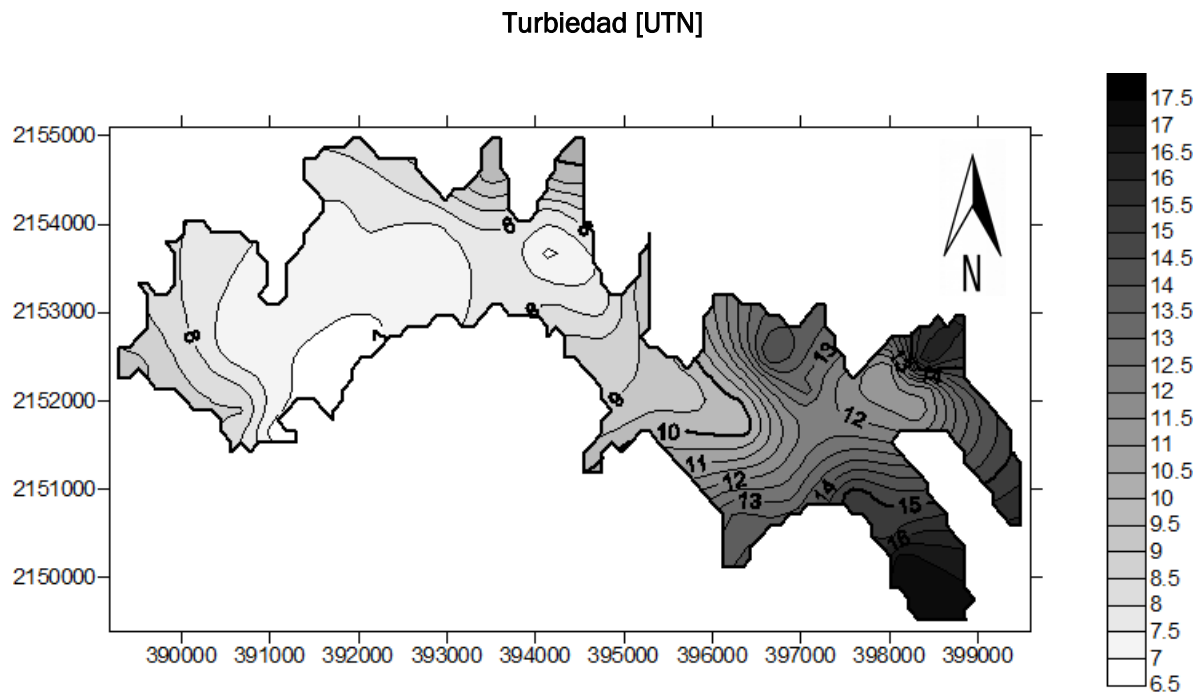


Figura 3.29 Distribución espacial de la turbiedad en la época de lluvias.

La Figura 3.30 presenta la variación espacial del ICA calculado para todos los sitios de muestreo.

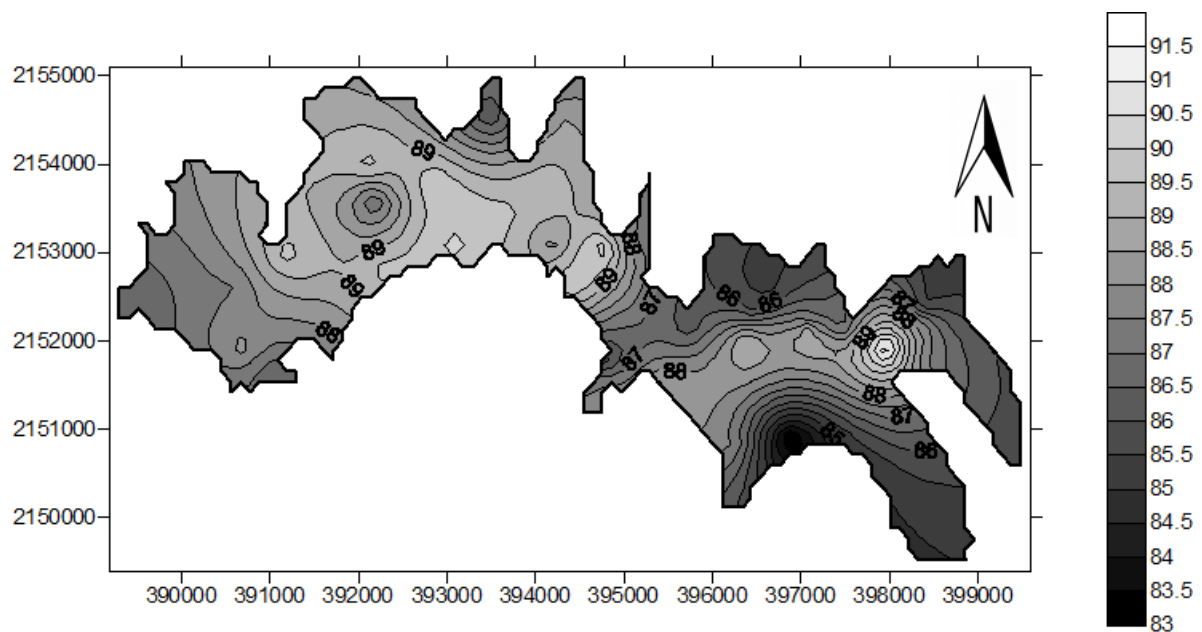


Figura 3.30 Distribución espacial del Índice de Calidad del Agua en la época de lluvias.

### 3.5 Diagnóstico de la calidad del agua

#### Por parámetro

##### Temperatura

La mínima temperatura se registró en la primera campaña de muestreo, correspondiente a la época de estiaje, y fue de 16.8°C; en esta época también se registró la temperatura máxima, que fue de 20.2°C. En la época de estiaje se observa una tendencia de disminución de la temperatura conforme la zona es más cercana a la cortina de la presa, lo cual no ocurre en la segunda campaña, en la que la temperatura es mucho más uniforme.

Cabe mencionar que, aunque la temperatura no es un parámetro que esté regulado por la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", es muy importante en la eficiencia de los procesos de tratamiento, incluyendo el de coagulación-floculación que se tiene en la planta potabilizadora Los Berros, en la cual se da tratamiento al agua proveniente de la presa Villa Victoria. Además, influye de manera significativa en el desarrollo de vida acuática.

##### pH

El valor de pH más elevado fue de 9.35, y se registró en la época de estiaje; en la segunda campaña de muestreo (realizada al inicio de la temporada de lluvias), se registró el valor mínimo, y fue de 7.7. En la segunda campaña (época de lluvias) se observa que una gran parte del embalse presentó valores que se encuentran dentro del ámbito establecido en la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"; siendo la zona cercana a la cortina la de mejor calidad, para ambas campañas. Los valores más elevados de pH se registraron en la zona cercana al muelle y en las zonas menos profundas de la presa.

##### Turbiedad

Para este parámetro, el máximo valor se registró en la época de lluvias, y fue de 17.5 UTN; mientras que el mínimo fue de 4.6 UTN y correspondió a la época de estiaje. Se observa una marcada diferencia de calidad entre la zona más profunda del embalse (cercana a la cortina) y las zonas de menor profundidad (cercanas al muelle), correspondiendo la mejor calidad a la primera.

En general, puede decirse que el agua no es muy turbia, pues incluso en la época de lluvias (cuando se espera tener los valores más elevados de turbiedad), se tienen valores que no representan problema en la potabilización de la planta de Los Berros.

##### Sólidos suspendidos totales

Para este parámetro, se observó una calidad bastante uniforme en el embalse. El máximo valor registrado fue de 36 mg/L, correspondiente a la época de estiaje; mientras que el mínimo valor obtenido fue de 0 mg/L (cortina de la presa), y se registró en la época de lluvias.

Las concentraciones obtenidas para SST son relativamente bajas y concuerdan con la baja turbiedad registrada; sin embargo, aun cuando en la segunda campaña la turbiedad se incrementó, los sólidos suspendidos presentaron menores concentraciones. Para las dos campañas de muestreo se observa que los valores más elevados de SST se encuentran en las zonas cercanas al muelle.

#### **Sólidos disueltos totales**

El valor más alto para este parámetro se registró en la época de lluvias, y fue de 83.5 mg/L, el cual fue muy similar al máximo para la época de estiaje (82.5 mg/L). En la época de lluvias se registró el mínimo valor, que fue de 68.5 mg/L. De lo anterior puede señalarse que los valores obtenidos están muy por debajo del límite máximo permisible que establece la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" para SDT, y que los valores más elevados se registraron en la parte central del embalse, así como en las zonas más someras. Sin embargo, los valores registrados no son del todo indicativos de que el agua no está contaminada, puesto que no se conoce la naturaleza de los compuestos en solución.

#### **Oxígeno disuelto**

En la época de lluvias se registró el máximo valor de OD, correspondiente a 8.2 mg/L; mientras que el mínimo fue de 5.4 mg/L, y se registró en la época de estiaje. Este parámetro no es significativo para el uso potable; sin embargo, para protección de vida acuática se esperaría que los valores de OD no fueran menores a 4 mg/L, concentración que se rebasó en todas las estaciones de muestreo para ambas campañas.

Para el caso de la primera campaña los valores mínimos se registraron en la región Sureste, y para la segunda campaña la región Noroeste (hacia la cortina de la presa) tuvo las concentraciones mínimas.

#### **Conductividad eléctrica**

Este parámetro es considerado como un análisis aproximado de la cantidad de SDT. En las campañas de muestreo realizadas en 2012, el valor máximo se obtuvo en la época de lluvias (166  $\mu$ S/cm), fue muy similar al máximo de la época de estiaje (165  $\mu$ S/cm); mientras que el valor mínimo de CE fue de 136  $\mu$ S/cm, y se registró en la época de lluvias. Esta situación es consistente con las concentraciones de las dos campañas para los SDT. Los valores más bajos se registraron cerca de la cortina de la presa, y los más elevados en la parte central y en las zonas menos profundas.

De acuerdo con la SARH (1979), conductividades menores a 250  $\mu$ S/cm son indicativas de un cuerpo de agua de excelente calidad.

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

El máximo valor obtenido fue de 32 mg/L, correspondiente a la época de estiaje; el valor mínimo se obtuvo en la época de lluvias y fue de 2 mg/L. El valor máximo para la época de

lluvias fue de 18 mg/L, y se registró en el mismo sitio de muestreo que el máximo de la época de estiaje.

Aunque este parámetro no se encuentra regulado por la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", es importante conocerlo para tener una idea de qué tanta materia orgánica hay en el agua y así poder decidir si es recomendable realizar una pre-cloración, como es el caso de la planta potabilizadora Los Berros.

#### **Fosfatos (como PO<sub>4</sub>)**

Para el caso de los Fosfatos, el valor máximo se registró en la época de lluvias (0.20 mg/L), y el mínimo en la época de estiaje (0.02 mg/L). Para ambas campañas de muestreo, la concentración más baja se presentó en la descarga de aguas residuales cercana al muelle. Aunque este parámetro no está regulado en la norma para agua potable, está asociado a la presencia de detergentes y de fertilizantes, y a la descarga de aguas residuales domésticas y de retorno agrícola. Una concentración elevada de Fosfatos propiciaría un crecimiento acelerado de organismos fotosintéticos, que podrían provocar que el embalse se eutrofique.

De acuerdo con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEMARNAT, 1989), para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutroficación acelerada en un embalse, los fosfatos no deben exceder de 0.025 mg/L; lo anterior muestra que en la presa Villa Victoria las concentraciones de Fosfatos son demasiado altas. Además, en el documento referido se establece que, para aguas que se emplean como fuente de abastecimiento de agua potable, la concentración de Fosfatos no debe exceder de 0.1 mg/L; este límite máximo es rebasado en varias zonas del embalse.

Se observa que en el vaso de la presa Villa Victoria la alta concentración de Fosfatos está relacionada principalmente con la actividad agrícola, y que por tener agricultura de temporal se incrementa significativamente su concentración en la época de lluvias, debido al arrastre de nutrientes del suelo.

#### **Nitrógeno Amoniacal**

El valor máximo de Nitrógeno Amoniacal fue de 0.15 mg/L, y coincidió tanto para la época de lluvias como para la de estiaje. El mínimo se registró en la época de estiaje y fue de 0 mg/L. La presencia de Nitrógeno Amoniacal en el agua se asocia principalmente con la presencia de orina y heces fecales, debido a lo cual representa un peligro para la salud, aunque también puede encontrarse de forma natural.

De acuerdo con la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", el límite máximo permisible para este parámetro es 0.5 mg/L, por lo que las concentraciones registradas en el embalse son aceptables; sin embargo, en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEMARNAT, 1989), se establece que para protección de la vida acuática la concentración de Nitrógeno Amoniacal no debe exceder de

0.06 mg/L, por lo cual es evidente que las altas concentraciones reportadas representan un peligro para la fauna del embalse.

Debido a que en la cuenca Villa Victoria- San José del Rincón hay un rezago de hasta el 100% en el servicio de drenaje de las comunidades, algunos pobladores tienen letrinas y en pocos casos fosas sépticas, y que inclusive existen comunidades en las que existe la práctica de defecar al aire libre, la alta concentración de Nitrógeno Amoniacal en el vaso de la presa Villa Victoria se incrementa en la época de lluvias debido al arrastre de orina y materia fecal presentes en el suelo.

#### **Nitritos**

El análisis para determinar la concentración de nitritos en el agua se realizó únicamente para 3 puntos durante la época de estiaje, y para 6 puntos en la época de lluvias. De los sitios analizados, la concentración mayor fue de 0.003 mg/L (correspondiente a la época de lluvias) y la menor de 0 mg/L (registrada en 5 puntos durante la época de lluvias). Lo anterior indica que prácticamente todo el nitrógeno presente se ha oxidado a nitratos. Ninguna de las concentraciones de nitritos registrada rebasa el límite máximo permisible establecido en la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" de 0.05 mg/L, ni la recomendación de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEMARNAT, 1989), que es igualmente de 0.05 mg/L para agua empleada como fuente de abastecimiento.

#### **Nitratos**

En las campañas de muestreo realizadas en 2012 se obtuvo como valor máximo una concentración de 2.7 mg/L, la cual se registró en la época de estiaje; el valor mínimo correspondió a la época de lluvias y fue de 0.5 mg/L. Cabe mencionar que la concentración más alta correspondió a la muestra de agua tomada cerca de la descarga del rastro.

El límite máximo permisible establecido en la normatividad vigente para este parámetro es de 10 mg/L, por lo que las concentraciones registradas para las dos campañas no lo exceden. De igual forma, no se excede la concentración máxima recomendada en el documento Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEMARNAT, 1989), para agua que es utilizada como fuente de abastecimiento, la cual es de 5 mg/L.

#### **Coliformes totales y fecales**

En la campañas de muestreo realizadas en abril (época de estiaje) y junio (época de lluvias), la determinación de CT y CF arrojó que para todas las estaciones de muestreo hay más de 30 UFC/100 ml, por lo cual se tienen concentraciones incontables. Estos resultados indican evidente contaminación debido a los desechos humanos y animales y las descargas de aguas residuales domésticas. Rebasan por mucho los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" y los Criterios Ecológicos



de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (SEMARNAT, 1989) para agua utilizada como fuente de abastecimiento y protección de vida acuática.

#### **Índice de calidad del agua**

El ICA calculado para cada estación de muestreo, en ambas campañas, muestra que el embalse tiene una calidad aceptable en términos generales. Para fines de abastecimiento público el agua requiere ligera purificación, mientras que para pesca y vida acuática es aceptable para todos los organismos; estos son los dos principales usos del agua del embalse.

Realizando un análisis temporal, con base en los mapas de calidad mostrados en las secciones 3.3.3 y 3.4.3, es importante mencionar que se observa una mejor calidad en términos generales en la época de lluvias, aunque el máximo valor del ICA se obtuvo en la época de estiaje (93). El rango de valores para la época de lluvias oscila entre 83 y 91.5, indicando una calidad aceptable en todo el embalse.

En cuanto a la distribución espacial, es evidente que la zona de mejor calidad es aquella que se encuentra cercana a la cortina, y hacia la región Noreste del embalse se presenta una disminución en los valores del ICA, que alcanzan sus valores mínimos en las partes menos profundas del embalse.

Para los 13 puntos en los cuales se determinaron 12 parámetros (siete puntos en la primera campaña y seis en la segunda), el ICA disminuyó considerablemente, con un promedio de 68. Este valor corresponde al rango de agua poco contaminada, con respecto al criterio general; mayor necesidad de tratamiento para abastecimiento público y aceptable para pesca y vida acuática (excepto especies muy sensibles). El hecho de haber considerado más parámetros que para los demás puntos nos proporciona un diagnóstico más representativo de la situación real del embalse, en cuanto a calidad del agua se refiere.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Con respecto al objetivo general, con el Índice de Calidad del Agua se determinó que en general el embalse de la presa Villa Victoria presenta condiciones aceptables de calidad; no obstante, debe considerarse la urgente necesidad de proteger esta importante fuente de abastecimiento, cuya calidad tenderá a deteriorarse de no tomarse medidas al respecto.
2. La baja cobertura en el sistema de agua potable y alcantarillado ha ocasionado deterioro considerable en la calidad del agua del embalse, pues el aporte de desechos humanos además de los de animales se hacen evidentes por los resultados de los parámetros microbiológicos y del Nitrógeno Amoniacal.
3. La alta tasa de erosión contribuye al incremento en los sedimentos y la cantidad de materia orgánica (reflejada en los resultados nutrientes y de  $DBO_5$ ), lo cual representa un grave problema si se toma en cuenta que en la planta potabilizadora Los Berros la cloración es previa al tratamiento de coagulación-floculación, y por lo tanto podrían formarse trihalometanos.
4. El empleo de fertilizantes y pesticidas en los alrededores del embalse constituye un aporte importante de nutrientes (elevadas concentraciones de Fosfatos), que de no controlarse, contribuirán a acelerar su eutroficación.
5. La preservación de la vida acuática del lugar no sólo constituye una forma de proteger el medio ambiente, sino también una fuente de ingresos para los habitantes del municipio de Villa Victoria, que tienen entre sus actividades económicas principales la pesca.

### Recomendaciones

1. Realizar un análisis más detallado, que incluya la determinación de las Sustancias Activas al Azul de Metileno, pues se sabe que algunos de los pobladores lavan su ropa en las orillas del embalse, por lo cual es conveniente conocer la concentración de detergentes. Además, sería importante analizar la presencia de plaguicidas y pesticidas, que son compuestos muy utilizados en los alrededores del embalse.
2. Incrementar las coberturas en abastecimiento de agua potable, alcantarillado y tratamiento como medida de mitigación y control de la calidad del agua. Las inversiones económicas para el tratamiento pueden guiarse hacia la atención de las fuentes de contaminación más significativas.
3. Es importante llevar a cabo la ejecución de los planes que promueven el mejoramiento de la cuenca en cuanto a reforestación, infraestructura y en general todos aquellos aspectos que

puedan incidir en la calidad del agua, ya que hasta ahora se limitan a estudios y recomendaciones.

4. Retomar los estudios de calidad del agua que se han realizado en el embalse de la presa Villa Victoria (aunque sean escasos), pues de esta forma se puede analizar la variación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para diferentes años; además de que esto brinda la oportunidad de mejorar la planeación de los muestreos. Es deseable también el monitoreo continuo del embalse dada su importancia como fuente de abastecimiento.

# ANEXO A. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Resultados del ICA para cada estación de muestreo de las dos campañas.

Como se mencionó en la sección 2.1.4, para la evaluación de la calidad del agua del vaso de la presa Villa Victoria se empleó el Índice de Calidad del Agua. Al respecto es importante mencionar lo siguiente:

- a) Para el caso de los CT y CF, la unidad que debe emplearse es NMP/ml; sin embargo, como se empleó la técnica de filtro de membrana estos parámetros se obtuvieron en una unidad diferente (UFC/100 ml). Por esta razón –y considerando que no existe una forma de convertir de NMP a UFC –se utilizaron los valores de UFC/ml como equivalentes a NMP/ml, para fines prácticos.
- b) En la técnica de filtro de membrana se empleó una dilución al 1%, a pesar de lo cual los valores de CT y CF resultaron incontables. Para realizar el cálculo del ICA se decidió utilizar el valor de referencia de 30 UFC/100 ml; no obstante, debía considerarse el porcentaje de dilución (dividir entre 0.01), por lo que el valor utilizado fue 30 UFC/ml.
- c) Los valores de turbiedad se obtuvieron en UTN, por lo que para el cálculo del ICA se realizó la conversión a UTJ, multiplicando por 19 los valores obtenidos.

Las Tablas A.1-A.92 presentan el desglose del cálculo del ICA para cada estación de muestreo.

## Primera campaña de muestreo (época de estiaje)

Tabla A.1 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.96	mg/L	5	84.80	17.79	7.03	424.00
Conductividad eléctrica	CE	157	μS/cm	2	79.46			158.92
Potencial de hidrógeno	pH	8.75	Unidades de ph	1	45.32			45.32
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	122.55	UTJ	0.5	45.89			22.94
<b>ICA</b>								<b>80.12</b>

Tabla A.2 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 2.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.76	mg/L	5	81.40	17.79	7.08	407.00
Conductividad eléctrica	CE	151	μS/cm	2	80.64			161.28
Potencial de hidrógeno	pH	8.67	Unidades de ph	1	47.83			47.83
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	75	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	134.71	UTJ	0.5	45.12			22.56
<b>ICA</b>								<b>77.66</b>

Tabla A.3 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 3.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.41	mg/L	5	75.70	17.33	7.15	378.50
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.67	Unidades de ph	1	47.83			47.83
Sólidos suspendidos totales	SST	12	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	178.98	UTJ	0.5	42.90			21.45
							<b>ICA</b>	<b>75.56</b>

Tabla A.4 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 4.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.91	mg/L	5	84.70	18.58	6.98	423.50
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	9.03	Unidades de ph	1	37.52			37.52
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	174.04	UTJ	0.5	43.11			21.56
							<b>ICA</b>	<b>78.96</b>

Tabla A.5 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 5.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.89	mg/L	5	85.30	19.06	6.91	426.50
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	8.93	Unidades de ph	1	40.13			40.13
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	143.83	UTJ	0.5	44.60			22.30
							<b>ICA</b>	<b>79.60</b>

Tabla A.6 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 6.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.84	mg/L	5	84.10	18.83	6.94	420.50
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.88	Unidades de ph	1	41.51			41.51
Sólidos suspendidos totales	SST	28	mg/L	1	77.67			77.67
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	138.13	UTJ	0.5	44.92			22.46
							<b>ICA</b>	<b>76.96</b>



Tabla A.7 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 7.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.91	mg/L	5	85.80	19.28	6.89	429.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.89	Unidades de ph	1	41.23			41.23
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	128.63	UTJ	0.5	45.49			22.75
							<b>ICA</b>	<b>79.19</b>

Tabla A.8 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 8.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.08	mg/L	5	88.50	19.46	6.87	442.50
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Potencial de hidrógeno	pH	8.99	Unidades de ph	1	38.54			38.54
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	133.19	UTJ	0.5	45.21			22.61
							<b>ICA</b>	<b>80.33</b>

Tabla A.9 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 9.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.26	mg/L	5	90.50	19.12	6.92	452.50
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	9.02	Unidades de ph	1	37.77			37.77
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	130.53	UTJ	0.5	45.38			22.69
<b>ICA</b>								<b>82.00</b>

Tabla A.10 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.02	mg/L	5	87.80	20.03	6.86	439.00
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.99	Unidades de ph	1	38.54			38.54
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	133.57	UTJ	0.5	45.19			22.60
<b>ICA</b>								<b>79.79</b>

Tabla A.11 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 11.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.8	mg/L	5	85.70	20.03	6.77	428.50
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.96	Unidades de ph	1	39.33			39.33
Sólidos suspendidos totales	SST	32	mg/L	1	73.93			73.93
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	128.63	UTJ	0.5	45.49			22.75
							<b>ICA</b>	<b>77.08</b>

Tabla A.12 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 12.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.07	mg/L	5	89.50	19.96	6.78	447.50
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	9.04	Unidades de ph	1	37.26			37.26
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	122.17	UTJ	0.5	45.91			22.96
							<b>ICA</b>	<b>81.55</b>

Tabla A.13 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 13.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.12	mg/L	5	90.00	19.69	6.80	450.00
Conductividad eléctrica	CE	163	μS/cm	2	78.34			156.68
Potencial de hidrógeno	pH	9	Unidades de ph	1	38.28			38.28
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	126.16	UTJ	0.5	45.65			22.83
							<b>ICA</b>	<b>81.78</b>

Tabla A.14 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 14.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.34	mg/L	5	93.40	19.74	6.79	467.00
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Potencial de hidrógeno	pH	9.15	Unidades de ph	1	34.60			34.60
Sólidos suspendidos totales	SST	12	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	140.6	UTJ	0.5	44.78			22.39
							<b>ICA</b>	<b>83.25</b>

Tabla A.15 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 15.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.41	mg/L	5	94.70	19.91	6.77	473.50
Conductividad eléctrica	CE	162	µS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	9.05	Unidades de ph	1	37.01			37.01
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	135.47	UTJ	0.5	45.08			22.54
							<b>ICA</b>	<b>84.01</b>

Tabla A.16 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 16.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.34	mg/L	5	93.70	19.91	6.77	468.50
Conductividad eléctrica	CE	162	µS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	9.01	Unidades de ph	1	38.03			38.03
Sólidos suspendidos totales	SST	4	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	131.86	UTJ	0.5	45.29			22.65
							<b>ICA</b>	<b>83.62</b>

Tabla A.17 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 17.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.4	mg/L	5	94.10	19.66	6.80	470.50
Conductividad eléctrica	CE	155	μS/cm	2	79.85			159.69
Potencial de hidrógeno	pH	8.97	Unidades de ph	1	39.07			39.07
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	134.71	UTJ	0.5	45.12			22.56
							<b>ICA</b>	<b>84.18</b>

Tabla A.18 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 18.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.36	mg/L	5	94.60	20.18	6.72	473.00
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	9.08	Unidades de ph	1	36.27			36.27
Sólidos suspendidos totales	SST	38	mg/L	1	69.37			69.37
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	137.75	UTJ	0.5	44.94			22.47
							<b>ICA</b>	<b>80.82</b>

Tabla A.19 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.82	mg/L	5	100.00	19.98	6.76	500.00
Conductividad eléctrica	CE	155	μS/cm	2	79.85			159.69
Potencial de hidrógeno	pH	8.96	Unidades de ph	1	39.33			39.33
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	139.65	UTJ	0.5	44.83			22.42
							<b>ICA</b>	<b>86.70</b>

Tabla A.20 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 20.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.8	mg/L	5	100.00	19.98	6.79	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	9.41	Unidades de ph	1	29.03			29.03
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	144.4	UTJ	0.5	44.57			22.28
							<b>ICA</b>	<b>85.43</b>

Tabla A.21 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 21.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.78	mg/L	5	99.30	19.33	6.83	496.50
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	8.97	Unidades de ph	1	39.07			39.07
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	159.03	UTJ	0.5	43.81			21.90
							<b>ICA</b>	<b>86.00</b>

Tabla A.22 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 22.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.77	mg/L	5	100.00	20.24	6.70	500.00
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	8.97	Unidades de ph	1	39.07			39.07
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	132.05	UTJ	0.5	45.28			22.64
							<b>ICA</b>	<b>86.87</b>



Tabla A.23 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 23.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.96	mg/L	5	100.00	19.97	6.74	500.00
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	8.93	Unidades de ph	1	40.13			40.13
Sólidos suspendidos totales	SST	4	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	115.71	UTJ	0.5	46.36			23.18
							<b>ICA</b>	<b>87.04</b>

Tabla A.24 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 24.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.89	mg/L	5	100.00	19.45	6.77	500.00
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	8.93	Unidades de ph	1	40.13			40.13
Sólidos suspendidos totales	SST	4	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	114.95	UTJ	0.5	46.41			23.21
							<b>ICA</b>	<b>87.04</b>

Tabla A.25 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 25.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.15	mg/L	5	100.00	19.39	6.77	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.93	Unidades de ph	1	40.13			40.13
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	96.9	UTJ	0.5	47.85			23.92
							<b>ICA</b>	<b>86.70</b>

Tabla A.26 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 26.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.19	mg/L	5	100.00	18.56	6.82	500.00
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.84	Unidades de ph	1	42.65			42.65
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	141.17	UTJ	0.5	44.75			22.37
							<b>ICA</b>	<b>86.83</b>

Tabla A.27 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 27.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.04	mg/L	5	100.00	18.56	6.88	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.83	Unidades de ph	1	42.93			42.93
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	107.16	UTJ	0.5	47.00			23.50
							<b>ICA</b>	<b>87.38</b>

Tabla A.28 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 28.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.2	mg/L	5	100.00	18.91	6.84	500.00
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.95	Unidades de ph	1	39.60			39.60
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	99.37	UTJ	0.5	47.63			23.82
							<b>ICA</b>	<b>87.12</b>

Tabla A.29 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 29.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.89	mg/L	5	100.00	18.93	6.84	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.73	Unidades de ph	1	45.93			45.93
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	101.65	UTJ	0.5	47.44			23.72
							<b>ICA</b>	<b>87.71</b>

Tabla A.30 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 30.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.36	mg/L	5	100.00	18.68	6.87	500.00
Conductividad eléctrica	CE	162	μS/cm	2	78.52			157.04
Potencial de hidrógeno	pH	8.87	Unidades de ph	1	41.79			41.79
Sólidos suspendidos totales	SST	4	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	100.89	UTJ	0.5	47.50			23.75
							<b>ICA</b>	<b>87.26</b>

Tabla A.31 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 31.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.2	mg/L	5	100.00	18.63	6.88	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.85	Unidades de ph	1	42.36			42.36
Sólidos suspendidos totales	SST	4	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	110.2	UTJ	0.5	46.76			23.38
							<b>ICA</b>	<b>87.32</b>

Tabla A.32 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 32.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.17	mg/L	5	100.00	18.66	6.87	500.00
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.79	Unidades de ph	1	44.11			44.11
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	136.8	UTJ	0.5	45.00			22.50
							<b>ICA</b>	<b>87.44</b>

Tabla A.33 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 33.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.04	mg/L	5	100.00	18.67	6.86	500.00
Conductividad eléctrica	CE	154	µS/cm	2	80.04			160.09
Potencial de hidrógeno	pH	8.73	Unidades de ph	1	45.93			45.93
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	104.69	UTJ	0.5	47.19			23.60
							<b>ICA</b>	<b>87.96</b>

Tabla A.34 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 34.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.05	mg/L	5	100.00	18.33	6.92	500.00
Conductividad eléctrica	CE	152	µS/cm	2	80.44			160.88
Potencial de hidrógeno	pH	8.78	Unidades de ph	1	44.41			44.41
Sólidos suspendidos totales	SST	2	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	76	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	110.58	UTJ	0.5	46.74			23.37
							<b>ICA</b>	<b>87.87</b>

Tabla A.35 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 35.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.02	mg/L	5	100.00	18.24	6.93	500.00
Conductividad eléctrica	CE	146	μS/cm	2	81.68			163.36
Potencial de hidrógeno	pH	8.75	Unidades de ph	1	45.32			45.32
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	73	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	104.12	UTJ	0.5	47.24			23.62
							<b>ICA</b>	<b>88.23</b>

Tabla A.36 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 36.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.94	mg/L	5	99.60	17.98	6.97	498.00
Conductividad eléctrica	CE	153	μS/cm	2	80.24			160.48
Potencial de hidrógeno	pH	8.69	Unidades de ph	1	47.19			47.19
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	111.34	UTJ	0.5	46.68			23.34
							<b>ICA</b>	<b>87.45</b>

Tabla A.37 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 37.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.29	mg/L	5	100.00	18.39	6.91	500.00
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.82	Unidades de ph	1	43.23			43.23
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	111.91	UTJ	0.5	46.64			23.32
							<b>ICA</b>	<b>87.58</b>

Tabla A.38 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 38.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.61	mg/L	5	94.10	17.63	7.02	470.50
Conductividad eléctrica	CE	153	μS/cm	2	80.24			160.48
Potencial de hidrógeno	pH	8.59	Unidades de ph	1	50.48			50.48
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	110.58	UTJ	0.5	46.74			23.37
							<b>ICA</b>	<b>85.48</b>



Tabla A.39 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 39.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7	mg/L	5	100.00	18.24	6.93	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	7	Unidades de ph	1	100.00			100.00
Sólidos suspendidos totales	SST	2	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	105.45	UTJ	0.5	47.13			23.57
							<b>ICA</b>	<b>93.10</b>

Tabla A.40 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 40.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.11	mg/L	5	100.00	17.53	7.05	500.00
Conductividad eléctrica	CE	157	μS/cm	2	79.46			158.92
Potencial de hidrógeno	pH	8.68	Unidades de ph	1	47.51			47.51
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	115.71	UTJ	0.5	46.36			23.18
							<b>ICA</b>	<b>87.96</b>

Tabla A.41 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 41.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.94	mg/L	5	98.40	17.53	7.05	492.00
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Potencial de hidrógeno	pH	8.49	Unidades de ph	1	54.00			54.00
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	116.09	UTJ	0.5	46.33			23.17
							<b>ICA</b>	<b>87.73</b>

Tabla A.42 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 42.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.51	mg/L	5	91.10	17.09	7.15	455.50
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.29	Unidades de ph	1	61.81			61.81
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	117.61	UTJ	0.5	46.23			23.11
							<b>ICA</b>	<b>83.77</b>

Tabla A.43 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 43.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.76	mg/L	5	95.20	17.09	7.10	476.00
Conductividad eléctrica	CE	154	μS/cm	2	80.04			160.09
Potencial de hidrógeno	pH	8.54	Unidades de ph	1	52.21			52.21
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	104.5	UTJ	0.5	47.21			23.60
							<b>ICA</b>	<b>86.19</b>

Tabla A.44 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 44.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7	mg/L	5	100.00	18.76	6.85	500.00
Conductividad eléctrica	CE	152	μS/cm	2	80.44			160.88
Potencial de hidrógeno	pH	8.77	Unidades de ph	1	44.71			44.71
Sólidos suspendidos totales	SST	2	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	76	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	89.87	UTJ	0.5	48.49			24.25
							<b>ICA</b>	<b>87.98</b>

Tabla A.45 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 45.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.76	mg/L	5	96.30	17.55	7.02	481.50
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Potencial de hidrógeno	pH	8.41	Unidades de ph	1	57.00			57.00
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	105.45	UTJ	0.5	47.13			23.57
							<b>ICA</b>	<b>87.02</b>

Tabla A.46 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 46.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.94	mg/L	5	99.70	17.88	6.96	498.50
Conductividad eléctrica	CE	154	μS/cm	2	80.04			160.09
Potencial de hidrógeno	pH	8.6	Unidades de ph	1	50.14			50.14
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	104.31	UTJ	0.5	47.22			23.61
							<b>ICA</b>	<b>88.23</b>

Tabla A.47 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 47.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.62	mg/L	5	95.10	17.86	6.96	475.50
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.69	Unidades de ph	1	47.19			47.19
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	120.84	UTJ	0.5	46.00			23.00
<b>ICA</b>								<b>85.35</b>

## Segunda campaña de muestreo (época de lluvias)

Tabla A.48 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.51	mg/L	5	94.80	18.49	6.87	474.00
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Potencial de hidrógeno	pH	7.74	Unidades de ph	1	89.57			89.57
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	197.6	UTJ	0.5	42.15			21.07
<b>ICA</b>								<b>88.54</b>

Tabla A.49 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 2.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.9	mg/L	5	99.50	18.49	6.93	497.50
Conductividad eléctrica	CE	155	μS/cm	2	79.85			159.69
Potencial de hidrógeno	pH	8.46	Unidades de ph	1	55.11			55.11
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	256.5	UTJ	0.5	40.24			20.12
							<b>ICA</b>	<b>87.39</b>

Tabla A.50 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 3.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.39	mg/L	5	92.20	18.47	6.93	461.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.23	Unidades de ph	1	64.36			64.36
Sólidos suspendidos totales	SST	30	mg/L	1	75.71			75.71
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	243.2	UTJ	0.5	40.62			20.31
							<b>ICA</b>	<b>82.88</b>

Tabla A.51 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 4.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.55	mg/L	5	94.70	18.57	6.92	473.50
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Potencial de hidrógeno	pH	8.19	Unidades de ph	1	66.12			66.12
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	292.6	UTJ	0.5	39.30			19.65
							<b>ICA</b>	<b>85.58</b>

Tabla A.52 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 5.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.38	mg/L	5	100.00	17.82	7.02	500.00
Conductividad eléctrica	CE	157	μS/cm	2	79.46			158.92
Potencial de hidrógeno	pH	8.62	Unidades de ph	1	49.47			49.47
Sólidos suspendidos totales	SST	32	mg/L	1	73.93			73.93
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	290.7	UTJ	0.5	39.35			19.67
							<b>ICA</b>	<b>85.20</b>

Tabla A.53 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 6.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.44	mg/L	5	100.00	17.67	7.06	500.00
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Potencial de hidrógeno	pH	8.65	Unidades de ph	1	48.48			48.48
Sólidos suspendidos totales	SST	30	mg/L	1	75.71			75.71
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	328.7	UTJ	0.5	38.50			19.25
							<b>ICA</b>	<b>85.16</b>

Tabla A.54 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 7.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.05	mg/L	5	100.00	18.81	6.92	500.00
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Potencial de hidrógeno	pH	7.79	Unidades de ph	1	86.60			86.60
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	218.5	UTJ	0.5	41.40			20.70
							<b>ICA</b>	<b>91.55</b>



Tabla A.55 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 8.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.62	mg/L	5	100.00	18.61	6.89	500.00
Conductividad eléctrica	CE	157	μS/cm	2	79.46			158.92
Potencial de hidrógeno	pH	8.67	Unidades de ph	1	47.83			47.83
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	214.7	UTJ	0.5	41.53			20.76
							<b>ICA</b>	<b>87.75</b>

Tabla A.56 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 9.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.59	mg/L	5	100.00	18.59	6.88	500.00
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Potencial de hidrógeno	pH	8.73	Unidades de ph	1	45.93			45.93
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	226.1	UTJ	0.5	41.15			20.57
							<b>ICA</b>	<b>87.50</b>

Tabla A.57 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.58	mg/L	5	100.00	18.74	6.92	500.00
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Potencial de hidrógeno	pH	8.69	Unidades de ph	1	47.19			47.19
Sólidos suspendidos totales	SST	26	mg/L	1	79.83			79.83
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	319.2	UTJ	0.5	38.70			19.35
							<b>ICA</b>	<b>85.45</b>

Tabla A.58 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 11.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.41	mg/L	5	100.00	18.74	6.84	500.00
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Potencial de hidrógeno	pH	8.61	Unidades de ph	1	49.80			49.80
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	212.8	UTJ	0.5	41.60			20.80
							<b>ICA</b>	<b>87.91</b>

Tabla A.59 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 12.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.83	mg/L	5	100.00	18.91	6.80	500.00
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.31	Unidades de ph	1	60.98			60.98
Sólidos suspendidos totales	SST	26	mg/L	1	79.83			79.83
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	224.2	UTJ	0.5	41.21			20.61
							<b>ICA</b>	<b>86.77</b>

Tabla A.60 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 13.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.96	mg/L	5	100.00	19.01	6.78	500.00
Conductividad eléctrica	CE	141	μS/cm	2	82.76			165.53
Potencial de hidrógeno	pH	8.41	Unidades de ph	1	57.00			57.00
Sólidos suspendidos totales	SST	24	mg/L	1	82.23			82.23
Sólidos disueltos totales	SDT	71	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	241.3	UTJ	0.5	40.68			20.34
							<b>ICA</b>	<b>87.51</b>

Tabla A.61 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 14.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.73	mg/L	5	99.20	18.96	6.78	496.00
Conductividad eléctrica	CE	157	μS/cm	2	79.46			158.92
Potencial de hidrógeno	pH	8.28	Unidades de ph	1	62.22			62.22
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	231.8	UTJ	0.5	40.97			20.48
							<b>ICA</b>	<b>88.76</b>

Tabla A.62 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 15.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.79	mg/L	5	100.00	18.99	6.78	500.00
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.34	Unidades de ph	1	59.76			59.76
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	252.7	UTJ	0.5	40.34			20.17
							<b>ICA</b>	<b>88.62</b>

Tabla A.63 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 16.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.9	mg/L	5	100.00	18.56	6.85	500.00
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.72	Unidades de ph	1	46.24			46.24
Sólidos suspendidos totales	SST	24	mg/L	1	82.23			82.23
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	279.3	UTJ	0.5	39.63			19.81
							<b>ICA</b>	<b>85.46</b>

Tabla A.64 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 17.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.61	mg/L	5	100.00	19.05	6.78	500.00
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.63	Unidades de ph	1	49.14			49.14
Sólidos suspendidos totales	SST	24	mg/L	1	82.23			82.23
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	228	UTJ	0.5	41.09			20.54
							<b>ICA</b>	<b>85.97</b>

Tabla A.65 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 18.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.84	mg/L	5	100.00	18.95	6.79	500.00
Conductividad eléctrica	CE	166	μS/cm	2	77.80			155.60
Potencial de hidrógeno	pH	8.23	Unidades de ph	1	64.36			64.36
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	191.9	UTJ	0.5	42.37			21.18
							<b>ICA</b>	<b>89.11</b>

Tabla A.66 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.85	mg/L	5	100.00	18.85	6.80	500.00
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.18	Unidades de ph	1	66.57			66.57
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	183.73	UTJ	0.5	42.70			21.35
							<b>ICA</b>	<b>88.57</b>

Tabla A.67 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 20.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.17	mg/L	5	100.00	18.85	6.81	500.00
Conductividad eléctrica	CE	166	μS/cm	2	77.80			155.60
Potencial de hidrógeno	pH	8.38	Unidades de ph	1	58.16			58.16
Sólidos suspendidos totales	SST	28	mg/L	1	77.67			77.67
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	174.04	UTJ	0.5	43.11			21.56
							<b>ICA</b>	<b>86.30</b>

Tabla A.68 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 21.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.7	mg/L	5	100.00	19.14	6.77	500.00
Conductividad eléctrica	CE	165	μS/cm	2	77.98			155.95
Potencial de hidrógeno	pH	8.68	Unidades de ph	1	47.51			47.51
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	185.06	UTJ	0.5	42.64			21.32
							<b>ICA</b>	<b>87.48</b>

Tabla A.69 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 22.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	8.16	mg/L	5	100.00	19.14	6.76	500.00
Conductividad eléctrica	CE	166	μS/cm	2	77.80			155.60
Potencial de hidrógeno	pH	8.79	Unidades de ph	1	44.11			44.11
Sólidos suspendidos totales	SST	22	mg/L	1	84.92			84.92
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	171.38	UTJ	0.5	43.23			21.61
							<b>ICA</b>	<b>85.62</b>

Tabla A.70 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 23.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.26	mg/L	5	100.00	19.02	6.79	500.00
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.08	Unidades de ph	1	71.21			71.21
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	166.63	UTJ	0.5	43.45			21.72
							<b>ICA</b>	<b>89.93</b>



Tabla A.71 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 24.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.13	mg/L	5	100.00	18.98	6.80	500.00
Conductividad eléctrica	CE	166	μS/cm	2	77.80			155.60
Potencial de hidrógeno	pH	8	Unidades de ph	1	75.16			75.16
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	149.34	UTJ	0.5	44.30			22.15
							<b>ICA</b>	<b>90.29</b>

Tabla A.72 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 25.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.96	mg/L	5	100.00	18.96	6.80	500.00
Conductividad eléctrica	CE	166	μS/cm	2	77.80			155.60
Potencial de hidrógeno	pH	8.22	Unidades de ph	1	64.79			64.79
Sólidos suspendidos totales	SST	24	mg/L	1	82.23			82.23
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	172.33	UTJ	0.5	43.19			21.59
							<b>ICA</b>	<b>87.42</b>

Tabla A.73 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 26.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.62	mg/L	5	97.50	18.98	6.79	487.50
Conductividad eléctrica	CE	166	μS/cm	2	77.80			155.60
Potencial de hidrógeno	pH	7.99	Unidades de ph	1	75.67			75.67
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	152.38	UTJ	0.5	44.14			22.07
<b>ICA</b>								<b>88.23</b>

Tabla A.74 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 27.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.25	mg/L	5	100.00	18.96	6.79	500.00
Conductividad eléctrica	CE	165	μS/cm	2	77.98			155.95
Potencial de hidrógeno	pH	8.36	Unidades de ph	1	58.95			58.95
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	139.27	UTJ	0.5	44.86			22.43
<b>ICA</b>								<b>88.73</b>

Tabla A.75 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 28.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.23	mg/L	5	100.00	18.89	6.81	500.00
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Potencial de hidrógeno	pH	8.17	Unidades de ph	1	67.02			67.02
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	185.63	UTJ	0.5	42.62			21.31
							<b>ICA</b>	<b>88.48</b>

Tabla A.76 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 29.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.44	mg/L	5	100.00	18.89	6.80	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.36	Unidades de ph	1	58.95			58.95
Sólidos suspendidos totales	SST	4	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	147.63	UTJ	0.5	44.39			22.20
							<b>ICA</b>	<b>88.86</b>

Tabla A.77 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 30.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.86	mg/L	5	100.00	18.88	6.79	500.00
Conductividad eléctrica	CE	155	μS/cm	2	79.85			159.69
Potencial de hidrógeno	pH	8.18	Unidades de ph	1	66.57			66.57
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	130.53	UTJ	0.5	45.38			22.69
							<b>ICA</b>	<b>89.45</b>

Tabla A.78 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 31.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.76	mg/L	5	99.70	18.97	6.78	498.50
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Potencial de hidrógeno	pH	8.18	Unidades de ph	1	66.57			66.57
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	149.15	UTJ	0.5	44.31			22.16
							<b>ICA</b>	<b>89.58</b>

Tabla A.79 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 32.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.28	mg/L	5	100.00	18.79	6.80	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	8.42	Unidades de ph	1	56.62			56.62
Sólidos suspendidos totales	SST	30	mg/L	1	75.71			75.71
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	183.92	UTJ	0.5	42.69			21.34
							<b>ICA</b>	<b>86.11</b>

Tabla A.80 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 33.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.83	mg/L	5	100.00	18.9	6.78	500.00
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Potencial de hidrógeno	pH	8.15	Unidades de ph	1	67.93			67.93
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	134.9	UTJ	0.5	45.11			22.56
							<b>ICA</b>	<b>89.98</b>

Tabla A.81 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 34.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.37	mg/L	5	94.00	18.94	6.78	470.00
Conductividad eléctrica	CE	151	μS/cm	2	80.64			161.28
Potencial de hidrógeno	pH	8.03	Unidades de ph	1	73.66			73.66
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	75	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	137.56	UTJ	0.5	44.95			22.48
							<b>ICA</b>	<b>86.89</b>

Tabla A.82 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 35.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.74	mg/L	5	99.30	18.86	6.79	496.50
Conductividad eléctrica	CE	154	μS/cm	2	80.04			160.09
Potencial de hidrógeno	pH	8.15	Unidades de ph	1	67.93			67.93
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	143.83	UTJ	0.5	44.60			22.30
							<b>ICA</b>	<b>89.68</b>

Tabla A.83 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 36.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.86	mg/L	5	100.00	18.82	6.79	500.00
Conductividad eléctrica	CE	145	μS/cm	2	81.89			163.78
Potencial de hidrógeno	pH	8.37	Unidades de ph	1	58.56			58.56
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	72	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	143.83	UTJ	0.5	44.60			22.30
							<b>ICA</b>	<b>89.02</b>

Tabla A.84 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 37.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.86	mg/L	5	100.00	18.98	6.76	500.00
Conductividad eléctrica	CE	138	μS/cm	2	83.44			166.88
Potencial de hidrógeno	pH	8.35	Unidades de ph	1	59.35			59.35
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	69	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	137.37	UTJ	0.5	44.97			22.48
							<b>ICA</b>	<b>89.02</b>

Tabla A.85 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 38.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.63	mg/L	5	98.50	19.19	6.73	492.50
Conductividad eléctrica	CE	141	μS/cm	2	82.76			165.53
Potencial de hidrógeno	pH	8.18	Unidades de ph	1	66.57			66.57
Sólidos suspendidos totales	SST	2	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	71	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	138.13	UTJ	0.5	44.92			22.46
							<b>ICA</b>	<b>89.71</b>

Tabla A.86 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 39.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.55	mg/L	5	97.50	19.26	6.72	487.50
Conductividad eléctrica	CE	149	μS/cm	2	81.05			162.10
Potencial de hidrógeno	pH	8.22	Unidades de ph	1	64.79			64.79
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	75	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	132.43	UTJ	0.5	45.26			22.63
							<b>ICA</b>	<b>87.50</b>



Tabla A.87 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 40.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.09	mg/L	5	90.30	19.2	6.74	451.50
Conductividad eléctrica	CE	139	μS/cm	2	83.21			166.43
Potencial de hidrógeno	pH	7.98	Unidades de ph	1	76.18			76.18
Sólidos suspendidos totales	SST	0	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	70	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	172.52	UTJ	0.5	43.18			21.59
							<b>ICA</b>	<b>86.57</b>

Tabla A.88 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 41.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.42	mg/L	5	95.50	19.2	6.72	477.50
Conductividad eléctrica	CE	155	μS/cm	2	79.85			159.69
Potencial de hidrógeno	pH	8.05	Unidades de ph	1	72.67			72.67
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	163.21	UTJ	0.5	43.61			21.80
							<b>ICA</b>	<b>88.17</b>

Tabla A.89 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 42.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.3	mg/L	5	93.60	19.19	6.73	468.00
Conductividad eléctrica	CE	154	μS/cm	2	80.04			160.09
Potencial de hidrógeno	pH	8.04	Unidades de ph	1	73.16			73.16
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	127.49	UTJ	0.5	45.57			22.78
							<b>ICA</b>	<b>86.55</b>

Tabla A.90 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 43.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.4	mg/L	5	94.90	19.08	6.74	474.50
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Potencial de hidrógeno	pH	8	Unidades de ph	1	75.16			75.16
Sólidos suspendidos totales	SST	12	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	129.39	UTJ	0.5	45.45			22.72
							<b>ICA</b>	<b>88.17</b>

Tabla A.91 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 44.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.64	mg/L	5	98.50	19.03	6.74	492.50
Conductividad eléctrica	CE	146	μS/cm	2	81.68			163.36
Potencial de hidrógeno	pH	8.14	Unidades de ph	1	68.39			68.39
Sólidos suspendidos totales	SST	6	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	73	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	133	UTJ	0.5	45.22			22.61
							<b>ICA</b>	<b>89.69</b>

Tabla A.92 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 45.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.09	mg/L	5	100.00	18.86	6.77	500.00
Conductividad eléctrica	CE	161	μS/cm	2	78.71			157.41
Potencial de hidrógeno	pH	7.99	Unidades de ph	1	75.67			75.67
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	139.46	UTJ	0.5	44.84			22.42
							<b>ICA</b>	<b>90.10</b>

En las Tablas A.93-A.105 se presenta el desglose del cálculo del ICA para los sitios en los que se determinaron parámetros adicionales.

**Primera campaña de muestreo (época de estiaje)**

**Tabla A.93 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1, considerando parámetros adicionales.**

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	5.96	mg/L	5	84.80	17.96	7.03	424.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	23	mg/L	5	14.55			72.73
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	157	μS/cm	2	79.46			158.92
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.02	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	2.4	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.07	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.75	Unidades de pH	1	45.32			45.32
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	122.55	UTJ	0.5	45.89			22.94
							<b>ICA</b>	<b>60.41</b>

Tabla A.94 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.02	mg/L	5	87.80	19.6	6.86	439.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	21	mg/L	5	15.46			77.32
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.03	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	2.2	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.05	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.99	Unidades de ph	1	38.54			38.54
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	133.57	UTJ	0.5	45.19			22.60
<b>ICA</b>								<b>60.46</b>

Tabla A.95 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 15, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.41	mg/L	5	94.70	19.88	6.77	473.50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	26	mg/L	5	13.39			66.97
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	162	µS/cm	2	78.52			157.04
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.02	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	2.3	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.01	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	9.05	Unidades de ph	1	37.01			37.01
Sólidos suspendidos totales	SST	8	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	81	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	135.47	UTJ	0.5	45.08			22.54
							<b>ICA</b>	<b>61.59</b>

Tabla A.96 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.82	mg/L	5	100.00	19.69	6.76	500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	22	mg/L	5	14.99			74.94
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	155	μS/cm	2	79.85			159.69
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.07	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	2.7	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.96	Unidades de ph	1	39.33			39.33
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	77	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	139.65	UTJ	0.5	44.83			22.42
							<b>ICA</b>	<b>62.84</b>

Tabla A.97 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 26, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.19	mg/L	5	100.00	18.97	6.82	500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	32	mg/L	5	11.65			58.24
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	160	μS/cm	2	78.89			157.78
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.08	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	2	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.15	mg/L	2	87.79			175.59
Potencial de hidrógeno	pH	8.84	Unidades de ph	1	42.65			42.65
Sólidos suspendidos totales	SST	16	mg/L	1	95.54			95.54
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	141.17	UTJ	0.5	44.75			22.37
<b>ICA</b>								<b>61.42</b>



Tabla A.98 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 41, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.94	mg/L	5	98.40	17.46	7.05	492.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	16	mg/L	5	18.57			92.85
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.12	mg/L	2	90.74			181.48
Nitratos	NO <sub>3</sub>	1.3	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.49	Unidades de ph	1	54.00			54.00
Sólidos suspendidos totales	SST	14	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	116.09	UTJ	0.5	46.33			23.17
							<b>ICA</b>	<b>63.19</b>

Tabla A.99 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 42, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.51	mg/L	5	91.10	16.84	7.15	455.50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	20	mg/L	5	15.98			79.90
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.14	mg/L	2	84.53			169.05
Nitratos	NO <sub>3</sub>	1.7	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.03	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.29	Unidades de ph	1	61.81			61.81
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	117.61	UTJ	0.5	46.23			23.11
<b>ICA</b>								<b>60.87</b>

## Segunda campaña de muestreo (época de lluvias)

Tabla A.100 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 1, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.51	mg/L	5	94.80	18.76	6.87	474.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	10	mg/L	5	100.00			500.00
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	156	μS/cm	2	79.65			159.31
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.03	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	0.5	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.13	mg/L	2	92.21			184.42
Potencial de hidrógeno	pH	7.74	Unidades de ph	1	89.57			89.57
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	78	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	197.60	UTJ	0.5	42.15			21.07
							<b>ICA</b>	<b>78.12</b>

Tabla A.101 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 10, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.58	mg/L	5	100.00	18.21	6.92	500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	12	mg/L	5	100.00			500.00
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	159	μS/cm	2	79.08			158.16
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.2	mg/L	2	71.74			143.47
Nitratos	NO <sub>3</sub>	2.2	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.05	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.69	Unidades de ph	1	47.19			47.19
Sólidos suspendidos totales	SST	26	mg/L	1	79.83			79.83
Sólidos disueltos totales	SDT	80	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	319.20	UTJ	0.5	38.70			19.35
							ICA	75.56

Tabla A.102 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 19, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.85	mg/L	5	100.00	18.81	6.80	500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	2	mg/L	5	100.00			500.00
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	164	μS/cm	2	78.16			156.31
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.06	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	1.6	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.12	mg/L	2	94.78			189.56
Potencial de hidrógeno	pH	8.18	Unidades de ph	1	66.57			66.57
Sólidos suspendidos totales	SST	18	mg/L	1	91.46			91.46
Sólidos disueltos totales	SDT	82	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	183.73	UTJ	0.5	42.70			21.35
<b>ICA</b>								<b>78.32</b>

Tabla A.103 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 21, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.7	mg/L	5	100.00	19.08	6.77	500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	10	mg/L	5	100.00			500.00
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	165	μS/cm	2	77.98			155.95
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.04	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	1.8	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.13	mg/L	2	92.21			184.42
Potencial de hidrógeno	pH	8.68	Unidades de pH	1	47.51			47.51
Sólidos suspendidos totales	SST	10	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	83	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	185.06	UTJ	0.5	42.64			21.32
<b>ICA</b>								<b>77.74</b>

Tabla A.104 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 28, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	7.23	mg/L	5	100.00	18.87	6.81	500.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	18	mg/L	5	17.15			85.77
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	158	μS/cm	2	79.27			158.54
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.07	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	0.5	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.05	mg/L	2	100.00			200.00
Potencial de hidrógeno	pH	8.17	Unidades de ph	1	67.02			67.02
Sólidos suspendidos totales	SST	20	mg/L	1	87.97			87.97
Sólidos disueltos totales	SDT	79	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	185.63	UTJ	0.5	42.62			21.31
							<b>ICA</b>	<b>63.86</b>

Tabla A.105 Cálculo del ICA para la estación de muestreo número 40, considerando parámetros adicionales.

Parámetro	Símbolo	Concentración	Unidad	W <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	Oxígeno de saturación		W <sub>i</sub> *Q <sub>i</sub>
						T <sub>amb</sub> (°C)	OS (mg/L)	
Oxígeno disuelto	OD	6.09	mg/L	5	90.30	18.99	6.74	451.50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	7	mg/L	5	100.00			500.00
Coliformes Fecales	CF	30	NMP/ml	4	25.20			100.81
Coliformes Totales	CT	30	NMP/ml	3	38.92			116.76
Conductividad eléctrica	CE	139	μS/cm	2	83.21			166.43
Fosfatos	PO <sub>4</sub>	0.05	mg/L	2	100.00			200.00
Nitratos	NO <sub>3</sub>	0.6	mg/L	2	100.00			200.00
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub>	0.15	mg/L	2	87.79			175.59
Potencial de hidrógeno	pH	7.98	Unidades de ph	1	76.18			76.18
Sólidos suspendidos totales	SST	0	mg/L	1	100.00			100.00
Sólidos disueltos totales	SDT	70	mg/L	0.5	100.00			50.00
Turbiedad	Turb	172.52	UTJ	0.5	43.18			21.59
<b>ICA</b>								<b>77.10</b>



# ANEXO B. TÉCNICAS DE LABORATORIO

Descripción de las técnicas de laboratorio utilizadas para la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

## Sólidos suspendidos totales

Para la determinación de los SST primeramente se pusieron a peso constante los crisoles con filtro Gooch, para lo cual se introdujeron al horno por una hora aproximadamente y después se pesaron. Este proceso es iterativo y concluye cuando el peso registrado para cada crisol es constante (peso inicial), y tiene la finalidad de eliminar toda la humedad de los crisoles, por lo que estos se dejan enfriar en un desecador antes de pesarlos.

Posteriormente se midieron 50 ml para cada muestra<sup>11</sup> con ayuda de una probeta (cuidando de agitar bien cada botella) y se filtraron en el crisol con filtro Gooch con ayuda de una bomba de vacío y un matraz Kitasato. Después se colocaron los crisoles en el horno a 105 °C (Figura B.1) por una hora y se pesaron nuevamente (dejándolos enfriar previamente en el desecador), registrando su peso final.



Figura B.1 Después de la filtración, se colocan los crisoles con filtro Gooch en el horno a 105 °C.

## Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Como primer paso se preparó el agua de dilución, agregando 1 ml de cada uno de los siguientes reactivos: Sulfato de Magnesio, Cloruro Férrico, Cloruro de Calcio y solución amortiguadora; por cada litro de agua de dilución. Además, se aireó para saturarla de oxígeno. Se emplearon dos diluciones para cada muestra: 5% y 10%; por lo que se etiquetaron los frascos Wrinkler con número de muestra y porcentaje de dilución. También es importante mencionar que se realizó la prueba de DBO<sub>5</sub> para el blanco (agua de dilución).

El procedimiento para cada muestra es el siguiente: una vez mezclada el agua de dilución con el agua de muestra (en la proporción correspondiente para cada dilución), se llenó el frasco Wrinkler y se agregaron 2 ml de Sulfato Manganoso y 2 ml de Alcali-Yoduro-Nitruro. Se tapó el frasco y se mezcló invirtiéndolo 15 veces. Se esperó a que el precipitado formado sedimentara

<sup>11</sup> Se decidió reducir el volumen recomendado (100 ml) debido a que algunos filtros se taparon cuando se intentó filtrar una muestra de 100 ml.

hasta la mitad del frasco y se agregó 1 ml de Ácido Sulfúrico para fijar el oxígeno (Figura B.2), para lo cual se mezcló nuevamente.

Se midieron 200 ml de muestra con ayuda de una probeta y se pasaron a un matraz Erlenmeyer, en el cual se agregaron 2 gotas de almidón (indicador). Posteriormente se llenó una bureta con Tiosulfato de Sodio y se procedió a titular<sup>12</sup> la muestra (Figura B.3): se añadió el Tiosulfato de Sodio con ayuda de a bureta, mientras se agitaba el matraz, hasta que se observó el vire (cambio de color) de la muestra a su color original. Finalmente se registró el volumen de Tiosulfato de Sodio añadido para cada muestra.

El procedimiento descrito se repitió a los 5 días, por lo que los frascos Wrinkler que se reservaron para el análisis posterior se colocaron en una incubadora a 20°C.

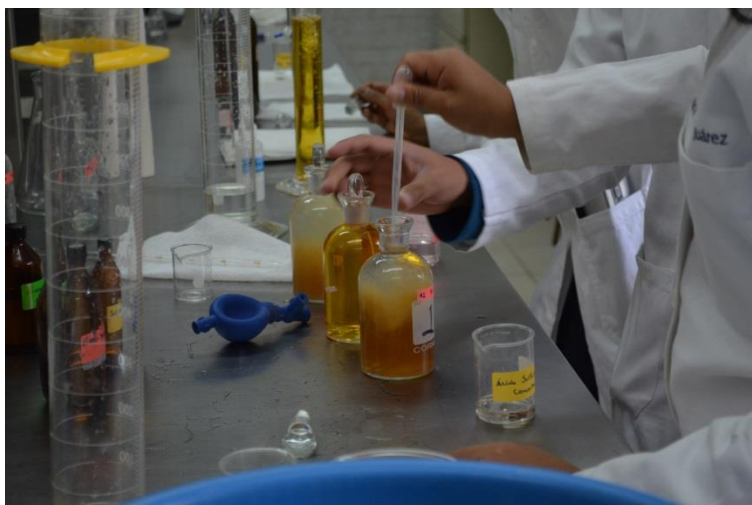


Figura B.2 Fijación del oxígeno disuelto añadiendo Ácido Sulfúrico.



Figura B.3 Titulación de la muestra agregando Tiosulfato de Sodio.

---

<sup>12</sup> La titulación de una muestra consiste en medir la concentración de cierto compuesto mediante la adición de un volumen conocido de otro compuesto.

## Coliformes totales y fecales

Para la determinación de los parámetros microbiológicos se empleó la técnica de filtro de membrana. De acuerdo a los requerimientos de dicha prueba, se tomaron medidas especiales: se trabajó con dos mecheros Bunsen encendidos para esterilizar el área de trabajo, se usaron cubrebocas y guantes de látex en todo momento (Figura B.4) y se evitó hablar durante su realización para no contaminar las muestras.

El procedimiento para cada muestra es el siguiente: como primer paso se midió 1 ml de agua de muestra con ayuda de una pipeta y una propipeta, ya que se empleó una dilución al 1% (99 ml de agua de dilución estéril y 1 ml de muestra). Se colocó un soporte de Borosilicato sobre un matraz Kitasato y con ayuda de unas pinzas estériles se colocó un papel filtro sobre el soporte. Inmediatamente después se procedió a filtrar los 100 ml de muestra diluida con ayuda de un matraz invertido y una bomba de vacío.

Con las pinzas estériles se retiró el filtro y se colocó con la cuadrícula hacia arriba en una caja Petri –a la que previamente se le había colocado un papel absorbente y el cultivo correspondiente: ENDO para coliformes totales y MFC para coliformes fecales (Figura B.5). La caja Petri se cerró y se colocó en la incubadora a 35 °C por un día.

Una vez transcurrido el tiempo de incubación, se revisaron las cajas Petri para ver si se habían formado colonias de coliformes y, de ser el caso, realizar el conteo de las mismas.



Figura B.4 Área de trabajo donde se realizó la técnica de filtro de membrana.

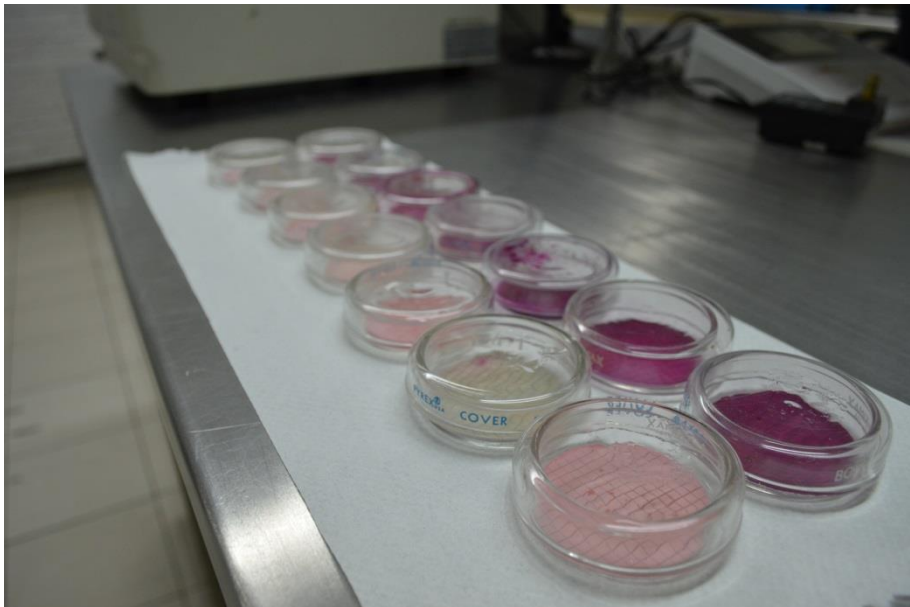


Figura B.5 Cajas Petri con cultivos: a la derecha, cultivo MFC; a la izquierda, cultivo ENDO.

## FUENTES DE CONSULTA

Agrorural (2012). Análisis de aguas potables [http://agrorural.wordpress.com/2012/08/24/analisis-de-agua-potables/]

Agua y SIG (2013). Tutorial de Surfer 8 [http://www.aguaysig.com/2011/05/tutorial-de-surfer-8.html]

Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, D.F.: Editorial Limusa.

Apuntes de la clase Evaluación de la Calidad del Agua, impartida por el M.I. Carlos M. Menéndez Martínez (2012).

Apuntes de la clase Impacto Ambiental y Manejo de Residuos Municipales, impartida por el Dr. Enrique César Valdez (2010).

Apuntes de la clase Tratamiento de Aguas para Consumo Humano, impartida por el Dr. Enrique César Valdez (2011).

Bravo, L. (2004). *Unidad Didáctica para la Aplicación de la NMX-AA-014-1980, Cuerpos Receptores- Muestreo*. México.

Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo” (2004). Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) [http://www.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/0102.htm]

Comisión de Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón (2011). *Boletín informativo*. Estado de México. Año: 1, Número: 3.

Comisión de Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón (2012). La Cuenca de Villa Victoria-San José del Rincón [http://www.comisiondecuencavillasanjose.org/]<sup>1</sup>

Comisión de Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón (2012). Problemática de la Cuenca de Villa Victoria-San José del Rincón [http://www.comisiondecuencavillasanjose.org/]<sup>1</sup>

Comisión de Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón (2012). Sistema Cutzamala [http://www.comisiondecuencavillasanjose.org/]<sup>13</sup>

Comisión Nacional del Agua (2010). *Seguimiento de la Calidad del Agua de las Presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque del Sistema Cutzamala, 2010*. México.

Comisión Nacional del Agua (2011). *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. México.

Comisión Nacional del Agua (2012). *Estadísticas del Agua en México, edición 2012*. México.

---

<sup>13</sup> Actualmente, esta página web se encuentra fuera de servicio.

Consejo de Cuenca del Valle de México (2014). Marco Histórico [http://cuencavalledemexico.com/consejo-de-cuenca-del-valle-de-mexico/historia/]

Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. España: Ediciones Técnicas Marcombo.

Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. Guía Metodológica para la Toma de Muestras

[http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/contenidos/manual/investigacion\_cont\_suelo/eu\_d oc/adjuntos/02.pdf]

Direct Industry (2014). Espectrofotómetro visible portátil DR 2800™ [http://www.directindustry.es/prod/hach/espectrofotometros-visible-portatiles-14401-699235.html]

García, R. (2012). Manual de prácticas de Laboratorio de Ingeniería Sanitaria [http://www.fing.uach.mx/licenciaturas/IA/.../IC/2012/01/26/MANUAL\_LABORATORIO\_DE\_S ANITARIA.pdf]

Gobierno del Estado de México (2008). Comisión de cuenca Villa Victoria-San José del Rincón.

Gobierno del Estado de México (2008). *Gaceta del Gobierno*. Estado de México. Tomo: CLXXXV.

HANNA instruments (2006). *Medidor Multiparamétrico para la calidad del agua*. España.

Henry, J. & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall.

Instituto Nacional de Ecología (2009). *Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del sistema Cutzamala*. México, D.F.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012). Cuaderno estadístico de la zona metropolitana de la Ciudad de México [http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825001082&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=80&pg=0&ct=106020000]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censo de Población y Vivienda 2010 [http://www.censo2010.org.mx/]

Julián-Soto, F. (2009). *La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias*. México.

NMX-AA-004-SCFI-2000 Análisis de Agua – Determinación de Sólidos Sedimentables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-005-SCFI-2000 Análisis de Agua – Determinación de Grasas y Aceites Recuperables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de Agua – Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.

- NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de Agua – Determinación del pH – Método de Prueba.
- NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Oxígeno Disuelto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-014-1980 Cuerpos Receptores.- Muestreo.
- NMX-AA-017-1980 Aguas.- Determinación de Color.
- NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO<sub>5</sub>) y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- 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-036-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-038-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales 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 Escherichia coli Presuntiva.
- NMX-AA-044-SCFI-2001 Análisis de Aguas – Determinación de Cromo Hexavalente en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-045-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Color Platino Cobalto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-046-1981 Análisis de Agua.- Determinación de Arsénico.- (Método Espectrofotométrico).
- NMX-AA-051-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-058-SCFI-2001 Análisis de Aguas – Determinación de Cianuros Totales en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-063-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Boro en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Cloruros Totales en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.
- NMX-AA-077-SCFI-2001 Análisis de Agua – Determinación de Fluoruros en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas.



NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de Aguas – Determinación de Nitratos en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba.

NMX-AA-082-1986 Contaminación del Agua-Determinación de Nitrógeno de Nitrato-Método Espectrofotométrico Ultravioleta.

NMX-AA-083-1982 Análisis de Agua.- Determinación de Olor.

NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de Agua – Determinación de la Conductividad Electrolítica – Método de Prueba.

NMX-AA-099-SCFI-2006 Análisis de Agua – Determinación de Nitrógeno de Nitritos en Aguas Naturales y Residuales – Métodos de Prueba.

NMX-AA-102-1987 Calidad del Agua – Detección y Enumeración de Organismos Coliformes, Organismos Coliformes Termotolerantes y Escherichia coli Presuntiva- Método de Filtración en Membrana.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994 Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe Someterse el Agua para su Potabilización.

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México – Colegio de Postgraduados (2007). *Programa de Obras y Acciones para la Preservación de la Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, Estado de México*. México.

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México – Colegio de Postgraduados (2009). *Programa de Obras y Acciones para la Preservación de la Cuenca Villa Victoria-San José del Rincón, Estado de México, 2ª Etapa*. México.

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (2007). *Programa de Obras y Acciones para la Preservación de la Cuenca Villa Victoria, Estado de México*. México.

Roldán, G. y Ramírez J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.

Romero, J. (2002). *Calidad del agua*. Colombia.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1979). *Análisis de aguas y aguas de desecho*. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1989). *Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89*. México. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. México.

Servicio Meteorológico Nacional (2010). Normales Climatológicas por Estación [[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75)]

Universidad Centroamericana (2013). Fundamentos de Ingeniería Ambiental III, Guía de Laboratorio 1, Determinación de Sólidos [[http://ecentro.uca.edu.ni/pd/mod/file/download.php?file\\_guid=7540](http://ecentro.uca.edu.ni/pd/mod/file/download.php?file_guid=7540)]

Universidad de Alicante (2013). Parámetros químicos orgánicos [[http://iq.ua.es/MedioAmbiente/Agua,\\_tecnologias\\_de\\_tratamiento\\_y\\_medio\\_ambiente/Organicos\\_files/5ParametrosQOrganicos.swf](http://iq.ua.es/MedioAmbiente/Agua,_tecnologias_de_tratamiento_y_medio_ambiente/Organicos_files/5ParametrosQOrganicos.swf)]

Vázquez et al. (2006). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. México.

Vázquez et al. (2011). *Evaluación de la Calidad del Agua mediante Técnicas de Percepción Remota*. México, D.F.

Vázquez et al. (2013). *Modelos de Calidad del Agua obtenidos a partir de Percepción Remota: Presa Villa Victoria, Edo. De México (perteneciente al Sistema Cutzamala)*. México.