



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**TESINA**

**Evaluación de la calidad del agua en la presa  
de Valle de Bravo con estaciones automáticas  
de la Comisión Nacional del Agua**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA**

**BRENDA CAROLINA OLIVARES REYES**

**Ciudad de México,**

**2019**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **Jurado**

Presidente	Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa
Vocal	M. en Adm. Ind. Landy Irene Ramírez Burgos
Secretario	M. en C. Rolando Salvador García Gómez
1er. Suplente	Dra. Marisela Bernal González
2do. Suplente	Dr. José Agustín García Reynoso

## **Sitio de realización**

Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorios 301-302-303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Edificio E-3, Conjunto E. Facultad de Química, UNAM

Comisión Nacional del Agua

Asesor del tema	Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa
-----------------	--

Supervisor técnico del tema	Dr. Eric Daniel Gutiérrez López
-----------------------------	---------------------------------

Sustentante	Brenda Carolina Olivares Reyes
-------------	--------------------------------

## **Declaratoria UNAM**

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o con referencia a, las obras de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante recursos editoriales convencionales.

---

**BRENDA CAROLINA OLIVARES REYES**

# Índice

	Página
Declaratoria	3
Listado de Tablas, Figuras y Gráficas	7
Glosario	10
Resumen	13
Capítulo 1. Problemática	14
1.1. Introducción	14
1.2. Definición del problema	16
1.3. Justificación	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivo específicos	18
1.5. Alcance	18
Capítulo 2. Fundamentos	19
2.1. Zona de estudio	19
2.1.1. Sistema Cutzamala	19
2.1.2. Presa Valle de Bravo	20
2.2. Parámetros de calidad	22

		Página
Capítulo 3.	Metodología	27
	3.1. Descripción de las estaciones automáticas de calidad del agua	27
	3.1.1. Boya	27
	3.1.2. <i>Guardian Blue</i> (Guardián azul en inglés)	32
	3.2. Visualización y obtención de la información	39
	3.2.1. Hydras 3	39
	3.2.2. Sistema Integral de Calidad del Agua (SICA)	42
	3.2.3. OneDrive (un sentido o unidad) <sup>1</sup>	43
Capítulo 4.	Resultados y discusión	45
	4.1. Boya Presa Valle de Bravo	45
	4.1.1. Niveles de algas en la presa	45
	4.1.2. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89)	47
	4.1.2.1. Presa Valle de Bravo como tipo “C”, Protección para la Vida Acuática	48
	4.1.2.2. Presa Valle de Bravo como tipo “B”, Uso Público Urbano	51
	4.1.3. Perfil de temperatura en la Presa Valle de Bravo	57
	4.2. <i>Guardian Blue</i> en el río Amanalco	59
	4.2.1. Indicadores de Calidad del Agua (ICA)	59
	4.2.2. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89)	61
	4.3. Discusión final	64

---

<sup>1</sup> Servicio de almacenamiento para almacenar archivos y acceder a ellos desde cualquier dispositivo.

		Página
Capítulo 5.	Conclusiones y recomendaciones	66
	5.1. Conclusiones	66
	5.2. Recomendaciones	67
Bibliografía		68
Anexo 1	Tratamiento de residuos	72
Anexo 2	Anexo fotográfico	74

## Listado de tablas, figuras y gráficas

	Página	
Tabla 4.1.	Parámetros evaluados por la boya que cuentan con CE-CCA001/89	48
Tabla 4.2.	Parámetros evaluados por la boya que cuentan con CE-CCA001/89	52
Tabla 4.3.	Parámetros evaluados por el <i>Guardian Blue</i> que cuentan con CE-CCA001/89	61
Figura 2.1.	Esquema del Sistema Cutzamala (CONAGUA, 2005)	20
Figura 2.2.	Presa Valle de Bravo (tomadas de Google y mejoradas por la autora)	21
Figura 2.3.	Presa Valle de Bravo (tomadas de Google y mejoradas por la autora)	21
Figura 3.1.	Boya de calidad del agua (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	28
Figura 3.2.	Boya con Sondas de Calidad del Agua y Cadena de Termistores (IGS, 2019)	28
Figura 3.3.	Sonda DS5X (CONAGUA, 2013)	30
Figura 3.4.	Sensores de la sonda (CONAGUA, 2013)	30
Figura 3.5.	Sonda en Boya (CONAGUA, 2013)	30
Figura 3.6.	Multi-sensor meteorológico (CONAGUA, 2013)	30
Figura 3.7.	Colocación de termistores en Boya (CONAGUA, 2013)	31
Figura 3.8.	Tablero de modem (CONAGUA,2013)	31
Figura 3.9.	<i>Guardian Blue</i> : Exterior de la estación automática de medición de calidad del agua (CONAGUA, 2013)	32
Figura 3.10.	<i>Guardian Blue</i> : Interior de la estación automática de medición de calidad del agua (CONAGUA, 2013)	32
Figura 3.11.	Controlador SC 1000 y sensores (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	33
Figura 3.12.	Exterior del BioTector 7000 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	35
Figura 3.13.	Interior del BioTector 7000 (CONAGUA, 2013)	35
Figura 3.14.	Concentrador de oxígeno (CONAGUA, 2013)	35
Figura 3.15.	Multi-sensor meteorológico (CONAGUA, 2013)	36
Figura 3.16.	Bomba sumergible (CONAGUA, 2013)	37
Figura 3.17.	Tubería exterior (CONAGUA, 2013)	37
Figura 3.18.	Gabinete con MODEM (CONAGUA, 2013)	38
Figura 3.19.	Cámaras de vigilancia externas (CONAGUA, 2013)	38
Figura 3.20.	Estaciones automáticas en Hydras 3 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	40
Figura 3.21.	Parámetros medidos por cada estación vistos desde el Hydras 3 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	40
Figura 3.22.	Gráfica de algas a 1m, Boya Valle de Bravo, desde el 31 de julio del 2013 hasta el 31 de julio del 2018 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	41



	Página	
Figura 3.23.	Gráfica del Hydras 3 con seis parámetros sobrepuestos (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	41
Figura 3.24	Diagrama de dispersión realizado en el Hydras 3: Algas a 1 m y algas a 15m (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)	42
Figura 3.25.	Visualización de los datos de calidad del agua de la Boya Valle de Bravo desde el SICA (CONAGUA, 2018)	43
Figura 3.26.	Visualización de los termistores de la Boya Valle de Bravo desde el SICA (CONAGUA, 2018)	43
Figura 3.27.	<i>OneDrive</i> donde son compartidos los datos de las estaciones automáticas (CONAGUA, 2018)	44
Figura A.1.1.	Manejo de los residuos derivados de la calibración o verificación de los equipos	72
Figura A.1.2.	Manejo del ozono generado en la reacción dentro del Biotector	73
Figura A.1.3.	Manejo del ácido dentro del Biotector	73
Figura A.2.1.	Presa Valle de Bravo	74
Figura A.2.2.	Boya ubicada en la Presa Valle de Bravo	74
Figura A.2.3.	Panel solar de la Boya	74
Figura A.2.4.	Termistor de temperatura	74
Figura A.2.5.	Sonda multiparamétrica recién sacada de la Presa	74
Figura A.2.6.	Sonda multiparamétrica cubierta de algas	74
Figura A.2.7.	Personal de CONAGUA e IGS en la Boya Presa Valle de Bravo	75
Figura A.2.8.	Multisensor meteorológico	75
Figura A.2.9.	Sondas multiparamétricas fuera de la presa para mantenimiento	75
Figura A.2.10.	Sensores ubicados en la sonda	75
Figura A.2.11.	Sensores de sonda multiparamétrica	75
Figura A.2.12.	Colocación de la Boya	75
Figura A.2.13.	<i>Guardian Blue</i> Valle de Bravo	76
Figura A.2.14.	<i>Guardian Blue</i> Valle de Bravo	76
Figura A.2.15.	Sensores dentro del panel	76
Figura A.2.16.	Automuestreador	76
Figura A.2.17.	Caseta del <i>Guardian Blue</i> por dentro	76
Figura A.2.18.	Parte exterior del Biotector	76
Figura A.2.19.	Concentrador de Oxígeno	77
Figura A.2.20.	Parte interna del Biotector	77
Figura A.2.21.	Multisensor meteorológico	77
Gráfica 4.1.	Concentración algal a 1 m de profundidad en cel/mL a lo largo de cuatro años	46
Gráfica 4.2.	Concentración algal a 15 m de profundidad en cel/mL a lo largo de cuatro años	46
Gráfica 4.3.	Mediciones de oxígeno disuelto en mg/L a lo largo de cuatro años	49
Gráfica 4.4.	Mediciones de nitrógeno amoniacal en mg/L a lo largo de cuatro años	50
Gráfica 4.5.	Mediciones de pH a 1 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años	50
Gráfica 4.6.	Mediciones de pH a 15 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años	51
Gráfica 4.7.	Mediciones de nitratos en mg/L a lo largo de cuatro años	52
Gráfica 4.8.	Mediciones de oxígeno disuelto en mg/L a lo largo de cuatro años	53

	Página	
Gráfica 4.9.	Mediciones de turbidez en <i>NTU</i> a lo largo de cuatro años	54
Gráfica 4.10.	Mediciones de pH a 1 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años	54
Gráfica 4.11.	Mediciones de pH a 15 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años	55
Gráfica 4.12.	Mediciones de sólidos disueltos totales a 1 m de profundidad en mg/L en 4 años	56
Gráfica 4.13.	Mediciones de sólidos disueltos totales a 15 m de profundidad en mg/L en 4 años	56
Gráficas 4.14a-d.	Perfil de temperatura en la Presa Valle de Bravo, 2014 a 2017	57-59
Gráfica 4.15.	Mediciones de DBO en mg/L en cuatro años	60
Gráfica 4.16.	Mediciones de DQO en mg/L en cuatro años	60
Gráfica 4.17.	Mediciones de fósforo total en mg/L en 4 años	62
Gráfica 4.18.	Mediciones de oxígeno disuelto en mg/L de 4 años	63
Gráfica 4.19.	Mediciones de pH en unidades de pH de 4 años	63
Gráfica 4.20.	Mediciones de turbidez o turbiedad en UTN ( <i>NTU</i> en inglés) de 4 años	64

**Nota: Este documento usa el punto decimal (DOF, 2009)**

## Glosario

**Alcantarillado:** Un sistema de alcantarillado consiste en una serie de tuberías obras complementarias, necesarias para recibir, conducir, ventilar y evacuar las aguas residuales de la población

**BOYA:** Boya con tres sondas Hydrolab DS5X, cadena de termistores, sistema de meteorología y telemetría

**COT:** Carbono orgánico total. Parámetro medido en el equipo *Guardian Blue*. Sirve de base para estimar la DBOT o  $DBO_T$  y la DQOT o  $DQO_T$

**CONAGUA:** Comisión Nacional del Agua. Organismo mexicano que depende de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, una de las entidades que apoyan al Poder Ejecutivo Federal de los Estados Unidos Mexicanos

**CONALab:** Consorcio Nacional de Laboratorios para la Medición de la Calidad del Agua

**DBO:** Parámetro global muy antiguo (fines del siglo XIX) usado para medir la cantidad de materia orgánica biodegradable considerando que los microorganismos que la consumen, primero como fuente de carbono para obtener energía y luego como nitrógeno, para otras reacciones vitales, usan una cantidad estequiométrica de oxígeno para realizar estas oxidaciones bioquímicas y que es equiparable a las cantidades de carbono y nitrógeno contenidas en esa materia orgánica biodegradable, por lo que sus unidades están en mg de oxígeno por litro (Durán-de-Bazúa, 1994)

**DBOT,  $DBO_T$ :** Parámetro global estimado en el equipo *Guardian Blue* a partir de una correlación basada en la medición del carbono orgánico total. Esta correlación obtenida al inicio del proyecto es:  $DBOT:COT*0.44$  (Manual *Guardian Blue*)

**Digestión:** Del lat. *digestio*, *-ōnis*. 1. f. Acción y efecto de digerir (Real Academia Española, <http://dle.rae.es/?w=digesti%C3%B3n>). Del lat. *digerĕre* 'distribuir, repartir'. Conjuguar como *sentir*. 1. tr. Convertir en el aparato digestivo los alimentos en sustancias asimilables por el organismo. 2. tr. Sufrir o llevar con paciencia una desgracia o una ofensa. U. m. con neg. 3. tr. Meditar

cuidadosamente algo, para entenderlo o ejecutarlo. 4. tr. Quím. Degradar materia orgánica mediante calor, reactivos químicos o microorganismos (Real Academia Española, <http://dle.rae.es/?id=Dkosqa5>) (nota de la asesora: la digestión es una transformación realizada en condiciones anaerobias, ya sea en el aparato digestivo o en un recipiente -conocido como digestor o reactor anaerobio-, por lo que decir digestión anaerobia es un pleonasma, tristemente empleado por muchos técnicos e incluso científicos que desconocen el origen de la palabra y una aberración aún mayor usar el adjetivo aerobio para la digestión puesto que se realiza sin la presencia de aire -oxígeno molecular- que aparece en libros escritos por ingenieros civiles que tal vez desconocían lo que ocurre en la digestión microbiana)

**DQO:** Demanda química de oxígeno. Parámetro global que mide todas aquellas sustancias que se encuentran en una muestra de agua susceptibles de ser oxidadas químicamente usando una mezcla de reactivos químicos fuertemente oxidantes, generalmente dicromato de potasio con ácido sulfúrico usando algunos otros reactivos como sulfatos de plata y mercurio para eliminar el efecto de los cloruros y para acelerar la rapidez de la oxidación. Se mide en mg de oxígeno equivalentes a la cantidad de agente oxidante por diferencia con un blanco de agua destilada (Durán-de-Bazúa, 1994)

**DQOT, DQOT<sub>r</sub>:** Parámetro global estimado en el equipo *Guardian Blue* a partir de una correlación basada en la medición del carbono orgánico total. Esta correlación es:  $DQOT:COT*4.06$  (Manual *Guardian Blue*)

**Estatus: 2. m.** Situación relativa de algo dentro de un determinado marco de referencia. *El estatus de un concepto dentro de una teoría*  
<http://dle.rae.es/?id=Go4WKfK>

**Eutrofización:** Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton (Real Academia Española, <http://dle.rae.es/?id=H7zXCQp>)

**Fuentes puntuales de contaminación:** Son aquellos puntos en que los contaminantes se descargan en cuerpos de agua, en lugares bien precisos, a

través de tuberías o canales. Estas fuentes son fáciles de identificar, evaluar (*monitorear*) y regular (Contaminación en agua, Q.F. Stella Korbut, <http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf>)

**Guardian Blue:** Nombre de la Estación Automática de Calidad del Agua <http://www.igs-hydro.mx/index.php/productos/sistemas/blue-monitor>

**Hydras:** 3: Software que facilita la gestión profesional de datos en redes de medición hidrométricas y meteorológicas (<https://www.ott.com/es-la/productos/soluciones-de-software-82/ott-hydras-3-510/>).

**Nitrificación bacteriana:** La *nitrificación* es la oxidación biológica de amonio con oxígeno para dar nitrito, seguida por la oxidación de esos nitritos a *nitratos* (<https://es.wikipedia.org/wiki/Nitrificaci3n>)

**NTU:** Por sus siglas en inglés, unidades nefelométricas de turbidez

**OneDrive:** Es una plataforma que permite almacenar archivos en un solo lugar, compartirlos con otros usuarios y acceder a ellos desde cualquier dispositivo conectado a internet (<https://support.office.com/es-es/article/%C2%BFqu%C3%A9-es-onedrive-ffd8c365-e199-41e0-9d93-1a853e4baa38>).

**R<sub>b</sub>:** Relación de biodegradabilidad. Es el cociente de DBO/DQO. El valor de R<sub>b</sub> va de cero a uno, siendo cero para aquellas aguas que no vale la pena tratar usando sistemas bioquímicos ya que la presencia de sustancias tóxicas impide realizar la medición de la DBO y marca cero y uno para las que son totalmente biodegradables puesto que la DBO = DQO (Durán-de-Bazúa, 1994)

**Saneamiento:** 1. m. Acción y efecto de sanear. 2. m. Conjunto de técnicas y sistemas destinados a mejorar las condiciones higiénicas de un edificio, una comunidad o una ciudad. 3. m. Sistema de evacuación y tratamiento de los residuos urbanos e industriales de una ciudad (Real Academia Española, <http://dle.rae.es/?id=XCKnqJV>). Por saneamiento se entiende el suministro de instalaciones y servicios que permiten eliminar sin riesgo la orina y las heces (OMS, 2018)

**SICA:** Sistema Integral de Calidad del Agua

**Termoclina:** Capa en que la temperatura desciende bruscamente con la profundidad en el cuerpo de agua

**ZMVM:** Zona Metropolitana del Valle de México (antigua Cuenca de México que, por el ecocidio causado durante casi 500 años se ha transformado en un valle que “roba” el agua limpia a las zonas circunvecinas para sus sedientos 25 millones de habitantes y una vez que la ensucia la pasa de una cuenca que descargaba en el Pacífico a otra en el Golfo de México, nota de la asesora)

## RESUMEN

En este **INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL** se plantea la importancia de los sistemas de medición para un fin determinado. Existen dos fuentes principales para distribuir agua para uso urbano en el Valle de México. Estas incluyen al sistema Lerma, administrado por el Gobierno del Distrito Federal (GDF), actualmente la Ciudad de México, y al sistema Cutzamala, administrado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), del cual forma parte la Presa Valle de Bravo. A partir del 2013, en la búsqueda de implantar nuevas tecnologías que faciliten la obtención de información sobre la calidad del agua, se colocaron estaciones automáticas en algunos cuerpos de agua del país. El objetivo de este informe fue el de mostrar su utilidad para valorar la calidad del agua de la presa Valle de Bravo, a través del análisis de información obtenida por medio de estaciones automáticas utilizadas por la CONAGUA, con la finalidad de mantener los estándares de calidad para preservar la salud de la población. Estas estaciones han permitido tener información de la calidad de estos sitios en tiempo real, de tal manera que se puede evaluar la calidad y detectar anomalías en su comportamiento para poder llevar a cabo acciones preventivas y correctivas.

**Palabras clave:** Evaluación, calidad del agua, presa de Valle de Bravo, estaciones automáticas

# Capítulo 1. PROBLEMÁTICA

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para la preservación de la vida siendo el líquido más importante de la naturaleza, a pesar de que el planeta Tierra está formado aproximadamente en un 70% de agua, casi en su totalidad es agua salada, la cual no es apta para el consumo de casi todas las especies vivas terrestres. El agua dulce se encuentra naturalmente en capas de hielo, glaciares, icebergs, humedales, lagunas, lagos, ríos y arroyos, siendo aproximadamente un 3% del total del agua en el planeta (Cortés-Morales, 2004).

El agua forma parte de los procesos naturales de la Tierra y gracias a que todos los organismos dependen de ella se ha convertido en el principal eje de desarrollo de la sociedad a través de la historia.

En México, la distribución del agua no coincide con la distribución de la población. En el centro-norte del país se concentra el 27% de la población que solamente cuenta con el 32% de agua renovable. En la zona sur, donde existe el 68% del agua del país, se asienta el 23% de la población (Consejo Consultivo del Agua, 2017).

La urbe metropolitana continúa su expansión y demanda mayores volúmenes del recurso, por lo que el abastecimiento de agua potable representa una prioridad. Junto con este incremento de la población se han elevado los niveles de contaminantes del agua, poniendo en riesgo la calidad y cantidad necesaria para los diversos usos, incumpliendo en muchas ocasiones los estándares propuestos para la preservación de la salud (CONAGUA, 2005). Debido a esto, se ha visto la necesidad de generar reglas y normas con el fin de regular y controlar la calidad del agua, así como instituciones que se encarguen de aplicarlas y vigilar su cumplimiento.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, es la autoridad federal responsable de administrar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, de acuerdo con las facultades que le otorga la Ley de Aguas Nacionales (LAN), reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos (CONAGUA, 2005).

Dentro de las prioridades de esta institución se encuentran fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua promoviendo la cultura de su buen uso y fomentando su intervención en la administración del recurso hídrico (CONAGUA, 2005).

Dentro de la CONAGUA se encuentra la Subdirección General Técnica, dentro de la cual está la Gerencia de Calidad del Agua (GCA).

La Subgerencia de Estudios de Calidad del Agua e Impacto Ambiental (SECAIA), perteneciente a la GCA, es la encargada, como su nombre lo indica de realizar estudios para tener conocimiento de la calidad de los diversos cuerpos de agua del país y el impacto ambiental que se genera por el crecimiento de la población y las industrias aledañas en caso de que viertan sus aguas residuales a cuerpos que eventualmente los lleven a esos cuerpos de agua.

Ante las limitaciones de recursos materiales y humanos y los problemas de cobertura de los sitios de seguimiento de la calidad, se planteó la tarea de rediseñar la Red Nacional de "Monitoreo"<sup>1</sup> (RNM), con el objetivo principal de generar información representativa y confiable de la calidad del agua de una manera más eficiente (SEMARNAT, 2017).

---

<sup>1</sup> Monitoreo. Esta palabra NO está reconocida por la Academia de la Lengua Española y como las autoridades mexicanas no han solicitado su inclusión ante la Academia Mexicana de la Lengua Española, se procurará no usar este término en este documento



Los sitios muestreados por la RNM a partir del 2012 ascienden a 5000 situados por todo el país (ríos, subterráneos, arroyos, lagos, lagunas, presas y zonas costeras), realizando la evaluación de las tendencias de calidad del agua, tanto por regiones y localidades, como a nivel nacional. Además, esta Red apoya y, en su momento, evalúa el desempeño y cumplimiento de la regulación para control de la contaminación de los cuerpos de agua (SEMARNAT, 2017).

A partir del 2013, en la búsqueda de implantar nuevas tecnologías que faciliten la obtención de información sobre la calidad del agua, se colocaron estaciones automáticas en algunos cuerpos de agua del país. Estas estaciones han permitido tener información de la calidad de estos sitios en tiempo real, de tal manera que se puede evaluar la calidad y detectar anomalías en su comportamiento para poder llevar a cabo acciones preventivas y correctivas.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El Valle de México es una de las urbes más pobladas y grandes del planeta, con una extensión territorial de 9 mil 739 kilómetros cuadrados, con tres tipos de superficies: una montañosa, otra de lomerío y una zona relativamente plana. En esta última es donde se concentra la mayor mancha urbana (México con agua, 2016).

Existen dos fuentes principales para distribuir agua para uso urbano en el Valle de México. Estas incluyen al sistema Lerma, administrado por el Gobierno del Distrito Federal (GDF), actualmente la Ciudad de México, y al sistema Cutzamala, administrado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), del cual forma parte la Presa Valle de Bravo (México con agua, 2016).

Pero no solamente la cantidad y distribución es importante, es también de vital importancia el control de la calidad del agua que se suministra a la población, ya que es posible que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las sustancias

presentes varíe su calidad, convirtiéndola en inadecuada para la salud. El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras. Por ello, se requiere del establecimiento de límites permisibles en cuanto a sus características toxicológicas, microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radioactivas (DOF, 1994).

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Las aguas superficiales están sujetas a contaminación de manera natural o por acción del hombre y pueden transformarse en nocivas e inapropiadas para su uso y consumo. Algunos contaminantes son microorganismos e incluyen organismos patógenos como bacterias, virus y parásitos, los cuales pueden provocar enfermedades gastrointestinales, entre otras. También pueden producir metabolitos que sean tóxicos y contaminen el agua.

Para asegurar que la calidad del agua sea la indicada, se han instalado estaciones automáticas del seguimiento de su calidad, las cuales permiten tener información en tiempo real de parámetros tales como: presencia de algas, de compuestos inorgánicos y orgánicos como los cloruros, la medición de iones disueltos como conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, los nitratos, el llamado potencial de oxidación y reducción, pOR, que mide el voltaje del agua, el valor de pH, los sólidos presentes en todas sus formas, la temperatura, la turbidez o turbiedad, el contenido de carbono sea total, inorgánico u orgánico, el nitrógeno en todas sus formas, el fósforo, el contenido total de sustancias medidas con dos parámetros globales conocidos como demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno (Delgadillo y col., 2010).

Dichos parámetros se encuentran fuertemente relacionados con la presencia y desarrollo de microorganismos, sabiendo que cualquier desviación indicará la presencia y aumento de estos, quedando la calidad del agua fuera de los límites

aceptables para su consumo (DOF, 1994). El conocimiento del significado de la modificación en la tendencia de los parámetros medidos permitirá la implementación de acciones tanto correctivas como preventivas para asegurar la calidad del agua distribuida en la metrópoli.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Valorar la calidad del agua de la presa Valle de Bravo, a través del análisis de información obtenida por medio de estaciones automáticas utilizadas por la CONAGUA, con la finalidad de mantener los estándares de calidad para preservar la salud de la población.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la evolución en el tiempo de la calidad del agua con información obtenida por estaciones automáticas.
- Determinar si el cambio estacional durante el año y/o la temporada de lluvias y estiaje influye en la calidad de los cuerpos de agua.

## **1.5. ALCANCE**

En el presente documento se expone el análisis de información de calidad del agua de la presa de Valle de Bravo de 2014-2017, la cual fue recolectada con dos estaciones automáticas de medición, conocidas como Boya con sondas multiparámetricas y *Guardian Blue* (Guardián azul en inglés).

## **Capítulo 2. FUNDAMENTOS**

### **2.1. ZONA DE ESTUDIO**

#### **2.1.1. SISTEMA CUTZAMALA**

Para que el agua que llega a los hogares de la Cuenca de México esté disponible con tan sólo abrir la llave, se creó un sistema que permitiera transportar este valioso recurso desde Michoacán, pasando por el Estado de México, hasta la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), una de las urbes más pobladas y grandes del planeta (México con agua, 2016).

Existen dos fuentes principales para distribuir agua de tipo urbana al Valle de México: El sistema Lerma, administrado por el Gobierno del Distrito Federal (GDF), y el sistema Cutzamala, administrado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (México con agua, 2016).

Entre los años treinta y cuarenta del Siglo XX, el hundimiento de suelos en la Ciudad de México se incrementó notablemente, debido a la excesiva extracción de aguas subterráneas por medio de pozos y norias. Fue por ello que, a principios de la década de 1950, se puso en operación el sistema Lerma. Para no continuar la sobreexplotación de los acuíferos de los valles de México y Toluca-Ixtlahuaca, fue necesario captar el agua de cuencas diferentes a la del Alto Lerma (CONAGUA, 2005).

En 1972, la entonces Comisión de Aguas del Valle de México realizó estudios de las cuencas de Cutzamala, Libres-Oriental, Tula-Taxhimay, Alto y Bajo Tecolutla y Alto Amacuzac, determinándose que, la cuenca del río Cutzamala, disponía de mejores condiciones en cuanto a calidad del agua y caudales excedentes y que solo se requería realizar un cambio de uso de generación eléctrica a suministro de agua potable que no ocasionaría perjuicios a la región. Además, se mantendrían

reservas para la generación de energía eléctrica y una cantidad similar para atender demandas locales y futuros desarrollos (CONAGUA, 2005).

El sistema Cutzamala aprovecha el agua de la cuenca alta del río del cual tomó su nombre. Está conformado por las presas Tuxpan y El Bosque, en Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo, en el Estado de México (CONAGUA, 2005).

La Figura 2.1 presenta el diagrama elaborado por la CONAGUA (2005) con el sistema completo.

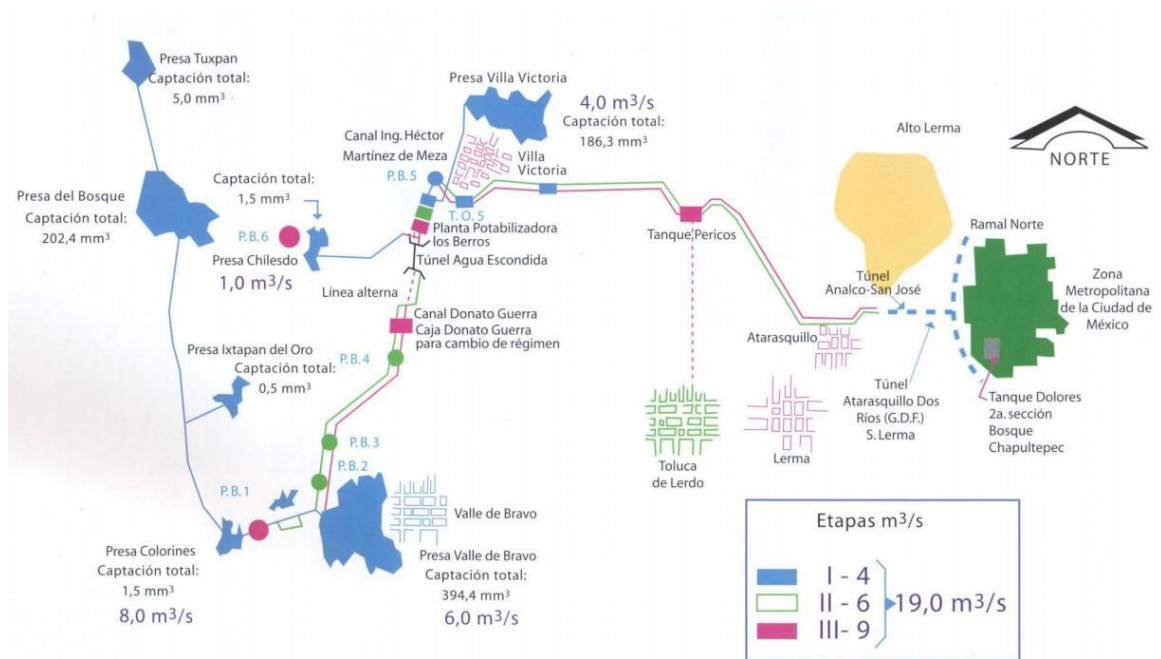


Figura 2.1. Esquema del Sistema Cutzamala (CONAGUA, 2005)

### 2.1.2. PRESA VALLE DE BRAVO

El lago artificial de Valle de Bravo es producto de la construcción de la presa en el año de 1947. Formaba parte del Sistema Hidroeléctrico “Miguel Alemán”; de ahí que también reciba el nombre de Presa Miguel Alemán (FONATUR, 2017).

El sistema hidroeléctrico estaba compuesto por siete presas que generaban 458,775 kilowatts/hora, con cinco presas en el Estado de México y dos en Michoacán. Este sistema ya no está en operación y las presas que lo conformaban ahora forman parte del Sistema Cutzamala (FONATUR, 2017).

La presa de Valle de Bravo, al aportar el 38% del agua total del sistema, es la más grande y relevante (Figura 2.2). Además, su belleza ha permitido un desarrollo turístico muy relevante para la región que, desafortunadamente, por su crecimiento no planificado está causando problemas a la calidad del agua (FONATUR, 2017).

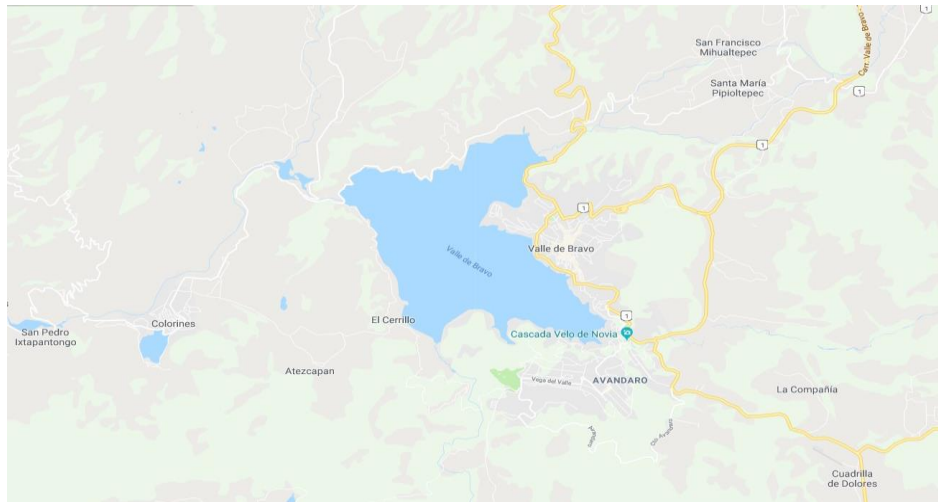


Figura 2.2. Presa Valle de Bravo (tomadas de Google y mejoradas por la autora)

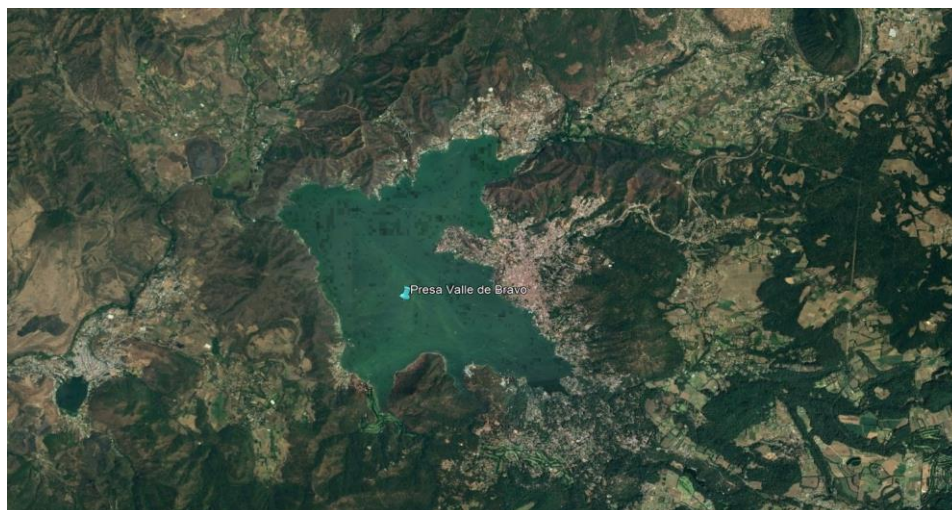


Figura 2.3. Presa Valle de Bravo (tomadas de Google y mejoradas por la autora)

Tiene una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 457 millones de metros cúbicos. La profundidad promedio del lago es de 21 metros (FONATUR, 2017).

La presa recibe los aportes de los ríos Los Hoyos, San Diego, El Carrizal, Las Flores, La Yerbabuena, Subcuenca San Gaspar, Subcuenca Microondas, Subcuenca Ladera Oeste y río Amanalco, siendo este último el más importante debido a su superficie (FONATUR, 2017).

## **2.2. PARÁMETROS DE CALIDAD**

Dadas las propiedades físico-químicas del agua, ésta se comporta como disolvente tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos, de forma que se encuentran en ella una gran cantidad de sustancias que modifican sus propiedades. Además de su comportamiento como disolvente, posee la facultad para que se desarrolle vida en ella, por lo que es necesario realizar diferentes análisis para conocer cómo se encuentran modificadas sus propiedades para usos posteriores (Arreguín-Rojas, 2000; y Aznar col., 2013).

Existen parámetros físicos, químicos y microbiológicos que pueden dar una idea aproximada de la calidad del agua, los procesos que se están llevando a cabo en ella y los posibles problemas en su tratamiento:

- Algas (cel/mL): Son organismos acuáticos similares a las plantas; contienen fundamentalmente clorofila, necesaria para las actividades fotosintéticas, por lo que necesitan la luz solar para sobrevivir y reproducirse. El crecimiento de éstas puede comunicar un olor desagradable, producir una coloración verdosa e incluso representar un riesgo para la salud. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses y cuerpos de agua sin gran movimiento.

- Oxígeno disuelto (mg/L): Es un gas, el más importante, que va siendo consumido por la actividad química y biológica. El oxígeno disuelto depende de varios factores como la temperatura, altitud, movimientos del cuerpo receptor, actividad biológica, actividad química entre otros (Seoanez-Calvo y Gutiérrez-de-Ojesto, 1999).
- Potencial de hidrógeno (pH) (unidades de pH): Indica la concentración de protones (iones hidrógeno H<sup>+</sup>) presentes en el agua (Seoanez-Calvo y Gutiérrez-de-Ojesto, 1999). Los valores altos y bajos de pH son tóxicos, impidiendo que el agua sea utilizada para sus diversos usos.
- Conductividad eléctrica (μS/cm): Se define a la conductividad eléctrica como la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución (Delgadillo y col., 2010). El agua pura se comporta como aislante eléctrico, siendo las sustancias disueltas en ella las que proporcionan la capacidad de conducir la corriente eléctrica (Aznar, 2000).
- Turbidez (unidades nefelométricas de turbidez, NTU, por sus siglas en inglés): Se define a la turbidez como una medida de la pérdida de la transparencia del agua, ocasionada por el material en suspensión en el agua. Este material suspendido produce la dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua. Es una medida importante pues las pequeñas partículas pueden portar gérmenes patógenos, además de producir una falta de penetración de la luz natural y por ende una modificación de la flora y fauna subacuática (Aznar, 2000).
- Temperatura (°C): Al incrementar la temperatura se modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases (Aznar, 2000). Muchos procesos biológicos dependen de la temperatura, la cual es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 y 35°C. Cuando la temperatura se acerca a los 50°C, los procesos bioquímicos, como la digestión y la nitrificación bacterianas se detienen. Por otro lado, cuando la



temperatura es menor a 5°C la actividad microbiana se inhibe (Delgadillo y col., 2010).

- Potencial óxido-reducción (ORP, en inglés) (mV): El potencial óxido-reducción es una forma de medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica. Es positivo cuando se produce una oxidación y negativo cuando se produce una reducción. Las reacciones de oxidación y reducción regulan el comportamiento de muchos compuestos químicos presentes en cuerpos de agua. El potencial de óxido-reducción también afecta la distribución y actividad de los microorganismos (Arreguín-Rojas y col., 2013).
- Sólidos disueltos totales (SDT) (g/L): Es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas, más pequeñas de 2 micrones y que no pueden ser removidas por un filtro tradicional. Las aguas para consumo humano, con alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden llegar a inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor (Adam y Bauder, 2012).
- Nitrógeno amoniacal (amonio) (mg/L): Está presente en forma natural en aguas superficiales, profundas y en aguas de desecho. Se produce por la diseminación de compuestos que contienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea. También puede producirse por la reducción de los nitratos en condiciones anaerobias, por bacterias autótrofas nitrificantes (Cortés-Morales, 2004).
- Cloruros (mg/L): El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Debido al uso del cloro como germicida, su presencia es ubicua en aguas potables. El alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruros en aguas residuales cuando éstas son utilizadas para riego agrícola deteriora en forma importante la calidad del suelo (DOF, 2001a).
- Nitratos (mg/L): Es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos ha sido identificado como el determinante

del crecimiento de éstos. Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados (DOF, 2001b).

- Carbono orgánico total (mg/L): Los compuestos de carbono orgánico varían enormemente. La medición del carbono orgánico total engloba la suma de todos los compuestos orgánicos presentes. Entre más alto sea su contenido es un indicador de que hay más materia orgánica, la cual puede llegar a ser dañina para la salud.
- Nitrógeno total (mg/L): Al igual que el fósforo es un nutrimento que en exceso puede producir eutrofización. El nitrógeno suele presentarse como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ).
- Fósforo total (mg/L): El fósforo es uno de los nutrimentos fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos altos de éstos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática. Una gran parte del fósforo presente en las aguas puede deberse al uso de abonos fosfatados y detergentes que contienen fosfatos para suavizar el agua (Aznar, 2000).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (mg/L): Expresa la cantidad de oxígeno necesaria para degradar a través de microorganismos, la materia orgánica biodegradable. Es un parámetro muy general cuyo origen se remonta a la evaluación de la calidad de ríos (el tiempo que tardaba el agua del río Támesis en llegar de Londres al Mar del Norte era de cinco días y de allí se generalizó el uso de este parámetro medido en cinco días). Actualmente, en estudios científicos se mide la DBO<sub>u</sub>, última, esto es, cuando ya no hay materia orgánica biodegradable. Este parámetro no funciona cuando hay compuestos tóxicos que inhiben o incluso matan a los microorganismos usados para medir la cantidad de oxígeno consumido por lo que siempre es importante medir también el contenido total de materia oxidable químicamente, parámetro global conocido como demanda química de oxígeno, DQO, y su relación permite constatar si realmente puede biodegradarse esa materia orgánica usando microorganismos. A esta

relación se le conoce como relación de biodegradabilidad,  $R_b$  y es el cociente de DBO/DQO. El valor de  $R_b$  va entre cero y uno, siendo cero para aquellas aguas que no vale la pena tratar usando sistemas bioquímicos y uno para las que son totalmente biodegradables (Durán-de-Bazúa, 1994).

- Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L): Parámetro global que mide todas aquellas sustancias que se encuentran en una muestra de agua susceptibles de ser oxidadas químicamente usando una mezcla de reactivos químicos fuertemente oxidantes, generalmente dicromato de potasio con ácido sulfúrico usando algunos otros reactivos para eliminar el efecto de los cloruros y para acelerar la rapidez de la oxidación, sulfatos de plata y mercurio y, de la misma. Se mide en mg de oxígeno equivalentes a la cantidad de agente oxidante por diferencia con un blanco de agua destilada (Durán-de-Bazúa, 1994).

A continuación, se presenta la metodología seguida en esta investigación.

## **Capítulo 3. METODOLOGÍA**

### **3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES AUTOMÁTICAS DE CALIDAD DEL AGUA**

A continuación, se presenta la descripción de los dos sistemas de medición.

#### **3.1.1. BOYA**

La Boya se encuentra ubicada a una distancia cercana de la obra de toma en la presa Valle de Bravo (en las coordenadas 19° 12' 29.77" N, -100° 10' 48.86" O), por medio de la cual se extrae el agua que corre por el canal Donato Guerra para llegar a la planta potabilizadora de Los Berros.

Se trata de un sistema integral, automático especializado en la adquisición, medición, almacenamiento y transmisión de datos. Está diseñada para trabajar con sondas multi-paramétricas Hydrolab de la serie 5X en aplicaciones de calidad del agua.

En las Figuras 3.1 y 2 se muestran tanto la fotografía del equipo como el diagrama esquemático de su funcionamiento.

Está conformada por:

- Sondas Multi-paramétricas

Se tienen 3 sondas multi-paramétricas. Las primeras dos se encuentran a 1 m de profundidad y la tercera a 15 m de profundidad. Las tres cuentan con un sistema de auto-limpieza y transmiten datos cada 20 minutos. La primera sonda, a 1 metro, incluye los siguientes sensores:



Figura 3.1. Boya de calidad del agua (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)



Figura 3.2. Boya con Sondeas de Calidad del Agua y Cadena de Termistores (IGS, 2019)

- Sensor de temperatura (°C)
- Sensor de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y sólidos disueltos totales (g/L)
- Sensor de pH (UpH) y *ORP* (mV) con electrodo de referencia estándar
- Sensor de profundidad (0-100 m)
- Sensor de algas verdiazules (cel/mL)
- Sensor luminiscente de oxígeno disuelto (mg/L)

La segunda sonda, a 1 metro, incluye los siguientes sensores:

- Sensor de amonio (mg/L)
- Sensor de nitratos (mg/L)
- Sensor de cloruros (mg/L)
- Sensor de turbidez (*NTU*)

La sonda ubicada a 15 metros incluye los siguientes sensores:

- Sensor de temperatura (°C)
- Sensor de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y sólidos disueltos totales (g/L)
- Sensor de pH (UpH) y *ORP* (mV) con electrodo de referencia estándar
- Sensor de algas verdiazules (cel/mL)

En las Figuras 3.3 a 3.5 se muestran acercamientos fotográficos de las sondas de la BOYA. Además de las sondas el sistema cuenta con aparatos para medir las condiciones climáticas (Figura 3.6):

- Sistema meteorológico

Está compuesto por un multi-sensor que integra en un solo encapsulado la medición de las siguientes variables:

- Temperatura del aire (°C)

- Humedad relativa (%)
- Presión barométrica (hPa)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (°)
- Radiación solar ( $W/m^2$ )



Figura 3.3. Sonda DS5X (CONAGUA, 2013)



Figura 3.4. Sensores de la sonda (CONAGUA, 2013)



Figura 3.5. Sonda en Boya (CONAGUA, 2013)



Figura 3.6. Multi-sensor meteorológico (CONAGUA, 2013)

- Perfil de temperatura

Se tiene integrada una cadena con 20 termistores. Los primeros 18 se encuentran ubicados a 1 metro de distancia entre sí y los últimos 2 se encuentran a una distancia de 5 metros entre sí, dando un total de 28 metros (Figura 3.7).



Figura 3.7. Colocación de termistores en Boya (CONAGUA, 2013)

- Sistema de comunicación y telemetría

La transmisión de datos se hace a través de un “*modem GPRS*” transmitiendo a través de una red celular. De esta manera se puede transmitir la información para posteriormente ser recuperada por el usuario mediante el software Hydras 3 (Figura 3.8).



Figura 3.8 Tablero de modem (CONAGUA, 2013)

- Sistemas auxiliares



La estación cuenta además con:

- Reflector de radar
- Dos paneles solares (12V/25W)
- Baterías de alimentación de 26 Ah
- Tres barras sólidas de anclaje
- Platinas de montaje de electrónica y batería
- Luz de señalización autónoma de visibilidad a una milla náutica (1.852 km)

### **3.1.2. *GUARDIAN BLUE* (GUARDIÁN AZUL EN INGLÉS)**

Se encuentra ubicado en el río Amanalco (en las coordenadas 19° 13' 15.7" N, - 100° 07' 52.1" O) siendo importante conocer la calidad del agua de este río ya que es uno de los principales afluentes de la presa Valle de Bravo. Se trata de un sistema integral, automático y de última tecnología marca HACH (2018), especializado en la adquisición, medición, almacenamiento, procesamiento, visualización y transmisión de datos. Adicionalmente, permite la toma de muestras de agua programado automáticamente mediante tiempos o accionado por registro de eventos (Figuras 3.9 a 11).

El equipo Guardian Blue está conformado por:

- Controlador SC1000

Equipo de adquisición y almacenamiento de datos. Permite el reconocimiento automático de los sensores, así como su calibración y configuración de variables medidas.

- Sensores

Se cuenta con sensores para las siguientes variables:



Figura 3.9. *Guardian Blue*: Exterior de la estación automática de medición de la calidad del agua (CONAGUA, 2013)



Figura 3.10. *Guardian Blue*: Interior de la estación automática de medición de calidad del agua (CONAGUA, 2013)

- pH (UpH)
- Temperatura del agua (°C)
- ORP (mV)
- Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
- Turbidez (*NTU*)
- Oxígeno disuelto (mg/L)

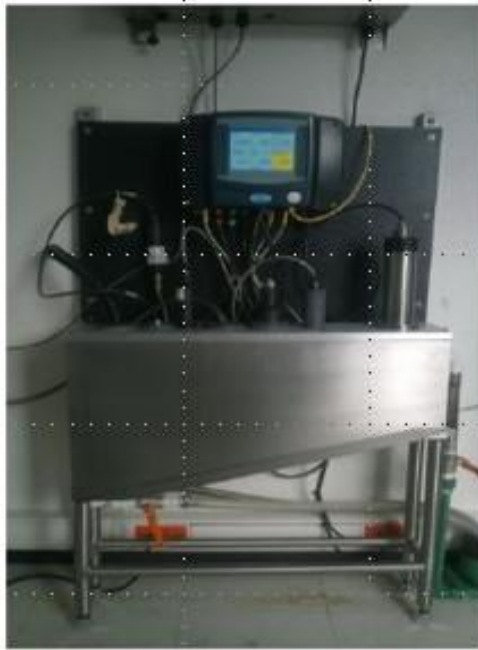


Figura 3.11. Controlador SC 1000 y sensores (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)

- BioTector B7000

Es un equipo analizador de medición directa de carbono orgánico total (mg/L), COT, nitrógeno total (mg/L), NT, fósforo total (mg/L), FT, además de medir  $\text{DBO}_T$  (mg/L) y  $\text{DQO}_T$  (mg/L), a través de una correlación con los datos medidos de carbono orgánico total (Figuras 3.12 y 13).

Cuenta con un concentrador de oxígeno, el cual es necesario para llevar a cabo las reacciones correspondientes en la medición de los parámetros antes mencionados (Figura 3.14).



Figura 3.12. Exterior del BioTector 7000  
(Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro  
Juárez)



Figura 3.13. Interior del BioTector 7000  
(CONAGUA, 2013)



Figura 3.14. Concentrador de oxígeno (CONAGUA, 2013)

- Sistema meteorológico y de medición de nivel

El sistema meteorológico está compuesto por un multi-sensor que integra en un solo encapsulado la medición de las siguientes variables (Figura 3.15):

- Temperatura del aire (°C)
- Humedad relativa (%)
- Presión barométrica (hPa)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (°)
- Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)
- Precipitación (mm)
- Nivel del agua (m)
- Gasto (m<sup>3</sup>/s)

Los sensores son administrados por un sistema *Datalogger NetDL1000*, el cual almacena los datos medidos para ser transmitidos posteriormente mediante un *modem*. Estos equipos se encuentran resguardados en un gabinete de acero inoxidable y están protegidos eléctricamente contra sobre-voltajes y contra sobrecorrientes por medio de fusibles.



Figura 3.15. Multi-sensor meteorológico (CONAGUA, 2013)

- Sistema eléctrico y de iluminación

Incluye toda la instalación de la red de alimentación eléctrica, considerando:

- Tablero principal de alimentación
- Cableado de todos los contactos e interruptores eléctricos
- Tres luminarias interiores y una exterior, así como un foto-control, el cual enciende automáticamente las luces del exterior al entrar el ocaso
- Generador de emergencia

- Sistema hidráulico de toma de muestra

Se instaló un sistema hidráulico para el bombeo continuo de agua del río Amanalco hacia la estación que, de esta forma, está abasteciendo de agua las 24 horas del día al sistema de medición (Figuras 3.16 y 17). Como parte de este sistema se instalaron:

- Bomba sumergible de  $\frac{1}{2}$  HP
- Tubo de polipropileno
- Válvulas y conexiones interiores y exteriores
- Filtros y desarenadores



Figura 3.16. Bomba sumergible (CONAGUA, 2013)



Figura 3.17. Tubería exterior (CONAGUA, 2013)

- Sistema de comunicación y telemetría

Se tiene instalada una red compuesta por alambrado, nodos y conectores necesarios para el uso del internet dentro de la estación. Este sistema está compuesto por un *modem wi-fi* que se conecta a *Internet*. De esta manera se puede transmitir la información y los datos medidos por la estación para posteriormente ser recuperada por el usuario (Figura 3.18).



Figura 3.18. Gabinete con MODEM (CONAGUA, 2013)

- Sistema de seguridad y vigilancia

Como parte de los sistemas auxiliares para la vigilancia se incluye un sistema que trabaja durante las 24 horas grabando imágenes. El sistema está compuesto por dos cámaras analógicas con visión nocturna, las cuales realizan el seguimiento de la entrada a la estación y el compartimento para el generador de emergencia, respectivamente (Figura 3.19).



Figura 3.19. Cámaras de vigilancia externas (CONAGUA, 2013)

Se tiene también una cámara con movimiento, vista infrarrojo y una rutina programada para vigilar tanto la toma de muestra como los alrededores de la estación. Toda la información es almacenada y transmitida mediante una videograbadora.

Además, se tiene instalado un sistema de alarma contra intrusión para detección de apertura y/o cierre de puerta y ventanas, lanzando una alarma audible por medio de un altavoz instalado en la parte superior de la estación. Adicional a esto se cuenta con un detector inalámbrico de movimiento en el interior de la caseta.

### **3.2. VISUALIZACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La información obtenida a través de ambas estaciones de medición de calidad del agua se puede visualizar de tres diferentes maneras: A través del programa Hydras 3, por medio de la visualización en línea conocida como Sistema Integral de Calidad del Agua (SICA) o a través de un servicio de almacenamiento conocido como *OneDrive*.

#### **3.2.1. Hydras 3**

A través de este programa, se pueden observar los datos de todas las estaciones automáticas instaladas por CONAGUA en forma gráfica, seleccionando cualquier período deseado, ya que cuenta con la base de datos desde el inicio, hasta dos horas antes del momento en que se revisa.

El programa Hydras 3 permite graficar hasta seis parámetros por figura, lo cual facilita correlacionar algunos de ellos y ver su comportamiento durante el período seleccionado. Además, realiza gráficas de dispersión y da algunos parámetros estadísticos como media, varianza, covarianza y coeficiente de correlación.

En las Figuras 3.20 a 24 se muestran ejemplos de las pantallas de un sistema de cómputo para los diferentes equipos.



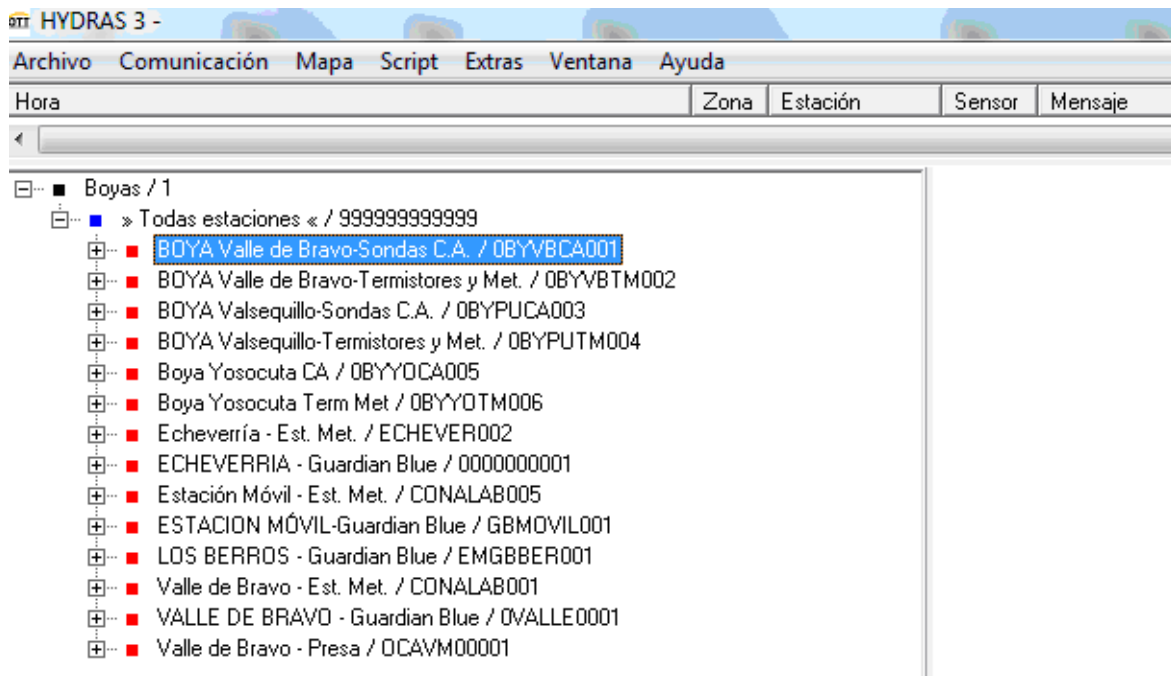


Figura 3.20. Estaciones automáticas en Hydras 3 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)

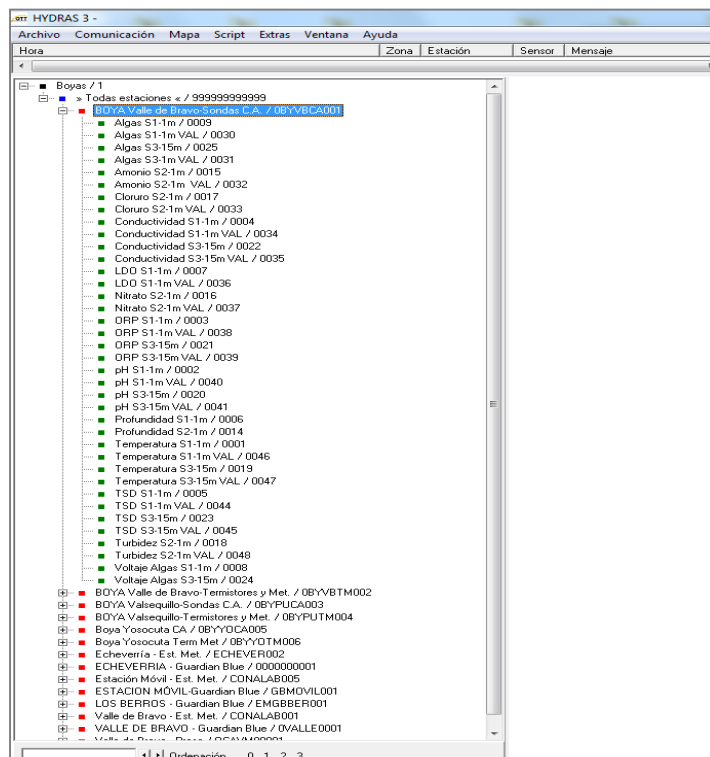


Figura 3.21. Parámetros medidos por cada estación vistos desde el Hydras 3 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)

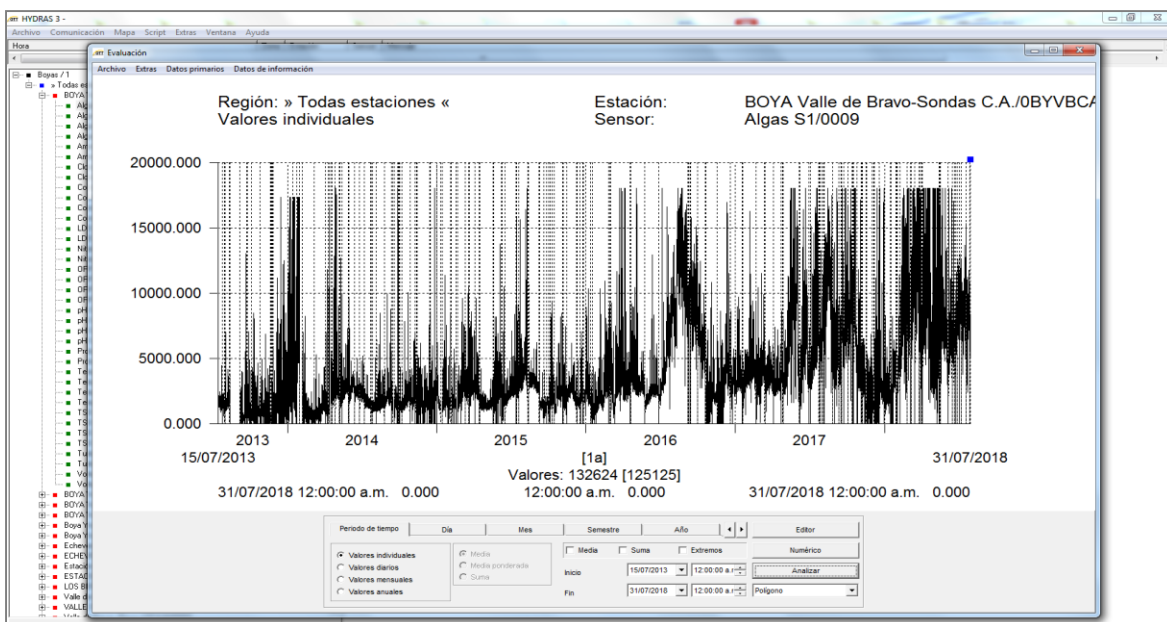


Figura 3.22. Gráfica de algas a 1m, Boya Valle de Bravo, desde el 31 de julio del 2013 hasta el 31 de julio del 2018 (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)

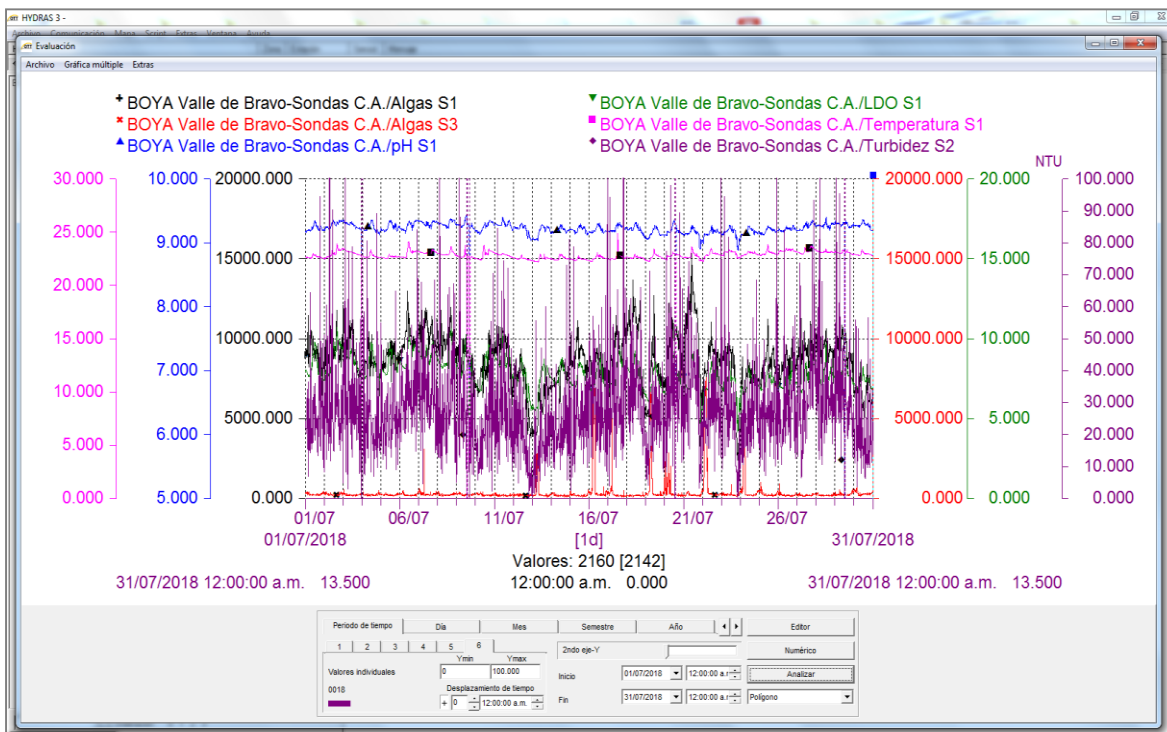


Figura 3.23. Gráfica del Hydras 3 con seis parámetros sobrepuestos (Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)

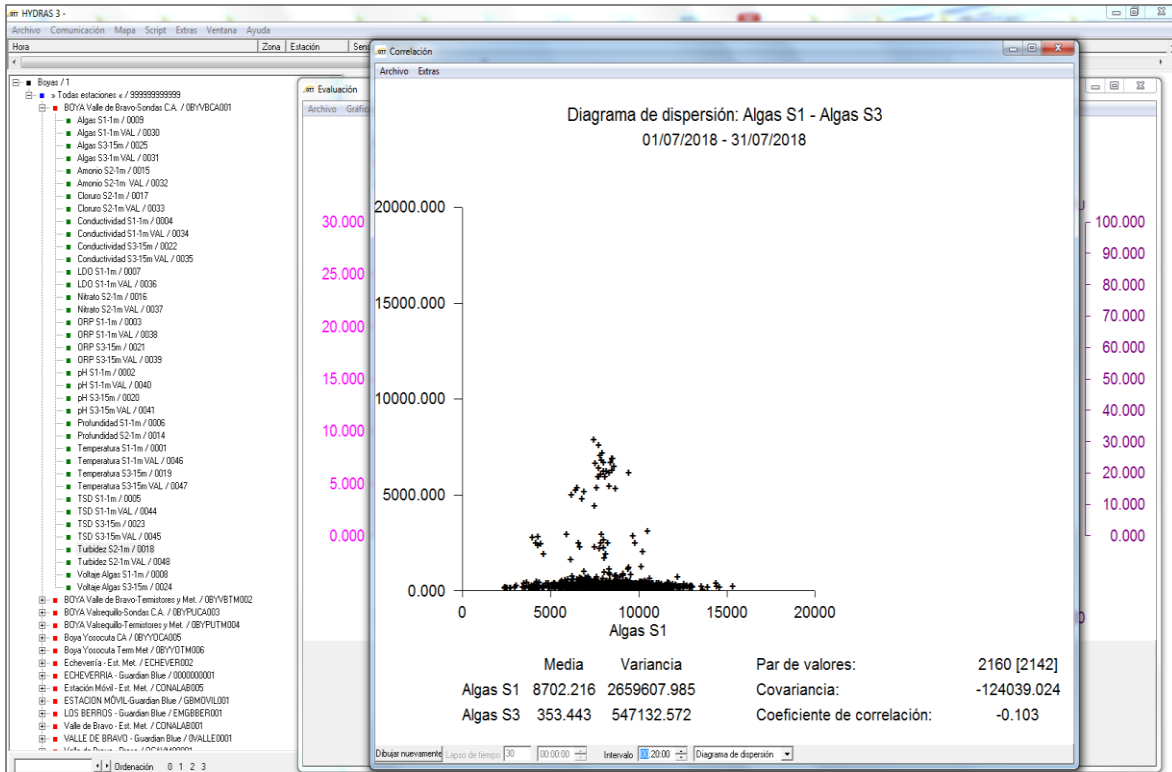


Figura 3.24. Diagrama de dispersión realizado en el Hydras 3: Algas a 1 m y algas a 15m  
(Fotografía cortesía del Biólogo Martín Castro Juárez)

### 3.2.2. Sistema Integral de Calidad del Agua (SICA)

Por medio de una página de *internet*, se tiene acceso a la visualización en tiempo “semi-real” a la información obtenida a través de las estaciones automáticas. Se dice que es “semi real” debido a que se obtiene información con un desfase de 2 horas, es decir, la información que se observa es de dos horas antes del momento de consultarla. Se tiene información de todas las estaciones instaladas por la CONAGUA, observando esta información a través de una gráfica por parámetro y únicamente de una semana atrás al momento de la consulta.

En las Figuras 3.25 y 26 se muestran dos ejemplos de esta información proporcionada por el sistema.

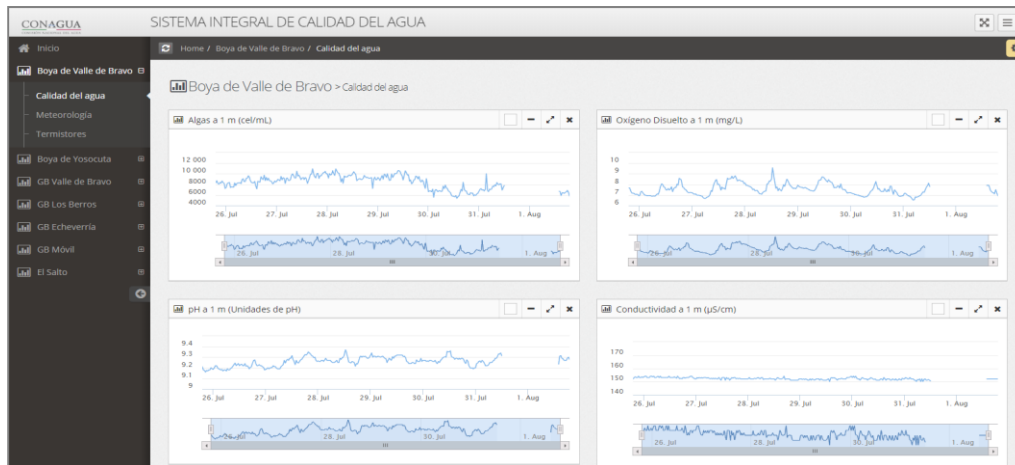


Figura 3.25. Visualización de los datos de calidad del agua de la Boya Valle de Bravo desde el SICA (CONAGUA, 2018)



Figura 3.26. Visualización de los termistores de la Boya Valle de Bravo desde el SICA (CONAGUA, 2018)

### 3.2.3. OneDrive

OneDrive es una plataforma que permite almacenar archivos, documentos y cualquier material, permitiendo compartir la información con otras personas. El personal del consorcio CONALab, encargado de que la transmisión de los datos sea completa y a tiempo para la CONAGUA, creó esta plataforma denominada OneDrive, en la cual cada semana se suben los datos obtenidos durante la semana anterior, acumulando de esta manera toda la información por meses en formato de Excel para la consulta y análisis de cada cuerpo de agua. Además, se

suben reportes con el estatus actualizado de cada una y fechas de visitas para mantenimiento a las estaciones (Figura 3.27).

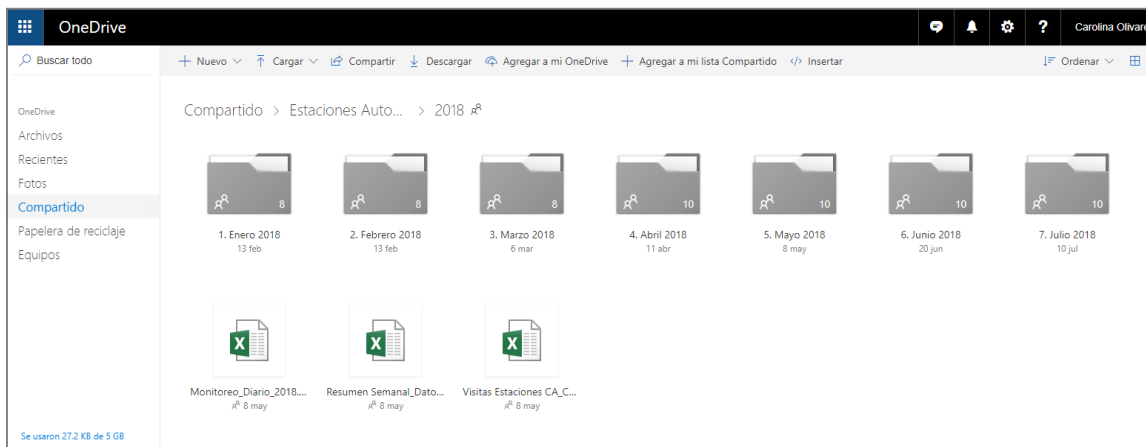


Figura 3.27. *OneDrive* donde son compartidos los datos de las estaciones automáticas (CONAGUA, 2018)

A continuación se presentan ejemplos de los resultados obtenidos en esta investigación.

## **Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las estaciones de calidad del agua han obtenido datos a partir del 2013 y hasta el año en curso. Con fines de poder observar si existe alguna tendencia con respecto a las diferentes estaciones climatológicas que se presentan durante el año, o bien ver si las temporadas de lluvia y estiaje producen algún cambio significativo en alguno de los parámetros medidos, se tomarán únicamente los años 2014 – 2017, los cuales se tienen completos y validados.

### **4.1. BOYA PRESA VALLE DE BRAVO**

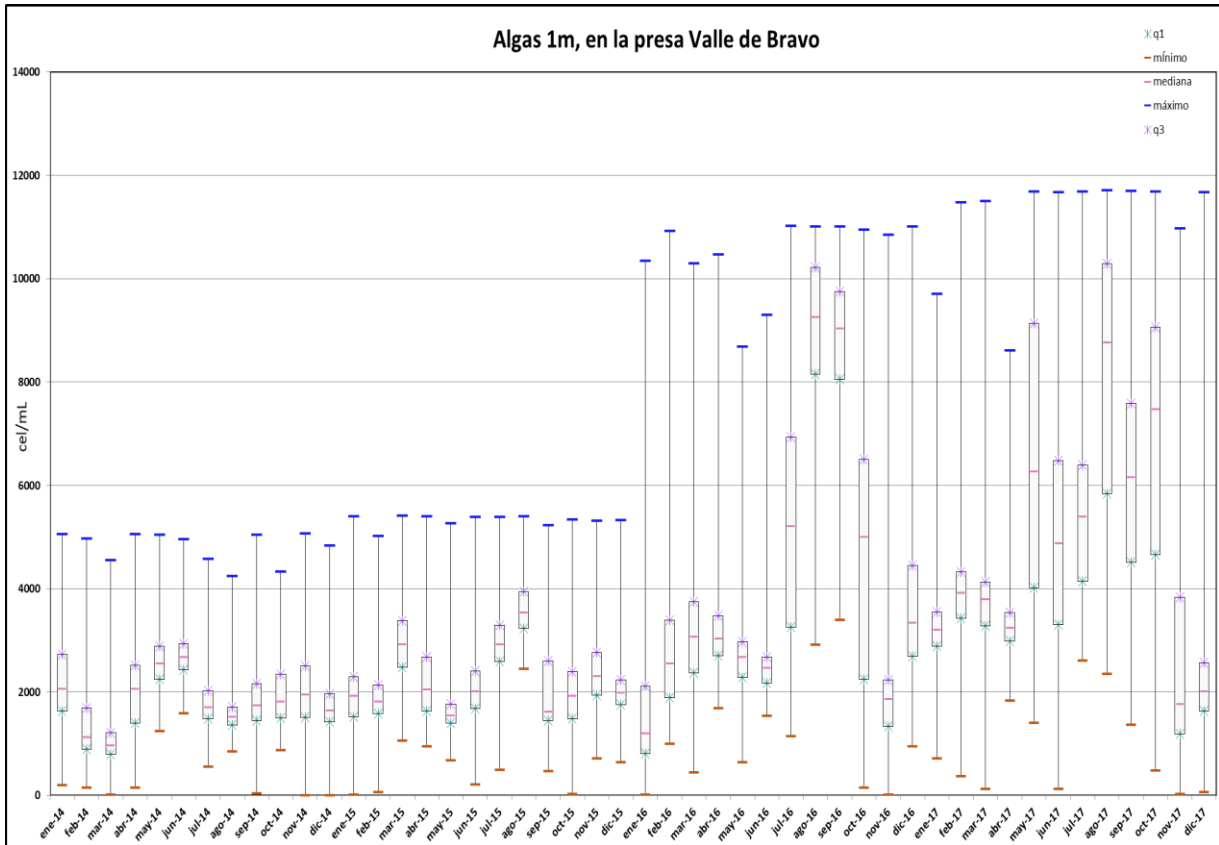
#### **4.1.1. NIVELES DE ALGAS EN LA PRESA**

Una combinación de altas temperaturas, poco movimiento en el cuerpo de agua y altas concentraciones de fósforo y nitrógeno pueden resultar en un crecimiento excesivo de algas en el agua.

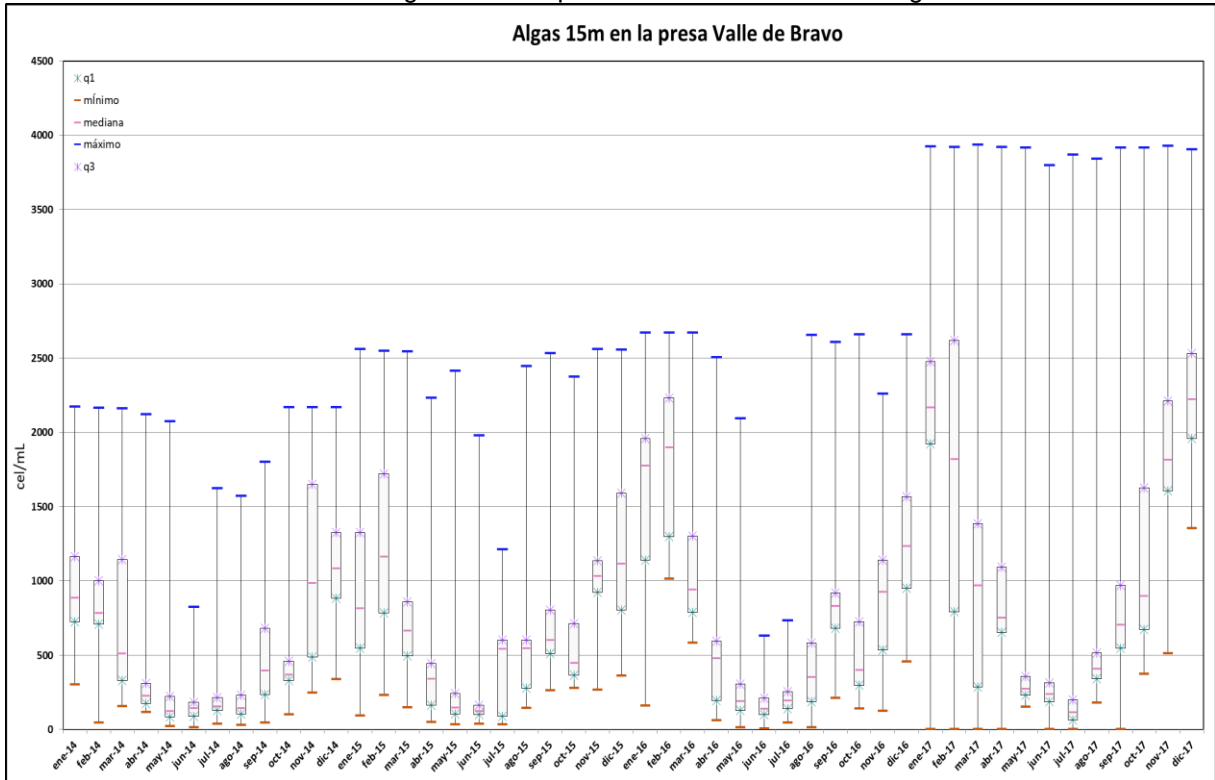
Los niveles altos de algas se reflejan con escasez de oxígeno en el agua, bloqueo de la luz solar y algunas características físicas desagradables como mal olor y sabor peculiar, los cuales aún después de haber pasado por una planta potabilizadora pueden percibirse.

Para tener un control del crecimiento de las algas en la presa, la boya ubicada en este cuerpo de agua cuenta con un sensor de algas a 1 m de profundidad y otro a 15m de profundidad.

En las Gráficas 4.1 y 2 se presenta la información al respecto. Es un ejemplo de la información recopilada a lo largo de 4 años.



Gráfica 4.1. Concentración algal a 1 m de profundidad en cel/mL a lo largo de cuatro años



Gráfica 4.2. Concentración algal a 15 m de profundidad en cel/mL a lo largo de cuatro años

En las dos gráficas anteriores se puede observar que en el transcurso de los años se ha ido incrementando la cantidad de algas cuantificadas en la presa, tanto a 1 m de profundidad como a 15 m de profundidad, aunque se observa un incremento mayor a la profundidad de 1 m y del año 2016 al 2017.

A 1 m se observó que en los meses de marzo a septiembre (temporada de lluvias) se tuvo un incremento en los niveles de algas, teniendo estos meses las medianas más altas en todos los años, mientras que los meses de octubre a febrero donde la temperatura desciende y las lluvias cesan, fueron los meses con los niveles más bajos de algas.

A 15 m las algas tuvieron un comportamiento contrario al de la superficie, los meses de marzo a septiembre presentaron los niveles más bajos de algas mientras que los meses de octubre a febrero tuvieron niveles más altos. Esto se debe a que en los meses más fríos el gradiente de temperatura es menor, es decir la temperatura de la superficie es muy similar a la temperatura en la profundidad, teniendo un sistema isotérmico en el que se favorece el movimiento del agua y las algas pueden proliferar en el fondo. Por otro lado en los meses con temperatura más alta, se genera un cambio en la temperatura conforme cambia la profundidad, haciendo que se forme una barrera y no se pueda homogeneizar el agua. Por ende, aunque las condiciones en la superficie favorecen el crecimiento de algas en el fondo no sucede lo mismo.

#### **4.1.2. CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989)**

Con el propósito de controlar la calidad, la CONAGUA ha clasificado a la Presa Valle de Bravo como tipo “C”, lo que, implica que de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en materia de agua (CONAGUA-SEMARNAT, 2016) y la NOM-001-SEMARNAT-1996 (CONAGUA-SEMARNAT, 2016), las aguas de la presa son para Protección para la Vida Acuática.



En realidad el agua de la presa es dirigida a la potabilizadora Los Berros, siendo utilizada como abastecimiento público urbano, por lo que se realizó el análisis de la calidad del agua de la presa tomando en cuenta ambos usos.

#### 4.1.2.1. PRESA VALLE DE BRAVO COMO TIPO “C”, PROTECCIÓN PARA LA VIDA ACUÁTICA

De los parámetros de calidad del agua medidos por las sondas ubicadas en la boya, únicamente tres de ellos tienen criterio de calidad para el uso de protección para la vida acuática, siendo estos: oxígeno disuelto, pH y nitrógeno amoniacal. La Tabla 4.1. muestra esta información.

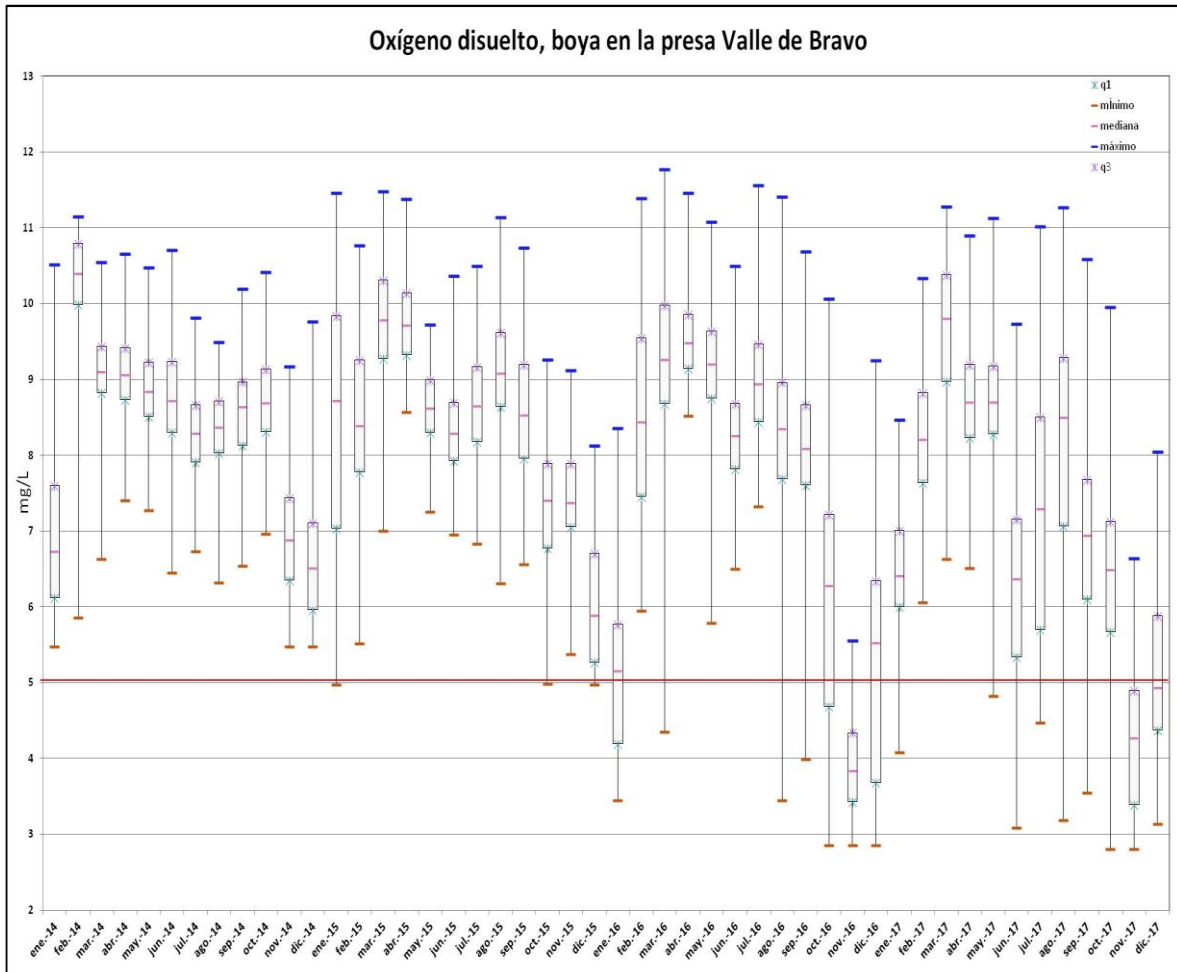
Tabla 4.1. Parámetros evaluados por la boya que cuentan con CE-CCA001/89

No.	Parámetro	Unidades	Protección de la Vida Acuática, PVA CE-CCA001/89
1	Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.06
2	Oxígeno disuelto	mg/L	5
3	pH	UpH	6.5-8.5

NOTA: El oxígeno disuelto incumplirá cuando la concentración sea menor que el límite marcado por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89)

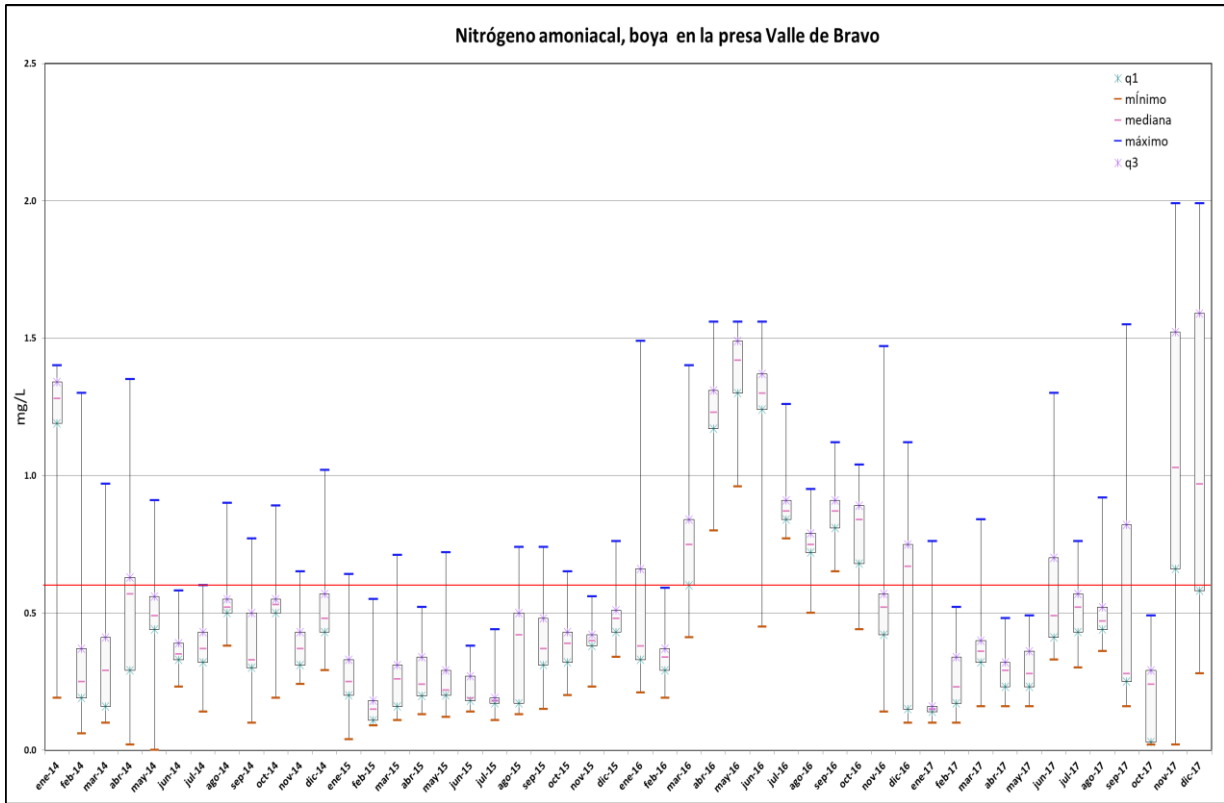
La Gráfica 4.3 presenta un ejemplo de estas mediciones para el **oxígeno disuelto** en un lapso de cuatro años. Se presentaron valores entre 2.81 y 11.78 mg/L, quedando por debajo del criterio de 5 mg/L en algunas ocasiones durante el 2016 y 2017. Se puede observar que en todos los años se tuvo tendencia a que los niveles de oxígeno disminuyeron un poco en los meses de octubre a enero, donde las temperaturas eran menores y las lluvias más escasas.

Los valores de **nitrógeno amoniacal** (Gráfica 4.4) estuvieron en el intervalo de 0 a 1.99 mg/L, rebasando el criterio de 0.6 mg/L en varias ocasiones. Los valores más altos se presentaron en noviembre y diciembre del 2017.

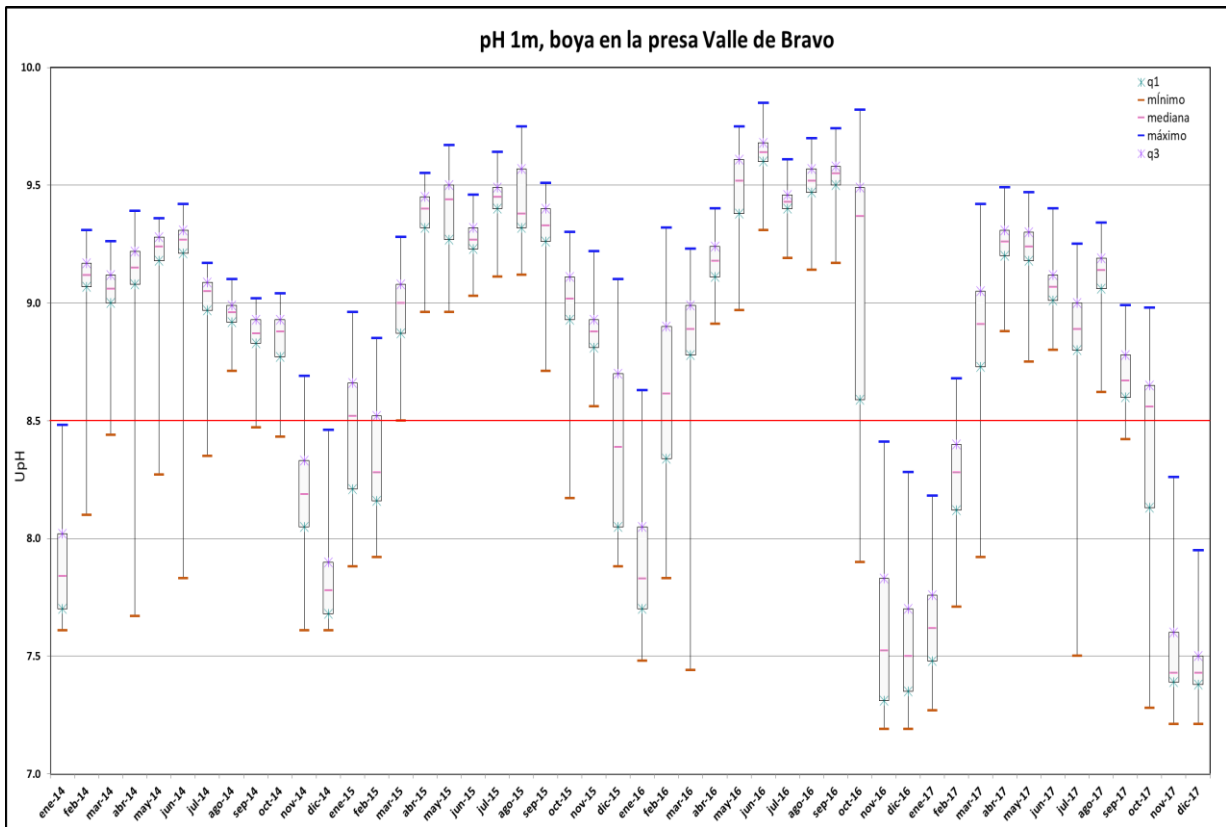


Gráfica 4.3. Mediciones de oxígeno disuelto en mg/L a lo largo de cuatro años

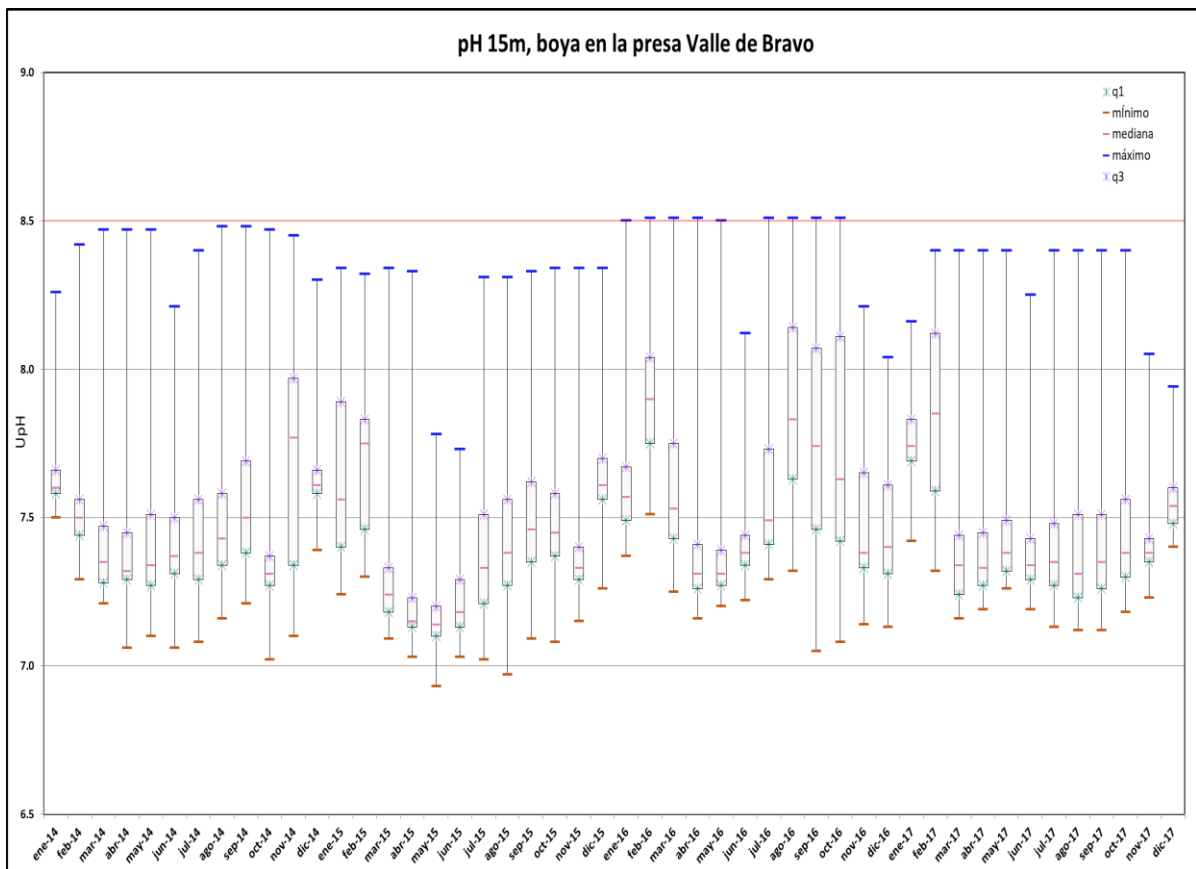
El criterio de **pH** para la protección de la vida acuática va de 6.5 a 8.5 UpH. En la Gráfica 4.5 los datos obtenidos por el sensor de pH a 1m rebasaron en numerosas ocasiones el rango superior del criterio presentando un máximo de 9.85 UpH en junio del 2016. También se pudo observar que los niveles más altos de cada año se ubicaron entre los meses de marzo y septiembre, coincidiendo con las temperaturas más altas y la temporada de lluvias, empezando a descender en el mes de octubre. Para el sensor ubicado en la profundidad de 15 m (Gráfica 4.6) los valores se encontraron en el rango de 6.93 a 8.51 UpH, rebasando el criterio de 8.5 UpH por muy poco en algunas ocasiones. Se observa que durante los meses de marzo a septiembre los valores de pH a esta profundidad decrecieron un poco, ubicándose el mínimo de 6.93 UpH en el mes de mayo del 2015.



Gráfica 4.4. Mediciones de nitrógeno amoniacal en mg/L a lo largo de cuatro años



Gráfica 4.5. Mediciones de pH a 1 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años



Gráfica 4.6. Mediciones de pH a 15 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años

#### 4.1.2.2. PRESA VALLE DE BRAVO COMO TIPO “B”, USO PÚBLICO URBANO

De los parámetros de calidad del agua medidos por las sondas ubicadas en la boya, únicamente cinco de ellos tienen criterio de calidad para fuente de abastecimiento de agua potable.

Estos son: oxígeno disuelto, pH, nitratos, sólidos disueltos totales y turbidez.

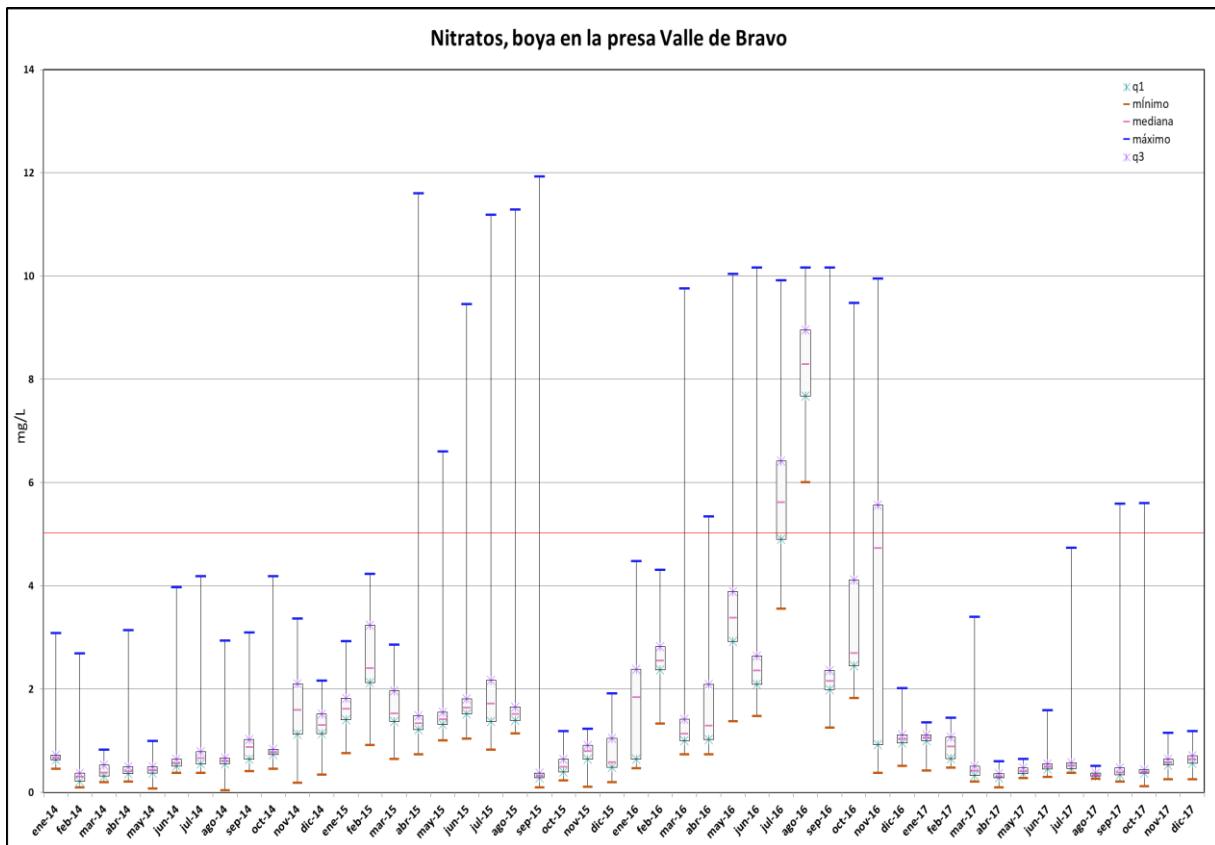
La Tabla 4.2. muestra los parámetros evaluados por la boya en estudio.

La Gráfica 4.7. presenta un ejemplo de un lapso de cuatro años para los nitratos.

Tabla 4.2. Parámetros evaluados por la boya que cuentan con CE-CCA001/89 (SEDUE, 1989)

No.	Parámetro	Unidades	Fuente de Abastecimiento de Agua Potable, FAAP CE-CCA001/89
1	Nitratos	mg/L	5
2	Oxígeno disuelto	mg/L	4
3	pH	UpH	6.0-9.0
4	Sólidos disueltos totales	mg/L	500
5	Turbidez	NTU	10

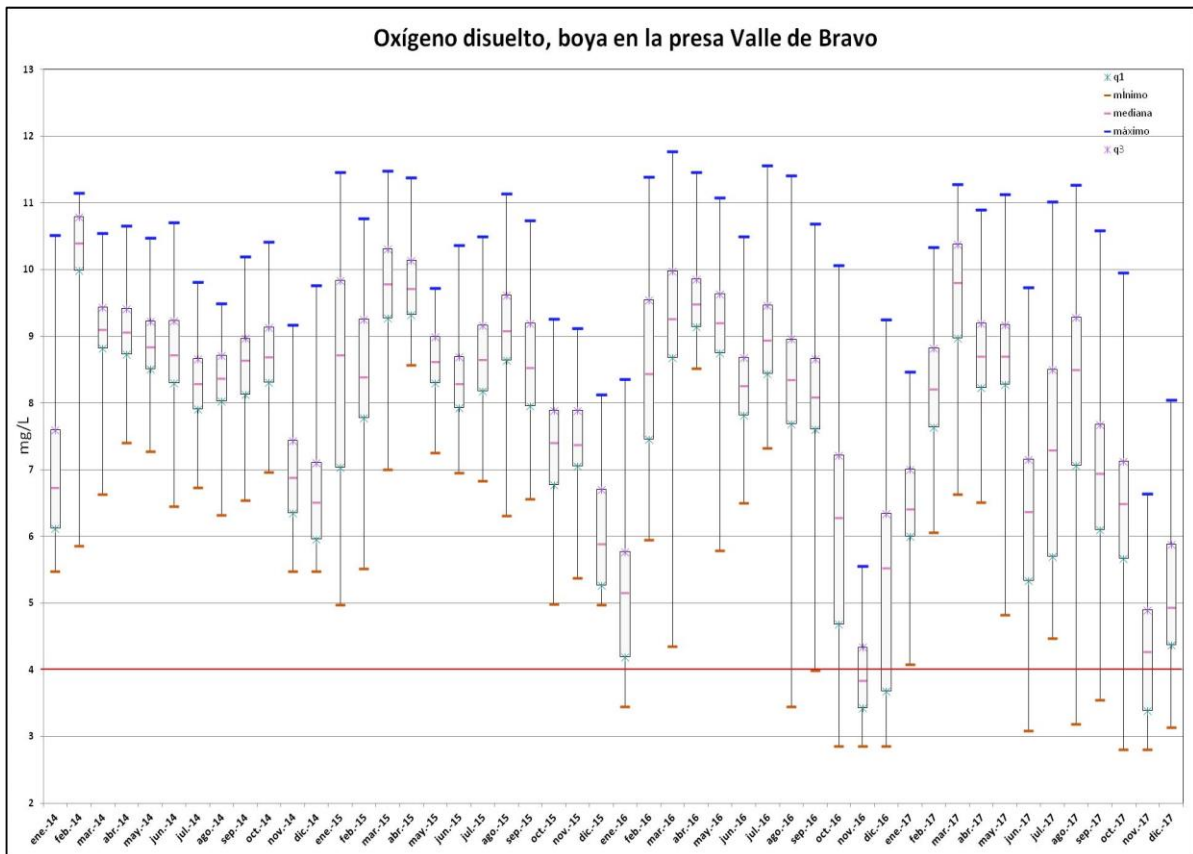
NOTA: El oxígeno disuelto incumplirá cuando la concentración sea menor que el límite marcado por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89)



Gráfica 4.7. Mediciones de nitratos en mg/L a lo largo de cuatro años

Los niveles de **nitratos** en la presa Valle de Bravo rebasaron el criterio de 5 mg/L en varias ocasiones durante el 2015, 2016 y 2017, teniendo valores entre 0.04 y 11.39 mg/L, estando el máximo en septiembre del 2015.

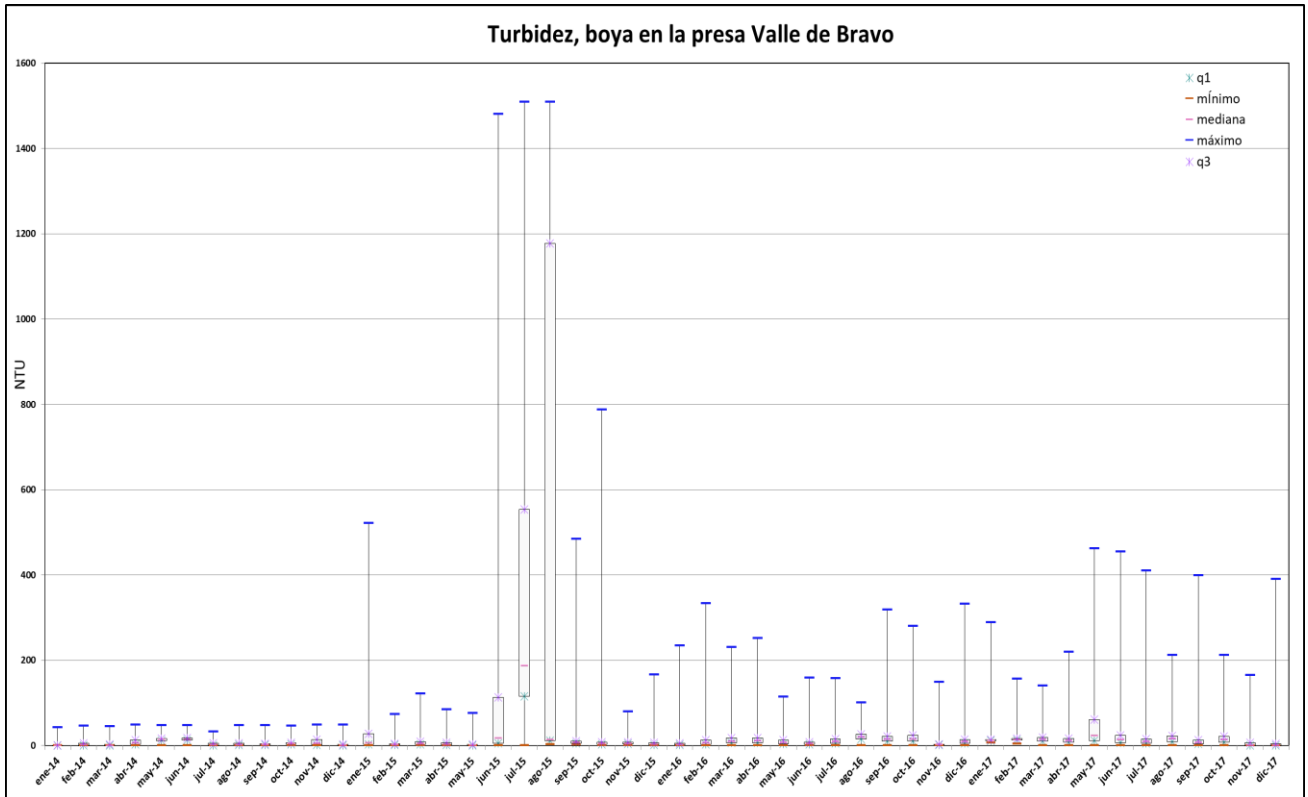
Los niveles de **oxígeno disuelto** en la presa rebasaron el criterio de 4 mg/L casi todo el tiempo, teniendo valores en un intervalo de 2.81 a 11.78 mg/L. En noviembre del 2016 fue el único mes donde la mediana estuvo por debajo del criterio. Se observa en la Gráfica 4.8 que durante los meses de octubre a diciembre los niveles de oxígeno tendieron a disminuir en la presa.



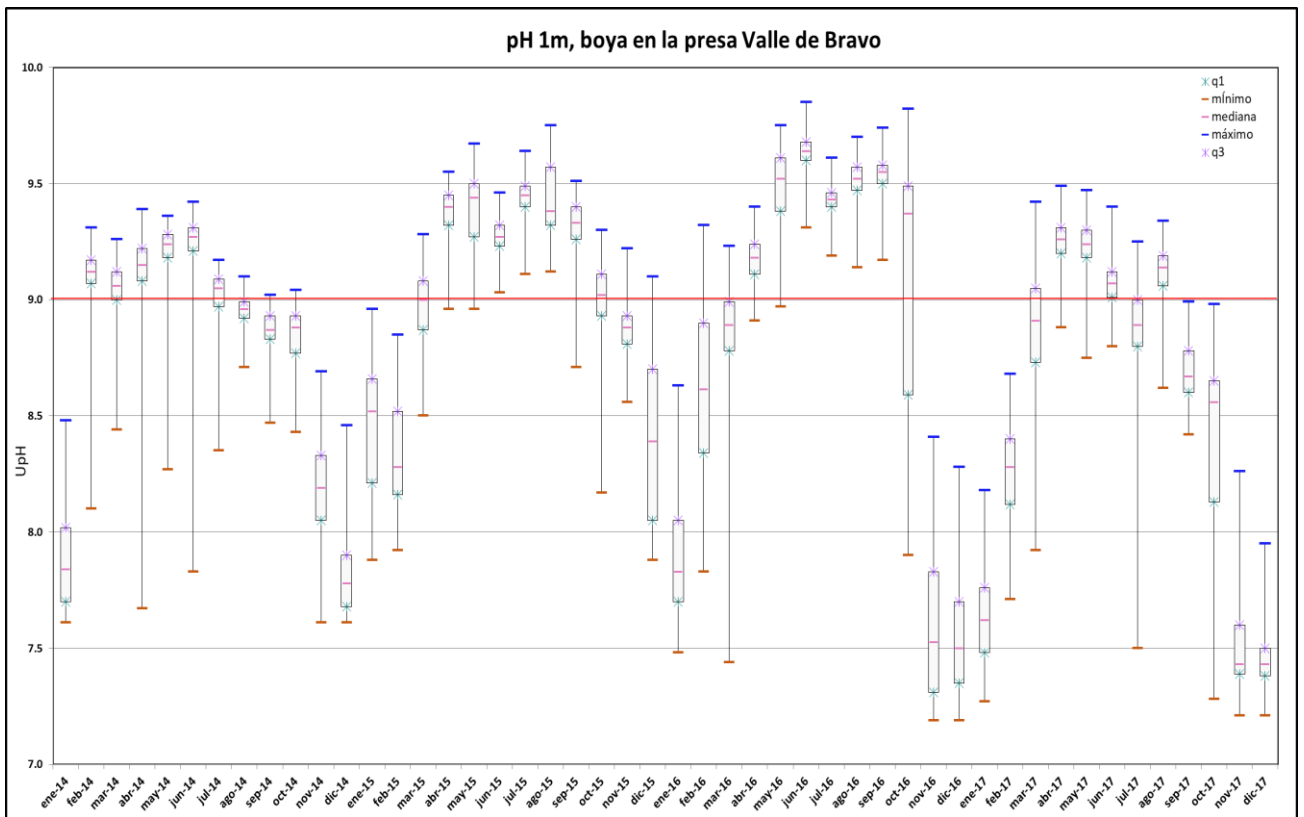
Gráfica 4.8. Mediciones de oxígeno disuelto en mg/L a lo largo de cuatro años

La **turbidez** tiene un criterio de 10 NTU, el cual es rebasado en múltiples ocasiones, teniendo un intervalo de 0 a 1,509 NTU en la presa. Los niveles más altos fueron registrados en los meses de junio a octubre del 2015, sin embargo, durante 2016 y 2017 se tienen máximos mayores a 100 NTU en todos los meses. La Gráfica 4.9 muestra la información recopilada durante cuatro años.

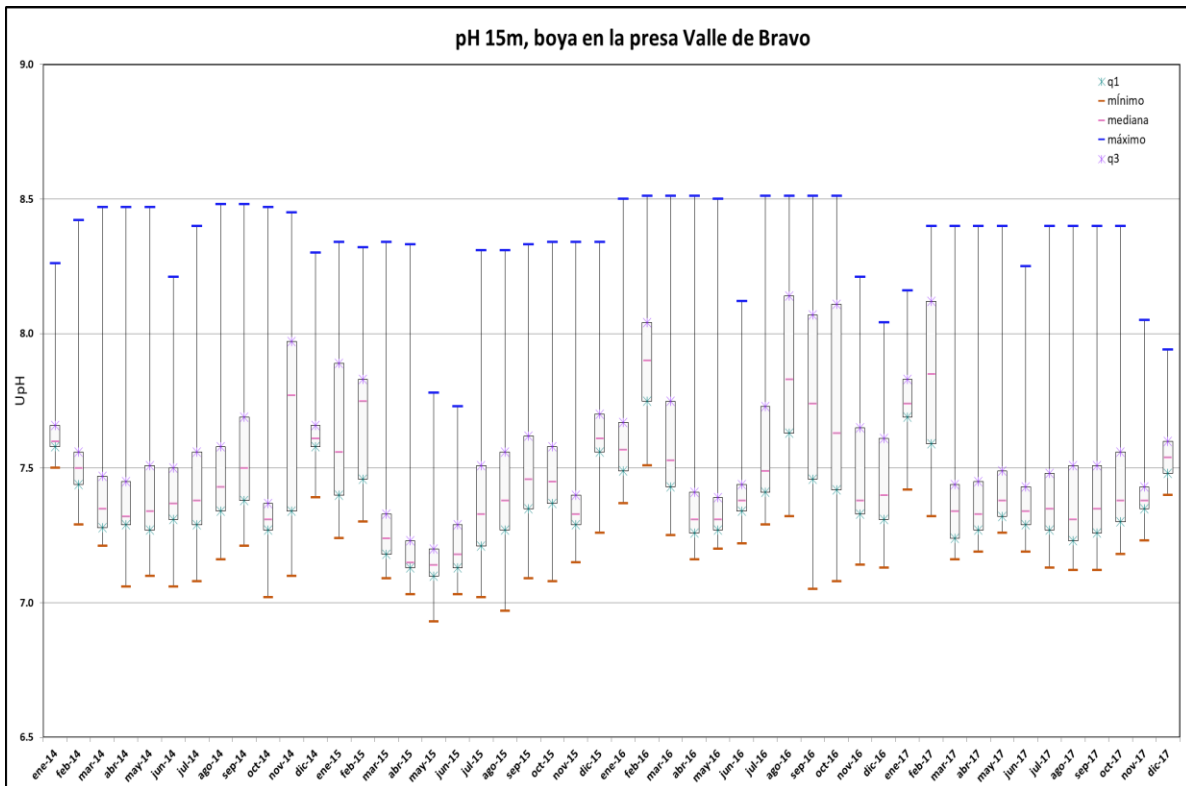
Para los valores de pH, las Gráficas 4.10 y 11 muestran los resultados acopiados.



Gráfica 4.9. Mediciones de turbidez en *NTU* a lo largo de cuatro años



Gráfica 4.10. Mediciones de pH a 1 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años

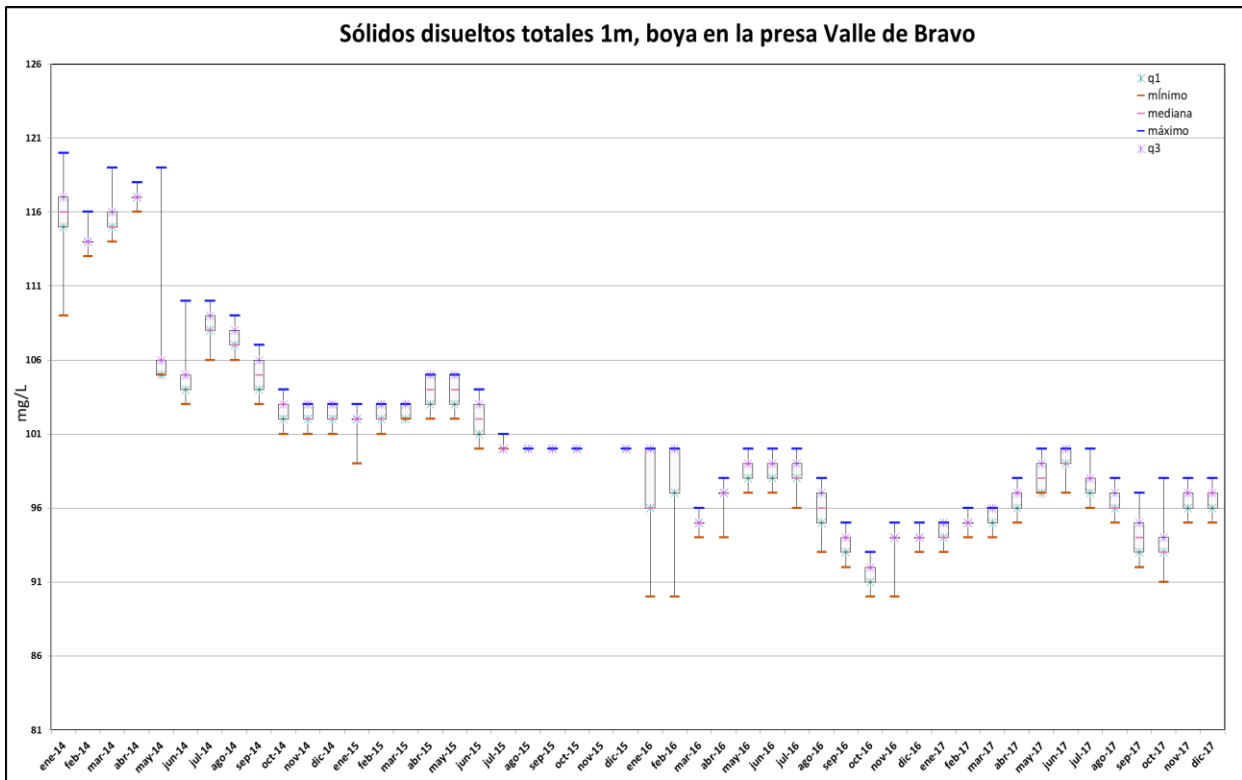


Gráfica 4.11. Mediciones de pH a 15 m de profundidad en unidades de pH a lo largo de cuatro años

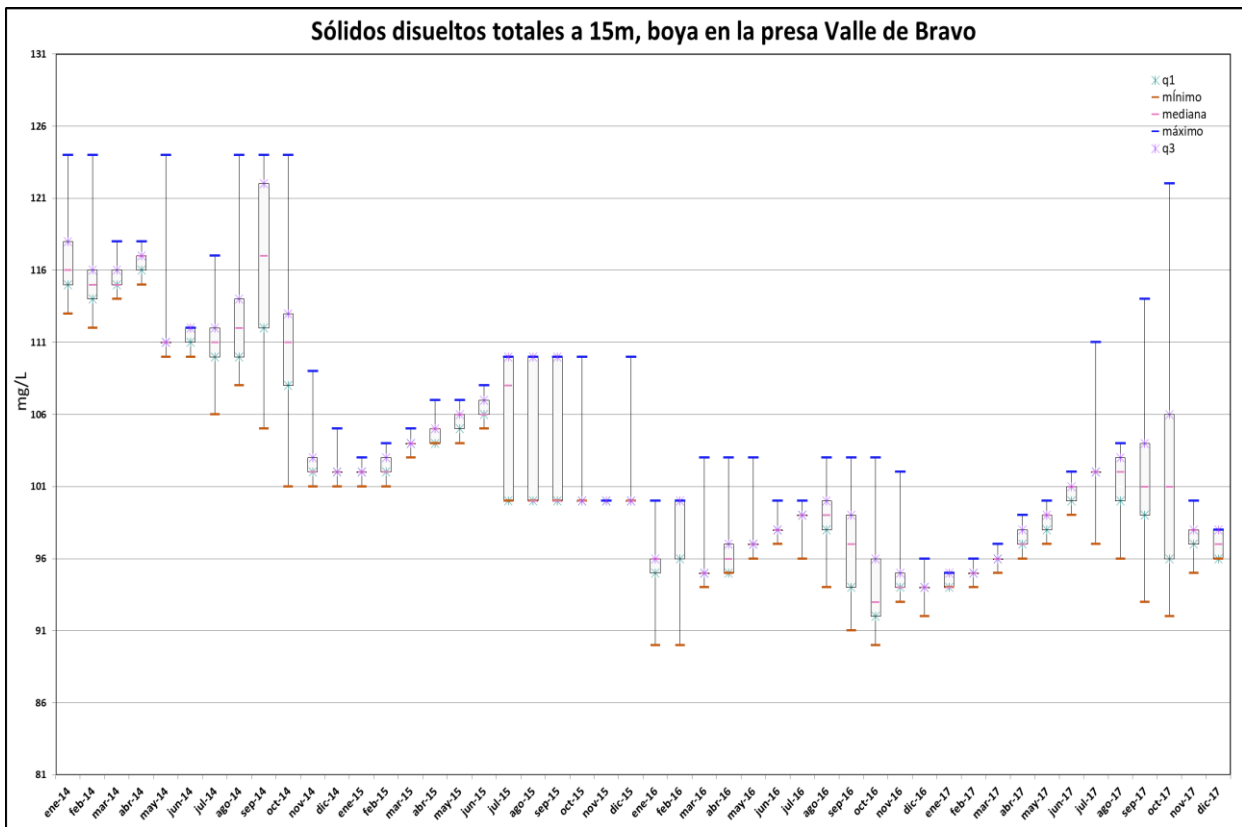
El **pH** a 1m de profundidad rebasó el criterio de 9 UpH, generalmente entre los meses de abril a septiembre, presentando un máximo de 9.85 UpH en junio del 2016. Los niveles más bajos de pH se presentaron entre los meses de octubre a marzo, teniendo un mínimo de 7.19 UpH en los meses de noviembre y diciembre del 2016.

El criterio para **sólidos disueltos totales** establece un límite de 500 mg/L los cuales no se rebasaron en ninguna de las dos profundidades donde se encuentran los sensores de sólidos disueltos (Gráficas 4.12 y 13). A 1 m se tiene un intervalo de 90 a 120 mg/L, mientras que a 15 m se tienen valores entre 90 y 124 mg/L. En ambas profundidades se puede observar que los niveles más altos se tuvieron en 2014. Además, se tuvo una tendencia en todos los años ejemplificados en la que durante los meses de abril a junio se incrementaron los niveles de sólidos disueltos en la presa.





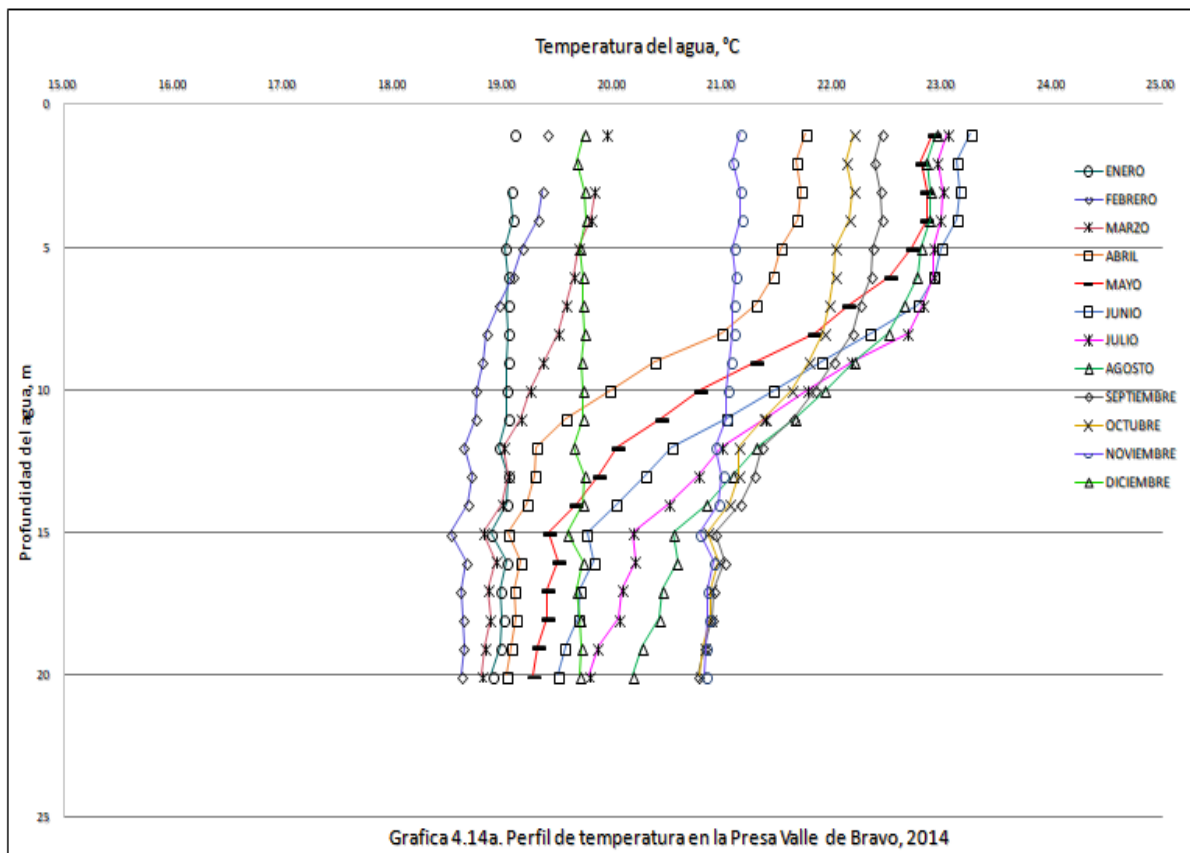
Gráfica 4.12. Mediciones de sólidos disueltos totales a 1 m de profundidad en mg/L en 4 años

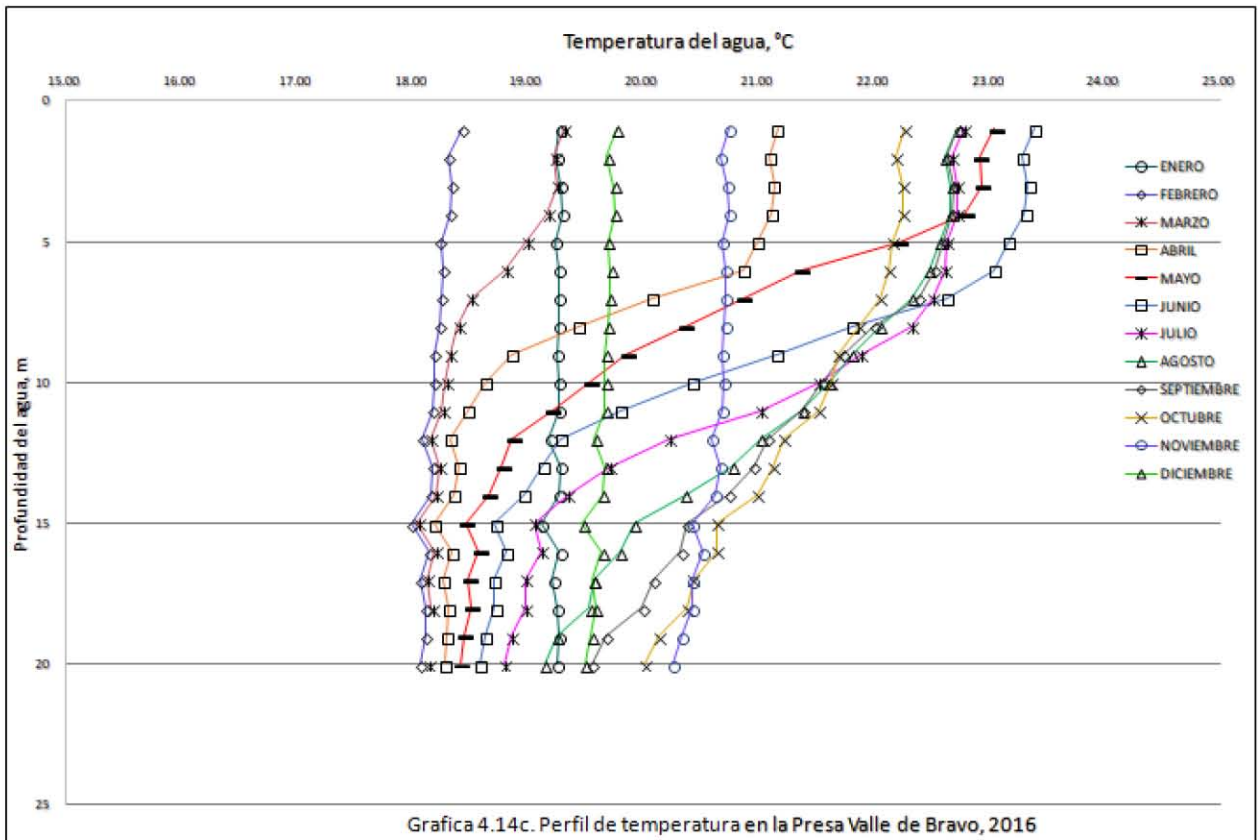
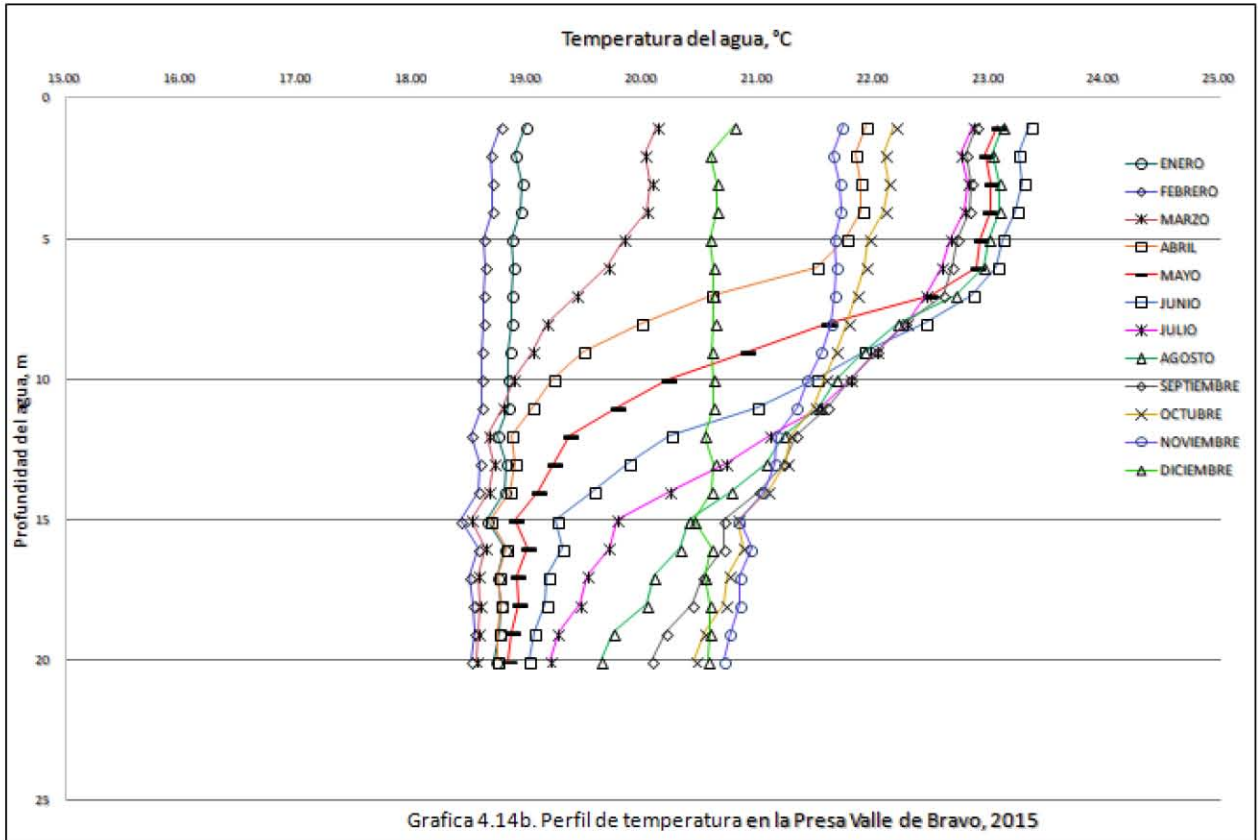


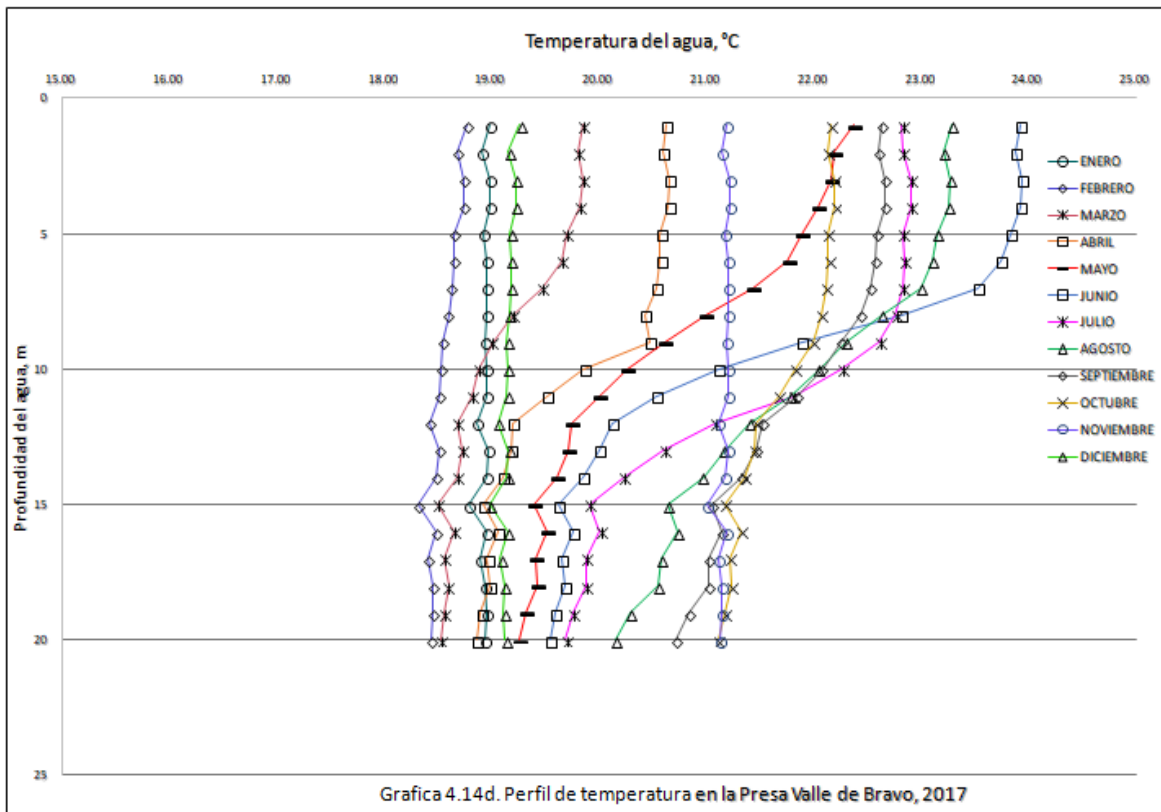
Gráfica 4.13. Mediciones de sólidos disueltos totales a 15 m de profundidad en mg/L en 4 años

### 4.1.3. PERFIL DE TEMPERATURA EN LA PRESA VALLE DE BRAVO

En las Gráficas 4.14a-d se presentan los perfiles de temperatura. Se observó que la presa presentó en la superficie temperaturas en el intervalo de los 18 a los 24°C, siendo el mes de junio cuando se presentaron las más altas y entre enero y febrero las más bajas. En la profundidad de la presa el intervalo de temperaturas está entre los 18 y 21°C, por lo que el gradiente de temperaturas ronda los 3°C, entre la superficie y fondo de la presa. En cuanto a la termoclina, se observa que ésta se presenta entre los 5 y 10 metros. En todos los años se puede observar que los meses de abril a julio fueron los que tuvieron un cambio de temperatura más marcado. Ese cambio de temperatura funge como una barrera que impide la homogeneización del cuerpo de agua, por lo que pueden variar los datos de forma considerable las características del agua en la superficie con respecto de las del fondo. Por el contrario, se observó que, entre los meses de noviembre a febrero, en todos los años, el cambio de temperatura de la superficie con respecto de la del fondo fue insignificante. De esta manera, el agua de la presa se homogeneizó y las características de la superficie fueron muy similares a las del agua del fondo.





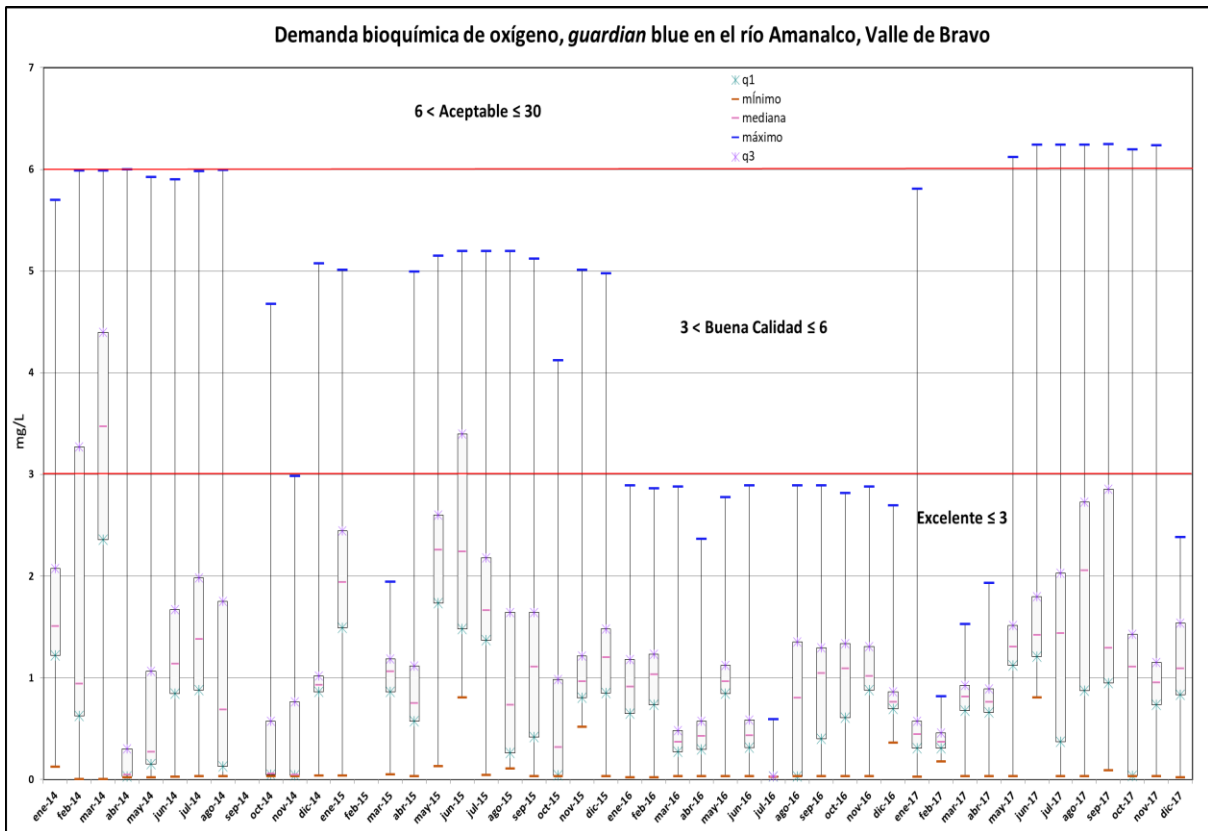


## 4.2. GUARDIAN BLUE EN EL RÍO AMANALCO

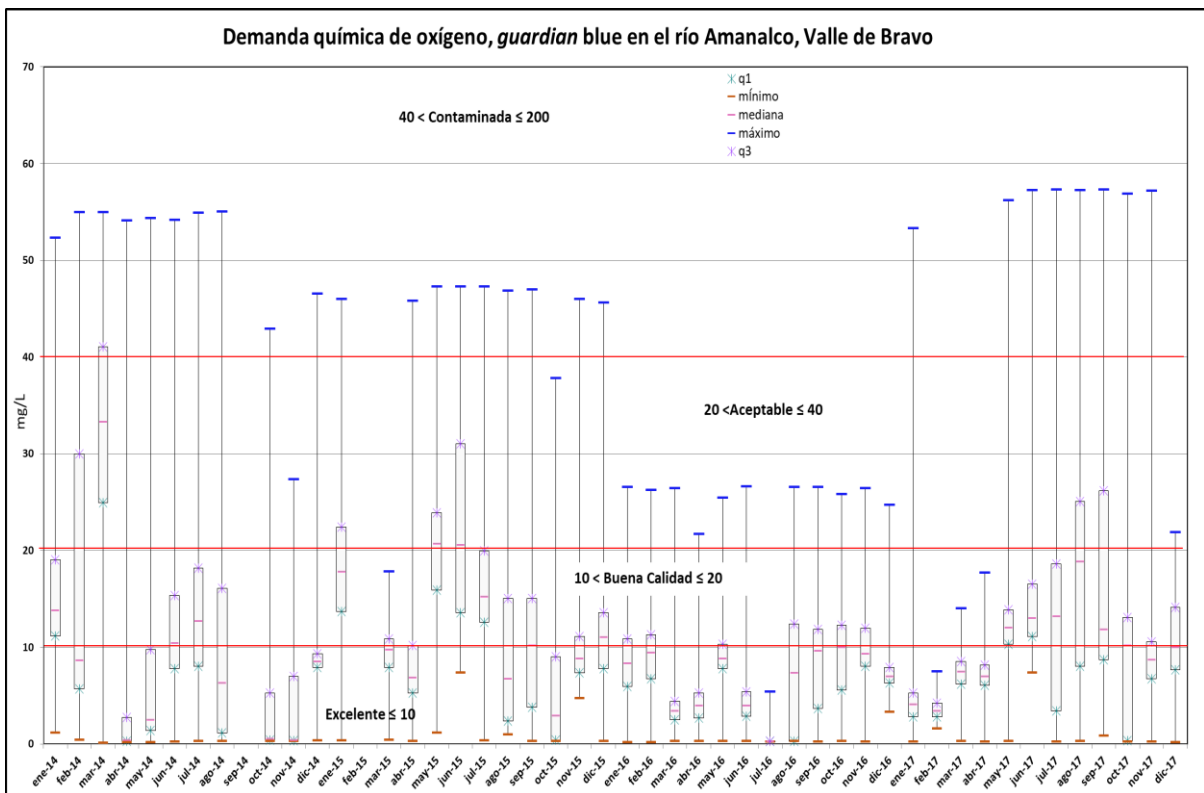
### 4.2.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Los indicadores de calidad del agua permiten calificar la calidad de las aguas nacionales de acuerdo con los efectos que producen en ellas las fuentes puntuales de contaminación que vierten a los cuerpos de agua nacionales. A la fecha, se han desarrollado ocho indicadores, siendo estos: Sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), toxicidad aguda (TA), oxígeno disuelto (%OD), coliformes fecales (CF) y *Escherichia coli* (EC).

De los parámetros medidos por el *Guardian Blue*, únicamente dos pueden ser calificados a través de los indicadores de calidad del agua: DBO y DQO (Gráficas 4.15 y 4.16).



Gráfica 4.15. Mediciones de DBO en mg/L en 4 años



Gráfica 4.16. Mediciones de DQO en mg/L en 4 años

La **DBO** presento valores entre 0.0004 y 6.25 mg/L lo que califica la calidad del agua entre Excelente y Aceptable. Los valores más altos se presentaron de mayo a diciembre del 2017.

La **DQO** presenta valores entre 0.1016 y 57.28 mg/L, calificando la calidad del río entre Excelente y Contaminada.

#### 4.2.2. CRITERIOS ECOLÓGICOS DE CALIDAD DEL AGUA (CE-CCA-001/89)

Con el propósito de controlar la calidad, la CONAGUA ha clasificado al río Amanalco como tipo “B”, lo que implica que de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en materia de agua y la NOM-001-SEMARNAT-1996, que las aguas del río son para uso público urbano.

Los resultados obtenidos de las mediciones constantes realizadas por las estaciones automáticas ayudan a realizar un diagnóstico respecto de los criterios ecológicos, permitiendo determinar la factibilidad de usar las aguas, en los usos para los cuales están clasificados.

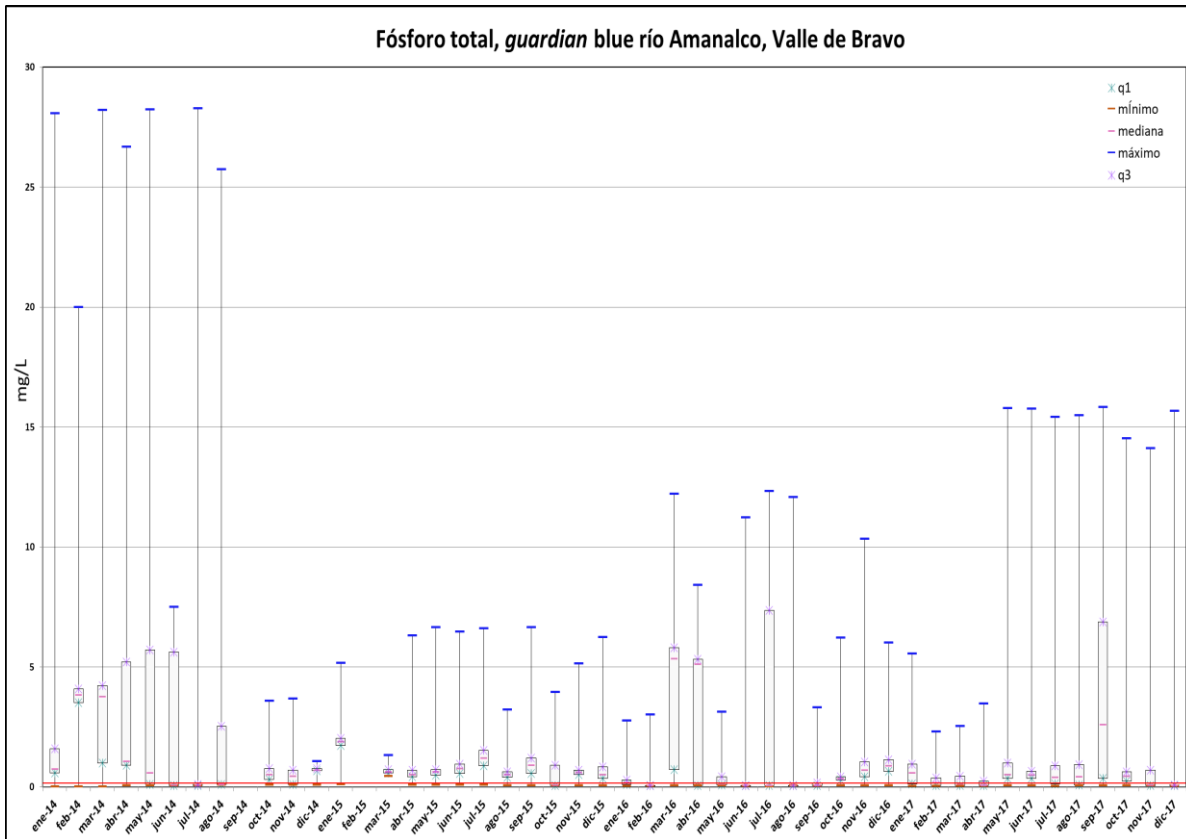
De los once parámetros de calidad del agua medidos por el *Guardian Blue*, únicamente cuatro de ellos tuvieron criterios de calidad, siendo estos: oxígeno disuelto, pH, turbiedad y fósforo total (Tabla 3).

Tabla 4.3. Parámetros evaluados por el *Guardian Blue* que cuentan con CE-CCA001/89

No.	Parámetro	Unidades	Fuente de Abastecimiento de Agua Potable, FAAP CE-CCA001/89
1	Fósforo total	mg/L	0.1
2	Oxígeno disuelto	mg/L	4
3	pH	UpH	6.0-9.0
4	Turbiedad	UTN	10

NOTA: El oxígeno disuelto incumplirá cuando la concentración sea menor que el límite marcado por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89)

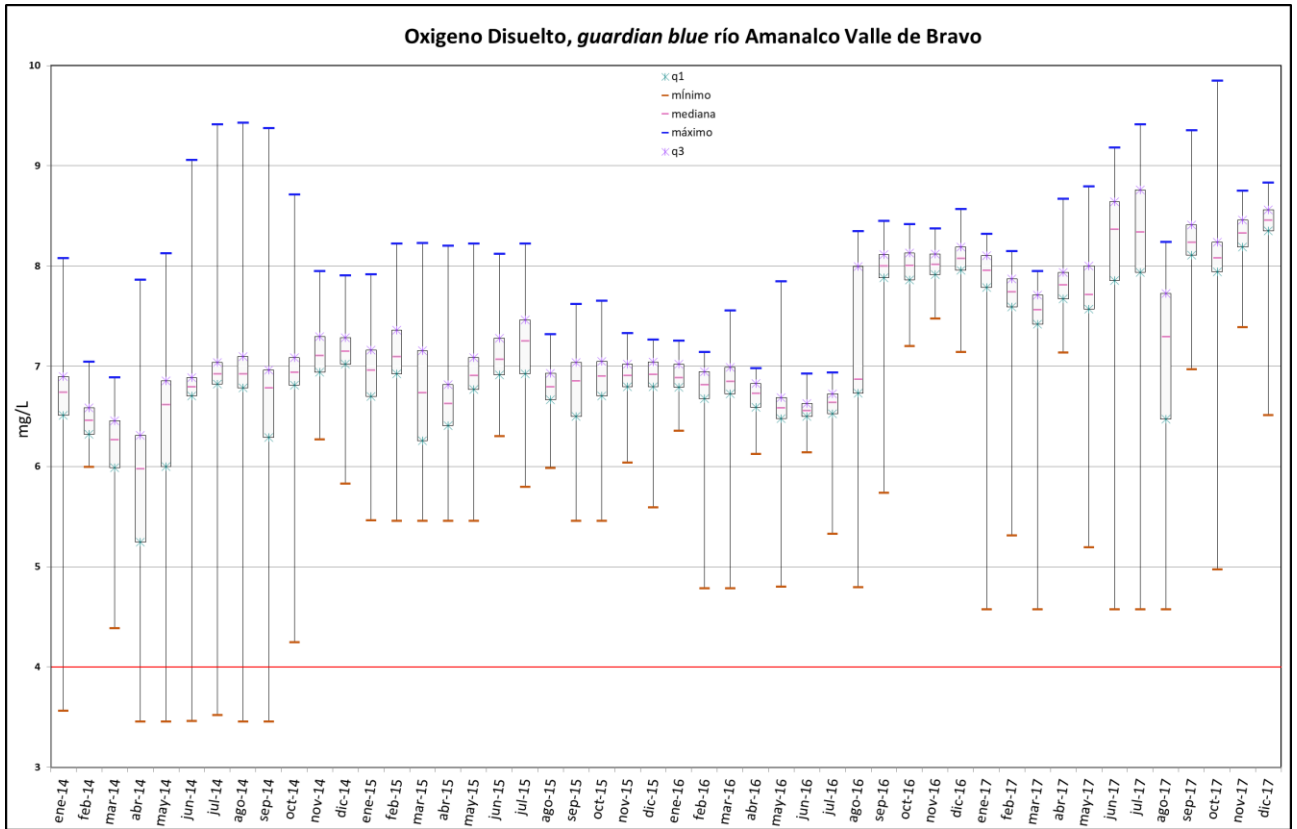
El **fósforo total** presento valores entre 0.001 y 28.27 mg/L. La mayoría rebasó el criterio de 0.1 mg/L. Se tuvieron los valores más altos durante 2014



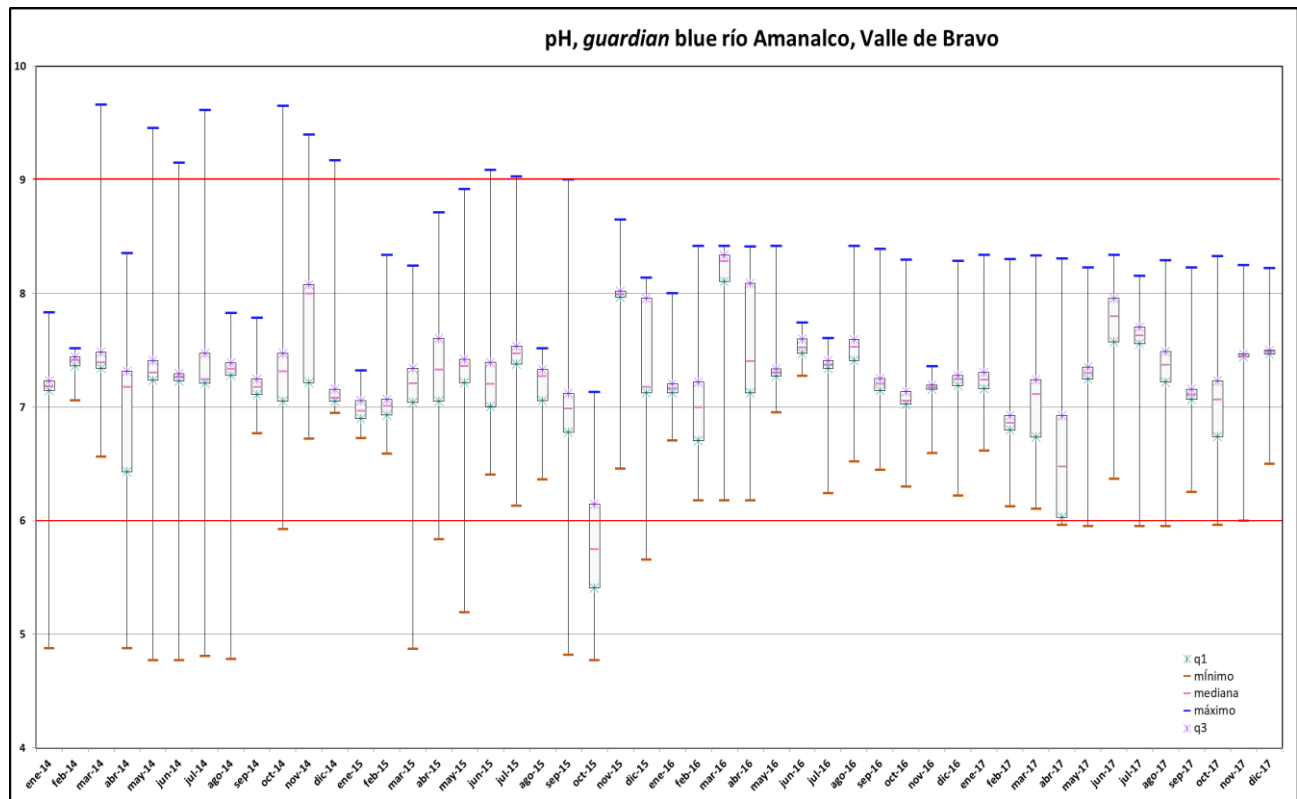
Gráfica 4.17. Mediciones de fósforo total en mg/L en 4 años

El **oxígeno disuelto** presento valores entre 3.45 y 9.85 mg/L, rebasando el criterio de 4 mg/L solamente en algunas ocasiones durante el 2014, mientras que para los demás años se tuvieron valores dentro del criterio de aceptación para fuente de abastecimiento (Gráfica 4.18).

El **pH** presentó un mínimo de 4.77 y un máximo de 9.66, rebasando los límites establecidos por los criterios ecológicos en algunas ocasiones, la mayoría de ellas en 2014 y algunas en 2015 (Gráfica 4.19).



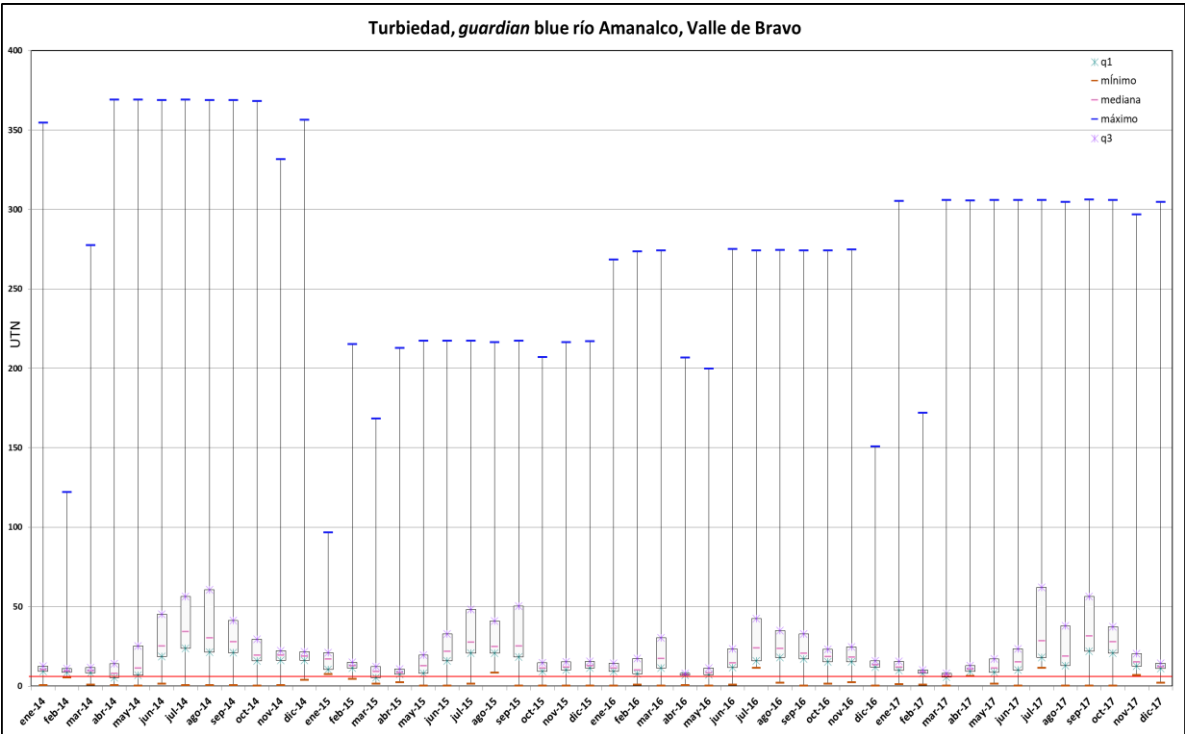
Gráfica 4.18. Mediciones de oxígeno disuelto en mg/L de 4 años



Gráfica 4.19. Mediciones de pH en unidades de pH de 4 años



La **turbiedad** presentó valores altos en todos los años, teniendo un mínimo de 0.049 UTN y un máximo de 368.97 UTN, rebasando el criterio de 10 UTN establecido en los criterios para fuente de abastecimiento la mayoría de las ocasiones.



Gráfica 4.20. Mediciones de turbidez o turbiedad en UTN (*NTU* en inglés) de 4 años

### 4.3. DISCUSIÓN FINAL

Gracias a la base de datos obtenida de 4 años completos, con mediciones continuas, se pudo apreciar el comportamiento de la calidad del agua, tanto del río Amanalco que desemboca en la presa, como de la misma presa.

Se observó que algunos parámetros se comportaron de manera similar y sin grandes cambios durante los años ejemplificados, variando únicamente en

períodos estacionales o bien siendo la diferencia entre los valores la temporada de lluvias o temporada de estiaje.

Para el río Amanalco se pudieron aplicar dos indicadores de calidad del agua: DBOT y DQOT, teniendo como resultado de que únicamente en pocas ocasiones se superaron los rangos establecidos, manteniendo la mayoría de las veces la calidad del agua entre Excelente y Aceptable.

Por otro lado, en la presa Valle de Bravo se ha ido incrementando el nivel de las algas año con año. Esto se debe al incremento de nutrientes en la presa, pudiendo ser estos resultados de descargas no puntuales provenientes de la población y negocios aledaños.

Al comparar algunos parámetros, tanto del río Amanalco como de la presa Valle de Bravo, resultó que en varias ocasiones se rebasaron los niveles establecidos por los criterios ecológicos, indicando que las aguas de ambos cuerpos de agua no pueden ser utilizados directamente para sus respectivos usos.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo de esta investigación que era el de valorar la calidad del agua de la presa Valle de Bravo, a través del análisis de información obtenida por medio de estaciones automáticas utilizadas por la CONAGUA, con la finalidad de mantener los estándares de calidad para preservar la salud de la población, a continuación se presentan las conclusiones derivadas de este informe de la práctica profesional:

Es de vital importancia conocer la calidad de los cuerpos de agua de México, ya sea que se utilicen como fuente de abastecimiento para las poblaciones cercanas, que se requiera proteger la vida acuática existente o simplemente que tenga usos recreativos, ya que de manera directa o indirecta puede llegar a verse afectada la salud de las personas si no se tiene un control adecuado de la calidad.

De los parámetros medidos en la presa Valle de Bravo y en el río Amanalco, algunos sobrepasaron los niveles establecidos por los criterios de calidad del agua según el uso para el cual están clasificados; sin embargo, hay que tomar en cuenta que el agua de la presa a pesar de sobrepasar estos criterios no se distribuye a la población directamente, sino que antes pasa por la potabilizadora Los Berros, donde recibe un tratamiento adecuado antes de llegar a cada hogar, escuela o negocio que hace uso de ella.

Las estaciones automáticas de calidad del agua comienzan a tener un papel importante en esta tarea, facilitando la obtención de resultados en tiempo real y transmitiéndolos a personal capacitado para su seguimiento.

Con un análisis minucioso de los resultados obtenidos por estas estaciones automáticas, se planea en un futuro tener una caracterización completa y bien

definida de cada uno de los sitios que cuente con una de estas estaciones, con la ambiciosa meta de predecir la contaminación con la ayuda de esta tecnología, de manera que se puedan configurar alarmas con valores límites establecidos que alerten sobre valores atípicos, permitiendo tomar acciones preventivas.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Si se tiene un contrato para el mantenimiento y reparación de las estaciones con una empresa externa a la CONAGUA, sería recomendable establecer tiempos de respuesta y puesta en funcionamiento nuevamente cuando los equipos se dañaran. Si fueran estos tiempos incumplidos la empresa se haría acreedora de una sanción, con la finalidad de que las estaciones no pasaran mucho tiempo paradas o fuera de funcionamiento.

Otra recomendación para mejorar el acopio de los datos es que en vez de recibir los datos medidos por las estaciones en excel cada semana, debería ser más frecuentemente. Si bien diario implicaría un reto mayor, cada tercer día podría ser posible. Además, la generación de una plantilla de excel que facilite su validación continua para garantizar que los datos estén almacenados y disponibles para su uso en cualquier momento que se necesiten, sería otra opción.

## BIBLIOGRAFÍA

Adam, W., Bauder, J. 2012. *Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales*. Universidad Estatal de Montana. Programa de Extensión en Calidad del Agua. Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Última consulta 20 de junio de 2018. [region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_spanol/alkalinity\\_ph\\_tds%202012-11-15-sp.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_spanol/alkalinity_ph_tds%202012-11-15-sp.pdf)

Arreguín-Rojas, A. (Coordinador), Durán-Domínguez, M.C., Bernal-González, M., González-Sandoval, M.R., Sánchez-Tovar, S.A. (Colaboradores). 2013. Manual de análisis de calidad del agua para el Bachillerato UNAM. **INFORME TÉCNICO DE PROYECTO INFOCAB SB201312**. Pub. CCH-Sur, Facultad de Química, UNAM y AMCATH. ISBN 978-607-7807-13-1. 131 pags. Libro electrónico (disco compacto), 1a. Ed. (2013). México D.F. México.

Aznar, A. 2000. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental. P. 1, Año 2. Madrid, España.

CONAGUA. 2005. *Sistema Cutzamala. Agua para millones de mexicanos*. Comisión Nacional del Agua. México. Última consulta 17 de junio de 2018. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf>

CONAGUA. 2013. Comunicación personal sobre el equipo de seguimiento de parámetros. Comisión Nacional del Agua, Semarnat. Ciudad de México, México.

CONAGUA. 2018. Comunicación personal sobre la información computarizada generada por los sistemas de medición de parámetros. Comisión Nacional del Agua, Semarnat. Ciudad de México, México.

CONAGUA-SEMARNAT. 1996. NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

CONAGUA-SEMARNAT. 2016. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.

Consejo Consultivo del Agua, A.C. 2017. *Situación y contexto de la problemática del agua en México*. Última consulta 17 de junio de 2018. <http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/diagnosticos-del-agua>

Cortés-Morales, R.S. 2004. *Evaluación de la calidad bacteriológica y físicoquímica de la presa Valle de Bravo*. Tesis (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Estado de México, México. Última consulta 17 de junio de 2018. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/467/3-%20TESIS.pdf?sequence=3>

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., Andrade, M. 2010. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Serie Técnica. ISBN: 978-99954-766-2-5. Cochabamba, Bolivia. Pp. 45-52. Última consulta 17 de junio de 2018. [http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)

DOF. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación. Estados Unidos Mexicanos. Última consulta 17 de junio de 2018. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969)

DOF. 2001a. Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación. Estados Unidos Mexicanos. Última consulta 17 de junio de 2018. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>

DOF. 2001b. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación. Estados Unidos Mexicanos. Última consulta 17 de junio de 2018. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166794/NMX-AA-079-SCFI-2001.pdf>

DOF. 2009. DIARIO OFICIAL (Primera Sección). Modificación del inciso 0, el encabezado de la Tabla 13, el último párrafo del Anexo B y el apartado Signo decimal de la Tabla 21 de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida. CUARTO.- Se modifica el encabezado de la tabla 13 para quedar como sigue: Tabla 21 - Reglas para la escritura de los números y su signo decimal. Signo decimal El signo decimal debe ser una coma sobre la línea (,) o un punto sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero. **Diario Oficial de la Federación:** jueves 24 de septiembre de 2009. Poder Ejecutivo Federal. México D.F., México.

Durán-de-Bazúa, C. 1994. Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso. Pub. Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Facultad de Química, UNAM. 5ª Ed. Junio. México D.F., México.

FONATUR. 2017. *Líneas de acción de desarrollo turístico de las rutas lacustres en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México. Versión Pública.* México. Pp. 4-

5. Última consulta 17 de junio de 2018.

[http://inai.fonatur.gob.mx/Art70/FrXLIC/2017/DSAST/ESTUDIOS/VALLE%20DE%20BRAVO%20\(VERSI%C3%93N%20P%C3%9ABLICA\).pdf](http://inai.fonatur.gob.mx/Art70/FrXLIC/2017/DSAST/ESTUDIOS/VALLE%20DE%20BRAVO%20(VERSI%C3%93N%20P%C3%9ABLICA).pdf)

HACH 2018. <https://latam.hach.com/>

IGS 2019. Boya de Medición de Calidad del Agua. Última consulta 3 de febrero 2019. <http://www.igs-hydro.mx/docs/IGS-VM-01-19032015%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20CA%20Boyas%20OTT.pdf>

México con agua. 2016. Sistema Cutzamala, la llave de agua del Valle de México. Última consulta 17 de junio de 2018. <https://www.gob.mx/mexico-con-agua/articulos/sistema-cutzamala-la-llave-de-agua-del-valle-de-mexico-18862>

OMS, 2018. Saneamiento. Organización Mundial de la Salud. Última consulta 28 de noviembre de 2018. <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>

SEDUE. 1989. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. DOF del 13 de diciembre de 1989.

SEMARNAT. 2017. Red nacional de monitoreo de la calidad del agua. Última consulta 30 de julio de 2018. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_R\\_AGUA05\\_03&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)

Seoanez-Calvo, M., Gutiérrez-de-Ojesto, A. 1999. *Aguas residuales-Tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos, tecnologías, diseño*. Ed. Mundi-Prensa. Pp. 62-72.



# ANEXOS

## A.1. TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Las sondas multiparámetricas ubicadas en la Boya dentro de la presa Valle de Bravo no llevan a cabo dentro de ella ninguna reacción y no generan residuos.

Los únicos residuos generados por este sistema son cuando se lleva a cabo la calibración y verificación de los sensores a través de soluciones estándares.

En las figuras A.1.1 a 3 se presenta la manera en se manejan los residuos de los equipos.

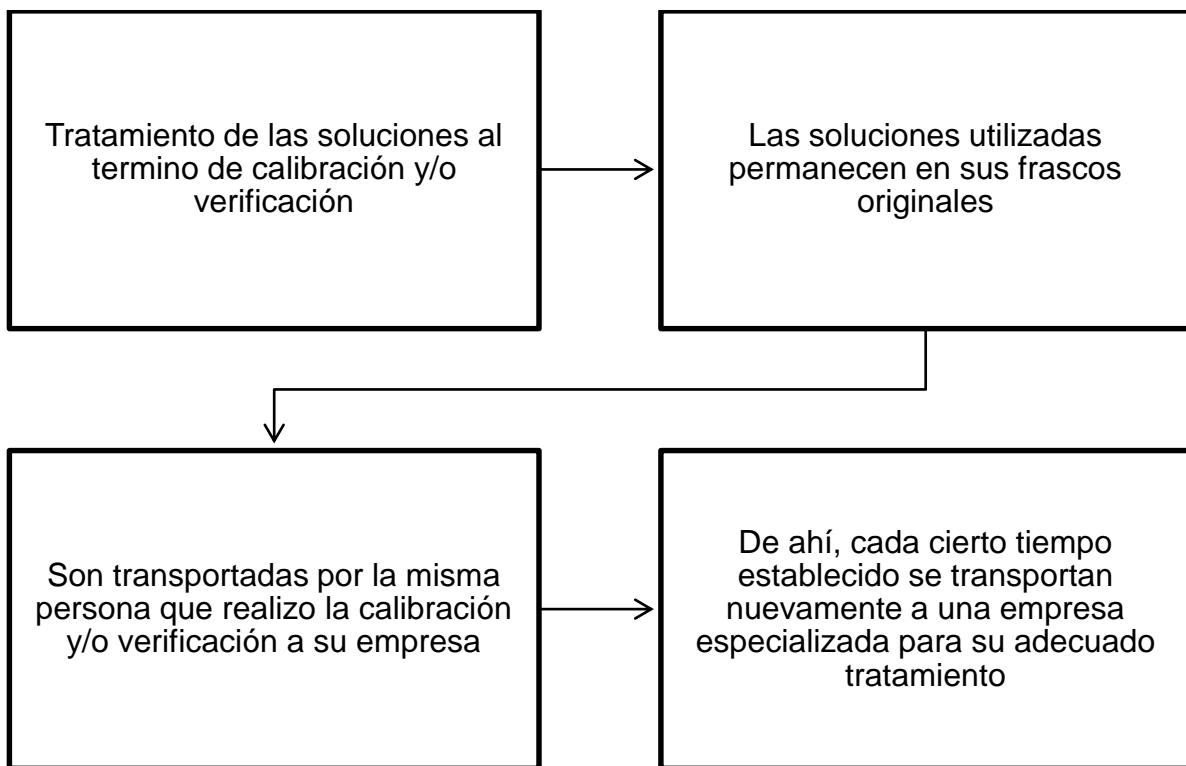


Figura A.1.1. Manejo de los residuos derivados de la calibración o verificación de los equipos

En lo que respecta al *Guardian Blue* las soluciones utilizadas para la calibración y verificación de los sensores tienen el mismo tratamiento. Sin embargo, no son los únicos residuos de esta estación. Dentro del Biotector ubicado en el *Guardian Blue* se llevan a cabo reacciones para la medición de nitrógeno total, fósforo total y carbono orgánico total.

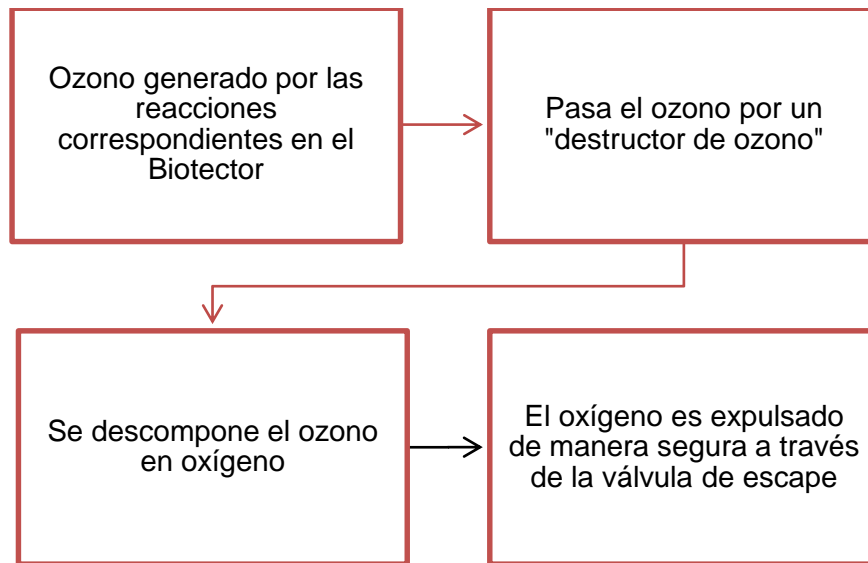


Figura A.1.2. Manejo del ozono generado en la reacción dentro del Biotector

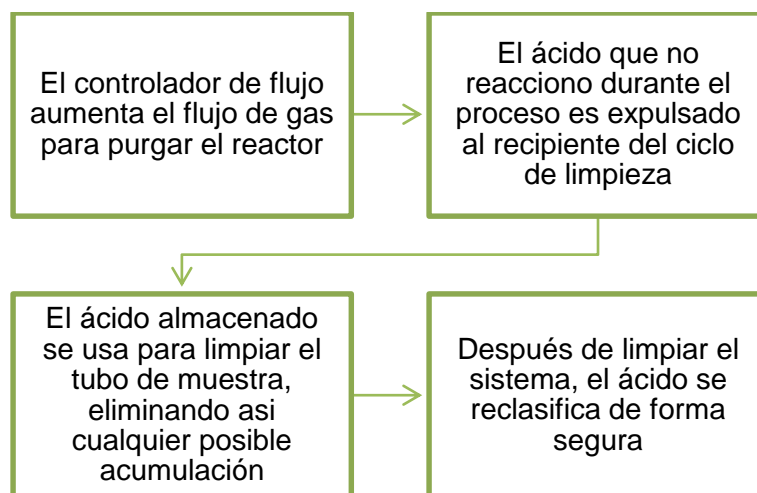


Figura A.1.3. Manejo del ácido dentro del Biotector

De acuerdo con el personal de mantenimiento y calibración externo lo que resta de la muestra después del análisis se descarga en el río nuevamente.

Una recomendación importante sería almacenar estos volúmenes para después entregarlos a la misma empresa que se hace cargo del tratamiento de los demás residuos. De esta forma no se contamina, ya que por muy poco que sea el volumen implica contaminación a un cuerpo de agua que se puede evitar con este esfuerzo extra.

## A.2. ANEXO FOTOGRÁFICO



Figura A.2.1 Presa Valle de Bravo



Figura A.2.2. Boya ubicada en la Presa Valle de Bravo



Figura A.2.3. Panel solar de la Boya



Figura A.2.4. Termistor de temperatura



Figura A.2.5. Sonda multiparamétrica recién sacada de la Presa



Figura A.2.6. Sonda multiparamétrica cubierta de algas



Figura A.2.7. Personal de CONAGUA e IGS en la Boya Presa Valle de Bravo



Figura A.2.8. Multisensor meteorológico



Figura A.2.9. Sondas multiparamétricas fuera de la presa para mantenimiento



Figura A.2.10. Sensores ubicados en la sonda

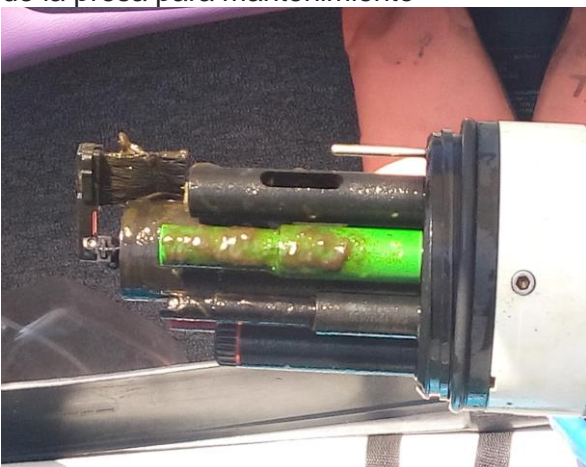


Figura A.2.11. Sensores de sonda multiparamétrica



Figura A.2.12. Colocación de la Boya



Figura A.2.13. Guardian Blue Valle de Bravo



Figura A.2.14. Guardian Blue Valle de Bravo



Figura A.2.15. Sensores dentro del panel



Figura A.2.16. Automuestreador



Figura A.2.17. Caseta del Guardian Blue por dentro



Figura A.2.18. Parte exterior del Biotector



Figura A.2.19. Concentrador de Oxígeno



Figura A.2.20. Parte interna del Biotector



Figura A.2.21. Multisensor meteorológico