



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, HIDALGO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

CÉSAR CEDILLO RODRIGUEZ



CIUDAD DE MÉXICO, 17 DE JUNIO

AÑO 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 ASIGNADO:

PRESIDENTE: PATRICIA DIAZ ARISTA
VOCAL: GEMA LUZ ANDRACA AYALA
SECRETARIO: ALBA BEATRIZ VAZQUEZ GONZALEZ
1ER. SUPLENTE: ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS
2° SUPLENTE: DAVID FRAGOSO OSORIO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, DIVISION DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA, FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

M EN I ALBA BEATRIZ VAZQUEZ GONZALEZ

SUSTENTANTE (S):

CESAR CEDILLO RODRIGUEZ

Contenido

.....	1
1 Introducción	1
2 Objetivos	2
2.1 Objetivo General.	2
3 Marco teórico.	3
3.1 El origen del agua en la Tierra.	3
3.2 Ciclo del agua	4
3.3 Importancia del agua.	5
3.4 Importancia de los ecosistemas de agua dulce.	6
3.5 Clasificación de los cuerpos de agua según su cantidad de nutrientes.	8
3.6 Fuentes de contaminación.	9
4 Descripción de la zona de estudio	10
4.1 Cuenca del río Metztlán.	10
4.2 La sierra baja	10
4.3 La comarca minera	11
4.4 El Valle de Tulancingo	11
4.4.1 Uso de suelo en el Valle de Tulancingo.	12
4.4.2 Área de cultivo.	13
4.4.3 Área urbana.	13
4.4.4 Cuerpos de agua	13
4.4.5 El municipio de Acatlán.	14
4.4.6 Fisiografía del municipio de Acatlán.	14
4.4.7 Clima del municipio de Acatlán	15
4.4.8 Uso de suelo del municipio de Acatlán	15
4.4.9 Demografía del municipio de Acatlán.	15
4.4.10 Escolaridad del municipio de Acatlán	16
4.4.11 Salud del municipio de Acatlán.	17
4.4.12 Actividades económicas del municipio de Acatlán	18
5 Descripción del sitio	19
5.1 Descripción de la Laguna de Zupitlán.	19
6 Problemática de la laguna de Zupitlán	21
7 Parámetros para la evaluación de la calidad del agua.	22

7.1 pH.....	22
7.1.1 Significado sanitario.	24
7.2 Temperatura.....	25
7.2.1 Importancia de la temperatura en los cuerpos de agua.	25
7.3 Turbiedad.....	26
7.3.1 Significado sanitario.	27
7.3.2 Medición de transparencia con disco Secchi.....	27
7.3.3 Procedimiento.	27
7.4 Oxígeno disuelto.....	28
7.5.1 Significado sanitario.	31
7.6 Clorofila.....	32
7.6.1 Importancia sanitaria.....	32
7.7 Fosfatos.	33
7.7.1 Fuentes de fosfatos.	35
7.7.2 Significado sanitario.	36
8 Revisión bibliográfica de estudios de calidad del agua en la laguna de Zupitlán	36
8.1 SINA-CONAGUA.	38
8.1.1 Análisis de resultados.	41
8.2 IIWQ World Water Quality Information and Capacity Building Portal.	42
8.2.1 Cómo utilizar el portal.....	42
8.2.2 Análisis de resultados.	45
8.3 IDENTIFICACIÓN DE BIOINDICADORES EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, MUNICIPIO DE ACATLÁN, HGO., MÉXICO.	46
8.4 ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, MUNICIPIO DE ACATLÁN, ESTADO DE HIDALGO.....	47
9 Estudio de calidad del agua de la laguna de Zupitlán	49
9.1 Campaña de muestreo	49
9.2 Lista de comprobación.	55
10 Análisis de laboratorio	57
10.1 Procedimiento para la determinación de oxígeno disuelto.	57
10.1.1 Equipo:.....	57
10.1.2 Reactivos para la medición de oxígeno disuelto.	58
10.1.3 Procedimiento para la medición de oxígeno disuelto.....	59
10.2 Procedimiento para la determinación de oxígeno disuelto	61

10.2.1	Equipo para medición de DBO	61
10.2.2	Reactivos para medición de DBO	62
10.2.3	Procedimiento para la medición de DBO:	63
10.3	Determinación de Clorofila-a.	64
10.4	Determinación de fosfatos por Método colorimétrico del ácido fosfovanado- molíbdico adaptación de HACH Company.	66
10.4.1	Principio químico para la determinación de ortofosfatos	66
10.4.2	Materiales para la determinación de ortofosfatos:	67
10.4.3	Procedimiento para la determinación de ortofosfatos.	67
11	Análisis de las muestras en campo.....	67
11	Resultados de los análisis de campo.	68
12	Resultados de los análisis de laboratorio	69
13	Distribución espacial de los parámetros de calidad medidos en la laguna de Zupitlán.....	70
14	Análisis de resultados mediante la aplicación de la metodología del índice de calidad del agua.	75
14.1	Construcción de un índice de calidad del agua.	75
14.2	Análisis de resultados obtenidos mediante la metodología del Índice de Calidad del Agua.	80
15	Conclusiones.	82
16	Recomendaciones.	83
	Anexos.....	85
	Bibliografía.....	92

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 3-1 ESTRUCTURA DE LA TIERRA. J.E. FERGUSSON (1985).	4
ILUSTRACIÓN 3-2 CICLO DEL AGUA J.E. FERGUSSON 1985	5
ILUSTRACIÓN 3-3 DISTINTAS ZONAS PRESENTES EN UN LAGO (G.TYLER MILLER, 2009).....	7
ILUSTRACIÓN 3-4 INTERACCIÓN DE LOS FACTORES QUE DETERMINAN LA COMPOSICIÓN, LA DISTRIBUCIÓN, LA CANTIDAD DE BIOTA, LA TASA A LA CUAL LOS NUTRIENTES SON NEUTRALIZADOS, Y LA PROFUNDIDAD DEL LAGO. (GABRIEL ROLDÁN PÉREZ, 2008)	9
ILUSTRACIÓN 4-1 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO METZTITLÁN (JOSÉ RENÉ VALDEZ-LAZALDE, 2011) 12	
ILUSTRACIÓN 4-2 SITUACIÓN DE POBREZA DE LA POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ACATLÁN 2010. ELABORADO CON INFORMACIÓN DE (INFORME ANUAL SOBRE LA SITUACIÓN DE POBREZA Y REZAGO SOCIAL, 2010).....	16
ILUSTRACIÓN 4-3 CARENCIA DE BIENES POR VIVIENDA EN EL MUNICIPIO DE ACATLÁN, HIDALGO. ELABORADO CON INFORMACIÓN DE (INFORME ANUAL SOBRE LA SITUACIÓN DE POBREZA Y REZAGO SOCIAL, 2010).....	17
ILUSTRACIÓN 5-1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA (ANALLELY ÁVILA ORTÍZ, 2008).....	20
ILUSTRACIÓN 5-2 MICROCUENCA DEL RÍO EL FONDÓN, ELABORADO CON LA HERRAMIENTA SIATL. (INEGI, 2019).	21
ILUSTRACIÓN 7-1 SISTEMA DE ELECTRODOS TÍPICO PARA MEDIR EL PH. A) ELECTRODO DE VIDRIO (INDICADOR) Y ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO (DE REFERENCIA) SUMERGIDOS EN UNA SOLUCIÓN DE PH DESCONOCIDO. B) SONDA DE COMBINACIÓN QUE ESTÁ CONSTITUIDA POR UN ELECTRODO INDICADOR DE VIDRIO Y UN ELECTRODO DE REFERENCIA DE PLATA-CLORURO DE PLATA. (DOUGLAS A. SKOOG, 2008)	24
ILUSTRACIÓN 7-2 MEDICIÓN DE TRANSPARENCIA CON DISCO SECCHI. ELABORACIÓN PROPIA.....	28
ILUSTRACIÓN 7-3 LELAND CLARK CON SU INVENCION, EL ELECTRODO DE MEDICIÓN DE OXÍGENO (1952) (SEVERINGHAUS, 2002).....	30
ILUSTRACIÓN 7-4 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LAS DISTINTAS ESPECIES DE FÓSFORO. ELABORADO CON INFORMACIÓN DE (MENDOZA, 1979)	35
ILUSTRACIÓN 8-1 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, TOMADO DEL PORTAL SINA-CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA , 2019)	39
ILUSTRACIÓN 8-2 BARRA DE HERRAMIENTAS DEL PORTAL DE CALIDAD DEL AGUA IIWQ, UNESCO-IHP, TOMADO DE (UNESCO-IHP, 2019)	43
ILUSTRACIÓN 8-3 ESTACIÓN DE MUESTREO VIRTUAL COLOCADA EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN. EN PORTAL DE CALIDAD DEL AGUA IIWQ, UNESCO-IHP, TOMADO DE (UNESCO-IHP, 2019)	43
ILUSTRACIÓN 8-4 BARRA DE FUNCIÓN AZUL DEL PORTAL DE CALIDAD DEL AGUA IIWQ, UNESCO-IHP, TOMADO DE (UNESCO-IHP, 2019)	44

ILUSTRACIÓN 9-1 LAGUNA DE ZUPITLÁN ELABORACIÓN PROPIA.....	50
ILUSTRACIÓN 9-2ESQUEMA DE ACCIONES A SEGUIR EN LA PREPARACIÓN DE UNA SESIÓN DE MUESTREO, ELABORADO CON INFORMACIÓN DE (CAMPOS, 2012)	53
ILUSTRACIÓN 9-3FIGURA 11. ESQUEMA DE CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. ELABORACIÓN PROPIA	53
ILUSTRACIÓN 9-4. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN. ELABORACIÓN PROPIA	54
ILUSTRACIÓN 9-5 UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO EN LA LAGUNA EL SABINO. ELABORACIÓN PROPIA	55
ILUSTRACIÓN 10-1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN LABORATORIO, ELABORACIÓN PROPIA.	57
ILUSTRACIÓN 11-1TOMA DE PARÁMETROS DE CAMPO Y MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN. ELABORACIÓN PROPIA.....	68
ILUSTRACIÓN 13-1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO DBO5. ELABORACIÓN PROPIA	71
ILUSTRACIÓN 13-2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO TEMPERATURA. ELABORACIÓN PROPIA	72
ILUSTRACIÓN 13-3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO ORTOFOSFATOS. ELABORACIÓN PROPIA	72
ILUSTRACIÓN 13-4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO TRANSPARENCIA CON DISCO SECCHI. ELABORACIÓN PROPIA.....	73
ILUSTRACIÓN 13-5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO PORCENTAJE DE OXÍGENO. ELABORACIÓN PROPIA	73
ILUSTRACIÓN 13-6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO CLOROFILA-A. ELABORACIÓN PROPIA	74
ILUSTRACIÓN 13-6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PARÁMETRO PH. ELABORACIÓN PROPIA	74
ILUSTRACIÓN 14-1 LISTA DE ECUACIONES UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICAL ELABORADO CON INFORMACIÓN DE (DINIUS, 1987) PARA DBO5, PARA PH Y TEMPERATURA (CUDE, 2001) Y PARA CLOROFILA- A, TRANSPARENCIA POR DISCO SECCHI Y ORTO FOSFATOS (CARLSON, A TROPHIC STATE INDEX FOR LAKES., 1977).	79
ILUSTRACIÓN 0-2 UBICACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL ICAL EN LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN 2018. ELABORACIÓN PROPIA	80
ILUSTRACIÓN 16-1 SUERO LÁCTEO VERTIDO EN CANALES DE RIEGO EN LAS CERCANÍAS DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN (SANTOY, 12).	83
ILUSTRACIÓN 0-2 ESQUEMA DE UN INSTRUMENTO DE HAZ SENCILLO PARA MEDICIONES DE ABSORCIÓN..	87

INDICE DE TABLAS

Ì	
TABLA 4-1USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DEL VALLE DE TULANCINGO	12
TABLA 4-2POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA DEL MUNICIPIO DE ACATLÁN.....	19
TABLA 7-1 DIVERSAS FORMAS DEL FÓSFORO ENCONTRADAS EN LA NATURALEZA.	34
TABLA 8-0-1 CRITERIOS PARA LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO	38
TABLA 8-0-2 INFORMACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN OBTENIDAS DEL PORTAL SINA-CONAGUA PARA EL AÑO 2012	39
TABLA 8-0-3 INFORMACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN OBTENIDAS DEL PORTAL SINA-CONAGUA PARA EL AÑO 2013	40
TABLA 8-0-4 INFORMACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN OBTENIDAS DEL PORTAL SINA-CONAGUA PARA EL AÑO 2014	40
TABLA 8-0-5 INFORMACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN OBTENIDAS DEL PORTAL SINA-CONAGUA PARA EL AÑO 2015	40
TABLA 8-0-6 INFORMACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN OBTENIDAS DEL PORTAL SINA-CONAGUA PARA EL AÑO 2016	40
TABLA 8-0-7 VALORES PARA TURBIDEZ, CLOROFILA-A E INDICADOR HAB OBTENIDOS PARA LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN.....	45
TABLA 8-0-8ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS PRINCIPALES DIATOMEAS PRESENTES EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN EN EL MES DE JUNIO DE 2009	47
TABLA 8-0-9PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y DE SALINIDAD PARA LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, EVALUADOS DURANTE MARZO (M), JUNIO (J), SEPTIEMBRE (S) Y DICIEMBRE (D) DE 2008.....	48
TABLA 8-0-10 ELEMENTOS PRESENTES EN EL AGUA DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN (MG/L) EN MARZO (M), JUNIO (J), SEPTIEMBRE (S) Y DICIEMBRE (D) DE 2008	49
TABLA 9-0-1 LISTA DE COMPROBACIÓN ELABORACIÓN PROPIA	56
TABLA 10-0-1 PORCENTAJE DE DILUSIÓN DE LA MUESTRA SEGÚN EL TIPO DE DESECHO, ELABORADO CON INFORMACIÓN DE (MENDOZA, 1979)	63
TABLA 11-1 COORDENADAS Y VALOR DE PH, ELABORACIÓN PROPIA.	68
TABLA 11-2 PARÁMETROS TOMADOS EN CAMPO. ELABORACIÓN PROPIA	69
TABLA 12-1 RESULTADOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO. ELABORACIÓN PROPIA.	69
TABLA 12-2 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	69
TABLA 12-3 RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA-A. ELABORACIÓN PROPIA	70

TABLA 0-1 PARÁMETROS DE CALIDAD AGRUPADOS POR CATEGORÍAS. ELABORACIÓN PROPIA	77
TABLA 14-0-2 CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA SIGUIENDO LA METODOLOGÍA DE (RAMÍREZ, 2011)	78
TABLA 14-3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICAL.....	80
TABLA 17-0-1 TÉRMINOS DE LA LEY DE BEER CON INFORMACIÓN DE (DOUGLAS A. SKOOG, 2008)	85
TABLA 17-0-2 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA DBO5.....	87
TABLA 17-0-3 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA DQO	88
TABLA 0-4 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	88

1 Introducción

Las actividades como la agricultura y la ganadería impactan en el ciclo hidrológico en cuanto a la calidad y cantidad de agua que se encuentran en los cuerpos de agua, particularmente en ríos y lagunas. La laguna de Zupitlán es de gran importancia para el municipio de Acatlán, en el estado de Hidalgo. Debido a su papel como uno de los dos principales abastecimientos, junto con la laguna El Sabino, como agua de riego para la región (INEGI, 2009).

En la laguna de Zupitlán se desarrollan actividades como la acuicultura de carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis. spp*). Además de actividades recreativas como paseos en lancha y campamentos cerca de sus riveras. Lo anterior la posiciona como uno de los principales sitios de interés turístico de la región.

Dada la importancia de la laguna, se han realizado estudios de calidad del agua por parte de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en colaboración con la UNAM. Por parte de CONAGUA se realizaron muestreos anuales para conocer la calidad del recurso. Sin embargo, la información existente sobre la calidad del agua de la laguna de Zupitlán es escasa y los parámetros analizados son diversos.

Por lo tanto, en el presente trabajo, se decidió realizar un muestreo en la laguna de Zupitlán, para así obtener parámetros de calidad del agua y de este modo implementar la metodología del índice de calidad del agua, con la finalidad de hacer una evaluación del recurso que contemple diversos factores (capacidad recuperadora, materia orgánica, estado trófico, viabilidad para la vida acuática), con el propósito de mostrar el estado de contaminación, los posibles usos que se pueden dar al agua de la laguna, conocer si el cuerpo de agua se está deteriorando y servir de punto de partida para posteriores estudios.

Así mismo se compararon los resultados obtenidos con la metodología del índice de calidad del agua, con los encontrados en la literatura y con la información disponible en el portal SINA-CONAGUA y en el geoportal Global Water Quality de la UNESCO.

Con la información obtenida del análisis de las muestras de agua de la laguna de Zupitlán y con ayuda del software QGis, un sistema de información geográfica, se obtuvieron mapas donde es posible observar el valor de los parámetros de calidad del agua para ocho puntos muestreados durante una campaña en el mes de abril del 2018. En los mapas generados, gracias a una herramienta de interpolación, es posible visualizar un continuo en el valor de todos los parámetros medidos en la superficie de la laguna.

Finalmente, la aplicación de la metodología del índice de calidad del agua nos mostró que la calidad del agua de la laguna de Zupitlán corresponde a *Amarillo Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada*, la cual puede deberse a la contaminación por escurrimiento de las zonas agrícolas aledañas, al ganado presente en la región y la comunicación de la laguna de Zupitlán con la laguna el Sabino, que se sabe es receptora de residuos de la industria láctea local.

2 Objetivos.

2.1 Objetivo General.

- Presentar y desarrollar la metodología para la evaluación de la calidad del agua.
- **2.2 Objetivos particulares.**
- Evaluar la calidad del agua de la laguna de Zupitlán, Hidalgo, desde la planeación de los estudios de campo, el análisis de la calidad del agua en campo y en laboratorio.

- Aplicar la técnica del índice de calidad del agua para obtener un diagnóstico de esta y dar recomendaciones de conservación y mejora de su calidad.
- Evaluar la calidad del agua de la laguna de Zupitlán en el estado de Hidalgo.

3 Marco teórico.

3.1 El origen del agua en la Tierra.

Existen diversas teorías sobre el origen del agua en la Tierra. Una de las más aceptadas sugiere que alrededor de 90% (Fergusson., 1985) del agua en la superficie terrestre proviene de cometas. Dicha teoría se fundamenta en que la fracción de deuterio en el agua de los cometas es similar a la fracción hallada en los océanos (Fergusson., 1985), lo que se sabe es que la masa del agua en los océanos equivale aproximadamente al 1% de la masa total de la Tierra (Fergusson., 1985).

Otra teoría se basa en que el agua provino del manto de la Tierra. Para explicar esta teoría debemos recordar que el manto se divide en dos partes, una parte inferior que consiste en rocas fijas, llamada mesósfera y una parte exterior que se compone de rocas plásticas. En el manto un mineral predominante es el olivino, que se compone de silicatos de hierro y magnesio. Este mineral se encuentra conformado por wadsleyita, que contiene agua en forma de hidratos y de manera potencial como grupos hidroxilo. En la zona de transición del manto, la cual separa sus dos capas, se encuentran iones hidrógeno, que reaccionan con los grupos hidroxilo presentes en el olivino, y el agua se separa del mineral mediante reacciones de decaimiento radiactivo.

El agua formada mediante este mecanismo sale a la superficie con ayuda de la actividad volcánica. Se han realizado excavaciones profundas en la corteza terrestre, de entre 8000m y 9000m (Sogaard, 2014), habiéndose encontrado agua

en todo su recorrido, con alto contenido de minerales y gases disueltos. (Sogaard, 2014)

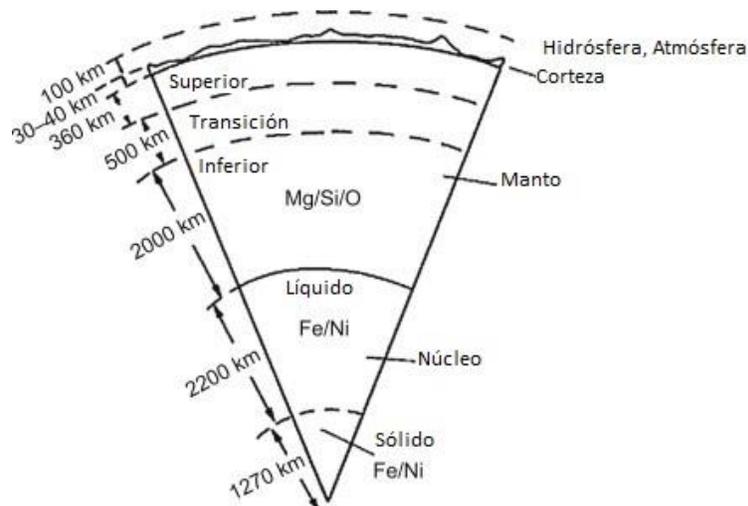


Ilustración 3-1 Estructura de la tierra. J.E. Fergusson (1985).

3.2 Ciclo del agua

El ciclo del agua colecta, purifica y distribuye el suministro fijo de agua en la Tierra. El ciclo es alimentado por la energía solar e involucra tres procesos principales, evaporación, precipitación y transpiración. La energía solar entrante causa la evaporación del agua de los océanos, lagos, ríos y del suelo. La evaporación transforma el agua líquida en vapor de agua en la atmósfera, y la gravedad devuelve el agua a la superficie terrestre como precipitación. Alrededor del 84% del agua en la atmósfera proviene del océano (Fergusson., 1985), el cual cubre cerca de tres cuartas partes de la superficie terrestre, el resto proviene del continente, el 90% del agua en la atmósfera que proveniente del continente se evapora en la superficie de las plantas mediante un proceso llamado transpiración (Fergusson., 1985)

El agua que regresa al continente como precipitación toma diversas vías. La mayor parte de la precipitación escurre formando ríos y lagos que eventualmente retornarán al mar, donde nuevamente se evapora para reiniciar el ciclo.

Una parte del agua que precipita al continente se infiltra a través de formaciones rocosas permeables en el suelo hacia capas interiores de roca, arena y grava llamadas acuíferos, donde se almacena como agua subterránea. Una pequeña parte del agua de la tierra termina formando parte de los seres vivos, donde se combina con el CO₂ atmosférico y forma moléculas orgánicas de alta energía durante la fotosíntesis. Estos compuestos se rompen durante procesos metabólicos, liberando el agua al ambiente. Organismos consumidores obtienen el agua que requieren de sus alimentos y del ambiente. (G.Tyler Miller, 2009)

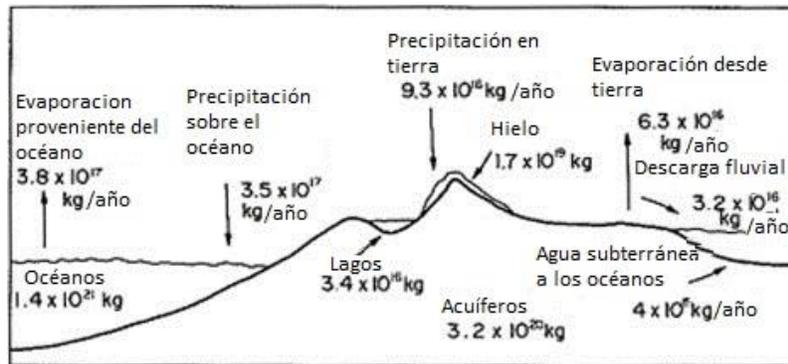


Ilustración 3-2Ciclo del agua J.E. Fergusson 1985

3.3 Importancia del agua.

El agua es un componente vital para todas las formas de vida en la Tierra. Como es sabido, el agua es el principal medio de reacción en nuestro planeta y la base de la química de los sistemas vivientes. Como un recurso, el agua ha tenido importantes repercusiones en las civilizaciones humanas, desde el inicio de la agricultura y posteriormente, el agua pasó de servir a las necesidades básicas del hombre y se comenzó a utilizar como fuerza motriz en molinos y otros procesos industriales.

Hasta hace relativamente poco tiempo el enfoque del suministro de agua era sencillo, se establecían las poblaciones cerca de una fuente de agua o se almacenaba y transportaba hasta donde se requería. Una vez utilizada, el agua era descargada al cuerpo receptor más próximo. Al crecer la población y al desarrollarse la industria, la demanda de agua aumentó y la necesidad de agua fue cubierta

mediante obras como presas y acueductos que permitían llevar agua desde fuentes no contaminadas y distantes. Las actividades productivas y las grandes congregaciones de población ocasionan que la disponibilidad de agua limpia sea cada vez menor. Actividades como el riego agrícola o la explotación minera demandan gran cantidad de agua que, al salir del proceso, retorna con una calidad no adecuada para el consumo humano y muchas veces incompatible con la vida acuática. Además, las actividades productivas inciden directamente en la provisión de agua municipal de ciudades que se encuentran a cientos de kilómetros a la redonda. (Sogaard, 2014).

3.4 Importancia de los ecosistemas de agua dulce.

Los ecosistemas de agua dulce se componen de dos tipos distintos, los cuerpos de agua lénticos, donde el agua se encuentra estancada y los cuerpos de agua lóticos, donde el agua fluye, como en el caso de los ríos y arroyos.

Los lagos son cuerpos naturales de agua dulce, formados cuando la precipitación o el agua subterránea llena una depresión en la superficie terrestre. Los lagos varían mucho en tamaño y cantidad de nutrientes.

Si se trata de un lago profundo, este presentará 4 zonas distintas (G.Tyler Miller, 2009).

- La más somera se llama litoral, se encuentra cercana a la orilla y se conforma de la porción de agua superficial donde el Sol permite la presencia de plantas con raíz.
- La siguiente zona en profundidad es la limnética, es la zona abierta al Sol que comprende hasta la profundidad donde el lago es penetrado por la luz solar. Es la parte principal donde se realiza la fotosíntesis en un lago y provee

de alimento y oxígeno a los organismos consumidores. Los organismos más abundantes son el plancton y fitoplancton.

- Más adelante encontramos la zona profunda. Es la zona donde la oscuridad es tal que no puede ocurrir la fotosíntesis. En ausencia de plantas y luz solar, el nivel de oxígeno es bajo y los animales que habitan esta zona se adaptaron a la temperatura y oscuridad presentes.
- El fondo del lago lo comprende la zona béntica, la cual es habitada por organismos descomponedores y algunos otros que se alimentan de detritos (residuos sólidos provenientes de materia orgánica). Los habitantes de la zona béntica obtienen sus nutrientes de organismos muertos que caen de las capas superiores del lago y de sedimentos que llegan hasta el fondo.

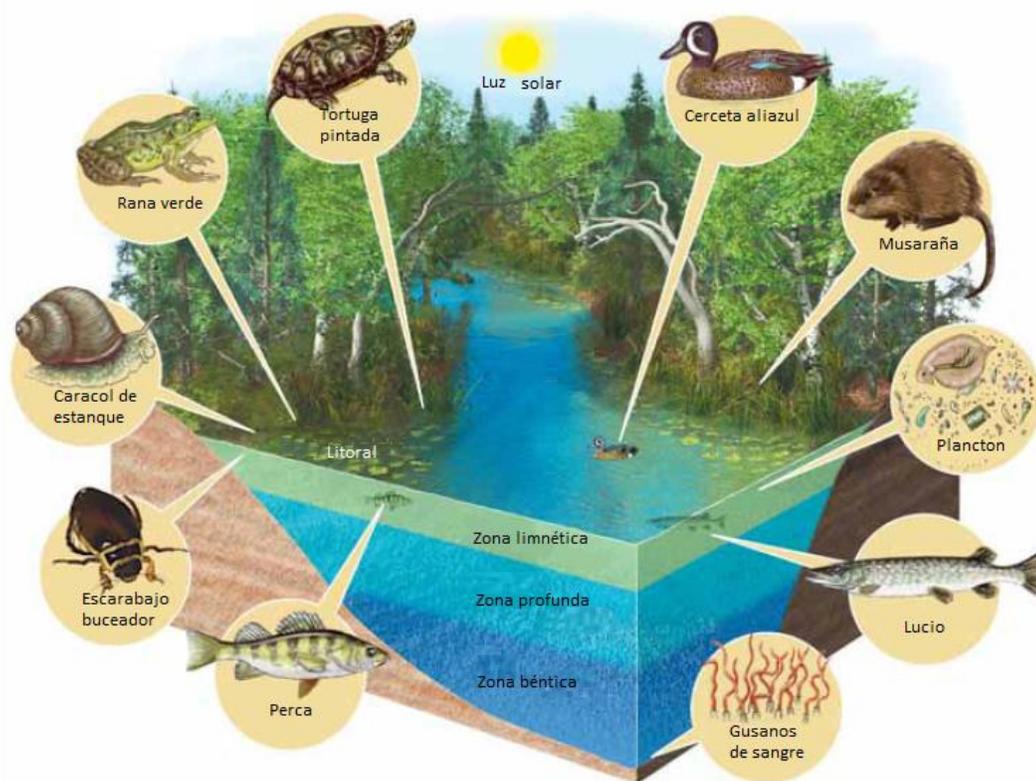


Ilustración 3-3 Distintas zonas presentes en un lago (G.Tyler Miller, 2009)

3.5 Clasificación de los cuerpos de agua según su cantidad de nutrientes.

Los lagos que presentan pocos nutrientes para las plantas son llamados oligotróficos (pobrementemente nutridos). Muchos lagos que entran en esta clasificación son profundos y tienen despeñaderos, se abastecen de glaciares y corrientes provenientes de montañas. Normalmente estos lagos presentan aguas cristalinas, pequeñas poblaciones de fitoplancton y peces como truchas. A causa de la baja cantidad de nutrientes estos lagos presentan baja productividad primaria (Gabriel Roldán Pérez, 2008).

Al pasar el tiempo, nutrientes orgánicos, inorgánicos y sedimento, son arrastrados a los lagos oligotróficos, donde las plantas pueden desarrollarse y morir para formar sedimentos de fondo. Un lago en estas condiciones, con gran cantidad de nutrientes disponibles para las plantas es llamado eutrófico (bien nutrido). Estos lagos generalmente no son muy profundos y presentan coloraciones que van del marrón al verde, así como alta turbiedad (Gabriel Roldán Pérez, 2008)

Las actividades humanas pueden acelerar la eutrofización de los cuerpos de agua mediante la disolución de gases atmosféricos y por adición de nutrientes provenientes de la agricultura.

Este proceso puede llevar al lago a un estado conocido como hipertrófico, donde hay un exceso de nutrientes. Muchos lagos se encuentran entre estos dos extremos y son llamados mesotróficos (M.a del Pilar Cabildo Miranda, 2013).

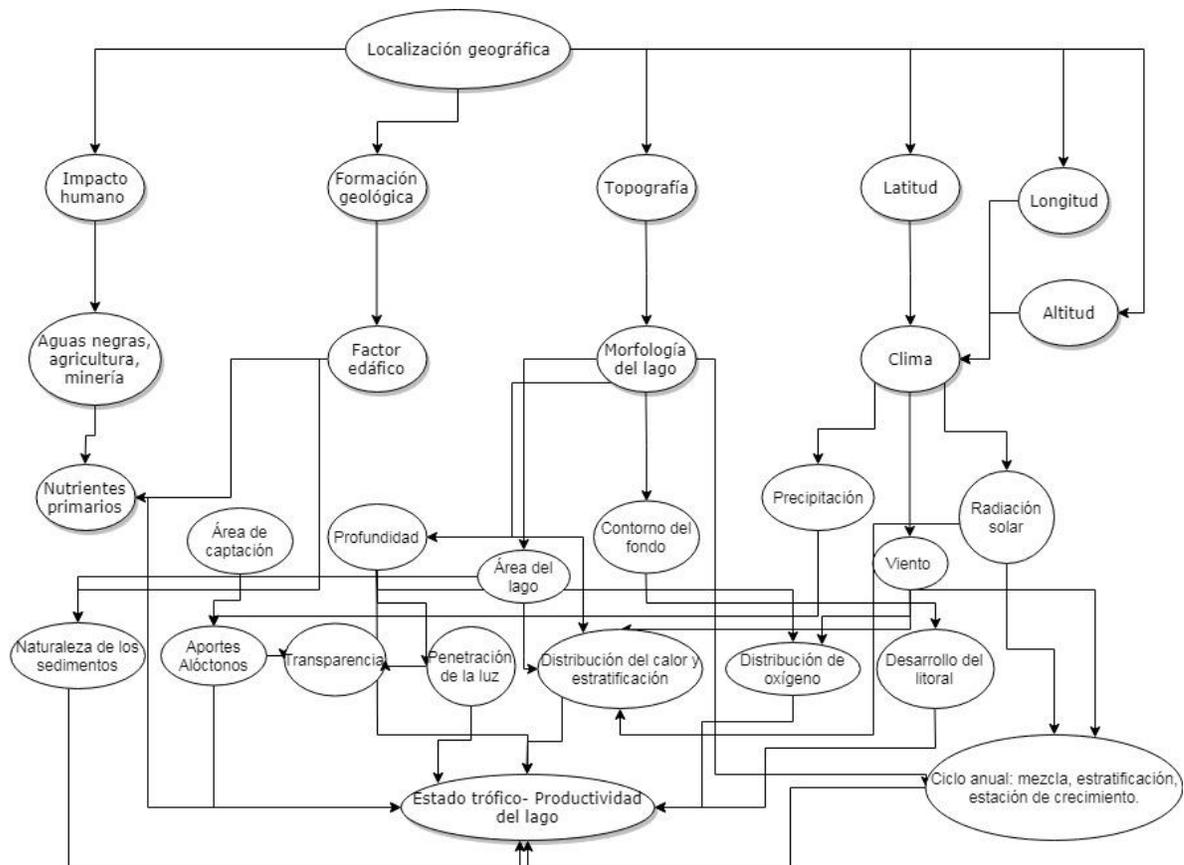


Ilustración 3-4 Interacción de los factores que determinan la composición, la distribución, la cantidad de biota, la tasa a la cual los nutrientes son neutralizados, y la profundidad del lago. (Gabriel Roldán Pérez, 2008)

3.6 Fuentes de contaminación.

Se denomina contaminación a cualquier elemento en el ambiente que es dañino para la salud, supervivencia o para las actividades humanas. Los contaminantes pueden ingresar al ambiente de manera natural, como en el caso de erupciones volcánicas o a través de actividades humanas, como la combustión de carbón y gasolina o las descargas químicas a los ríos.

Los contaminantes producidos por la actividad humana pueden provenir de dos tipos de fuentes.

1. Fuentes puntuales: son fuentes únicas y de fácil identificación, por ejemplo, chimeneas de plantas industriales y salidas de drenajes (G.Tyler Miller, 2009).

2. Fuentes no puntuales: se encuentran dispersas y muchas veces son difíciles de identificar. Ejemplos de ellas son escurrimientos de pesticidas, cultivos y jardines hacia corrientes y lagos. Son difíciles de identificar debido a que pueden encontrarse muy dispersas (G.Tyler Miller, 2009).

4 Descripción de la zona de estudio.

4.1 Cuenca del río Metztlán.

La laguna de Zupitlán pertenece a la cuenca del río Metztlán, que se distribuye de manera transversal en el estado de Hidalgo 89% y un 6.4% y 3.7% a los estados de Veracruz y Puebla respectivamente. (José René Valdez-Lazalde, 2011). La cuenca se conforma de una barranca de 75km de longitud y 9km de ancho en su parte más amplia, su profundidad media es de 500m (José René Valdez-Lazalde, 2011).

La biodiversidad que presenta la barranca en sus laderas llevó a que el 27 de noviembre del 2000 se decretará un área natural protegida, tomando el nombre de Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán (CONANP, 2003). La cuenca a su vez puede subdividirse en las regiones naturales que la conforman en 3 partes, sierra baja, comarca minera y Valle de Tulancingo.

4.2 La sierra baja

En la parte de la Sierra baja, el clima característico es (BS0hw) seco y semiseco (BS1hw) (INEGI, 2018), Según la clasificación de Köppen, la precipitación es menor a 400mm y la vegetación característica es el matorral crasicaule y espinoso. En los valles cercanos al lecho del río se cultiva maíz (*Zea mays*), chile (*Capsicum annum*) y tomate, entre otros (José René Valdez-Lazalde, 2011).

4.3 La comarca minera

La comarca minera comprende un pequeño conjunto de montañas pertenecientes a la Sierra Madre Oriental que va desde Tulancingo hasta Actopan. Debe su nombre a los yacimientos de plomo, oro y plata que en ella se encuentran. El clima es templado subhúmedo (Cw1, Cw2) (INEGI, 2018). Según la clasificación de Köppen, con lluvias en verano (800mm a 1000mm) de precipitación al año.

La región carece de corrientes de agua permanentes, lo que obliga a la población a contenerla en presas, como San Antonio, El Cedral, Jaramillo y La Estanzuela (José René Valdez-Lazalde, 2011).

La vegetación se caracteriza por la presencia de Mezquite (*Prosopis laevigata*), Maguey (*Agave salmiana*) y nopal (*Opuntia spp*) en las partes secas, y en las partes elevadas y húmedas por bosque de (*Abies religiosa*) y *Pinus spp* (José René Valdez-Lazalde, 2011). Además, en los terrenos agrícolas se cultiva manzana (*Malus spp*), ciruela (*prunus doméstica*) y cultivos como cebada (*Hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*) (José René Valdez-Lazalde, 2011).

4.4 El Valle de Tulancingo

El Valle de Tulancingo posee un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw1 y Cw2). Según la clasificación de Köppen (INEGI, 2018), y tierras fértiles, donde se practica la agricultura con sistemas de riego. Algunos de los cultivos representativos son el maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), cebada (*Hordeum vulgare*) y frutales como tejocote (*Crataegus spp*), pera (*Pyrus sp*) y manzana (*Malus spp*) entre otros. (José René Valdez-Lazalde, 2011)

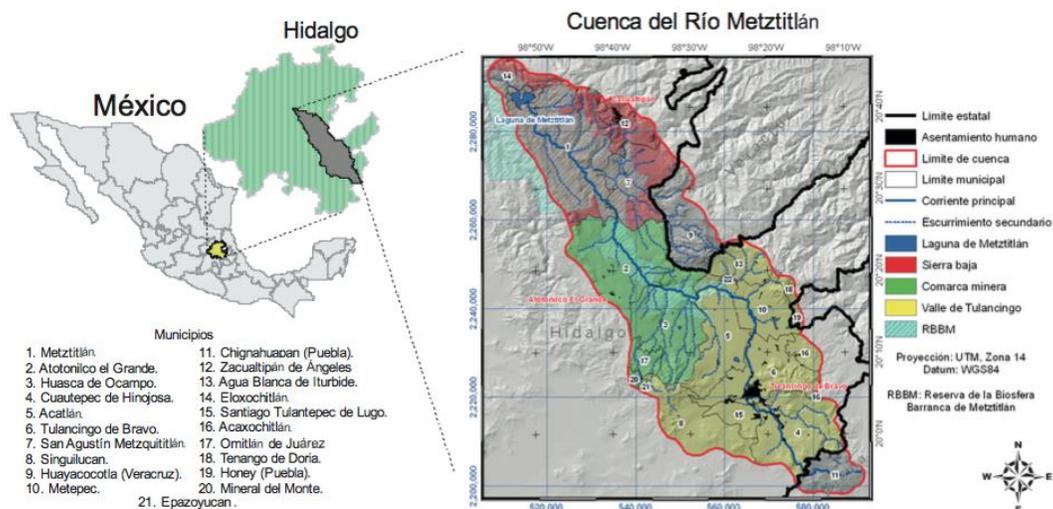


Ilustración 4-1 Localización de la cuenca del Río Metztitlán (José René Valdez-Lazalde, 2011)

4.4.1 Uso de suelo en el Valle de Tulancingo.

La cobertura vegetal y los usos de suelo en el Valle de Tulancingo engloban los ecosistemas de bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña y matorral xerófilo en la zona no perturbada, además de éstos, la mayor parte del suelo de la entidad se utiliza para el cultivo de forrajes (Servicio Geológico Mexicano, 2007).

La superficie del Valle de Tulancingo es de 171878,289 ha (Servicio Geológico Mexicano, 2007) para las cuales se clasifican en 8 tipos de suelo, que se muestran en la tabla 4-1.

Tabla 4-1 Uso de suelo y vegetación del Valle de Tulancingo

Uso del suelo	Área ha	Porcentaje
Área de cultivo	95,598.355	55.618
Área urbana	7,382.968	4.295
Banco de material	104.873	0.061
Bosque de coníferas	43,690.523	25.419
Bosque de encino	14,011.351	8.152
Bosque mesófilo de montaña	1,676.763	0.976
Cuerpo de agua	2,902.289	1.689
Matorral xerófilo	6,511.167	3.788
Total	171,878.289	100

Elaborado con información de (Servicio Geológico Mexicano, 2007)

4.4.2 Área de cultivo.

Se conforma por agricultura de riego y de temporal, abarca todos los municipios del Valle de Tulancingo, Es de mayor importancia en Tulancingo, Cuauhtepic y Acaxochitlán, donde se desarrolla el cultivo de frutales como ciruela, manzana y durazno (Atlas Agropecuario, 1996). En los municipios de Acatlán, Metepec, Santiago Tulantepec y Tulancingo, la agricultura de riego es muy importante, en esta zona el nivel freático es somero y el agua se extrae mediante pozos, cultivándose cebada, alfalfa, trigo, maíz y frijol (Servicio Geológico Mexicano, 2007). Los productos de los cultivos de riego son usados para la engorda de ganado (vacuno, caprino, equino, ovino) (INEGI, 1996), esta actividad es relevante principalmente en el municipio de Acatlán denominándose esta zona del valle como Cuenca lechera (Atlas Agropecuario, 1996).

4.4.3 Área urbana.

El uso de suelo urbano ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie, las principales áreas urbanas se encuentran hacia el centro del Valle de Tulancingo, los municipios de Cuauhtepic, Tulancingo y Santiago Tualntepec forman un área conurbada con complejos desarrollos de unidades habitacionales, asentamientos irregulares carentes de servicios (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010). Las partes más densamente pobladas están rodeadas por zonas agrícolas y las menos pobladas (Acaxochitlán y Metepec) están cercanas a bosques. (Servicio Geológico Mexicano, 2007).

4.4.4 Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua ocupan el sexto lugar territorialmente hablando. La mayoría son utilizados como abastecedores de agua para el ganado y riego de parcelas. Los más importantes son la Laguna de Tecocomulco y la del Tejocotal, ubicadas en los municipios de Cuauhtepic y Acaxochitlán, respectivamente (Tecocomulco, 2015).

La Laguna de Tecocomulco es muy importante desde el punto de vista de biodiversidad, es considerada como un sitio Ramsar (SEMARNAT, 2018), es un relicto de los humedales de México y a nivel mundial es reconocida por la ictiofauna y herpetofauna que guarda, además de la gran diversidad de aves estacionales que se pueden observar (Servicio Geológico Mexicano, 2007).

La Laguna del Tejocotal, es muy importante desde el punto de vista económico, es un vaso captador de agua para la generación de energía eléctrica en la hidroeléctrica Necaxa, además se utiliza con fines turísticos, de recreación y esparcimiento (Servicio Geológico Mexicano, 2007), se practican deportes acuáticos y se cultivan especies dulciacuícolas. La presa está rodeada por bosque lo cual la hace más atractiva para fines ecoturísticos. (Servicio Geológico Mexicano, 2007)

4.4.5 El municipio de Acatlán.

La laguna de Zupitlán se encuentra localizada en el municipio de Acatlán. El municipio se ubica Entre los paralelos 20° 04' y 20° 20' de latitud norte; los meridianos 98° 21' y 98° 31' de longitud oeste, presenta una altitud entre 1600m y 3100 m (INEGI, 2009). Colinda al norte con el municipio de Huasca de Ocampo, el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, los municipios de Agua Blanca de Iturbide y Metepec; al este con los municipios de Metepec y Tulancingo de Bravo; al sur con los municipios de Tulancingo de Bravo y Singuilucan; al oeste con los municipios de Singuilucan y Huasca de Ocampo (INEGI, 2009). Ocupa el 1.16% de la superficie del estado y cuenta con 52 localidades y una población total de 17 914 habitantes (INEGI, 2009).

4.4.6 Fisiografía del municipio de Acatlán

En cuanto a fisiografía se refiere, el municipio de Acatlán pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico en su totalidad, así mismo forma parte de la subprovincia de

llanuras y sierras de Hidalgo y Querétaro en un 90% y en un 10% a la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac (INEGI, 2009).

4.4.7 Clima del municipio de Acatlán

EL clima del municipio de Acatlán es en su mayoría semiseco templado, la precipitación oscila entre los 500mm y 900mm anuales (INEGI, 2018).

Hidrológicamente pertenece a la región hidrológica Pánuco, a la cuenca del río Moctezuma y a la subcuenca del río Metztlán. En el municipio se tienen las siguientes corrientes de agua perenes, El Río Aculco, El Meco y el río grande Tulancingo y de manera intermitente el río la cañada (INEGI, 2009). Los cuerpos de agua encontrados son la presa EL Sabino y la laguna de Zupitlán (INEGI, 2009).

4.4.8 Uso de suelo del municipio de Acatlán

La mayor parte del suelo se utiliza en agricultura con un 61.3% y la zona urbana ocupa apenas el 0.12% (INEGI, 2009). El resto del suelo no tiene ocupación humana, y de éste el 25% es bosque, el 10% pastizal y el 3% matorral (INEGI, 2009).

4.4.9 Demografía del municipio de Acatlán.

El municipio de Acatlán presenta altos índices de pobreza y rezago social, a continuación se describe brevemente su situación.

La población del Municipio de Acatlán para el año 2010 ascendió a 20,077 habitantes, lo que representa un 0.8% de la población total de Hidalgo (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010). El municipio cuenta con 4,866 hogares (0.7% del total de hogares en la entidad), de los cuales 1,098 estaban encabezados por jefas de familia (0.7% del total de la entidad) (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010). Los hogares en el

municipio se conforman por 4.1 miembros en promedio, muy cercano al resto del estado, donde el total de integrantes por hogar es de 4 (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010).

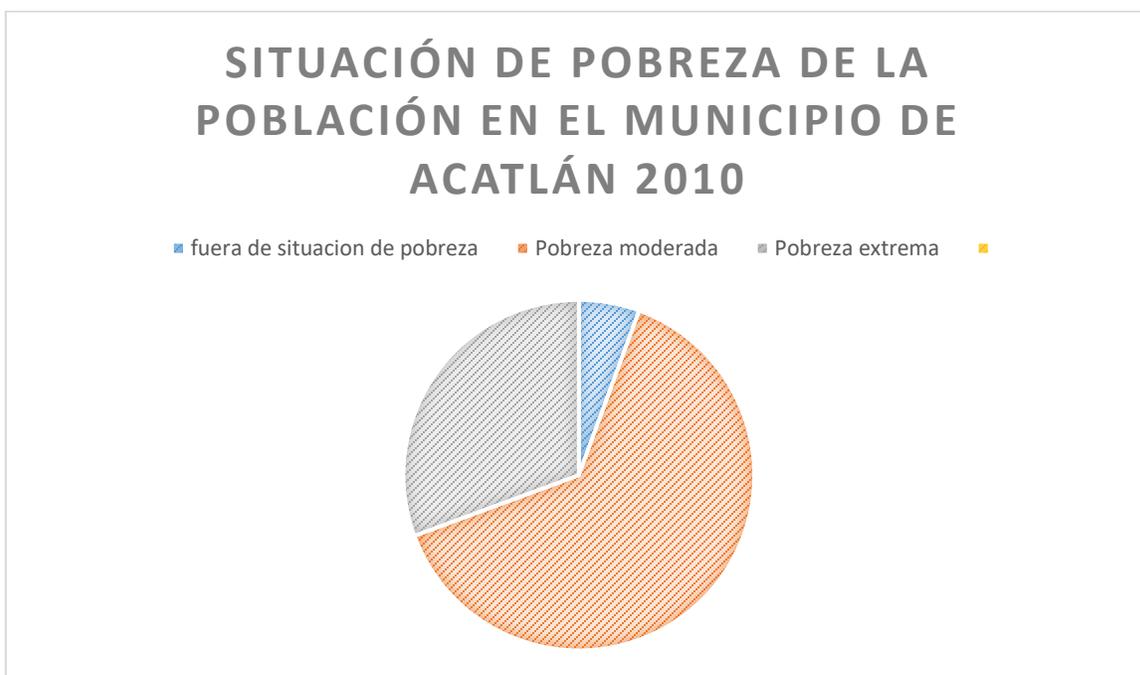


Ilustración 4-2 Situación de pobreza de la población en el municipio de Acatlán 2010. Elaborado con información de (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social, 2010)

4.4.10 Escolaridad del municipio de Acatlán

En cuanto a escolaridad el municipio se encuentra por debajo de la media estatal, pues mientras que en el resto del estado la población mayor a 15 años tiene un grado promedio de escolaridad 8.1 años, en Acatlán, al grado promedio de escolaridad para mayores de 15 años es de 6, para 2010 (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010).

Puede apreciarse este rezago reflejado en la infraestructura escolar que presenta el municipio. Pues en 2010 contaba con 41 escuelas preescolares (1.2% del total estatal), 37 primarias (1.1% del total) y 13 secundarias (1.1%) (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010). Además, el municipio contaba con un bachillerato (0.4%), una primaria indígena (0.2%) y ninguna escuela

de formación para el trabajo (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010).

4.4.11 Salud del municipio de Acatlán

En el sector salud, la deficiencia de infraestructura médica era evidente pues, para 2010 las unidades médicas en el municipio eran 12 (1.3% del total de unidades médicas del estado) (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010). El personal médico era de 17 personas (0.4% del total de médicos en la entidad) (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010) y la razón de médicos por unidad médica era de 1.4, frente a la razón de 4.6 en todo el estado (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010).

En el mismo año, el porcentaje de personas sin acceso a servicios de salud fue de 36.7%, equivalente a 6,904 personas, de este modo la carencia de seguridad social afectó a 92.4% de la población, es decir 17,378 personas se encontraban bajo esta condición (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social , 2010).

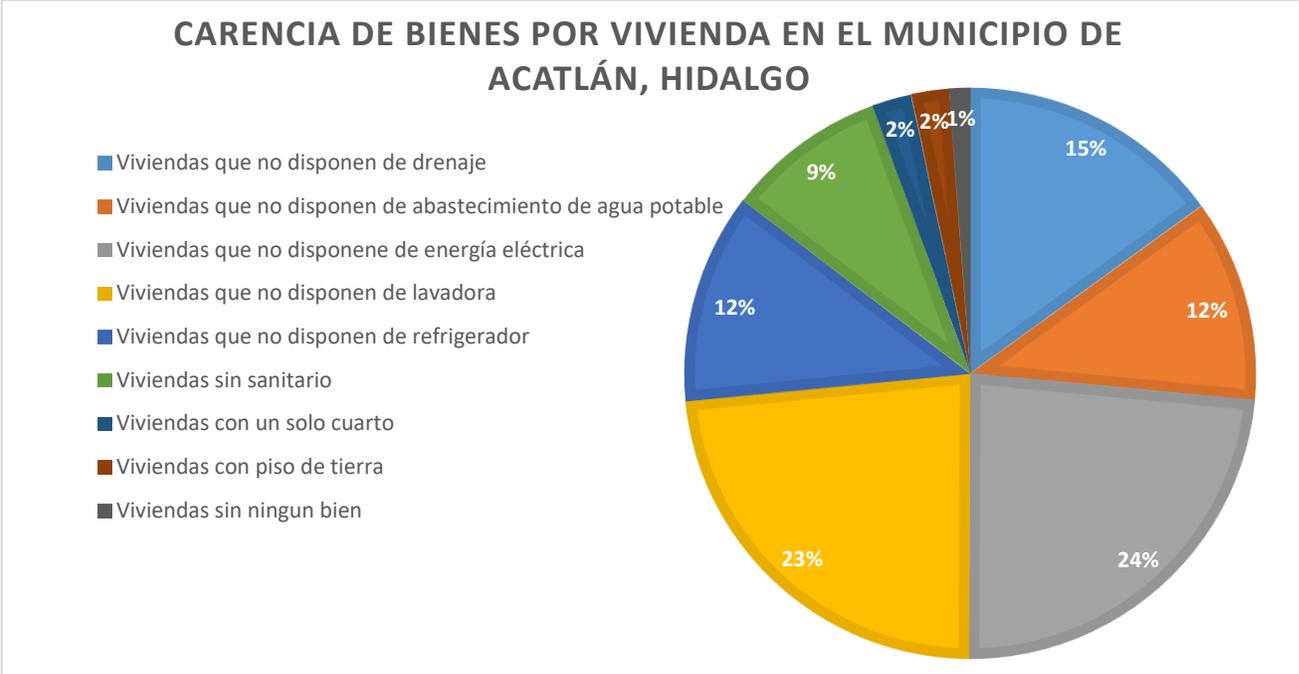


Ilustración 4-3 Carencia de vienes por vivienda en el municipio de Acatlán, Hidalgo. Elaborado con información de (Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social, 2010)

4.4.12 Actividades económicas del municipio de Acatlán

4.4.12.1 Agricultura

La principal actividad a la que se dedica el municipio es a la cosecha de alfalfa, trigo, cebada, maíz y frijol y maguey pulquero (Acatlán, 2014). El cultivo con más valor monetario es el de pastos para pastoreo y el de cebada (Acatlán, 2014).

4.4.12.2 Ganadería

En cuanto a la ganadería, en el municipio se cría ganado bovino, porcino, ovino, caprino, equino y aves de corral, las cuales representan la mayor parte de los animales para consumo del municipio (Acatlán, 2014). Parte de la población se dedica a actividades apícolas (Acatlán, 2014).

4.4.12.3 Industria

Cuenta con industrias maderables, procesamiento de lácteos y beneficio de caolín. Además, en Alcholoja se encuentra la fábrica de Asbestos Nacionales, S.A. que elabora productos de fibra para aislantes, pastas para discos de clutch de automóviles y otros usos, por la importancia en su género es la segunda en América Latina (Acatlán, 2014).

Asimismo, encontramos en Acatlán bancos de materiales no metálicos, de donde se extrae tezontle, piedras calizas y diatomita, los que son procesados fuera del municipio (Acatlán, 2014).

4.4.12.4 Infraestructura comercial.

La infraestructura comercial de Acatlán se compone de 64 establecimientos, 18 DICONSAS, 1 tianguis, 1 mercado público (Acatlán, 2014).

4.4.12.5 Población Económicamente Activa por Sector

La población económicamente activa de 12 años y más del municipio asciende a 5496 de las cuales 56 se encuentran desocupadas (Acatlán, 2014). La distribución por tipo de sector económico se presenta en la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Población económicamente activa del municipio de Acatlán

Sector	Población Económicamente Activa Ocupada	Porcentaje
TOTAL MUNICIPAL	5,440	
PRIMARIO	2,428	44.6
SECUNDARIO	1,506	27.7
TERCIARIO	1,506	27.7

Realizado con información de (Acatlán, 2014)

5 Descripción del sitio

5.1 Descripción de la Laguna de Zupitlán.

La laguna de Zupitlán se encuentra localizada en el municipio de Acatlán, en el estado de Hidalgo, México. Se trata de un cuerpo de agua endorreico léntico de régimen perenne. Su superficie total alcanza los 9.143 km² tiene una capacidad de 2.08 x 10⁶m³ y una profundidad de 10m (Anallely Ávila Ortiz, 2008). Las fuentes de recarga son las escorrentías, la precipitación pluvial y una recarga subterránea (Anallely Ávila Ortiz, 2008). En ella se desarrolla la piscicultura de tilapia y el turismo con paseos en lancha. El principal uso del agua es para abastecer los cultivos de la región (Anallely Ávila Ortiz, 2008). Véase Ilustración 5-1

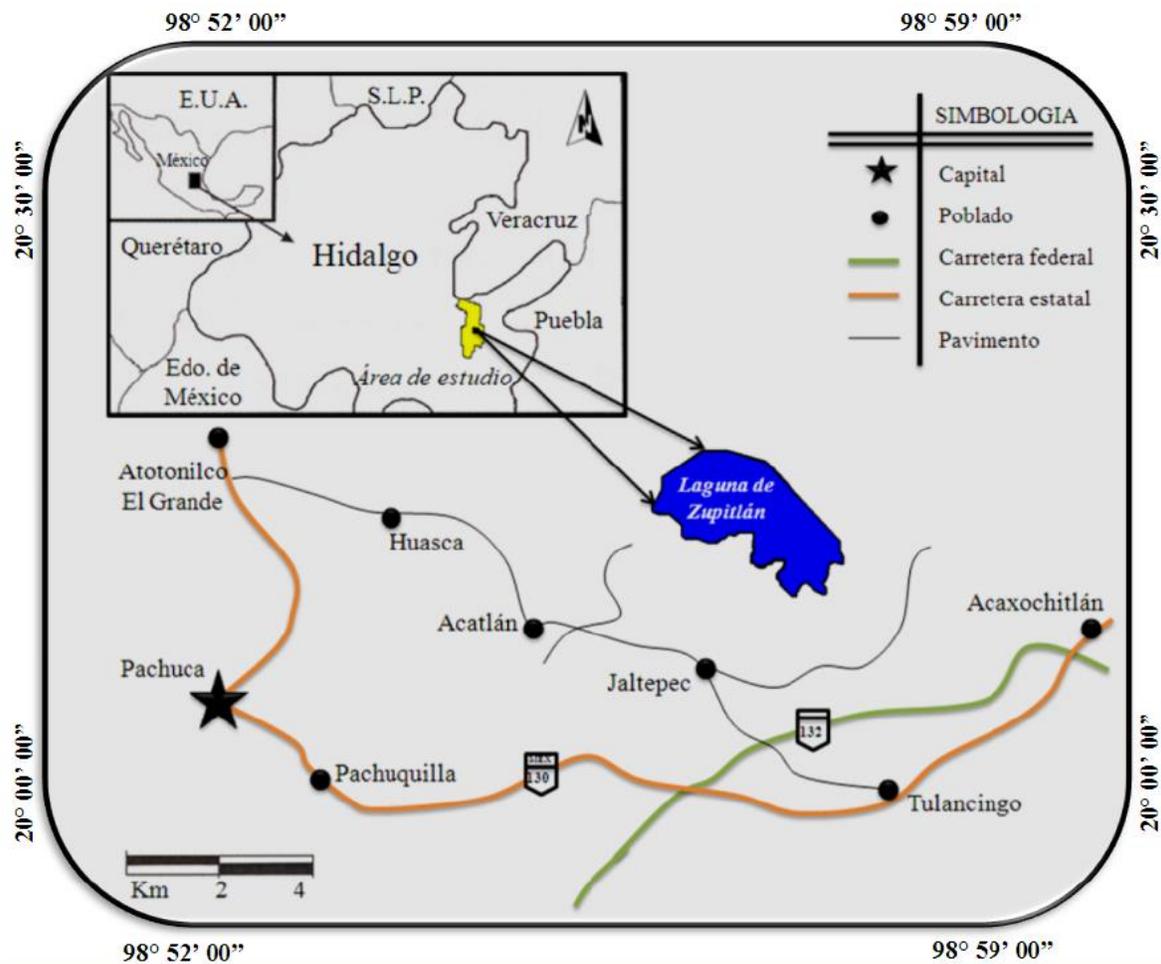


Ilustración 5-1 Ubicación geográfica y política (Anallely Ávila Ortiz, 2008)

La laguna de *Zupitlán* se encuentra localizada dentro de la microcuenca exorreica del río *El Fondón*, la cual cuenta con un área de 217.71 km². El río *El Fondón* es tributario del río *Grande Tulancingo*. Como se puede apreciar en la ilustración 5-2.

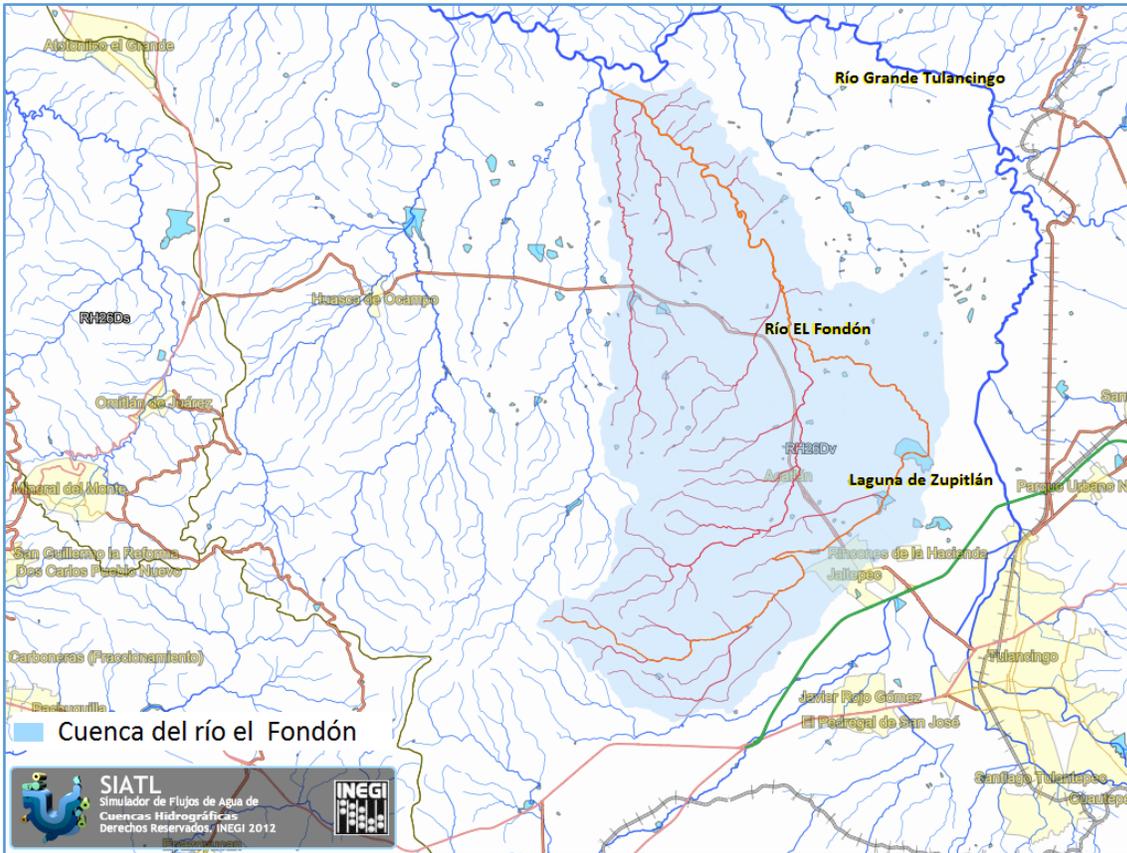


Ilustración 5-2 Microcuenca del río El Fondón, elaborado con la herramienta SIATL. (INEGI, 2019).

6 Problemática de la laguna de Zupitlán.

La laguna de Zupitlán presenta una coloración verdosa y alta presencia de sólidos suspendidos lo cual indica la proliferación de microorganismos acuáticos y la abundancia de materia orgánica. Además, los peces como carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis sp.*) han estado desapareciendo progresivamente. Lo anterior aunado a la abundancia de lodos es un indicador de eutrofización de la laguna (Misael Cruz Sánchez, 2011).

En el caso de la laguna de Zupitlán existen fuentes de contaminación puntual y no puntual. La contaminación no puntual se debe al escurrimiento de agua de las tierras agrícolas circundantes, a residuos de la piscicultura de (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis sp.*) así como las excretas del ganado principalmente vacuno que pasta alrededor de la laguna.

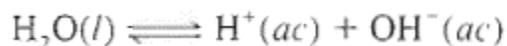
La contaminación puntual se debe a la comunicación mediante un canal que existe entre la presa El Sabino y la laguna de Zupitlán, pues en El Sabino, existe una constante descarga de lacto suero, que es un subproducto de la industria de los lácteos que se desarrolla en la región (Bisemanario Ruta, 2012).

El lacto suero ingresa a la presa El Sabino desde un lugar llamado *El Cuatro*, donde convergen los residuos lácteos que escurren hasta ingresar a la presa; para más tarde ingresar a la laguna de Zupitlán (Bisemanario Ruta, 2012).

7 Parámetros para la evaluación de la calidad del agua.

7.1 pH

El agua pura es un mal conductor de la electricidad, esto se debe a que se comporta como un electrolito débil, aun así, es capaz de ionizarse levemente según la teoría de Arrhenius de la siguiente manera.



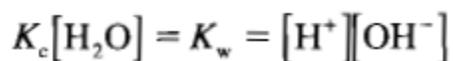
Ecuación 7-1 disociación del agua tomado de (Chang, 2002)

En el estudio de las reacciones ácido -base la concentración del ion hidrogeno es muy importante, ya que se utiliza para indicar la acidez o basicidad de una disolución. La constante de equilibrio de ionización del agua se puede escribir de la siguiente forma.

$$K_c = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

Ecuación 7-2 Constante de equilibrio de ionización del agua, tomado de (Chang, 2002)

Debido a que solo una fracción muy pequeña de moléculas de agua es ionizada, la concentración de agua permanece prácticamente constante.



Ecuación 7-3 Constante del producto iónico del agua, tomado de (Chang, 2002)

La constante de equilibrio K_w se denomina constante de producto iónico, que es el producto de las concentraciones H^+ y OH^- a una temperatura dada (Chang, 2002).

Se ha demostrado empíricamente que en el agua pura a 25°C las concentraciones de los iones H^+ y OH^- son iguales y tienen un valor de $1 \times 10^{-7} \text{ M}$ (Chang, 2002). Sustituyendo los valores de la concentración de iones hidroxilo y de los iones hidrogeno en la ecuación 3 obtenemos.

$$K_w = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7}) = 1.0 \times 10^{-14}$$

Ecuación 7-0-4 Valor de K_w a 25°C , tomado de (Chang, 2002)

La relación anterior se mantiene aún si el agua presenta especies disueltas, mientras la temperatura permanezca con un valor de 25°C . Puesto que las concentraciones de los iones H^+ y OH^- son a menudo muy pequeñas, incluso menores a 1M Soren Sorensen propuso en 1909 trabajar con exponentes como una medida más práctica a la que llamo potencial de hidrógeno (pH) (Chang, 2002). Quedando definido el pH como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (en mol/L)

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Ecuación 7-5 Definición de pH, tomado de (Chang, 2002)

Debido a que el pH se trata de una manera de expresar la concentración de iones H^+ , las disoluciones se identifican de acuerdo con su valor de pH de la siguiente manera (Chang, 2002).

- Ácida si $\text{pH} < 7$, $[\text{H}^+] > 1 \times 10^{-7}$
- Neutra si $\text{pH} = 7$, $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-7}$

- Básica si $\text{pH} > 7$, $[\text{H}^+] < 1 \times 10^{-7}$

7.1.1 Significado sanitario.

En el campo de la ingeniería ambiental, es muy importante la determinación del pH, ya que este parámetro puede influir en un sistema de abastecimiento, en sus etapas de ablandamiento, coagulación, desinfección, y control de la corrosión. En los sistemas biológicos de tratamiento, ya que se requiere mantener un pH que permita el crecimiento favorable de los organismos (Mendoza, 1979). En un cuerpo de agua un pH demasiado alto o bajo puede resultar en la pérdida de vida en el mismo.

El medidor más comúnmente utilizado para determinar el pH de una muestra problema es el electrodo de vidrio, regularmente el electrodo de referencia es un electrodo de plata-cloruro de plata. Es una herramienta muy versátil y puede utilizarse sin temor a interferencias en presencia de oxidantes fuertes, reductores y gases. La Ilustración 7-1 muestra un sistema de electrodos para la medición del pH.

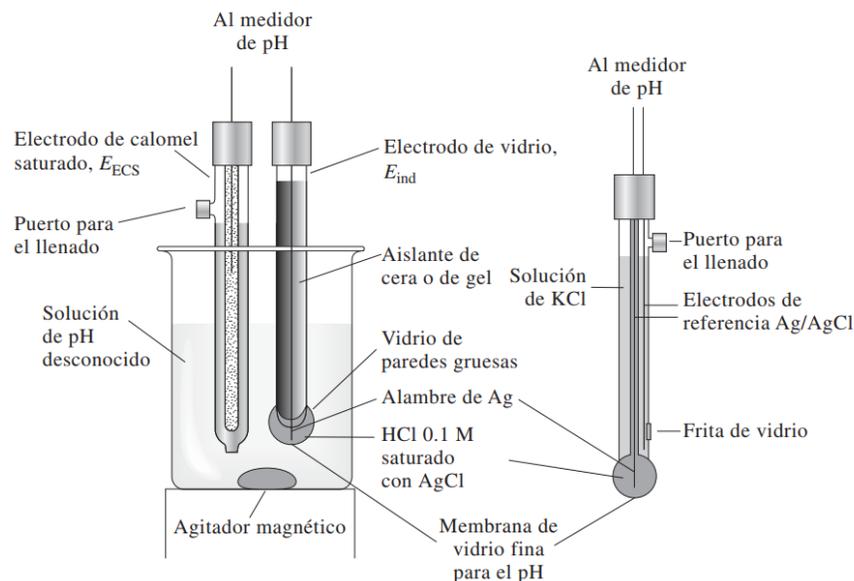


Ilustración 7-1 Sistema de electrodos típico para medir el pH. a) Electrodo de vidrio (indicador) y electrodo de calomel saturado (de referencia) sumergidos en una solución de pH desconocido. b) Sonda de combinación que está constituida por un electrodo indicador de vidrio y un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata. (Douglas A. Skoog, 2008).

7.2 Temperatura.

La temperatura en un cuerpo de agua depende de diversos factores, como la vegetación, las condiciones climáticas y el grado de mezclado presente. La temperatura de las aguas superficiales oscila entre los 0°C y los 40°C, dependiendo de la latitud, altitud, estación del año, hora del día, profundidad entre otros (Mendoza, 1979). Los factores humanos que más afectan la temperatura de un cuerpo de agua se deben a las descargas industriales y municipales, principalmente por las descargas de plantas de generación de energía eléctrica.

La determinación de la temperatura de un cuerpo de agua es importante, puesto que está estrechamente relacionada con la rapidez de las reacciones químicas que ocurren, así como las propiedades físicas y con las reacciones biológicas que existen en el cuerpo de agua.

7.2.1 Importancia de la temperatura en los cuerpos de agua.

- a) La temperatura del cuerpo de agua influye en los procesos de evaporación transpiración y condensación del ciclo hidrológico.

- b) En los lagos profundos, la temperatura del agua es importante, pues durante el verano ocurre un fenómeno llamado estratificación térmica, donde la capa superior del cuerpo de agua se calienta y se forma una zona llamada termoclina, a partir de la cual no existe circulación entre la parte inferior y la parte inferior del cuerpo de agua donde la luz del sol penetra, haciendo que en el fondo del cuerpo de agua pierda oxígeno. Esta condición es reversible al volver el invierno (G.Tyler Miller, 2009).

- c) Parámetros físicos y químicos como densidad y conductividad se ven afectados con la temperatura.

- d) La rapidez de las reacciones químicas aumenta con la temperatura.

- e) La temperatura afecta los procesos de purificación natural. La mayoría de los microorganismos que se encargan de degradar materia orgánica presente en los cuerpos de agua pertenecen al grupo mesofílico, que habita en temperaturas entre los 22 y 28°C, un aumento en la temperatura por encima de los 30°C producirá la muerte de estos organismos (Mendoza, 1979).
- f) La solubilidad del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura.
- g) La temperatura afecta el proceso de aireación. En un cuerpo de agua, el proceso de aireación depende de la solubilidad y de la difusión que el oxígeno tenga en él; por tanto, en un cuerpo donde no hay transporte por convección, el mecanismo gobernante es el de difusión. Éste se intensifica con el aumento de temperatura; sin embargo, temperaturas muy altas disminuirán considerablemente la solubilidad del oxígeno, volviendo desfavorable la aireación (Mendoza, 1979).

7.3 Turbiedad.

La turbiedad en un cuerpo de agua es una medida de dispersión de la luz, se debe a la presencia de partículas suspendidas como arcilla, lodo, materia orgánica, plancton y otros organismos. Las partículas que generan turbiedad en el agua varían en diámetro entre los 0.2 y 0.5 micrómetros, partículas más grandes tienden a sedimentarse (American Public Health Association, 2005).

Las principales fuentes de contaminación antropogénica que generan turbiedad en los cuerpos de agua son los residuos de la construcción, los residuos de la operación de minas, los polvos provenientes de los caminos, los desechos provenientes de granjas, los desechos humanos, los desechos provenientes de granjas y los residuos de plantas de tratamiento.

7.3.1 Significado sanitario.

La turbiedad en exceso obstruye la luz hacia las capas inferiores del cuerpo de agua. Como consecuencia los organismos fotosintéticos se ven afectados y la producción de oxígeno disminuye.

En el caso de arcillas y sedimentos, estos pueden obstruir oquedades entre la arena y las piedras del fondo. Al perderse estos espacios los peces pierden su lugar de desove (Mendoza, 1979).

El aumento en la turbiedad aumenta el costo de tratamiento del agua, ya que se remueve turbiedad con ayuda de las operaciones de coagulación-floculación, sedimentación y filtración. Si el tren de tratamiento del afluente comprende una posterior etapa de intercambio iónico, la calidad de intercambio se verá afectada (Sogaard, 2014).

7.3.2 Medición de transparencia con disco Secchi

El disco Secchi fue creado en 1865 por Pietro Angelo Secchi. Es un dispositivo utilizado para medir la transparencia de aguas abiertas, como lagos y mares. Consiste en un disco que se monta en el extremo de una cuerda y que se sumerge lentamente en el agua. A la profundidad dónde el disco ya no es visible se toma como medida de transparencia del agua. A la medida de transparencia del agua se le conoce como “Profundidad Secchi” y se relaciona con la turbidez del agua (Velasco Aparicio, 2015).

Debido a la naturaleza de las mediciones con el Disco Secchi, se pueden producir errores al realizar la medición de manera exacta debido a reflejos del sol en el agua y a la agudeza visual del observador (Velasco Aparicio, 2015).

7.3.3 Procedimiento.

Para la determinación de transparencia con el disco Secchi, se debe de introducir el disco al agua y sumergirlo lentamente hasta que deja de ser visible. La

medición debe realizarse a la sombra, pues si el sol incide directamente, se pueden obtener resultados equivocados; al perder el disco de visión, se hace una marca en la cadena de la que cuelga el disco en el punto donde hace contacto con el espejo de agua, para después conocer la distancia entre el punto marcado y el disco Secchi que se encuentra sumergido (Velasco Aparicio, 2015).



Ilustración 7-2 Medición de transparencia con disco Secchi. Elaboración propia

7.4 Oxígeno disuelto.

La detección de oxígeno es de gran importancia en diversas áreas, como el análisis de aguas residuales, agua de mar o de cuerpos de agua interiores, residuos de plantas químicas, en el análisis de sangre y suelos (Severinghaus, 2002). Así como para investigación biomédica y ambiental.

Uno de los sensores más ampliamente utilizados es el sensor de Clark, que consta de un electrodo de trabajo que actúa de cátodo, constituido por un disco de

platino, el cual se encuentra incrustado en un aislante cilíndrico. Al rededor del aislante hay un ánodo de plata en forma de anillo. El conjunto formado por el aislante tubular y ambos electrodos, se montan dentro de un cilindro que contiene una disolución amortiguadora de cloruro de potasio. Al final la parte inferior del tubo se mantiene en su lugar gracias a un sello conformado por una membrana de teflón o polietileno de 20 μm reemplazable y permeable al oxígeno. La solución electrolítica forma una capa de 10 μm entre el cátodo y la membrana (Douglas A. Skoog, 2008).

Al sumergir el sensor de oxígeno en una disolución que contiene el analito que se encuentra fluyendo o agitada, el oxígeno se difunde a través de la membrana hasta la capa formada por el electrolito y nuevamente se difunde hasta llegar al cátodo de platino en forma de disco donde es reducido inmediatamente a agua (Douglas A. Skoog, 2008).

El electrodo de Clark se diferencia de un electrodo hidrodinámico convencional ya que en él se llevan a cabo dos procesos de difusión:

- El primero a través de la membrana.
- El segundo a través de la disolución electrolítica que se encuentra entre la membrana y la superficie del electrodo.

El espesor de la capa de disolución electrolítica es de alrededor de 20 μm , con el fin de alcanzar el estado estacionario en un periodo de tiempo de entre 10 y 20 s. En estas condiciones, la velocidad de equilibrio de la transferencia de oxígeno a través de la membrana es la que determina la corriente de estado estacionario que se alcanza (Douglas A. Skoog, 2008).

El mecanismo que da lugar a la medición de la concentración de una especie de interés en un electrodo de voltimetría, como el electrodo de Clark, es mediante la reducción de la especie de interés. En nuestro caso de oxígeno a agua, esta reducción da lugar a una corriente limitante la cual es proporcional a la concentración del analito y se usa en el análisis cuantitativo. La Ilustración 7-3 muestra a Leland Clark con su invención, el electrodo de medición de oxígeno

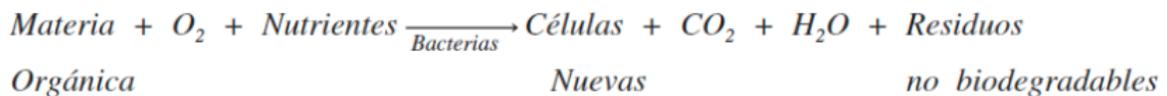


Ilustración 7-3 Leland Clark con su invención, el electrodo de medición de oxígeno (1952) (Severinghaus, 2002)

7.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La prueba analítica de demanda bioquímica de oxígeno sirve como una estimación de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, con ayuda de una población microbiana heterogénea. De la prueba se obtiene la fracción de materia orgánica biodegradable presente en el agua. El ensayo se realiza en condiciones aerobias y favorables en nutrientes (fósforo y nitrógeno) (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS).

Las reacciones que se presentan pueden simplificarse con base en la información de (Mendoza, 1979) de la siguiente manera.



Ecuación 7-6 Simplificación de las reacciones entre la materia orgánica y las bacterias aerobias. Elaborado con información de (Mendoza, 1979).

Como la rapidez de la reacción de oxidación es dependiente de la temperatura, la determinación de DBO se lleva a cabo a 20°C, que es una buena representación de la temperatura de los cuerpos de agua naturales.

El otro parámetro importante por considerar es el tiempo. Gracias a ensayos empíricos se ha encontrado que, en un periodo de 5 días se ha agorado entre un 70 y 80% de la materia orgánica biodegradable, por tanto, la DBO a 5 días se ha aceptado como referencia (Mendoza, 1979).

7.5.1 Significado sanitario.

- Un valor elevado de DBO puede indicar la presencia de descargas de aguas residuales municipales, industriales hacia el cuerpo de agua.
- Sirve como indicador del consumo de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar los desechos vertidos en los cuerpos de agua.
- A mayor cantidad de materia orgánica que ingresa al cuerpo de agua, más oxígeno se requerirá para su descomposición. Por consiguiente, el oxígeno disuelto en el cuerpo de agua disminuirá volviendo insostenible la vida acuática y limitando los usos del agua (American Public Health Association, 2005).
- Un valor alto de DBO puede ser indicio de una proliferación de algas, las cuales pueden impedir el paso de luz a capas más profundas del cuerpo de agua, desfavoreciendo procesos fotosintéticos en capas inferiores, llevando a condiciones anóxicas.

- Un exceso de algas puede también añadir olor y sabor al agua y causar taponamiento de los filtros de arena utilizados en las plantas de tratamiento (Manahan, 2007).

7.6 Clorofila.

La concentración de pigmentos fotosintéticos es ampliamente utilizada con la finalidad de estimar la biomasa de fitoplancton. Todas las algas verdes poseen clorofila-a, la cual constituye alrededor del 2% de la masa seca de las algas planctónicas. Existen también otros pigmentos fotosintéticos en el fitoplancton, entre ellos la clorofila b, c, xantofilas, ficobilinas y carotenos. Los métodos más usados para la determinación de clorofila-a son el espectrofotométrico, el fluorométrico y la cromatografía de líquidos de alta resolución (American Public Health Association, 2005).

El método más utilizado para determinar la cantidad de fitoplancton en un cuerpo de agua es mediante la estimación de la cantidad de clorofila. Las clorofilas son un grupo de pigmentos presentes en plantas superiores, algas, bacterias y otros organismos fotosintéticos. Se presentan en la naturaleza en la forma de clorofila a, b, c, d, e (American Public Health Association, 2005).

El método de análisis fue desarrollado por Richards y Thompson (1952) y consiste en medir espectrofotométricamente la cantidad de clorofila presente en un volumen de agua mediante una extracción con acetona al 90% en volumen.

7.6.1 Importancia sanitaria.

En los ecosistemas acuáticos el fitoplancton es de gran importancia, debido a que constituye el primer eslabón de la cadena trófica. Las algas microscópicas que comprenden el fitoplancton son fotosintéticas, y su abundancia depende de la disponibilidad de nutrientes en el cuerpo de agua, así como de la temperatura, de la luz y de la presencia de sustancias tóxicas.

En condiciones de exceso de nutrientes, las algas proliferan de manera excesiva llevando el cuerpo de agua a una condición de eutrofización. El exceso de algas en aguas superficiales causa diversos problemas (American Public Health Association, 2005):

- 1 Un exceso de algas en un cuerpo de agua provoca la presencia de color y olor.
- 2 En los sistemas de tratamiento de agua, la presencia de algas provoca un aumento en el consumo de insumos, como ozono y cloro.
- 3 Provoca obstrucciones en los sistemas de filtrado y si utilizan membranas provoca la obstrucción de sus poros.
- 4 Los metabolitos presentes en las algas provocan un sabor desagradable.

7.7 Fosfatos.

El fósforo se encuentra en diversas formas en los cuerpos de agua, efluentes industriales y domésticos, como ortofosfato, fosfato hidrolizado o formando parte de un compuesto orgánico. Del mismo modo se puede encontrar solubilizado, formando parte de los detritos, en los organismos que habitan el cuerpo de agua o en los sedimentos.

En la tabla 7-1 se detallan las diversas formas en que podemos encontrar el fósforo en la naturaleza.

Tabla 7-1 Diversas formas del fósforo encontradas en la naturaleza.

Forma	Soluble en agua	Insoluble en agua
Ortofosfatos (PO ₄) ³⁻	Combinado con cationes monovalentes como H ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺	Combinado con cationes polivalentes como Ca ²⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺
Polifosfatos. También conocidos como fosfatos condensados o hidrolizados (P ₂ O ₇) ⁴⁻ , (P ₃ O ₁₀) ⁵⁻ , (P ₃ O ₉) ³⁻ , entre otros, dependiendo del grado de deshidratación	Igual que en (1) Al aumentar la deshidratación disminuye la solubilidad	Igual que en (1) En forma de polifosfatos
Fósforo orgánico R - P R - P - R	Fósforo de enzimas Nutrientes fosforados	Fósforo en forma coloidal o aglomerada.

Elaborado con información de (Mendoza, 1979)

Al tomar una muestra para la determinación de fósforo, puede ser deseable conocer la totalidad del fósforo presente o la fracción de fósforo que se encuentra disuelto. Si se desea conocer la porción soluble, se suele utilizar un filtro para partículas con tamaño de poro de 0.45 micrómetros. Con el fin de conocer la cantidad de fósforo presente en una forma específica. Ortofosfatos, fosfato hidrolizado o fósforo total, requieren de tratamientos diferentes (Mendoza, 1979).

- 1 Digestión.
- 2 Hidrólisis ácida.
- 3 Directa.

En la ilustración 7-4 se muestran las especies de fósforo que se pueden determinar dependiendo del tratamiento que se le dé a la muestra.

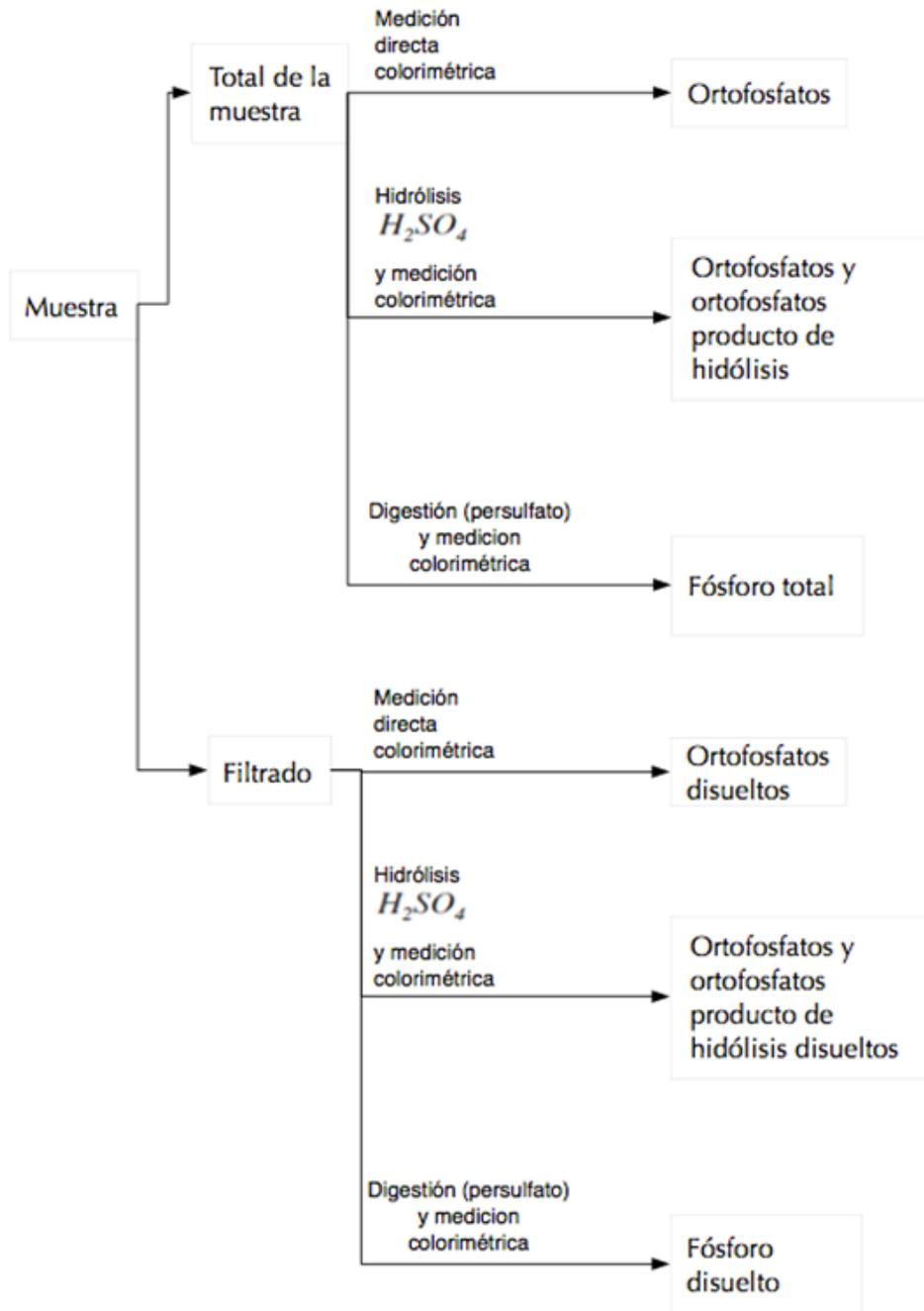


Ilustración 7-4 Procedimiento para obtener las distintas especies de fósforo. Elaborado con información de (Mendoza, 1979)

7.7.1 Fuentes de fosfatos.

Los fosfatos provienen de fuentes diversas, dentro de las que se encuentran.

- 1 Aguas de retorno agrícola.

- 2 Escurrimientos superficiales.
- 3 Aguas de desecho de origen doméstico, presentes en heces, residuos alimenticios, detergentes y microorganismos.
- 4 Aguas de desecho industrial especialmente en procesos de control de corrosión, contra incrustaciones y detergentes.

7.7.2 Significado sanitario.

En los estudios de calidad del agua la medición del fósforo es importante debido a su influencia en los procesos de productividad acuática. Si se encuentra en altas concentraciones la eficiencia de los procesos de coagulación disminuye. Además, resulta difícil removerlo por métodos convencionales (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras).

El fósforo es parte fundamental de los nutrientes primarios, que al encontrarse en exceso pueden resultar en un crecimiento excesivo de algas y plantas en un cuerpo de agua. Un incremento en la masa fitoplanctónica puede causar obstrucciones en filtros, aumentar la turbiedad del agua y proporcionar olor y color (Gabriel Roldán Pérez, 2008).

8 Revisión bibliográfica de estudios de calidad del agua en la laguna de Zupitlán

Al evaluarse la calidad del agua de un recurso hídrico, normalmente se consideran parámetros físicos y químicos para así conocer si el agua es apta para los usos que son requeridos por los habitantes de la región y que se sirven del cuerpo de agua. Igualmente es importante considerar la capacidad del cuerpo de agua para sostener la vida del ecosistema del que forma parte. Pues es común que, la calidad del agua de una laguna o río sea adecuada para un uso específico, pero no necesariamente sea un hábitat adecuado para la vida.

En el presente capítulo se analizan los estudios realizados por las siguientes entidades:

- El Sistema Nacional de Información del Agua de la Comisión nacional del Agua (CONAGUA) durante el periodo comprendido entre los años 2012 al 2016.
- El portal de calidad del agua global de la iniciativa internacional de calidad del agua IIWQ, UNESCO-IHP. Programa hidrológico internacional en el año 2016.
- La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. En su estudio Identificación de bioindicadores en la laguna de Zupitlán, municipio de Acatlán, HGO., México. Del año 2009.
- La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en coordinación con el departamento de geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM y el USAI de la Facultad de Química de la UNAM. En su estudio Índices de calidad del agua de la laguna de Zupitlán, municipio de Acatlán, estado de Hidalgo en el año 2008.

Todos los estudios mencionados consideran parámetros distintos para calificar el estado en que se encuentra la laguna. Cada estudio tiene un enfoque particular como son el agua para consumo humano, el estado trófico, la viabilidad para la vida de especies acuáticas y la posibilidad de presencia de algas tóxicas.

8.1 SINA-CONAGUA.

El sistema Nacional de información del agua es el sistema institucional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Se encarga de poner a disposición del público general, información estadística y geográfica relevante al sector hídrico. Es un sistema de información que integra procesa y publica información hídrica con el fin de servir de instrumento para la planificación hídrica nacional. El sistema Nacional de información del agua genera información interpretada con indicadores.

En el sitio del SINA-CONAGUA se encuentra un apartado correspondiente a la calidad del agua de los diversos cuerpos de agua dulce de México. Se trata de un portal que ofrece datos georreferenciados, donde encontramos información de tres parámetros de calidad del agua, los cuales son DBO₅, DQO y Sólidos suspendidos totales, los criterios de calidad de cada parámetro se muestran en la tabla 8.1.

Tabla 8-0-1 criterios para los indicadores de calidad del agua en México

Criterios para los indicadores de calidad del agua en México				
Calidad	DBO ₅ (mg/L)	DQO(mg/L)	SST(mg/L)	CF [NMP/100mL]
Excelente	≤3	<10	<25	≤100
Buena calidad	3 - 6	10 - 20	25 - 75	100 - 200
Aceptable	6 - 30	20 - 40	75 - 150	200 - 1000
Contaminada	30 - 120	40 - 200	150 - 400	1000 - 10000
Fuertemente contaminada	> 120	>200	>400	>10000

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

De este portal se extrajeron datos de calidad del agua correspondientes a dos estaciones dónde se realizan muestreos anuales en la laguna de Zupitlán. En la ilustración 14 se muestra la localización de las estaciones donde el Sistema Nacional de Información del Agua realizó muestreos.



Ilustración 8-1 Localización de los puntos de muestreo en la laguna de Zupitlán, tomado del portal SINA-CONAGUA (Comisión Nacional del Agua , 2019)

En el sitio de SINA-CONAGA se pueden visualizar las estaciones dónde se realizaron muestreos para determinar parámetros de calidad del agua. Dicha información se recabo durante un lapso de cinco años, correspondiente al periodo comprendido entre 2012 y 2016. Se consultó la información de las estaciones de muestreo y los resultados se incluyen en las tablas 8.2 a la 8.6.

Tabla 8-0-2 Información de los sitios de muestreo en la laguna de Zupitlán obtenidas del portal SINA-CONAGUA para el año 2012

Año	2012	
	Estación 1	Estación2
Parámetro		
DBO ₅ [mg/L]	13.5	10.75
DQO [mg/L]	55.29	54.97
SST [mg/L]	5	30
CF [NMP/100mL]	N/A	N/A

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Tabla 8-0-3 Información de los sitios de muestreo en la laguna de Zupitlán obtenidas del portal SINA-CONAGUA para el año 2013

Año	2013	
Parámetro	Estación 1	Estación2
DBO ₅ [mg/L]	31.95	25.05
DQO [mg/L]	52.18	48.78
SST [mg/L]	42	44.5
CF [NMP/100mL]	2	2

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Tabla 8-0-4 Información de los sitios de muestreo en la laguna de Zupitlán obtenidas del portal SINA-CONAGUA para el año 2014

Año	2014	
Parámetro	Estación 1	Estación2
DBO ₅ [mg/L]	10.14	8.48
DQO [mg/L]	58.88	47.2
SST [mg/L]	19.5	30
CF [NMP/100mL]	3	3

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Tabla 8-0-5 Información de los sitios de muestreo en la laguna de Zupitlán obtenidas del portal SINA-CONAGUA para el año 2015

Año	2015	
Parámetro	Estación 1	Estación2
DBO ₅ [mg/L]	6.905	4.965
DQO [mg/L]	45.855	50.94
SST [mg/L]	22	24
CF [NMP/100mL]	3	3

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Tabla 8-0-6 Información de los sitios de muestreo en la laguna de Zupitlán obtenidas del portal SINA-CONAGUA para el año 2016

Año	2016	
Parámetro	Estación 1	Estación2
DBO ₅ [mg/L]	16.845	16.755
DQO [mg/L]	48.615	49.025
SST [mg/L]	24	13
CF [NMP/100mL]	3	3

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

8.1.1 Análisis de resultados.

Según la información de las estaciones de muestreo, para los años entre el 2012 al 2016, podemos ver que la calidad del agua es para el parámetro de DBO₅ se encuentra entre contaminada y aceptable y para 2015 la calidad para la estación 2 fue buena, el parámetro DBO₅ no varía considerablemente con el tiempo.

En la mayoría de los casos encontramos una calidad aceptable lo cual se puede interpretar con ayuda de la *Escala de Clasificación de Calidad del Agua* de CONAGUA como: Aceptable. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de Autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.

Para el parámetro DQO el valor permaneció prácticamente constante para el periodo comprendido entre 2012 y 2016 y según la *Escala de Clasificación de Calidad del Agua* de CONAGUA puede interpretarse como: Contaminada. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.

Para el parámetro sólidos suspendidos totales, la variación del valor no fue significativa para el periodo comprendido entre 2012 y 2016 y según la *Escala de Clasificación de Calidad del Agua* de CONAGUA puede interpretarse como: Excelente: No contaminada.

Para el parámetro Coliformes Fecales el valor permaneció prácticamente sin cambios durante el periodo comprendido entre los años 2013 y 2016 *Escala de Clasificación de Calidad del Agua* de CONAGUA puede interpretarse como: Excelente. No contaminada.

8.2 IIWQ World Water Quality Information and Capacity Building Portal.

El portal de calidad de agua global de la iniciativa internacional de calidad del agua IIWQ, UNESCO-IHP Programa hidrológico internacional, es un visualizador gratuito de información obtenida vía satélite de la calidad del agua de lagos y ríos de todo el mundo.

Cuenta con parámetros de calidad del agua en resolución espacial de 90m en una base continental para cada una de las regiones de la UNESCO. Permite el acceso a series de tiempo en resolución espacial de 30m para regiones piloto, una por continente para el año 2016.

Esta aplicación permite buscar de manera interactiva productos de calidad del agua, para su uso podemos acceder a las opciones que se encuentran a mano derecha de la pantalla. Es posible seleccionar la región de interés, seleccionar varios parámetros de calidad del Agua.

Asimismo, el portal permite posicionar una estación virtual de muestreo en el cuerpo de agua deseado en cualquier posición y así obtener valores e información en series de tiempo.

8.2.1 Cómo utilizar el portal.

Las herramientas básicas de interacción con el mapa se encuentran del lado derecho de la barra superior. Las herramientas básicas incluyen: acercar, alejar, y posicionar una estación de muestreo virtual. En la ilustración 8-2 se muestra la barra de herramientas.

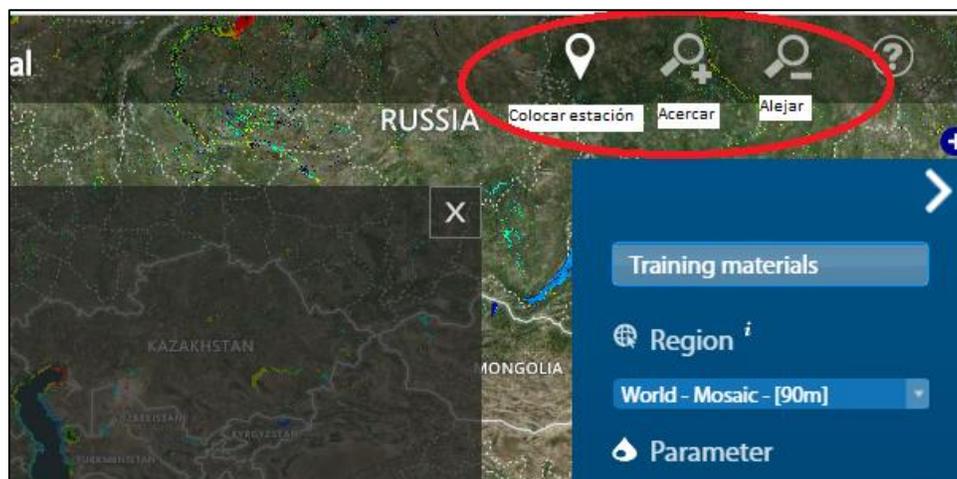


Ilustración 8-2 Barra de herramientas del portal de calidad del agua IAWQ, UNESCO-IHP, tomado de (UNESCO-IHP, 2019)

Puede utilizarse un mouse de computadora para acercar y alejar en el mapa y realizar el posicionamiento de la estación virtual. Si la computadora lo permite, se puede interactuar con la pantalla táctil y realizar las mismas operaciones. Las estaciones virtuales se establecen con un click en el mapa. En la ilustración 8-3 se muestra una estación de muestreo virtual.



Ilustración 8-3 Estación de muestreo virtual colocada en la laguna de Zupitlán. En portal de calidad del agua IAWQ, UNESCO-IHP, tomado de (UNESCO-IHP, 2019)

La barra de función azul incluye las siguientes funciones:

- 1 Seleccionar regiones para explorar fechas individuales y series de tiempo para 2016.

- 2 Seleccionar parámetros de calidad del agua (Turbidez, Clorofila-a, Indicador de bloom de algas dañinas HAB, Absorción orgánica o Temperatura superficial).

En la ilustración 8-4 se muestra la barra de función azul con las funciones antes mencionadas.

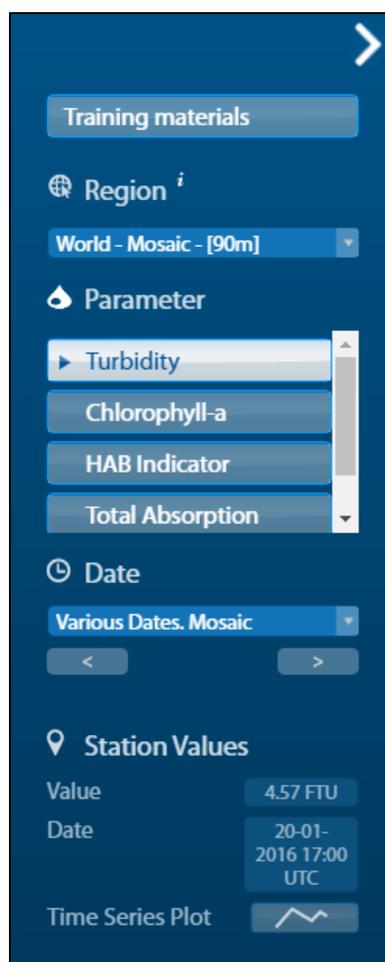


Ilustración 8-4 Barra de función azul del portal de calidad del agua IHWQ, UNESCO-IHP, tomado de (UNESCO-IHP, 2019)

Una vez que la estación virtual es colocada, se mostrará el valor del parámetro en la sección de valores. Si se tiene seleccionada la capa mosaico mundial, también se puede visualizar la fecha en que se recabo la información del parámetro medido.

Para generar una gráfica con series de tiempo para las regiones seleccionadas por UNESCO, se debe seleccionar un parámetro; después de haber posicionado la estación virtual, se debe esperar unos segundos para que se genere la información de los datos de las series de tiempo; asimismo, se generará un reporte con medidas estadísticas del año seleccionado.

Se ha descrito todo lo anterior porque se utilizó la herramienta esta herramienta para obtener datos de Turbidez, Clorofila-a y el indicador HAB (se refiere a la probabilidad de existencia de Bloom de cianobacterias tóxicas), en la laguna de Zupitlán para así poder compararlos con los datos del muestreo realizado por el autor de esta tesis.

En la tabla 8-7 se muestran los valores de los parámetros obtenidos con el IIWQ:

Tabla 8-0-7 Valores para turbidez, Clorofila-a e indicador HAB obtenidos para los puntos de muestreo en la laguna de Zupitlán

IIWQ World Water Quality Information and Capacity Building Portal			
Fecha	20/01/16	Hora 17:00 UTC	
Punto de muestreo	Turbidez [FTU]	Clorofila-a [10 ⁻⁶ g/L]	Indicador HAB %
Salida 5	4.37	13.18	20
M7	4.37	13.18	20
M4	4.57	13.8	20
Salida 1, 2	4.79	13.8	20
M5	5.01	15.14	20
M8	4.57	13.8	20
M11	4.57	13.8	20
A	6.61	19.05	50

Elaborado con información del portal IIWQ, UNESCO-IHP (UNESCO-IHP, 2019).

8.2.2 Análisis de resultados.

Puede observarse que para el 20 de enero del 2016 según las pautas de calidad del agua de la Columbia Británica (Singleton, 2001), El agua no es apta para el

consumo humano en todos los sitios, en el caso del parámetro turbiedad. Así mismo el agua es apta para la recreación, para el desarrollo de la vida acuática, para la vida terrestre, para riego y para uso industrial.

Para el caso de la clorofila, según los estándares de Carlson (Carlson, A trophic state index for, 1977), la laguna se encuentra en un estado mesotrófico, pues en todos los puntos de muestreo, la concentración de clorofila-a se encuentra dentro del rango de 2.6 a 20 mg/m³ y según (Moreno Franco, 2010), se puede interpretar como un cuerpo de agua con moderado nivel de productividad (velocidad de fijación de carbono durante la fotosíntesis), claridad del agua y presencia de plantas acuáticas.

Para el parámetro indicador HAB, podemos ver que para la laguna de Zupitlán, en todos los puntos muestreados, hay un 20% de posibilidad de existencia de un crecimiento explosivo de cianobacterias tóxicas.

8.3 IDENTIFICACIÓN DE BIOINDICADORES EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, MUNICIPIO DE ACATLÁN, HGO., MÉXICO.

En el año 2009 Misael Cruz Sánchez y Anallely Ávila Ortiz de la *Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo* realizaron un estudio de calidad del agua en la laguna de Zupitlan, mediante indicadores biológicos. En su caso identificaron las especies de algas diatomea presentes en la laguna. Los especímenes fueron recolectados mediante un muestreo aleatorio, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 8-8.

Tabla 8-0-8 Abundancia relativa de las principales diatomeas presentes en la laguna de Zupitlán en el mes de Junio de 2009

Género	Especie	Autor	Acrónimo	a	r	i
<i>Acanthoceras</i>	<i>zachariasii</i>	(Brun) Simonsen	AZAC	2.36	0	0
<i>Asterionella</i>	<i>formosa</i>	Hassall	AFOR	17.45	1	1.2
<i>Aulacoseira</i>	<i>granulata</i>	(Ehrenberg) Simonsen	AUGR	12.26	1	2.0
<i>Frustulia</i>	<i>vulgaris</i>	(Thwaites) De Toni	FVUL	1.89	3	1.5
<i>Gomphonema</i>	<i>acuminatum</i>	Ehrenberg	GACU	0.47	3	1.5
<i>Navicula</i>	<i>cryptocephala</i>	Kutzing	NCRY	1.89	3	2.3
<i>Nitzschia</i>	<i>inconspicua</i>	Grunow	NINC	1.89	3	2.5
<i>Nitzschia</i>	<i>linearis</i>	(Agardh) W. M. Smith	NLIN	3.30	3	2.3
<i>Nitzschia</i>	<i>sigmoidea</i>	(Nitz.) W. M. Smith	NSIO	0.94	3	2.5
<i>Stephanodiscus</i>	<i>hantzschii</i>	Grunow	SHAN	48.11	5	3.0
<i>Surirella</i>	<i>tenera</i>	Gregory	SUTE	9.43	3	1.5
EPI-D ₀₋₄						2.66
EPI-D ₁₋₂₀						7.36
Clase						IV

Tomado de (Misael Cruz Sánchez, 2011).

La evaluación de la calidad del agua con el Índice *Diatómico de Eutrofización y Contaminación* (EPI-D0-20) sitúa a la laguna en la categoría IV mala calidad, ya que presenta diatomeas características de ambientes eutróficos (*Nitzschiasp.* y *Stephanodiscus sp.*).

8.4 ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, MUNICIPIO DE ACATLÁN, ESTADO DE HIDALGO.

En el año 2008 Anallely Ávila Ortiz, Misael Cruz Sánchez, de la *Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, Patricia Girón García del *Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, UNAM* y Cecilia Salcedo Luna del *USAI, Facultad de Química, UNAM*, realizaron un estudio de calidad del agua en la laguna de Zupitlán, mediante análisis fisicoquímicos. Para la determinación de los parámetros analizados realizaron una muestra unificada de varios puntos de la laguna, obteniendo obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 8-9.

Tabla 8-0-9 Parámetros fisicoquímicos y de salinidad para la Laguna de Zupitlán, evaluados durante Marzo (M), Junio (J), Septiembre (S) y Diciembre (D) de 2008

PARÁMETROS	M	J	S	D	LAR*
FISICOS					
pH	8.62	8.54	9.52	7.10	6.5 - 8.4
Conductividad Eléctrica, CE (dS/m) a 25 °C	0.193	0.191	0.194	0.254	<0.75
Temperatura (°C)	15	17	16	14	SR
ANIONES					
Carbonatos, CO ₃ ²⁻ (meq/L)	1.058	0.800	1.006	ND	<1.0
Bicarbonatos, HCO ₃ ⁻ (meq/L)	0.756	0.960	0.503	1.942	<1.5
Cloruros, Cl ⁻ (meq/L)	0.220	1.050	0.737	0.569	<4.0
Sulfatos, SO ₄ ²⁻ (meq/L)	0.082	0.240	0.164	0.129	<3.0
Fosfatos, PO ₄ ²⁻ (meq/L)	0.012	0.052	0.003	ND	SR
Nitratos, NO ₃ ⁻ (meq/L)	0.007	0.004	0.003	0.006	SR
CATIONES					
Calcio, Ca ²⁺ (meq/L)	0.573	0.704	0.739	0.628	<5.0
Magnesio, Mg ²⁺ (meq/L)	0.536	0.435	0.614	0.822	<4.0
Sodio, Na ⁺ (meq/L)	0.535	0.578	0.539	0.639	<3.0
Potasio, K ⁺ (meq/L)	0.148	0.302	0.168	0.206	<1.0
INDICES DE CALIDAD					
Sólidos Totales Disueltos, STD (mg/L)	121	125	120	177.5	SR
Salinidad Efectiva, SE (meq/L)	0.712	0.919	0.717	0.878	<3.0
Relación de adsorción de sodio, RAS	0.718	0.766	0.655	0.750	<3.0
RAS ajustado	0.637	0.839	0.512	0.801	SR
Contenido de sodio residual, CSR (meq/L)	0.705	0.621	0.156	0.492	<1.25
Porcentaje de sodio posible, PSP	75.140	62.894	75.174	72.779	<50%
OTROS					
Alcalinidad total, dureza (meq/L)	6.53	7.44	1.95	4.64	SR

*LAR, Límite para agua de riego (Ayers y Westcot, 1987; Richards, 1980); ND, no determinado; SR, sin referencia.

Tomado de (Anallely Ávila Ortiz, 2008)

En los resultados se observa que la concentración de cadmio se encuentra por encima de lo establecido en la (NOM-EM-034-FITO-2000, 2000) Requisitos y Especificaciones para la Aplicación y Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas En los Procesos de Producción de Frutas y Hortalizas Frescas. Puede dañar cultivos como el frijol. En la tabla 8-10 se muestran los elementos presentes en el agua de la laguna de Zupitlán

Tabla 8-0-10 Elementos presentes en el agua de la Laguna de Zupitlán (mg/L) en Marzo (M), Junio (J), Septiembre (S) y Diciembre (D) de 2008

Elemento	M	J	S	D
Al	0.165	0.846	0.367	ND
Si	21.3	22.7	23.2	20.1
Fe	ND	0.076	0.176	ND
Co	0.632	0.635	0.588	0.438
Cu	0.538 (0.045)*	0.713 (0.051)*	0.494 (0.013)*	0.513 (0.029)*
Zn	0.127	ND	ND	ND
Ag	0.365 (0.024)*	0.367 (0.031)*	0.580 (0.003)*	0.553 (0.014)*
Cd	0.476 (0.006)*	0.453 (0.007)*	0.411 (0.002)*	0.188 (0.0045)*
Pb	1.86 (0.152)*	1.98 (0.175)*	1.82 (0.042)*	1.68 (0.107)*

ND no detectado, *Límites recomendados para protección de la vida acuática (EPA, 2009).

. Tomado de (Anallely Ávila Ortiz, 2008)

Desde el punto de vista de conservación de la vida acuática, la laguna de Zupitlán presenta contaminación inorgánica, con altos niveles de NH₃, Cu, Ag, Cd y Pb, los cuales representan una amenaza para la supervivencia de los peces, afectando su desarrollo, crecimiento y reproducción.

9 Estudio de calidad del agua de la laguna de Zupitlán

9.1 Campaña de muestreo

La preparación de la campaña de muestreo se realizó con ayuda del Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples (Campos, 2012). En la imagen 9-1 se muestra a los integrantes de la campaña de muestreo en lancha, portando chalecos salvavidas.



Ilustración 9-1 laguna de Zupitlán elaboración propia

1. Determinación del sitio de muestreo. Es el primer punto en tomarse en cuenta, pues dependiendo de sus características, se preparará el plan de muestreo, en nuestro caso posicionamos satelitalmente las muestras con ayuda de un GPS (sistema de posicionamiento global).

2. Selección de los puntos y tipo de muestreo. Al seleccionar los puntos de muestreo se consideró la Identificación univoca del lugar del muestreo cubriendo de manera homogénea la laguna y buscando que cada punto donde se tomaron las muestras fuera significativo, próximo a sitios importantes como entradas y salidas de la laguna, como lo establece la (NMX-AA-014 , 1981). Que, en el caso de lago, laguna o embalse las estaciones de muestreo se ubicarán en los afluentes más importantes del cuerpo de agua, así como en las descargas contaminadas. Para el muestreo de lagos, lagunas y embalses, la (NMX-AA-014 , 1981) indica que los sitios de muestreo deben ser:
 - En los afluentes, antes que desemboquen-al cuerpo receptor

- Dentro del cuerpo receptor, donde se aprecia una mezcla uniforme con los afluentes.
 - En las salidas del cuerpo receptor.
 - Así mismo se utilizaron imágenes satelitales y fotografías. Se decidió hacer un muestreo simple, que nos permitiera conocer el valor de parámetros fisicoquímicos y biológicos a lo largo de la laguna.
3. Parámetros por analizar. Considerando que se tomarían parámetros fisicoquímicos y bioquímicos, se resolvió hacer la toma de temperatura, pH, oxígeno disuelto y transparencia con disco Secchi en campo, las mediciones que requieren de análisis de laboratorio como DBO, concentración de fosfatos y concentración de clorofila-a, se recolectaron en recipientes de plástico PET de 1L de capacidad.
 4. Preparación de equipos y recipientes. Para la preparación del equipo requerido, se procedió a revisar y calibrarlo un día antes de usarlo, sin olvidar la calibración en campo de los equipos. Para la preservación de las muestras, se utilizó una hielera para mantener una temperatura adecuada.
 5. Toma de muestras. Para la toma de muestras, el traslado se realizó en una vagoneta de la Facultad de Ingeniería a la laguna de Zupitlán en el estado de Hidalgo. Con ayuda de un par de lanchas Se localizaron los puntos de muestreo Los recipientes estaban limpios y etiquetados, se sumergió el recipiente a una profundidad de entre 15 y 30 cm y se enjuago con el agua de la muestra tres veces. Se llenó el recipiente con la muestra, se cerró el envase y se preservó en la hielera.

6. Registro de muestreo. Al tomar las muestras, se procedió a llenar un formato de registro de las mismas. El formato se puede ver en la tabla 9-1.

7. Transporte de muestras. Se transportaron las muestras al *Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, de la Facultad de Ingeniería, con ayuda de una vagoneta de la Facultad de Ingeniería.

8. Entrega-Recepción. Las muestras fueron entregadas por nosotros mismos al *Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, de la Facultad de Ingeniería, dónde los laboratoristas nos esperaban con el equipo preparado para el análisis de las muestras.

9. Control de calidad. Para el control de calidad del muestreo, se revisó la calibración de los equipos de análisis de campo y de laboratorio, se revisaron los manuales de los equipos, para utilizarlos adecuadamente. Para obtener resultados representativos todos los análisis realizados excepto DBO5 se hicieron el mismo día del muestreo tratando demorar lo menos posible, desde la recolección de las muestras hasta su análisis. En la ilustración 9-2 se muestra un diagrama de las acciones que se siguieron para la preparación de la sesión de muestreo.

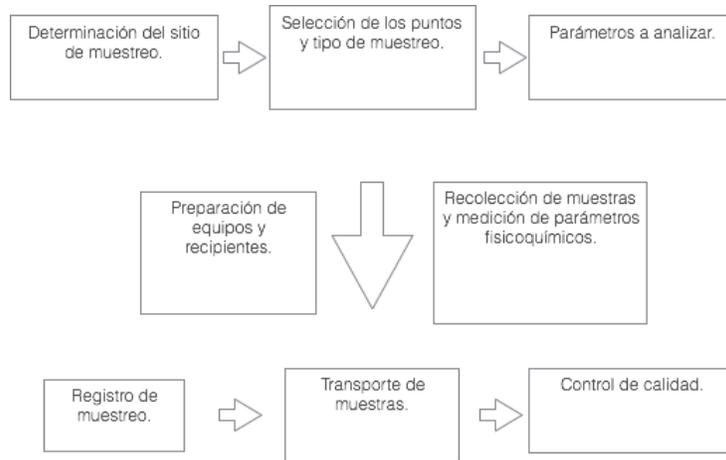


Ilustración 9-2 Esquema de acciones a seguir en la preparación de una sesión de muestreo, elaborado con información de (Campos, 2012)

En la ilustración 9-3 se muestran las características que debe tener el punto de muestreo para ser seleccionado.

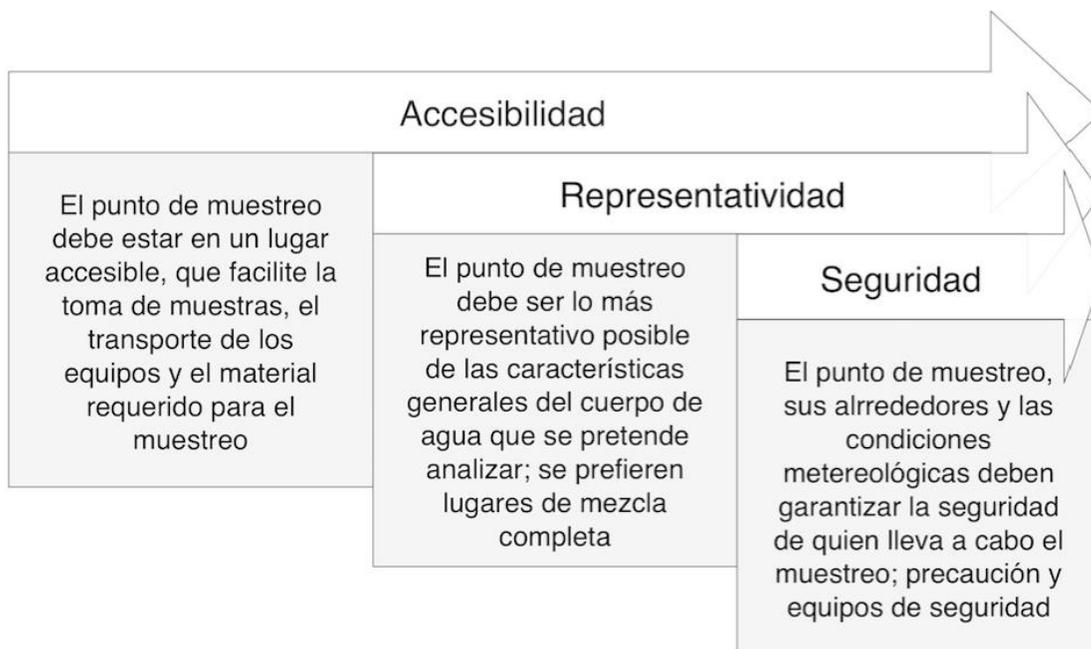


Ilustración 9-3 Figura 11. Esquema de características para la selección de los puntos de muestreo. Elaboración propia

En la ilustración 9-4 se muestran los puntos de muestreo seleccionados en la laguna de Zupitlán y en la ilustración 9-5 se muestra el punto de muestreo elegido en la

laguna el Sabino, que se encuentra al sur de la laguna de Zupitlán y se comunica con ésta mediante un canal.

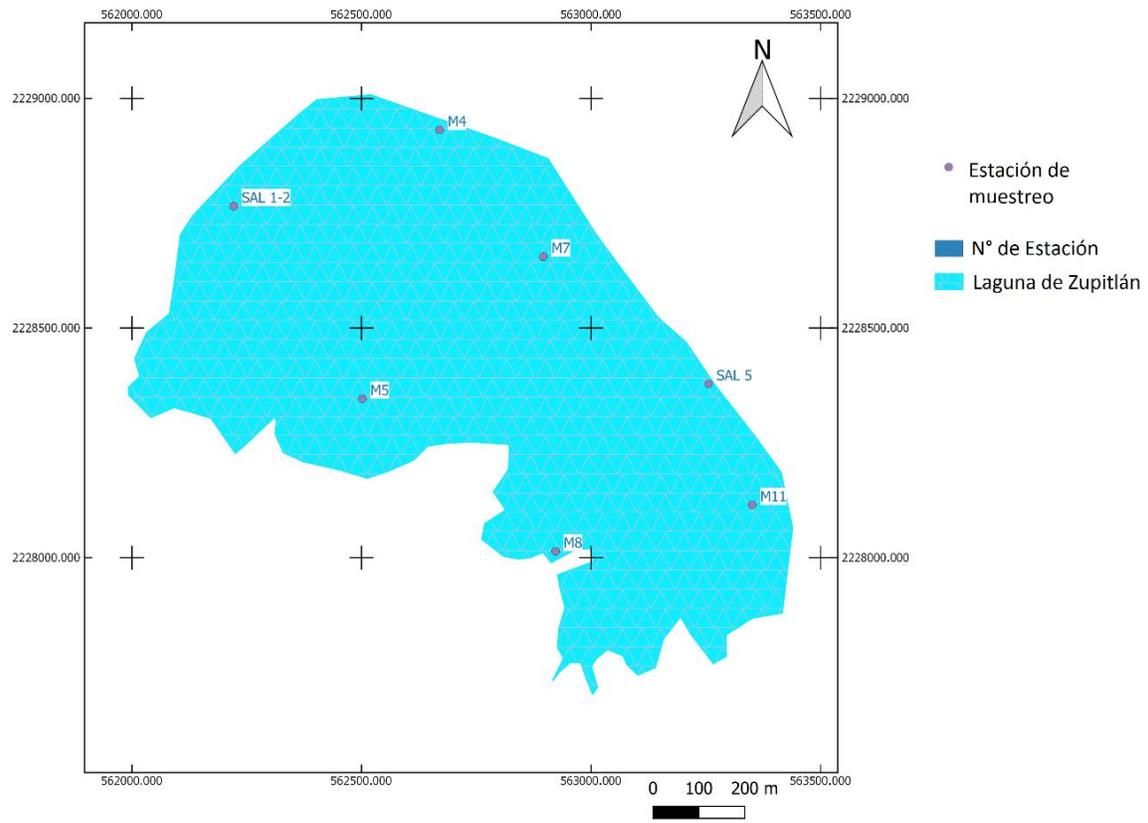


Ilustración 9-4. Ubicación de los puntos de muestreo en la Laguna de Zupitlán. Elaboración propia

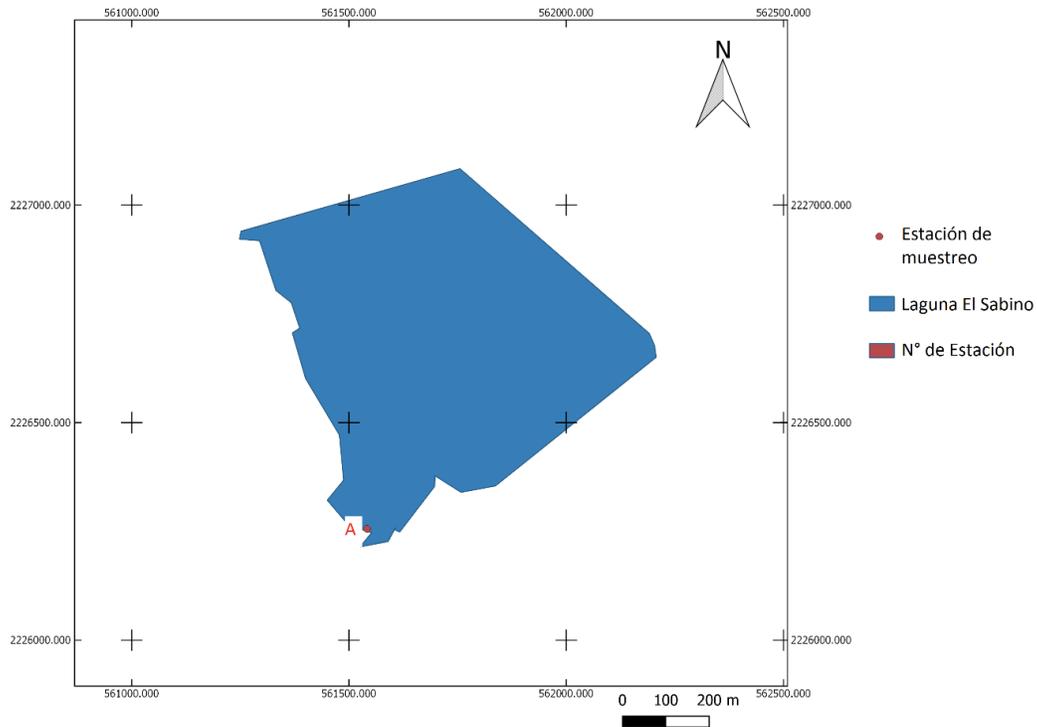


Ilustración 9-5 Ubicación del punto de muestreo en la Laguna El Sabino. Elaboración propia

9.2 Lista de comprobación.

Se realizó una lista de comprobación para asegurar que todos los materiales y equipos que fueran requeridos se encontraran listos para realizar el muestreo. Así mismo para tener la certeza de cumplir con las condiciones de seguridad, para tomar adecuadamente las muestras y para medir los parámetros de calidad en sitio. La lista de comprobación se muestra en la Tabla 9-1.

FECHA	18 DE ABRIL DE 2018	PROYECTO: Laguna de Zupitlán
Equipos y materiales		Comentarios
Cantidad	Para la medición de parámetros in situ	
8	Formato de captura de datos	-----
1	Equipo portátil multiparamétrico Oakton PC 450	Medidor de pH, temperatura, oxígeno disuelto
1	Reactivos de calibración	Disolución Buffer
1	Piseta con agua destilada.	Agua para lavado
1	Instructivo para toma de muestras	Presentación previa a la toma de muestras
1	Geoposicionador GPS Explorist 500 Magellan	GPS portátil
1	Medidor de transparencia	Disco Secchi
Cantidad	Para la toma de muestras	Comentarios
8	Recipientes para toma de muestra	Botellas de PET de 1 litro
1	Nevera	Con capacidad para las 8 muestras
1	Flexómetro Truper	10 metros
1	Bolsas de Hielo	-----
8	Guantes	DL
1	Bolsas de plástico	-----
1	Reloj	celular
Cantidad	Para protección y seguridad de las personas que efectúan el muestreo	Comentarios
1	Vestimenta de trabajo	Pantalón de mezclilla y camisa de manga larga por persona
1	Sombrero	Para cubrir los rayos de sol, por persona
1	Guantes de Látex	1 par por persona para la toma de muestras
1	Botas de Caucho	Por seguridad, por persona
1	Chaleco salvavidas	Por persona
1	Protector solar FPS 50	Por persona
Para Supervivencia en Campo		Comentarios
1	Lancha y herramientas	-----
1	Lentes de sol o lentes de seguridad	Por persona
1	Agua suficiente	Por persona
1	Celular	Por persona
1	Cuerda	Para el remolque de la lancha sin motor
Cantidad	Para la Localización Física	Comentarios
1	Cámara fotográfica	Por persona, puede ocuparse la cámara del celular
1	Mapa topográfico	Donde se encuentran los puntos de muestreo
1	Geoposicionador GPS Explorist 500 Magellan	GPS portátil

Tabla 9-0-1 Lista de comprobación elaboración propia

10 Análisis de laboratorio



Ilustración 10-1 Análisis de parámetros de calidad en laboratorio, elaboración propia.

10.1 Procedimiento para la determinación de oxígeno disuelto.

El procedimiento para la determinación de oxígeno disuelto se realizó siguiendo la propuesta de (Mendoza, 1979) y los métodos estándar (American Public Health Association, 2005).

10.1.1 Equipo:

1. Balanza analítica.
2. Frascos para reactivos.
3. Botellas Winkler.
4. Bureta graduada de 25 ml
5. Soporte universal.
6. Pinzas para 10 ml
7. Pipeta para alícuota de 100 ml
8. Matraces de 250 ml

10.1.2 Reactivos para la medición de oxígeno disuelto.

1. Disolución de sulfato manganoso.
 - Disolver 480g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, ó 400g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ó 364g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada.
 - Aforar a 1l.

2. Reactivo álcali-yoduro-azida.
 - Disolver 500g de NaOH y 135 g de NaI en 500mL de agua.
 - Agregar 10g de NaN_3 previamente disueltos en 40ml de agua destilada
 - Aforar a 1l con agua destilada.

3. Ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4

4. Disolución de Almidón.
 - En un mortero preparar una emulsión de 5g de almidón y agua destilada.
 - Verter esta dispersión a 1L de agua hirviendo y dejar hervir por unos minutos.
 - Dejar sedimentar una noche.
 - Decantar el sobrenadante.
 - Preservar el reactivo adicionando 1.25g de ácido salicílico.

5. Disolución madre de tiosulfato de sodio 0.1N
 - Disolver 24.82g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada recién hervida y enfriada.
 - Aforar a 1l
 - Preservar con 5ml de cloroformo

6. Disolución valorada de tiosulfato de sodio.
- Tomar 250mL de la disolución madre y aforar a un litro con agua destilada.
 - Valorar mediante titulación con biyodato o permanganato de potasio.

Para la disolución de biyodato de potasio 0.025N.

- Añadir 3.2496g de biyodato de potasio y aforar a 1l con agua destilada
- Tomar 250mL de la disolución madre de biyodato de potasio y aforar a 1l.
- Tomar 2 alícuotas de 10 ml de yodato de potasio 0.025N en matraces de 125 ml.
- Adicionar 40 ml de agua destilada a cada uno y agitar.
- Adicionar 2 ml de solución de ácido sulfúrico y agitar.
- Adicionar 2 ml de solución yoduro-alcalina y agitar.
- Dejar en reposo por 15 minutos.
- Titular con tiosulfato 0.025N, anotar los volúmenes y obtener el promedio de ellos (V2).
- Determinar la normalidad de la disolución de tiosulfato.

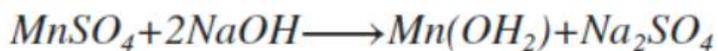
$$N_{Na_2S_2O_3} = \frac{mL \text{ KI}}{l} * \frac{0.025eq}{lL} * \frac{l}{mL \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

Ecuación 10-1 Determinación de la Normalidad de la disolución de tiosulfato

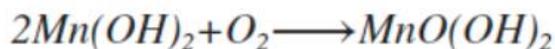
10.1.3 Procedimiento para la medición de oxígeno disuelto.

1. Para fijar el oxígeno disuelto en la muestra, adicionar 2ml de sulfato manganeso (MnSO₄) con ayuda de una pipeta graduada. Adicionar 2mL de reactivo álcali-yoduro-azida. Inmediatamente después de la adición, se formará un precipitado café si hay presencia de oxígeno, en caso contrario el precipitado será blanco. En la ecuación 10-2 se muestra la reacción de fijación del oxígeno.

Reacciones.



*Hidróxido de
manganeso ↓ blanco*

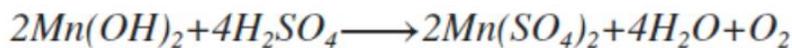


*Hidróxido básico
de manganeso ↓ café*

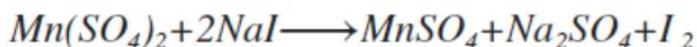
Ecuación 10-2 Reacción de fijación de oxígeno elaborado con información de (Mendoza, 1979)

2. Después de añadir El álcali-yoduro-azida, tapan la botella Winkler y agitar vigorosamente por 30 segundos y dejar sedimentar el precipitado. Adicionar 2ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y agitar hasta disolver el precipitado. En la ecuación 10-3 se puede ver el efecto de la adición del álcali-yoduro-azida.

Reacciones.



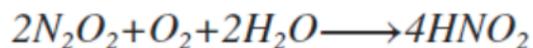
Sulfato mangánico



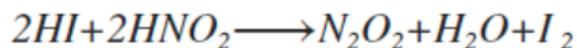
Sulfato manganoso

Ecuación 10-3 Reacción de fijación de oxígeno 2 elaborado con información de (Mendoza, 1979)

El papel de la adición de azida de sodio es el de eliminar interferencias nitrogenadas, en ausencia de azida de sodio pueden darse las reacciones presentadas en la ecuación 10-4

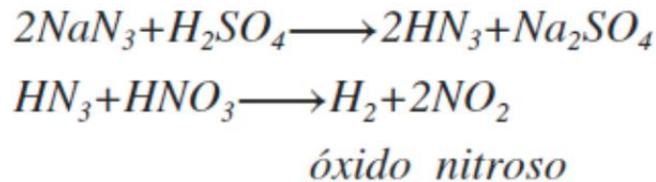


entonces



Ecuación 10-4 Reacciones en ausencia de azida elaborado con información de (Mendoza, 1979)

Al liberarse yodo, el valor medido de oxígeno disuelto será más alto del que realmente está presente en la muestra. Para evitar mediciones erróneas, se utiliza azida de sodio (NaN_3), en presencia de azida, la liberación de yodo se ve impedida de la como se muestra en la ecuación 10-5



Ecuación 10-5 Reacciones en ausencia de azida elaborado con información de (Mendoza, 1979)

3. Realizar la titulación de la muestra con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.025N, utilizando la disolución de almidón como indicador. En la ecuación 10-6 se muestra el cálculo de la concentración de oxígeno disuelto en partes por millón.

Cálculos.

$$\begin{aligned} \text{ppm OD} &= \frac{\text{mL Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{1} * \frac{0.025\text{eq}}{1\text{L}} * \frac{16\text{g}}{1\text{mol O}_2} * \frac{1\text{mol O}_2}{2\text{eq}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} * \frac{1}{100\text{mL muestra}} \\ \text{ppm OD} &= 2 * \text{mL Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

Ecuación 10-6 Cálculos de la concentración de oxígeno disuelto en partes por millón, elaboración propia

10.2 Procedimiento para la determinación de oxígeno disuelto

10.2.1 Equipo para medición de DBO.

- 1 Incubadora programada a 20°C
- 2 Refrigerador.
- 3 Estufa a 120°C
- 4 Balanza analítica.

- 5 Potenciómetro.
- 6 Frascos para guardar reactivos color ámbar.
- 7 Frascos Winkler.
- 8 Bureta de 50ml.
- 9 Soporte universal.
- 10 Pinzas para bureta.
- 11 Pipetas volumétricas de 100ml.
- 12 Pipetas de 10ml.
- 13 Matraces Erlenmeyer de 250ml.
- 14 Matraces aforados de 1l.
- 15 Tubo de vidrio de 0.6cm de diámetro.
- 16 Manguera de hule de 0.6mm de diámetro.
- 17 Pinza Mohr.
- 18 Goteros de 30ml.

10.2.2 Reactivos para medición de DBO.

- 1 Agua destilada.
- 2 Disolución amortiguadora de fosfato.
 - Disolver 8.5g de KH_2SO_4 ; 21.75g de K_2HPO_4 , 33.4g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$ y 1.7g de NH_4Cl en 500mL de agua destilada y aforar un litro. El pH de este amortiguador es de 7.2
- 3 Disolución de sulfato de magnesio.
 - Disolver 22.5g de Sulfato de Magnesio $\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$ en agua destilada y aforar a un litro
- 4 Disolución de cloruro de calcio CaCl_2
 - Disolver 27.5g de CaCl_2 en agua destilada y aforar a un litro.

- 5 Disolución de Cloruro de Férrico $\text{FeCl}_3 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$
 - Disolver 0.25g de CaCl_2 en agua destilada y aforar a un litro
- 6 Disoluciones de ácidos y bases para neutralizar 1N.

- 7 Disolución de Sulfito de Sodio 0.025 N
 - Disolver 1.575g de Na_2SO_3 en agua destilada y aforar a un litro. Esta disolución no es estable y debe prepararse diariamente.

10.2.3 Procedimiento para la medición de DBO:

- 1 Preparación del agua de dilución. Añadir a un litro de agua destilada un mililitro de las siguientes disoluciones por un litro de agua destilada.
 - Amortiguadora de fosfatos.
 - Sulfato de magnesio
 - Cloruro de calcio
 - Cloruro férrico

Airear durante media hora antes de su utilización.

Para seleccionar el porcentaje de dilución requerido en las muestras se utilizan las diluciones recomendadas se presentan en la Tabla 10-1

Tipo de desecho	DBO ₅ en mgL^{-1}	Porcentaje de la muestra a diluir
Afluente industrial concentrado	500 - 5000	0.1 - 1
Agua residual doméstica	100 - 500	1-5
Efluentes tratados	20 -100	5-20
Aguas superficiales contaminadas	05-20	25 - 100

Tabla 10-1 Porcentaje de dilución de la muestra según el tipo de desecho, elaborado con información de (Mendoza, 1979)

- 2 Llenar 2 frascos Winkler de 300 ml con cada una de las diferentes diluciones y rotular (con fecha y % de dilución). Hacer este paso, para cada una de las muestras tomadas en campo (8 muestras).
- 3 Guardar un frasco de cada dilución en la incubadora a 20°C para su análisis posterior (oxígeno disuelto final).
- 4 Medir el oxígeno disuelto de las muestras el día cero y el día 5 por el método de Winkler.

Para el cálculo de la DBO se utiliza la ecuación 10-7.

$$DBO_5 \text{ mgL}^{-1} = \frac{\text{Oxígeno disuelto}_{\text{inicial}} - \text{Oxígeno disuelto}_{\text{día 5}}}{\% \text{ De dilución}}$$

Ecuación 10-7 Cálculo de la demanda bioquímica de oxígeno elaboración propia

10.3 Determinación de Clorofila-a.

El procedimiento de la determinación de la concentración de clorofila-a fue adaptado del Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras).

10.3.1 Equipo para la medición de clorofila-a

- Espectrofotómetro visible.
- Celdas de 1cm de paso óptico.
- Set de filtros con sus accesorios.
- Filtro Millipore RAWP 0.47µm, 47 mm o de fibra de vidrio.
- Matraces aforados de 100 ml.
- Mortero con pistilo

- Centrífuga

Preparación de reactivos.

- 1 Suspensión de carbonato de magnesio: Pesar 1.0 g de carbonato de magnesio reactivo analítico y verterlo en 100 ml de agua destilada. Agitar fuertemente antes de usarlo y dispensar unas pocas gotas desde un frasco lavador de 100 ml.
- 2 Solución de acetona al 90%: Agregar a 20 ml de agua a 180 ml de acetona grado reactivo analítico.

Preparación de la muestra:

- 1 Filtrar la muestra y adicionar unas gotas de suspensión de carbonato de magnesio para evitar la acidificación del filtro.
- 2 Almacenar en refrigerador a -20°C

Tratamiento de la muestra.

- 1 Colocar el filtro en un vial, cubrirlo con 2 - 3 ml de solución de acetona al 90% y macerar en el mortero.
- 2 Enjuagar el mortero y ajustar el volumen total a un nivel constante, 10 ml.
- 3 Mantener las muestras toda la noche en la oscuridad
- 4 Clarificar el extracto centrifugando los tubos tapados por 10 minutos a 1000 rpm.
- 5 Decantar el extracto clarificado a un tubo de centrífuga limpio de 15 ml y medir el volumen total del extracto.
- 6 Transferir el extracto a una celda de 1 cm y medir la absorbancia a 750, 663, 645 y 630nm.
- 7 Seleccionar una dilución que dé a 663nm una absorbancia mayor que 0.2 y menor que 1.0. Las lecturas a 663, 645 y 630nm también sirven para la

determinación de clorofilas b y c. La lectura a 750nm sirve como una corrección para turbiedad.

- 8 Sustraer esta lectura de cada uno de los valores de absorbancia de las otras longitudes de onda antes de usarlos en las ecuaciones de cálculo.

Cálculos:

Calcular la cantidad de clorofila-a en cada extracto utilizando los valores de absorbancia corregidos con la ecuación 10-8 siguiente ecuación:

$$\text{Clorofila-a} = 11.64 * (\text{ABS } 663\text{nm}) - 2.16 * (\text{ABS } 645\text{nm}) + 0.10 * (\text{ABS } 630\text{nm})$$

Ecuación 10-8 Cálculo de la concentración de clorofila-a, donde ABS es la absorbancia obtenida a la longitud de onda correspondiente expresada en nanómetros. Tomado de (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras)

La concentración de Clorofila-a en mg/m³ presente en la muestra se determina por medio de la ecuación 10-9

$$[\text{Cla}], \text{mg/m}^3 = \frac{\text{Cla} * \text{Volumen del extracto (mL)}}{\text{Volumen de la muestra (L)}}$$

Ecuación 10-9 Concentración de Clorofila-a, en mg/m³. Dónde Cla es la concentración de clorofila obtenida con la ecuación 10-8. Tomado de (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras)

10.4 Determinación de fosfatos por Método colorimétrico del ácido fosfovanado-molibdico adaptación de HACH Company.

El siguiente procedimiento se tomó del manual en línea de determinación de fosfatos de (HATCH Company, 2018).

10.4.1 Principio químico para la determinación de ortofosfatos

En una disolución diluida de ortofosfatos, el molibdeno de amonio reacciona en medio ácido para formar ácido molibdofosfórico, el cual en presencia de vanadio forma el ácido fosfovanado-molibdico de color amarillo, la intensidad del color será

proporcional a la concentración de fosfato presente en la disolución. La concentración mínima detectable es de 1mg/l (Mendoza, 1979)

10.4.2 Materiales para la determinación de ortofosfatos:

- 1 Espectrofotómetro para test rápido HACH DR/2000
- 2 Dos celdas por cada muestra
- 3 Pipeta
- 4 Muestras obtenidas en campo
- 5 Reactivo PhosVer 3.10 ml

10.4.3 Procedimiento para la determinación de ortofosfatos.

- 1 25mL de muestra y verterlos en una celda.
- 2 Tomar una celda y llenar hasta la marcan (25ml) con agua y colocarla en el espectrofotómetro para que sea el cero de referencia.
- 3 Añadir el reactivo PhosVer 3 a la celda restante y agitar.
- 4 Esperar dos minutos a que se lleve a cabo la reacción de la muestra con el reactivo.
- 5 Colocar la celda en el espectrofotómetro y registrar la concentración de ortofosfatos.

11 Análisis de las muestras en campo.

Al mismo tiempo que se realizaba el muestreo, se realizaron análisis de campo para los parámetros temperatura, transparencia con disco Secchi, pH y porcentaje de oxígeno disuelto, con ayuda del equipo de medición multiparamétrico Oakton PC 450, el cual permite hacer mediciones en campo gracias a una sonda que hace la vez de termómetro, potenciómetro y medidor de oxígeno disuelto. En la ilustración 11-1 puede verse la toma de parámetros en campo.



Ilustración 11-1 Toma de parámetros de campo y muestreo en la Laguna de Zupitlán. Elaboración propia

11 Resultados de los análisis de campo.

Los resultados obtenidos en campo durante el muestreo se incluyen en las tablas 11-1 y 11-2. En la tabla 11-1 se muestran las coordenadas del muestreo y el valor de pH obtenido. En la tabla 11-2 se muestran los valores de temperatura, transparencia porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y la hora en que se tomaron las muestras para cada punto de muestreo.

Muestra	Coordenadas		pH
	Latitud N	Longitud O	
Salida 5	20°9.099'	98°23.683'	9.95
M7	20°9.250'	98°23.889'	9.91
M4	20°9.400'	98°24.018'	9.91
Salida 1, 2	20°9.311'	98°24.276'	10.08
M5	20°9.083'	98°24.116'	10.12
M8	20°8.9020'	98°23.875'	10.01
M11	20°8.956'	98°23.629'	9.81
A	20°8.064'	98°24.695'	8.83

Tabla 11-1 Coordenadas y valor de pH, elaboración propia.

Muestra	Temperatura [°C]	Transparencia [cm]	% de saturación O.D.		Hora de toma de muestra [h]
			Superficial	a 1 m	
Salida 5	19.8	43	149.7	0	10:44
M7	19.9	44.5	170	36.71	10:55
M4	19.5	46	117.6	61.20*	11:06
Salida 1, 2	19.3	66	110	0	11:20
M5	19.6	57.25	127.4	102.3	11:32
M8	20	54	154	159	11:46
M11	21	46.5	155.8	20.5	11:57
A	23.2	----	129.8	139.00**	12:40

Tabla 11-2 Parámetros tomados en campo. Elaboración propia

12 Resultados de los análisis de laboratorio

En las tablas 12-1, 12-2 y 12-3 se muestran los valores obtenidos mediante los análisis de laboratorio para los parámetros DBO, ortofosfatos y concentración de clorofila respectivamente para cada una de las muestras analizadas.

Muestra	OD INICIAL		OD FINAL		DBO ₅		
	Tiosulfato de Sodio (ml)	OD _{INICIAL} (mg/L)	Tiosulfato de Sodio (ml)	OD _{FINAL} (mg/L)	OD _{INICIAL} (mg/L)	OD _{FINAL} (mg/L)	DBO ₅ (mg/l)
Salida 5	4.2	8.4	2.2	4.4	8.4	4.4	13.33
M7	4.2	8.4	2.4	4.8	8.4	4.8	12.00
M4	3.9	7.8	2.3	4.6	7.8	4.6	10.67
Salida 1,2	3.6	7.2	2.9	5.8	7.2	5.8	4.67
M5	4.1	8.2	2.1	4.2	8.2	4.2	13.33
M8	3.8	7.6	2.1	4.2	7.6	4.2	11.33
M11	3.6	7.2	2.2	4.4	7.2	4.4	9.33
A	3.1	6.2	1	2	6.2	2	42.00

Tabla 12-1 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno. Elaboración propia.

Muestra	Ortofosfatos (mg/L)
SAL 5	0.15
M7	0.24
M4	0.37
SAL 1-2	0.31
M5	0.29
M8	0.15
M11	0.18
A	0.71

Tabla 12-2 Resultados de Concentración de ortofosfatos. Elaboración propia

Muestra	Clorofila-a [mg/m ³]
SAL 5	42.34
M7	87.3
M4	182.09
SAL 1-2	176.26
M5	128.09
M8	34.42
M11	58.12
A	513.81

Tabla 12-3 Resultados de la Concentración de clorofila-a. Elaboración propia

13 Distribución espacial de los parámetros de calidad medidos en la laguna de Zupitlán

Para poder visualizar mejor la información obtenida del análisis de los parámetros de calidad del agua, se utilizó la herramienta Q Gis, la cual es un sistema de información geográfica, con la finalidad de poder visualizar de manera gráfica como es que se distribuyen las características de la laguna de Zupitlán que fueron medidas durante la campaña de muestreo.

Para la obtención de cada mapa, se siguieron los siguientes pasos:

- Se realizó una capa vectorial georreferenciada con la información del perímetro de la laguna.
- Posteriormente se procedió a crear una de texto delimitado por comas con la información de cada uno de los parámetros de calidad del agua asociado a cada punto de muestreo.
- Se decidió realizar una capa de interpolación lineal, con la cual es posible visualizar un continuo de cada parámetro medido sobre la extensión de la laguna.

- Se asignó una escala de color para así visualizar más fácilmente el valor de la propiedad en cualquier punto de la laguna.
- Finalmente, se proyectaron las isolíneas para visualizar regiones con cierto valor de la propiedad analizada.

Las ilustraciones 13-1, 13-2, 13-3, 13-4, 13-5,13-6,13-7 incluyen respectivamente la representación espacial de los valores de DBO5, Temperatura, Fosfatos, Transparencia, porcentaje de oxígeno disuelto, pH y clorofila-a.

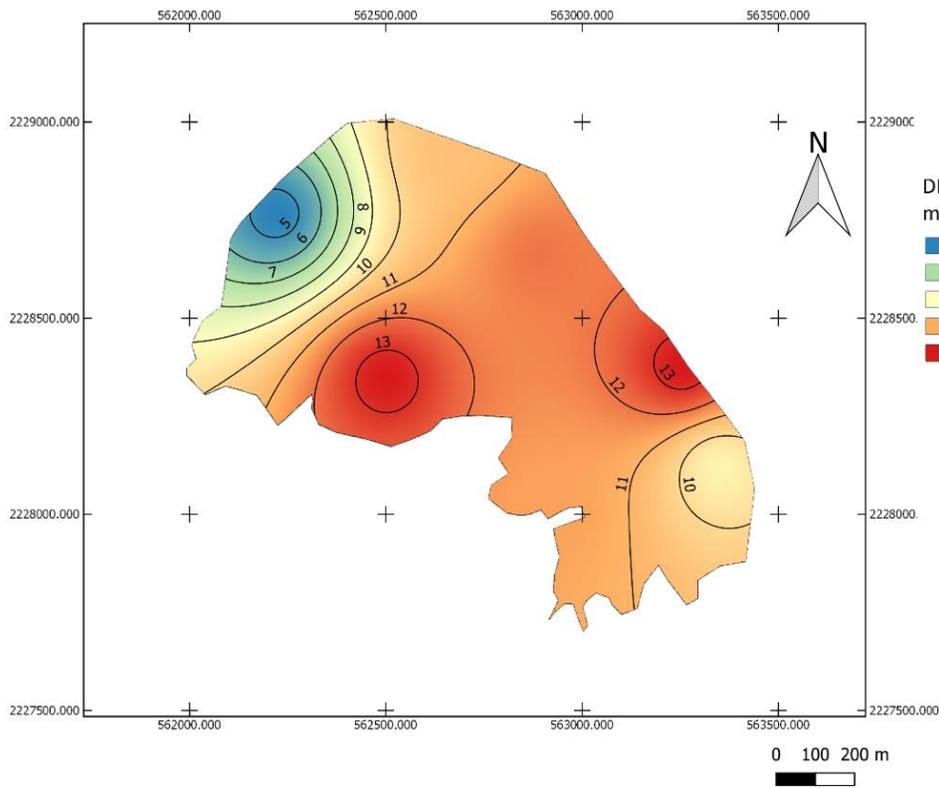


Ilustración 13-1 Distribución espacial del parámetro DBO5. Elaboración propia

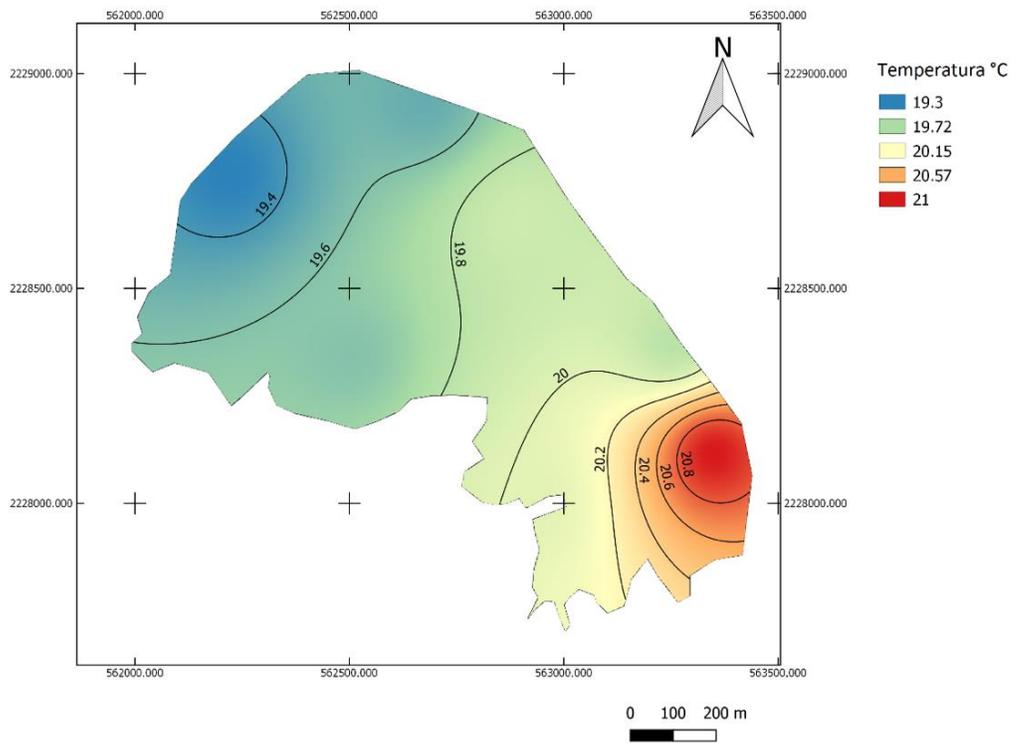


Ilustración 13-2 Distribución espacial del parámetro Temperatura. Elaboración propia

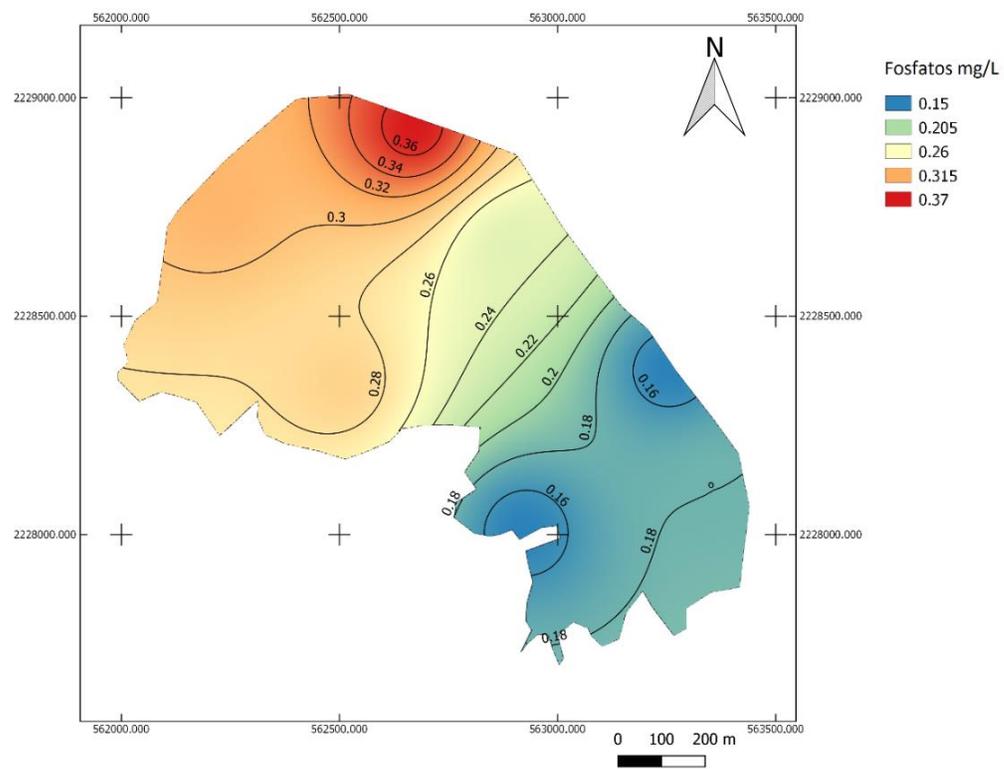


Ilustración 13-3 Distribución espacial del parámetro Ortofosfatos. Elaboración propia

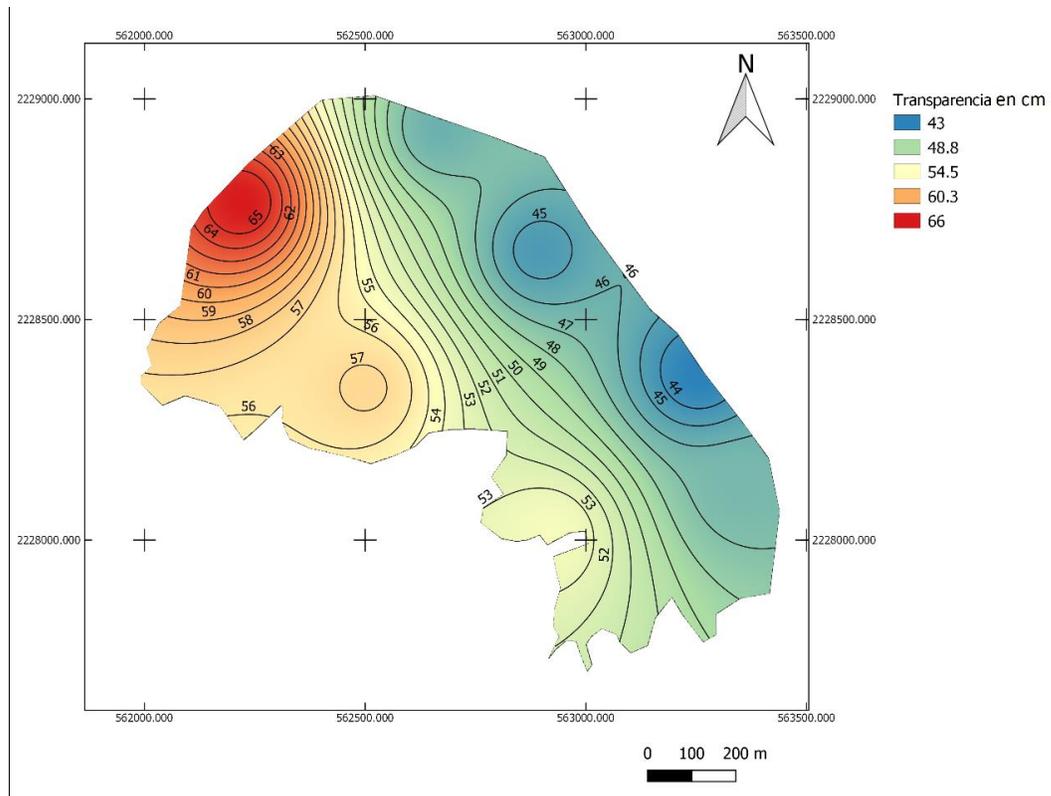


Ilustración 13-4 Distribución espacial del parámetro Transparencia con disco Secchi. Elaboración propia

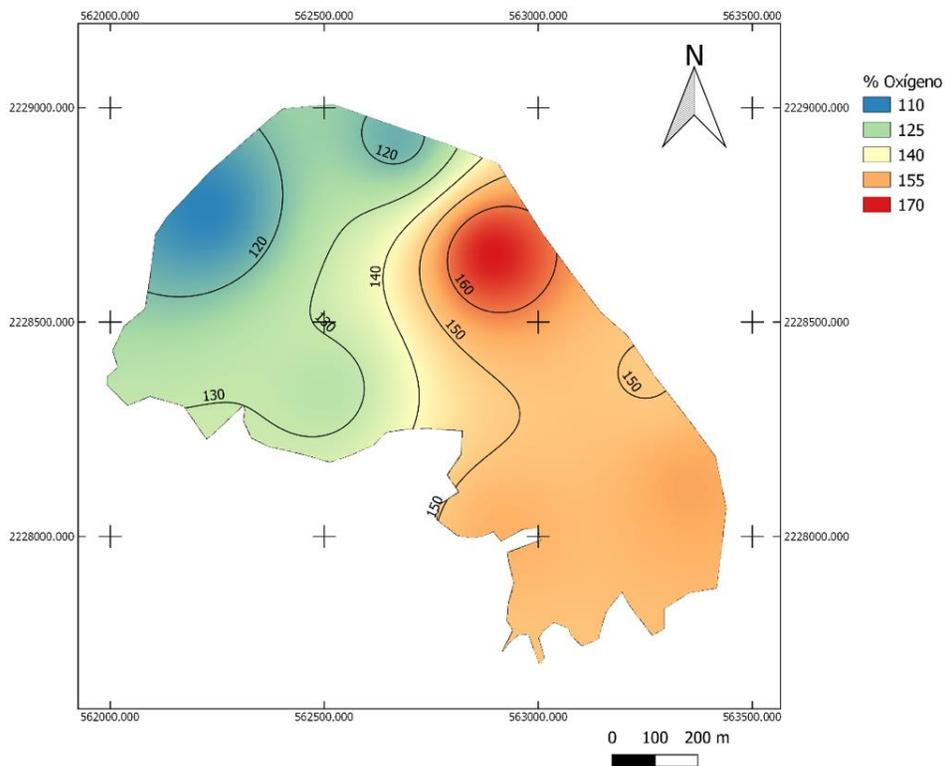


Ilustración 13-5 Distribución espacial del parámetro porcentaje de Oxígeno. Elaboración propia

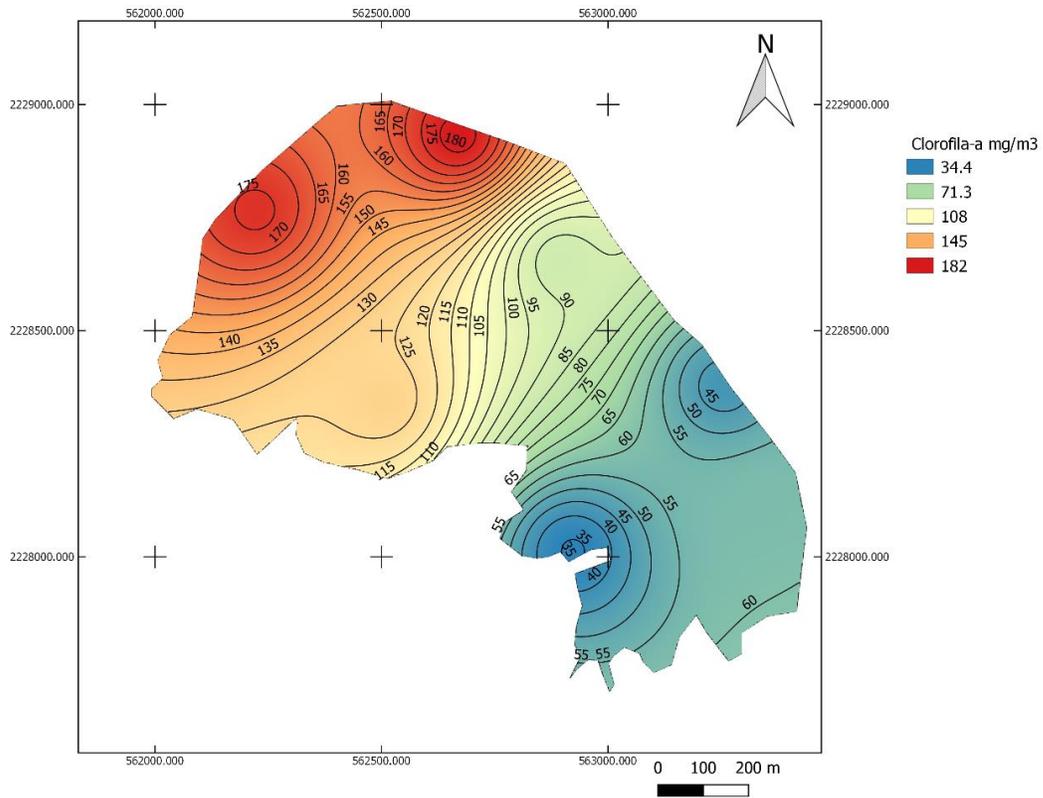


Ilustración 13-6 Distribución espacial del parámetro Clorofila-a. Elaboración propia

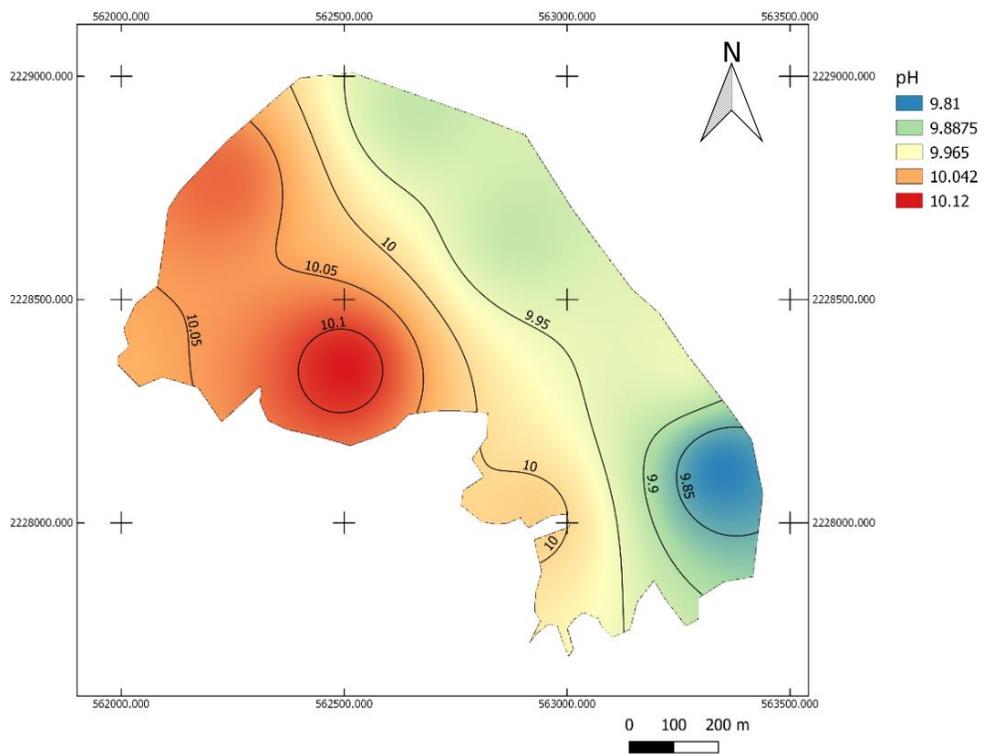


Ilustración 13-7 Distribución espacial del parámetro pH. Elaboración propia

14 Análisis de resultados mediante la aplicación de la metodología del índice de calidad del agua.

Un índice de calidad del agua es una herramienta que se construye considerando el uso que se le dará al recurso hídrico que se va a evaluar. Algunos de los enfoques que se le pueden dar son: para la evaluación del recurso para el consumo humano, para el fomento de la vida acuática, para riego o para el uso del recurso como transporte (Ramírez, 2011).

Por lo tanto, se define un índice de calidad del agua como una expresión matemática que puede considerar alguno o todos los siguientes aspectos:

- 1 Aspectos fisicoquímicos. Las concentraciones de especies químicas disueltas en el agua, así como parámetros físicos como temperatura y conductividad eléctrica.
- 2 Aspectos biológicos. Composición y estado de la biota acuática.
- 3 Aspectos no acuáticos. La presencia de bosques o la canalización del cauce.
- 4 Estado trófico. Se refiere a la cantidad de nutrientes disponibles en el cuerpo de agua.

14.1 Construcción de un índice de calidad del agua.

Para la construcción del *índice de Calidad del Agua para Cuerpos Lénticos*, en adelante *ICAL*, se siguió la metodología propuesta por (Ramírez, 2011)

- Paso 1. Definición de los objetivos para los que se utilizará el índice de calidad del agua.

En nuestro caso, el propósito del índice *ICAL* es el de mostrar el estado de contaminación de la laguna de Zupitlán, los posibles usos que se pueden dar al agua de la laguna, servir como un punto de partida para conocer si el cuerpo de agua se está deteriorando y servir de comparación con otros índices.

- Paso 2. Seleccionar los parámetros a incluir en el índice de calidad del agua.

Para el desarrollo del índice se considera que se integraran los siguientes aspectos de la calidad de la laguna.

- 1 Capacidad recuperadora del cuerpo de agua. Para conocer la capacidad de la laguna para asimilar la materia orgánica que ingresa hasta ella, se decidió incorporar el oxígeno disuelto como parámetro.
 - 2 Contenido de materia orgánica presente en el cuerpo de agua. Para estimar la cantidad de materia orgánica que se encuentra en la laguna, se incluyó el parámetro DBO_5 .
 - 3 Estado trófico. Para estimar el estado trófico del cuerpo de agua se incluyeron los parámetros Ortofosfatos, Clorofila-a y Transparencia Secchi.
 - 4 Viabilidad para la vida acuática. Con el objetivo de estimar la viabilidad para la vida acuática se decidió incorporar los parámetros pH, temperatura y oxígeno disuelto.
- Paso 3. Formular la expresión matemática para el cálculo del Índice de calidad del agua.

Después de seleccionar los parámetros que conformarán el índice de calidad del agua, se procede a elaborar la expresión matemática para calcular el índice. La cual se muestra en la ecuación 14-1.

$$ICAL f(\text{Clorofila-a}, \text{DBO}_5, \text{Ortofosfatos}, \text{Oxígeno disuelto}, \text{pH}, T, \text{Transparencia Secchi})$$

Ecuación 14-1 Expresión del índice de Calidad del Agua ICAL. Elaboración propia

Para la formulación de la expresión matemática del índice de calidad se procede de la siguiente manera.

- 1 Establecer el rango de variación del índice de calidad del agua, en nuestro caso de 0 a 100.
- 2 Agrupar los parámetros seleccionados en los términos que representan los aspectos a evaluar.

Grupo	Parámetros
Capacidad recuperadora	Oxígeno disuelto
Materia orgánica	DBO ₅ .
Estado trófico	Ortofosfatos, Clorofila-a, Transparencia Secchi
Viabilidad para la vida acuática	pH, temperatura, Oxígeno disuelto

Tabla 14-1 Parámetros de calidad agrupados por categorías. Elaboración propia

- 1 Para establecer la importancia de cada término en el valor total del índice de calidad del agua, se asigna un peso a cada término. Los términos que forman parte de un mismo grupo, como variables dependientes se multiplican, generando así una expresión matemática como se muestra en la ecuación 14-2.

$$ICAL = (a * (\text{Oxígeno disuelto}) + b * (DBO_5) + c * (\text{Clorofila-a} * \text{Ortofosfatos} * \text{Transparencia Secchi}) + d * (pH * T))$$

↑

Capacidad recuperadora

↑

Carga orgánica

↑

Estado trófico

↑

Viabilidad para la vida acuática

Ecuación 14-2 Agrupación de los términos en la expresión del índice de Calidad del agua. Elaboración propia

En la ecuación 14-2, los factores a, b, c, d, son los factores de ponderación y la suma de ellos será igual a la unidad. Para nuestro caso se decidió que los factores de ponderación tengan el mismo valor pues cada rubro del índice se consideró igualmente importante, como es el caso de la construcción de otros índices como el de (Dinius, 1987)

$$a + b + c + d = 1$$

La clasificación de los cuerpos de agua es una convención y por ello no existe un procedimiento para clasificarlas según su calidad. Por tanto, se realiza la siguiente tabla 14-2 de acuerdo a la metodología propuesta por (Ramírez, 2011).

Valor ICAL	Convención	Significado
90-100	Azul	Recurso hídrico en estado natural. Agua de muy buena calidad
70-90	Verde	Recurso hídrico levemente contaminado. Agua de buena calidad
50-70	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
25-50	Naranja	Recurso hídrico contaminado. Agua contaminada
0-25	Rojo	Recurso hídrico fuertemente contaminado. Agua fuertemente contaminada

Tabla 14-2 Clasificación de los cuerpos de agua siguiendo la metodología de (Ramírez, 2011)

Para las ecuaciones que evalúan los parámetros de calidad del agua, se utilizan las encontradas en el índice de estado trófico de Carlson (Carlson, A trophic state index for lakes., 1977), que contemplan los parámetros de clorofila-a, transparencia Secchi y Ortofosfatos, para los parámetros oxígeno disuelto, pH y temperatura utilizaremos las ecuaciones del Índice de calidad del agua de Oregon

OWQI 2001 (Cude, 2001) que está orientado a la supervivencia de la vida acuática y para DBO5 se utilizó la ecuación encontrada en el Índice de calidad del agua de Dinius (Dinius, 1987).

En la ilustración 14-1 se muestran las ecuaciones utilizadas para el cálculo del índice de calidad del agua ICAL elaborado con información de (Dinius, 1987) para DBO5, para pH y Temperatura (Cude, 2001) y para Clorofila- a, Transparencia por disco Secchi y orto fosfatos (Carlson, A trophic state index for lakes., 1977)

$$\text{Indice Transparencia Secchi} = 10 * \left(2.46 + \frac{3.76 * -1.57 * \ln(\text{Transparencia [m]})}{\ln(2.5)} \right)$$

$$\text{Indice Clorofila-a} = 10 * \left(2.46 + \frac{(\text{Clorofila-a [mg/m}^3\text{]})}{\ln(2.5)} \right)$$

$$\text{Indice Temperatura} = 76.54 + 4.172 * T - 2.0557 * 10^{-3} * T^3$$

$$\text{Indice \% de saturacion de Oxígeno} = 100 * e^{((\% \text{ de saturación de oxígeno} - 100) * -1.1197 * 10^{-2})}$$

$$\text{Indice pH} = 100 * e^{((\text{pH} - 8) * -0.5188)}$$

$$\text{Indice Ortofosfatos} = 100 * e^{(-2.4 * \text{Ortofosfatos [mg/L]})}$$

$$\text{Indice DBO5} = 108 * \text{DBO5 [mg/L]}^{(-0.3494)}$$

Ilustración 14-1 Lista de ecuaciones utilizadas para el cálculo del índice de calidad del agua ICAL elaborado con información de (Dinius, 1987) para DBO5, para pH y Temperatura (Cude, 2001) y para Clorofila- a, Transparencia por disco Secchi y orto fosfatos (Carlson, A trophic state index for lakes., 1977).

Los resultados que se muestran en la tabla 14-3 tienen un valor en el rango de 45.78 y 61.25 por lo que para la mayoría de los casos la calificación del índice corresponde a la convención amarillo lo que muestra que la laguna esta moderadamente contaminada.

Tabla 14-3 Resultados de la aplicación del Índice de calidad del agua ICAL.

Resultados del índice de calidad del agua ICAL			
Muestra	Valor ICAL	Convención	Significado
SAL 5	49.24	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
M7	45.78	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
M4	53.99	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
SAL 1-2	61.25	Verde	Recurso hídrico levemente contaminado. Agua de buena calidad
M5	52.28	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
M8	51.77	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
M11	49.35	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada
A	45.75	Amarillo	Recurso hídrico moderadamente contaminado. Agua moderadamente contaminada

Elaboración propia

14.2 Análisis de resultados obtenidos mediante la metodología del Índice de Calidad del Agua.

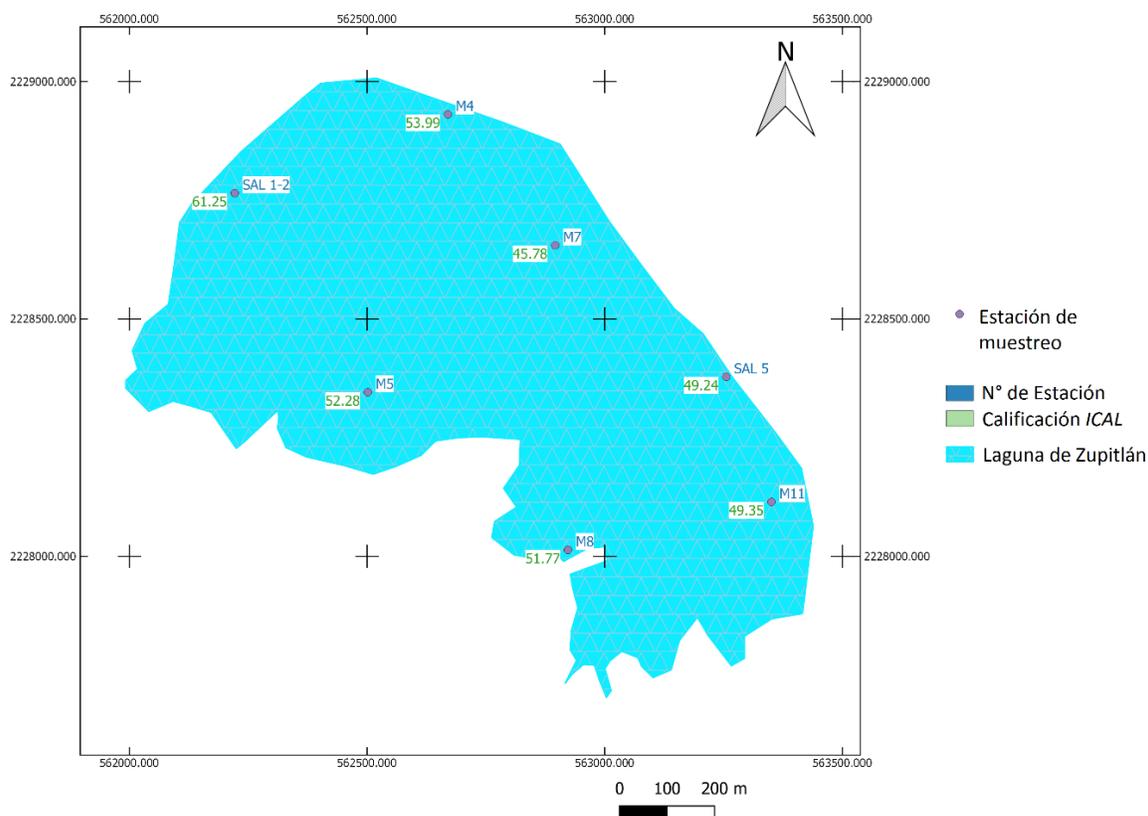


Ilustración 14-2-1 Ubicación y calificación del ICAL en los puntos de muestreo de la laguna de Zupitlán 2018.
Elaboración propia

Según el *Índice de Calidad del Agua para Cuerpos Lénticos*, que se ha propuesto en el anterior desarrollo, se obtuvo lo siguiente:

- 1 Que en la mayoría de los casos la calidad del agua corresponde a la convención amarillo; lo que significa que el recurso hídrico se encuentra moderadamente contaminado.
- 2 En segundo lugar, con base en la construcción del *ICAL* puede afirmarse que el estado trófico de la laguna es eutrófico, lo cual implica que es rico en nutrientes. Asimismo, indica que las condiciones que presenta la laguna favorecen el crecimiento excesivo de algas, que durante la noche demandan grandes cantidades de oxígeno, impidiendo el adecuado desarrollo de las formas de vida que requieren de oxígeno disuelto, como peces e invertebrados planctónicos. El exceso de algas puede limitar el paso de luz al interior del agua causando condiciones anoxias bajo la capa más superficial e impide el crecimiento de plantas vasculares.
- 3 De igual modo puede afirmarse que la cantidad de materia orgánica que ingresa a la laguna de Zupitlán es tal que no ha superado el límite que permite el proceso de autodepuración.
- 4 Por último, cabe señalar que, si bien la vida acuática es posible, ésta no se desarrolla adecuadamente, puesto que la laguna no cuenta con las condiciones óptimas para su crecimiento, debido a parámetros tales como el pH del agua.

15 Conclusiones.

La puntuación obtenida de acuerdo con el índice *ICAL* coloca a la laguna de Zupitlán en la clasificación amarillo (Recurso hídrico moderadamente contaminado, Agua moderadamente contaminada). Se encontró en (Bisemanario Ruta, 2012). Que la contaminación presente en la laguna proviene principalmente de los escurrimientos y de fuentes no puntuales como el ganado vacuno.

Además, se pudo observar mediante una visita de campo, que la laguna *El Sabino*, que se encuentra al sur poniente de la *laguna de Zupitlán*, tiene comunicación a través de un canal con la *laguna de Zupitlán*, y mediante el análisis de una muestra que se tomó en *El Sabino*, se pudo determinar que existe contaminación que proviene de la laguna *El Sabino*, ya que en ésta parámetros como DBO_5 y Clorofila-a se encuentran considerablemente más elevados en *El Sabino*.

Así mismo al preguntar a los habitantes, informaron que la laguna *El Sabino* recibe aguas de desecho de una quesería local. El hecho se pudo constatar al revisar en el periódico RUTA de Tulancingo, donde se han escrito notas reportando la contaminación de la laguna el Sabino con suero de leche, un subproducto de desecho de la industria de lácteos de la región.

Es de gran importancia mejorar la gestión de los residuos lácteos en las cercanías de la laguna de Zupitlán, ya que hasta el momento no existen sistemas de tratamiento en los talleres y fábricas que se dedican a la elaboración de productos derivados de la leche y muchos de ellos arrojan sus desechos hacia canales de riego que se comunican a la laguna el Sabino.

16 Recomendaciones.

La calidad y cantidad de información actual aporta pocos datos acerca de la calidad del agua de la laguna de Zupitlán, podemos ver que no existe un registro que donde se pueda consultar información sobre la evolución de la calidad del agua en la laguna que sea anterior al año 2008, así que es difícil saber si el cuerpo de agua se está deteriorando. Por ello es importante que se realicen muestreos regulares de diversos parámetros de calidad que contemplen los principales usos de la laguna (riego, piscicultura y recreación), y de este modo estar alerta a un posible deterioro que permita tomar acciones de remediación.

Actualmente los habitantes participan de la conservación del cuerpo de agua a pesar de ello es importante que se mantengan alerta para notificar cualquier ingreso de lactosuero a la laguna y reportarlo a las autoridades. Por su parte el municipio debe encargarse de tomar acciones para el tratamiento de los residuos de la industria láctea, así como de abastecer de drenajes apropiados que eviten las descargas hacia los canales de riego. En la ilustración 16-1 se puede ver suero lácteo que fue vertido en los canales de riego aledaños a la laguna de Zupitlán.



Ilustración 16-1 Suero lácteo vertido en canales de riego en las cercanías de la laguna de Zupitlán (SANTOY, 12).

La idea de una planta de tratamiento ya se había propuesto para el municipio (Bisemanario Ruta, 2012), pero desafortunadamente, la situación de pobreza en Acatlán complica la implementación de medidas de saneamiento. Sería de gran ayuda obtener financiamiento externo y asesoría técnica para la construcción de una planta de tratamiento.

Anexos.

Espectroscopia de absorción molecular.

Esta técnica es utilizada para determinar de manera cuantitativa especies orgánicas inorgánicas y biológicas, se apoya en la región de radiación electromagnética que se encuentra dentro de las longitudes de onda de 19 a 800nm, las cuales comprende en el espectro ultravioleta-visible (Douglas A. Skoog, 2008).

La técnica se basa en la medición de absorbancia A o transmitancia T de una determinada disolución que se en cuenta en una celda o cubeta transparente que tienen una longitud de trayectoria b en cm. Para realizar la medición de concentración de un analito capaz de absorber radiación electromagnética, la concentración se relaciona de manera lineal a la absorbancia según la ley de Beer (Douglas A. Skoog, 2008). La ecuación de Beer se muestra en la ecuación 17-1.

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} = \epsilon bc$$

Ecuación 17-1 Ley de Beer elaborado con información de (Douglas A. Skoog, 2008)

Cada término de la ley de Beer queda definido como se muestra en la tabla 17-1.

Tabla 17-0-1 Términos de la ley de Beer con información de (Douglas A. Skoog, 2008)

Término y símbolo*	Definición	Nombre y símbolo alternativos
Potencia radiante incidente, P₀	Potencia radiante en watts que incide en la muestra	Intensidad incidente, I ₀

Potencia radiante transmitida, P	Potencia radiante que transmite la muestra	Intensidad transmitida, I
Absorbancia, A	$\log(P_0 / P)$	Densidad óptica, D ; extinción, E
Transmitancia, T	P/P_0	Transmisión, T
Longitud de trayectoria de la muestra, b	Longitud sobre la que ocurre la atenuación	l, d
Concentración del absorbente, c	Concentración en unidades especificadas	l, d
Absortividad, $\uparrow a$	$A/(bc)$	Coefficiente de extinción, k
Absortividad molar, $\uparrow e$	$A/(bc)$	Coefficiente de extinción molar

Existen varios efectos de atenuación del haz luminoso que pasa por la muestra con analito, entre ellos se encuentran la flexión de haz al transitar por la interfase aire-pared del recipiente y disolución-pared del recipiente, de igual manera parte de la radiación puede ser absorbida por el recipiente. Así para eliminar dichas interferencias, se debe hacer una corrección para obtener la absorbancia y transmitancia reales (James, 2005).

La ley de Beer demuestra de manera matemática, que existe una relación lineal entre la absorbancia y la concentración de un analito, dicha relación se basa en resultados experimentales. Para que la relación se cumpla, el recorrido del haz luminoso y la longitud de onda incidente deben permanecer constantes. La relación que establece la ley de Beer es muy importante en espectroscopia analítica, pues en ella se basa la medición cuantitativa de un analito en una muestra mediante la medición cuantitativa de la cantidad de radiación absorbida. A la medición cuantitativa de la intensidad de radiación se le llama espectrometría (James, 2005).

Espectrofotómetro de haz simple.

El espectrofotómetro de haz simple consta de una lámpara de deuterio o tungsteno, un filtro monocromador, con el que selecciona la longitud de onda de trabajo, cubetas o celdas debidamente ajustadas, las cuales pueden interponerse

en el haz de radiación, un transductor que transforma la señal luminosa en eléctrica, un amplificador que magnifica la señal eléctrica y un dispositivo de lectura (Douglas A. Skoog, 2008).

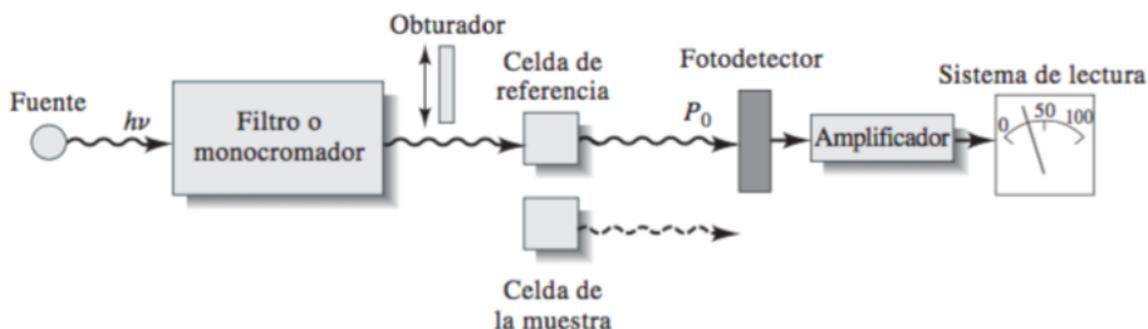


Ilustración 0-1 Esquema de un instrumento de haz sencillo para mediciones de absorción.

Criterios de calidad del agua de CONAGUA. (Comisión Nacional del Agua , 2019)
 En las tablas 17-1, 17-2 y 17-3 se muestra la calificación que otorga la Comisión Nacional del Agua CONAGUA para los parámetros DBO₅, DQO y sólidos suspendidos totales respectivamente.

Tabla 17-0-2 Criterios de calidad del agua para DBO₅

Calidad	DBO ₅ (mg/L)	Clasificación
Excelente	≤3	Excelente: No contaminada
Buena calidad	3 - 6	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
Aceptable	6 - 30	Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de Autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
Contaminada	30 - 120	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
Fuertemente contaminada	> 120	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Tabla 17-0-3 Criterios de calidad del agua para DQO

Calidad	DQO(mg/L)	Clasificación
Excelente	<10	Excelente: No contaminada
Buena calidad	10 - 20	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
Aceptable	20 - 40	Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de Autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
Contaminada	40 - 200	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
Fuertemente contaminada	>200	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Tabla 0-4 Criterios de calidad del agua para sólidos suspendidos totales

Calidad	SST(mg/L)	Clasificación
Excelente	<25	Excelente: No contaminada
Buena calidad	25 - 75	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales, favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.
Aceptable	75 - 150	Aceptable: Con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido
Contaminada	150 - 400	Contaminada: Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Aguas con alto contenido de material suspendido.
Fuertemente contaminada	>400	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.

Elaborado con información de (Comisión Nacional del Agua , 2019)

Cálculo del Índice de Calidad del Agua ICAL

Cálculo de los índices de calidad del agua.

Profundidad con disco Secchi en metros, la escala está invertida, así que se usó una interpolación lineal para corregir.

```

In[1]> m = {0.43, 0.445, 0.46, 0.66, 0.5725, 0.54, 0.465, 0.325}

Disco = 10 * (2.46 + (3.76 * -1.57 Log[m]) / Log[2.5])

Transparencia = (Disco / 100) * -100 + 100

Grid[{"Indice de Transparencia Secchi", SpanFromLeft},
 {"Profundidad en [m]", m}, {"Indice de Transparencia", Disco},
 {"Indice de Transparencia corregida", Transparencia}], Frame -> All]

In[5]> Insert[%4, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}}},
 Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]
  
```

Indice de Transparencia Secchi	
Profundidad en [m]	{0.43, 0.445, 0.46, 0.66, 0.5725, 0.54, 0.465, 0.325}
Indice de Transparencia	{78.9727, 76.7637, 74.6278, 51.3696, 60.5325, 64.2978, 73.9313, 97.0092}
Indice de Transparencia corregida	{21.0273, 23.2363, 25.3722, 48.6304, 39.4675, 35.7022, 26.0687, 2.99084}

Clorofila-a en mg/m^3 , la escala está invertida, así que se usó una interpolación lineal para corregir.

```

In[6]> cl = {42.34, 87.3, 182.08, 176.26, 128.9, 34.4, 58.12, 512.16}

clorofila = 10 * (2.46 + (Log[cl]) / Log[2.5])

Clorofila = (clorofila / 100) * -100 + 100

Grid[{"Indice de Clorofila-a", SpanFromLeft},
 {"Clorofila-a [mg/m³]", cl}, {"Indice de Clorofila-a", Disco},
 {"Indice de Clorofila-a corregida", Clorofila}], Frame -> All]
  
```

```

In[10]= Insert[%9, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]

```

Indice de Clorofila-a	
Clorofila-a [mg/m ³]	{42.34, 87.3, 182.08, 176.26, 128.9, 34.4, 58.12, 512.16}
Indice de Clorofila-a	{78.9727, 76.7637, 74.6278, 51.3696, 60.5325, 64.2978, 73.9313, 97.0092}
Indice de Clorofila-a corregida	{34.5207, 26.6234, 18.6009, 18.9555, 22.3706, 36.7872, 31.0635, 7.31422}

Temperatura en °C

```

In[11]= T = {19.8, 19.9, 19.5, 19.3, 19.6, 20, 21, 23.2}
Temperatura = 76.54 + 4.172 * T - 0.1623 * T^2 - 2.0557 * 10^-3 * T^3
Grid[{"Indice de Temperatura", SpanFromLeft}, {"Temperatura en °C", T},
  {"Indice de Temperatura", Temperatura}], Frame -> All]

```

```

Insert[%24, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]

```

Indice de Temperatura	
Temperatura en °C	{19.8, 19.9, 19.5, 19.3, 19.6, 20, 21, 23.2}
Indice de Temperatura	{95.5175, 95.2904, 96.1794, 96.6045, 95.962, 95.06, 92.5777, 85.974}

Oxígeno en porcentaje de saturación

```

In[14]= o = {149.7, 170, 117.6, 110, 127.4, 154, 155.8, 129.8}
Oxigeno = 100 e^{((o-100)+-1.1197*10^-4)}
Grid[{"Indice de % de Saturación de Oxígeno", SpanFromLeft},
  {"%saturación de oxígeno", o}, {"Indice de Oxígeno", Oxigeno}], Frame -> All]

```

```

Insert[%28, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]

```

Indice de % de Saturación de Oxígeno	
%saturación de oxígeno	{149.7, 170, 117.6, 110, 127.4, 154, 155.8, 129.8}
Indice de Oxígeno	{57.3217, 45.6672, 82.1135, 89.4071, 73.5799, 54.6272, 53.5372, 71.629}

pH

```

In[17]= p = {9.95, 9.91, 9.91, 10.08, 10.12, 10.01, 9.81, 8.83}
pH = 100 e^{((p-8)+-0.5188)}
Grid[{"Indice de pH", SpanFromLeft}, {"pH", p}, {"Indice de pH", pH}], Frame -> All]

```

```

In[44]= Insert[%43, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]

```

Indice de Calidad del agua ICAL	
Valor del indice (0-100)	{49.2355, 45.7781, 53.9944, 61.2518, 52.275, 51.7706, 49.3515, 45.7514}

```
Insert[%32, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]
```

Indice de pH	
pH	{9.95, 9.91, 9.91, 10.08, 10.12, 10.01, 9.81, 8.83}
Indice de pH	{36.3615, 37.1239, 37.1239, 33.99, 33.2919, 35.2471, 39.1008, 65.0116}

DBO5 en mg/L.

```
In[37]= dbo5 = {13.333, 12, 10.667, 4.6671, 13.333, 9.333, 11.333, 42}
DBO = 108 * dbo5^(-0.3494)
Grid[{"Indice de DBO5", SpanFromLeft},
  {"DBO5 en mg/L", dbo5}, {"Indice de DBO5", DBO}], Frame -> All]
In[40]= Insert[%39, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]
```

Indice de DBO5	
DBO5 en mg/L	{13.333, 12, 10.667, 4.6671, 13.333, 9.333, 11.333, 42}
Indice de DBO5	{43.6892, 45.3271, 47.2309, 63.0462, 43.6892, 49.4878, 46.2419, 29.2591}

Ortofosfatos en mg/L.

```
In[28]= of = {0.15, 0.24, 0.37, 0.31, 0.29, 0.15, 0.18, 0.71}
Ortofosfatos = 100 e^(-2.4*of)
Grid[{"Indice de Ortofosfatos", SpanFromLeft}, {"Ortofosfatos en mg/L", of},
  {"Indice de Ortofosfatos", Ortofosfatos}], Frame -> All]
Insert[%9, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]
```

Indice de Ortofosfatos	
Ortofosfatos en mg/L	{0.15, 0.24, 0.37, 0.31, 0.29, 0.15, 0.18, 0.71}
Indice de Ortofosfatos	{69.7676, 56.2142, 41.1478, 47.5209, 49.8576, 69.7676, 64.9209, 18.1954}

Cálculo del índice ICAL de calidad del agua de un cuerpo léntico.

```
In[41]= a = b = c = d = 1/4
ICAL = a * Oxigeno + b * DBO +
  c * (Clorofila * Ortofosfatos * Transparencia)^1/2 + d * (pH * Temperatura)^1/2
Grid[{"Indice de Calidad del agua ICAL", SpanFromLeft},
  {"Valor del indice (0-100)", ICAL}], Frame -> All]
In[44]= Insert[%43, {Background -> {None, {GrayLevel[0.7], {White}}},
  Dividers -> {Black, {2 -> Black}}, Frame -> True, Spacings -> {2, {2, {0.7}, 2}}, 2]
```

Indice de Calidad del agua ICAL	
Valor del indice (0-100)	{49.2355, 45.7781, 53.9944, 61.2518, 52.275, 51.7706, 49.3515, 45.7514}

Bibliografía

- Acatlán, A. e. (2014). *H. Ayuntamiento de Acatlán Hidalgo*. Recuperado el 11 de 05 de 2018, de Ayuntamiento digital:
<http://www.acatlanhidalgo.gob.mx/turistico/Contenido.php?seccion=2&lat=9>
- American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. Washington: American Public Health Association.
- Anallely Ávila Ortiz, M. C. (2008). ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE ZUPITLÁN, MUNICIPIO DE ACATLÁN, ESTADO DE HIDALGO. . *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: Producción Científica Profesorado*.
- Atlas Agropecuario, H. (1996). Recuperado el 8 de 05 de 2018, de INEGI:
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825117139/702825117139_8.pdf
- Bisemanario Ruta, R. (1 de Junio de 2012). Busca Tulancingo sumar esfuerzos con. *Ruta* , págs. 1-3.
- Campos, M. T. (2012). *Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples*. Panama : Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC).
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for. *Limnol. Oceanogr*, 361-369.
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr. Vol 22*, 361-369.
- Chang, R. (2002). *Química*. Nueva York: McGraw-Hil.
- Comisión Nacional del Agua . (12 de Marzo de 2019). *Sistema Nacional de Información del Agua*. Obtenido de Calidad del agua (nacional):
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua>
- CONANP. (2003). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán México*. México , D.F., México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas .
- Cude, C. (2001). Oregon Water Quality Index: A Tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness. *Journal of The American Resources Association*, 125-138.
- Dinius, S. (1987). Design of a water Quality Index. *W.R. Bulletin, V23, N°5*, 53-61.
- Douglas A. Skoog, S. R. (2008). *Principios de analisis instrumental* . México: Cengage Learning.
- Fergusson., J. (1985). *Inorganic Chemistry and the Earth*. (P. Press., Ed.)
- G.Tyler Miller, S. E. (2009). *Essentials of Ecology*. Belmont, California, USA: Cengage Learning.
- Gabriel Roldán Pérez, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- HATCH Company. (2018). *Phosphorus, Reactive (Orthophosphate)*. Obtenido de Sobres de reactivo en polvo para la determinación de fosfato, de 0,02 a 2,50 mg/L de PO4:
<https://es.hach.com/asset-get.download.jsa?id=31948984041>
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Recuperado el 30 de 5 de 2018, de Acatlán, Hidalgo :
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13001.pdf

- INEGI. (2018). *Información por entidad: Clima*. Recuperado el 23 de 05 de 2018, de Cuentame inegi : <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/territorio/clima.aspx?tema=me&e=13>
- INEGI. (20 de mayo de 2019). *SIATL | SIMULADOR DE FLUJOS DE AGUA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Obtenido de SIATL | SIMULADOR DE FLUJOS DE AGUA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#app=86ae&4b36-selectedIndex=0&e20f-selectedIndex=0&6fa8-selectedIndex=0&b1e4-selectedIndex=0
- Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social . (2010). *Hidalgo.gob.mx*. Recuperado el 14 de 06 de 2018, de CONEVAL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/45177/Hidalgo_001.pdf
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (s.f.). *INVEVAR*. Obtenido de INVEVAR: <http://www.invevar.org.co/redcostera1/invevar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS. (s.f.). *INVEVAR*. Obtenido de INVEVAR: <http://www.invevar.org.co/redcostera1/invevar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>
- James, W. R. (2005). *Undergraduate Instrumental Analysis*. Baton Rouge, Louisiana: Louisiana State University.
- José René Valdez-Lazalde, C. A.-S.-P. (2011). *ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO METZTITLÁN (MÉXICO) USANDO IMÁGENES DE SATÉLITE: 1985-2007*. Texcoco, Estado de México, México: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente .
- M.a del Pilar Cabildo Miranda, e. a. (2013). *BASES QUÍMICAS DEL MEDIO AMBIENTE*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. España: REVERTÉ EDICIONES S.A. de C.V.
- Mendoza, L. M. (1979). *Manual del curso Análisis de aguas y agua de desecho*. Distrito Federal, México: SARH.
- Misael Cruz Sánchez, A. Á. (2011). IDENTIFICACIÓN DE BIOINDICADORES EN LA LAGUNA DE ZUPITLÁN Producción Científica Profesorado. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO*.
- Moreno Franco, D. P. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el estado de eutrofia. *Revista Contactos*, 25-33.
- NMX-AA-014 . (1981). *Muestreo*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- NOM-EM-034-FITO-2000. (2000). NORMA OFICIAL MEXICANA (CON CARACTER DE EMERGENCIA), REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES PARA LA APLICACION Y CERTIFICACION DE BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCION DE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS. *Diario Oficial de la Federación*, 1-17.
- Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.
- SANTOY, H. (2015 de Febrero de 12). Suero lácteo afecta mantos subterráneos. *Inforural*, pág. 1.

- SEMARNAT. (2018). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 3 de 06 de 2018, de CELEBRA EL DÍA MUNDIAL DE LOS HUMEDALES:
<http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/?p=3321>
- SEMARNATH . (2018). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 3 de 06 de 2018, de CELEBRA EL DÍA MUNDIAL DE LOS HUMEDALES:
<http://s-medioambiente.hidalgo.gob.mx/?p=3321>
- Servicio Geológico Mexicano. (2007). *Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Tulancingo*. Recuperado el 15 de Mayo de 2018, de Sectetaría del medio ambiente del estado de Hidalgo:
http://201.99.98.88/documentacion_tulancingo/fases_metodologicas/caracterizacion/Caracterizacion_Tulancingo.pdf
- Severinghaus, J. W. (2002). The Invention and Development of Blood Gas Analysis. *American Society of Anesthesiologists, Inc. Lippincott Williams & Wilkins, Inc.*, 1-4.
- Singleton, H. (2001). *Government of British Columbia*. Obtenido de Government of British Columbia: https://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/ffip/BCMoe1998_b.pdf
- Sogaard, E. G. (2014). *Chemistry of Advanced Environmental Purification Process of Water* . Esbjerg, Amsterdam , Netherlands: Elsevier.
- Tecocomulco, A. d. (2015). *Gerencia de Aguas Subterráneas*. Recuperado el 12 de 06 de 2018, de Comision Nacional del Agua:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103068/DR_1319.pdf
- UNESCO-IHP. (25 de febrero de 2019). *UNESCO-IHP IIWQ World Water Quality Portal World's First Global Water Quality Portal Built to Support UNESCO Program*. Obtenido de IIWQ World Water Quality Information and Capacity Building Portal:
<http://www.worldwaterquality.org/>
- Velasco Aparicio, F. (2015). *Analizadores de proceso en línea: Introducción a sus técnicas analíticas*. España: Diaz de Santos.