



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

INFORME TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA LAGUNA LA ENCANTADA PERTENECIENTE AL
PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE MONTEBELLO.

PRESENTA

KATHYA REYES DE LA ROSA

13270758

ASESOR:

M.C JOSÉ HUMBERTO CASTAÑÓN GONZÁLEZ

REVISORES:

DR.VICTOR MANUEL RUÍZ VALDIVIEZO

DR. JUAN JOSÉ VILLALOVOS MALDONADO

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS A 9 DE ENERO DEL 2019.

Índice

Agradecimientos.....	5
Resumen	6
1. Introducción.....	7
2. Justificación.....	8
3. Objetivos	9
3.1. Objetivo General.....	9
3.2. Objetivos específicos.....	9
4. Caracterización del área en que participo.	10
5. Problemas a resolver.....	10
6. Alcances y limitaciones	10
6. Marco teórico	11
6.1. Historia del parque nacional lagunas de Montebello	11
6.1.1. Localización.....	12
6.1.2. Clima.....	13
6.1.3. Flora y fauna.....	13
6.2. Calidad del agua de lagos y reservas	14
6.2.1. Estratificación térmica de lagos y reservas.....	14
6.3. Parámetros fisicoquímicos	18
6.3.1. Temperatura.....	18
6.3.2. Potencial de Hidrogeno (pH)	19
6.3.3. conductividad eléctrica	21
6.3.4. turbidez	23
6.3.5. oxígeno disuelto	23
6.3.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	26
6.3.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO).....	28
6.3.5.2.1. Principio del método del dicromato potásico.....	28
6.4. Clorofila.....	28
7. Metodología	30
7.1. Recolección y transportación de muestras	31
7.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	31
7.3. Demanda Química de oxígeno (DQO)	31
7.4. Clorofila-a	31

8. Resultados y Discusión de Resultados	32
9. Cronograma de actividades	52
10. Conclusiones	53
11. Recomendaciones	54
12. Bibliografía.....	55
13. Anexos	60
13.1. Análisis de agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO ₅) y Residuales tratadas - Método de Prueba (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)	60
13.2. Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua - Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas.- Método de Prueba - Parte 1 - Método de Reflujo Abierto - (Cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001).....	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	27
Tabla 2. Valores de temperatura en los diferentes puntos muestreados en la laguna La Encantada. Los valores máximos están marcados en color rojo y los valores mínimos están marcados en color verde).....	33
Tabla 3. Valores máximos y mínimos de temperatura de laguna La Encantada a diferentes profundidades.(Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).....	34
Tabla 4. Valores de pH en los diferentes puntos muestreados en la laguna La Encantada. (Los valores máximos están marcados en color rojo y los valores mínimos están marcados en color verde).....	37
Tabla 5. Valores máximos y mínimos de pH de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).....	38
Tabla 6. Valores de Conductividad Eléctrica en los diferentes puntos muestreados en la laguna La Encantada. (Los valores máximos están marcados en color rojo y los valores mínimos están marcados en color verde).....	41
Tabla 7. Valores máximos y mínimos de la Conductividad Eléctrica de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).	42
Tabla 8. Valores máximos y mínimos de la Turbidez de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).....	44
Tabla 9. Valores máximos y mínimos de la OD de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo y Máx. = valor máximo).....	45

Índice de figuras

Figura 1. Parque Nacional Laguna de Montebello (PNLM)	11
Figura 2. Localización del área de estudio, polígono del Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM).	13
Figura 3. Densidad máxima del agua.....	15
Figura 4. Perfil de temperatura de mitad de verano para un lago estratificado térmicamente.	16
Figura 5. Ciclo anual de estratificación, cambio y circulación en lagos y reservas templados.	17
Figura 6. Curva ortógrada en embalses oligotróficos.....	25
Figura 7. Curva clinógrada en embalses productivos	26
Figura 8. Estructura de la clorofila a y b.	29
Figura 9. Ubicación de la Laguna La Encantada	31
Figura 10. Puntos de muestreos en la Laguna la encantada. (Con una distancia entre cada punto de 50 m).	32
Figura 11. Perfiles de temperatura de las columnas de agua Ae, Ad, Bc y bd.	35
Figura 12. Perfiles de temperatura de las columnas de agua Be- Bg, Cb- Cd, Ce- Cg y Da-Dc de 0 A 15 m de profundidad.	36
Figura 13. Gráfico de Profundidad Vs pH de los valores máximos y mínimos encontrados en los diferentes puntos de muestreos de la laguna La Encantada.	40
Figura 14. Grafico de CE Vs Profundidad de los valores máximos y mínimos encontrados en los diferentes puntos de muestreos de la laguna La Encantada.	43
Figura 15. Grafico de Turbidez Vs Profundidad de los valores máximos y mínimos encontrados en los diferentes puntos de muestreos de la laguna La Encantada.....	44
Figura 16. Gráfico de OD Vs Profundidad. (Las letras A, B, C, D, E, F Y G son las columnas de agua de los puntos muestreados en la Laguna La Encantada.	46
Figura 17. Puntos de muestreos de DQO en el 2017 en la lagua la encantada.	47
Figura 18. Puntos de muestreos de DQO y DBO en Septiembre del 2018 en la lagua la encantada.	48
Figura 19. Gráfico de DQO y DBO.....	49
Figura 20. Puntos de muestreo para Clorofila-a en La Laguna La Encantada.	50
Figura 21. Grafico de los datos obtenidos de Clorofila-a.	51

Agradecimientos

A gradezco a Dios, por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Francio Eladio Reyes Ruiz y Margarita De La Rosa Antonio quienes con su amor, trabajo, dedicación y sacrificio en todos estos años me han permitido llegar a cumplir uno de mis sueños, gracias por inculcarme buenos principios y valores.

A mis hermanas Brenda y Erika por todo su apoyo incondicional y por los buenos consejos que siempre me han brindado.

Agradezco al M.c. José Humberto Castañón González quien fue mi asesor y guía en esta Residencia profesional, gracias por darme la oportunidad de participar en este proyecto y por compartir sus conocimientos a lo largo de mi formación académica.

Finalmente quiero agradecer a mi cuñado Iván Gómez y a mi novio Anthony por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles durante este proceso y por darme ánimos para continuar.

Resumen

El Parque Nacional “Lagunas de Montebello” es uno de los sitios natural más hermoso del estado de Chiapas, contando con 60 lagunas que difieren en tamaño, forma y tonalidad de agua. Se realizó un estudio ambiental de la calidad del agua de la Laguna La Encantada para la determinación de parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Turbidez. Se realizaron otras determinaciones tales como Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno y Clorofila tipo-a en los diferentes puntos de la Laguna La Encantada. Los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos indicaron que los parámetros de temperatura presentaron un comportamiento metalimnion e hipolimnion a diferentes profundidades del lago indicando un valor mínimo de 21.01 °C y máximo de 26.25°C. Los resultados obtenidos de pH presentaron un valor mínimo de 6.91 y máximo de 8.95. La CE presento valores mínimos de 372.82 uS/cm y máximo de 409.12 uS/cm. La Turbidez mínima reportada es de 54.01 NTU y máxima 69.13 NTU. El OD mínimo es de 4.82 mg/L y un máximo de 8.98 mg/L. DQO mínimo de 62.14 mg/L y un máximo de 86.7 mg/L. Los valores mínimos y máximos de DBO₅ son de 0.63 mg/L y 2.45. Los resultados de clorofila-a presentaron un valor mínimo de 5.4 y máxima de 40.82. Los resultados indican que el estado trófico de La Laguna La Encantada es Eutrófico.

Palabras Claves: Eutrófico, Estudio ambiental, Calidad de agua, parámetro Fisicoquímicos, Lagunas de Montebello. Laguna La Encantada.

1. Introducción

La contaminación de los cuerpos superficiales de agua es un proceso incipiente debido a acciones antrópicas, entre las que destacan agricultura de exportación, ganadería y crecimiento desordenado de las áreas residenciales tanto a nivel urbano como rural (Aguirre *et al.*, 2016).

La introducción de agentes contaminantes de origen antrópico, son cada vez más agresivos y que por su naturaleza química son más difíciles de tratar. Además, el cambio de uso de suelo influye significativamente sobre el paisaje alterando ecosistemas y recursos naturales (Rodríguez & autores, 2002) (Álvarez *et al.*, 2008).

Como consecuencia de estas actividades antropogénicas, es necesario evaluar la calidad de los cuerpos hídricos basada en el monitoreo espacial y temporal, para establecer diagnósticos de calidad e implementar programas de restauración, preservación y conservación de cuencas estratégicas.

La calidad del agua superficial regularmente es estudiada a través de la cuantificación de características físico, químicas y biológicas del agua (Demin, 2013; Montalvo *et al.*, 2013). Sin embargo, existen agrupaciones de estas características denominados índices de calidad del agua, desarrollados con fines específicos de conformidad con los usos del agua, o como resultado de políticas de monitoreo y evaluación de la calidad del agua superficial a nivel de región o país (Babaei, 2011; Semiromi & Naderi, 2011; Ban *et al.*, 2014).

2. Justificación

El parque nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, es considerado como uno de los escenarios naturales más bellos de México. En el cual se puede encontrar una gran variedad de lagos krásticos que varían en forma, tamaño y tonalidades del agua. Este sistema de lagos cumple una función ecológica de vaso regulador regional, regulador climático y corredor biológico además de servir como fuente de sustento de un número considerable de comunidades que viven de los ingresos generados por el turismo (CONANP-SEMARNAT, 2007).

En las últimas tres décadas este sistema ha soportado múltiples presiones socioeconómicas (IMPLAN Comitán, 2015). El cambio de uso de suelo y como consecuencia la deforestación son algunas de las actividades a las que se le atribuye la modificación de la calidad físico-química del agua de los lagos. Estos cambios son más evidentes en los lagos conectados superficialmente con el sistema hidrológico del Río Grande de Comitán, mostrando fuertes cambios de coloración, burbujeo y olores fétidos.

Como consecuencia de las actividades antropogénicas, los ecosistemas acuáticos presentan una degradación acelerada, asociada al incremento en la explotación del suelo, los cuales tiene efectos irreversibles sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que presentan. (Cabrera y Ramírez 2014, Gómez *et al.*, 2016).

El desarrollo del presente estudio responderá a la problemática que se enfrenta la población local, la cual consume el vital líquido para uso de sus necesidades ignorando si es apta o no para consumo humano, así mismo la zona que colindante posee una alta actividad agrícola la cual puede verse afectada ya que una cantidad excesiva de contaminantes inorgánicos pueden producir algunas alteraciones en las plantas, lo cual dañaría la economía local que en su mayoría se dedican a esta actividad.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinación de parámetros fisicoquímicos en la laguna la encantada, usando el método de grillas.

3.2. Objetivos específicos

- Medición y recolección de datos fisicoquímicos *in situ* de la laguna la encantada los cuales serán comparados con las normas internacionales y las normas Mexicanas.
- Determinación de la demanda química (DQO) y demanda bioquímica (DBO₅)
- Cuantificación *ex situ* de parámetros fisicoquímicos en muestras de agua provenientes de la Laguna la Encantada siguiendo las Normas nacionales e Internacionales.

4. Caracterización del área en que participo.

El estudio ambiental se llevó a cabo en la Laguna la encantada perteneciente al PNLM y en laboratorio No. 9 del Polo del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; bajo la dirección del M.C. José Humberto Castañón González.

5. Problemas a resolver

Debido al grado de contaminación que se ha presentado en los últimos años en algunas de las lagunas de parque nacional Lagos de Montebello. Se ha puesto en marcha el estudio ambiental de la Laguna la encantada, para llevar a cabo el monitoreo de la calidad del agua de dicha laguna para posteriormente dar aviso a las autoridades correspondiente del problema ambiental que se presenta que esta lagunas presenta y así mismo promover programas de monitoreo a la calidad de agua para la preservación y conservación de la laguna. De igual manera llevar a cabo futuros estudios ambientales en otras lagunas para la prevención de la contaminación de estas.

6. Alcances y limitaciones

Este estudio ambiental permite realizar un monitoreo de temperatura, pH, CE y turbidez de Laguna La Encantada, posterior al monitoreo que se realizó por varios días a diferentes puntos de la laguna y diferentes profundidades, se llevó a cabo la toma de muestras de agua para realizar determinaciones de DBO y DQO en el laboratorio No. 9 del polo del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Las limitación a la que se enfrentó al realizar este estudio ambiental, fue principalmente no contar con el equipo de campo necesario para realizar el monitoreo de la laguna, el equipo con que se contaba presentó algunos daños físicos por lo que surgió la necesidad de conseguir por otros medios los equipos y sensores para el monitoreo de la laguna y en consecuencia a esto se retrasó unas semanas el monitoreo y recolección de las muestras de agua, provenientes de la Laguna La Encantada.

Otro factor que también hizo que el estudio fuera algo complicado fue la ubicación de nuestra área de estudio, ya que al ser un lugar retirado de nuestra institución donde se realizaron los demás determinaciones, tuvimos la necesidad de buscar el medio en el que nos trasladarnos al lugar de estudio.

6. Marco teórico

6.1. Historia del parque nacional lagunas de Montebello

Colindando con Guatemala se encuentra el Parque Nacional Laguna de Montebello cubriendo una extensión de seis mil hectáreas. Con sus bosques de roble, pino, liquidámbar y encino la imagen chiapaneca muta de las regiones selváticas al más puro ambiente de montañas.



Figura 1. Parque Nacional Laguna de Montebello (PNLM)

Fuente: Jiménez, V. Chiapas Guía para descubrir los encantos del estado. 2014.

Protegido desde 1959, el Parque Nacional Laguna de Montebello oculta en su interior hermosas joyas naturales como sus cavernas, senderos y sobre todo sus peculiares lagunas. Cincuenta y nueve espejos de agua ponen la magia de este espacio cubriendo el 18 por ciento del parque y atrapando la mirada de los aventureros que observan el bello cromatismo de sus aguas, las cuales se muestran, en un intenso azul turquesa (Jiménez, 2014).

Este entorno contiene una densa vegetación arbórea que contribuye a la absorción de gases invernadero, a la preservación de valores paisajísticos y la conservación de los suelos (UNESCO, 2009). Además, el parque supone una fuente de recursos hídricos y forestales para las comunidades que se asientan en sus inmediaciones, las cuales

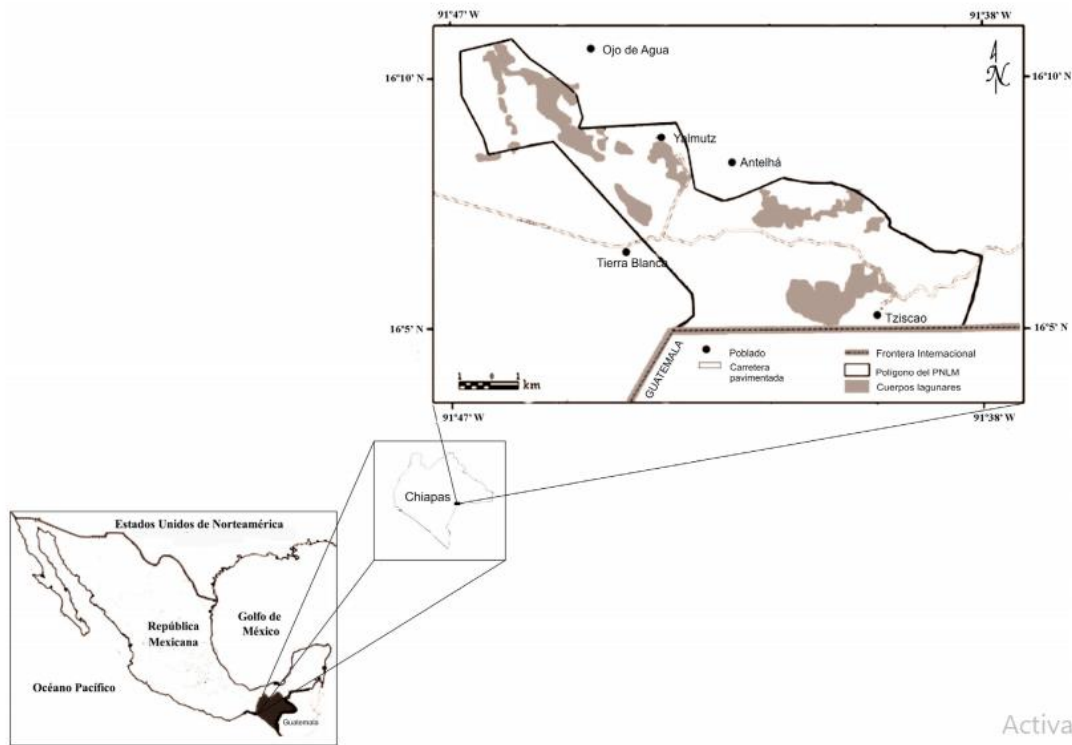
corresponden a dos grupos étnicos de origen Maya: éstos son Mame y Chuj. Dentro del polígono del parque se encuentra la comunidad de Tzisco, misma que hace uso de algunas porciones de tierra dentro del parque para fines agrícolas orgánicos (principalmente café). Del mismo modo, en las cercanías del parque otras comunidades hacen uso de porciones de tierras, cada vez más extensas, para el cultivo de café, frijol, jitomate y maíz, en donde para la mayoría de estos cultivos se utilizan agroquímicos (principalmente fertilizantes y plaguicidas) que potencializan la productividad.

Desde hace unos años, se detectó un problema de contaminación del agua en distintos cuerpos lacustres situados al interior del parque. Esto podría estar relacionado con la ampliación de zonas de cultivo en las afueras de la reserva, lo que conllevaría un aumento en el uso de agroquímicos que podrían estar relacionados con la contaminación del agua en los distintos cuerpos del sistema lagunar. (Duran *et al.*, 2014).

Diversas instituciones y organizaciones, entre las que se encuentran: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través de los institutos de Geología, Geofísica, Biología, Ecología, de Ciencias del Mar y Limnología, así como la Universidad Autónoma de Metropolitana (UAM) y el Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A.C. (IDESMAC), han comenzado a estudiar la región con la finalidad de comprender la raíz del problema de contaminación de las aguas en el parque y proponer medidas paliativas. (Duran *et al.*, 2014).

6.1.1. Localización

El Parque Nacional Laguna de Montebello se localiza al sureste del Estado de Chiapas, muy cerca del límite fronterizo con Guatemala. Entre los paralelos 16° 5' y 16° 10' de latitud norte y los meridianos 91° 38' y 91° 47' de longitud oeste (Figura 2). El Parque Nacional Lagunas de Montebello cubre un área total de unos 60 km² y se distribuye a lo largo del intervalo altitudinal de 1200 – 1800 msnm.



Activar V

Figura 2. Localización del área de estudio, polígono del Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM).

Fuente: Dura et al, 2014. Cartografía geomorfológica a escala 1:50000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). Boletín de la sociedad geológica Mexicana.

6.1.2. Clima

El clima predominante en la zona de estudio es templado húmedo a subhúmedo con lluvias todo el año (García-Amaro, 1988). La temperatura media anual es de ~17 °C y la precipitación total anual es de ~1800 mm (CONANP, 2011). Estas condiciones climáticas características de la zona favorecen una diversidad en el tipo de suelos, vegetación y fauna que se puede encontrar en el parque.

Los tipos de suelo son: litosoles, rendzinas, vertisoles, acrisoles, fluvisoles y gleysoles (Vázquez *et al.*, 1994).

6.1.3. Flora y fauna

Entre sus principales ecosistemas se encuentran bosques de coníferas, bosques de lluvia, vegetación acuática y subacuática. Hay registradas 208 especies de árboles, 50 de orquídeas y un gran número de helechos y plantas epífitas. Es el hábitat de al

menos 277 especies de aves, 65 de mamíferos y 35 especies de reptiles. También se reconocen 106 especies amenazadas y 27 endémicas (originarias de esta región).

El parque conserva una importante reserva forestal e hidrológica y alberga a más de 50 lagunas de bellos colores verde-azulados. Es reconocido como un Área de Importancia para la Conservación de las Aves, y como humedal de importancia mundial, Sitio Ramsar, desde el 2003 (SEMARNAT, 2016)

6.2. Calidad del agua de lagos y reservas

Las condiciones de calidad del agua en lagos y reservas se encuentran influenciadas por la magnitud y ruta de los flujos químicos y energéticos que pasan a través de ciclos biogeoquímicos. Las perturbaciones culturales de dos de dichos ciclos, el fósforo y el nitrógeno, causan un problema de calidad del agua de amplio interés: eutrofización (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

6.2.1. Estratificación térmica de lagos y reservas

Una gran diferencia entre los lagos y los ríos yace en los medios de transporte de masas. Los ríos están completamente mezclados, mientras que en las latitudes templadas, los lagos se someten a estratificación térmica, dividiendo el sistema en capas y restringiendo el transporte de masas. Los periodos de estratificación se alternan a un máximo con periodos de mezcla total con transporte de masas. La restricción de transporte de masas durante la estratificación influye en el ciclo de muchas especies químicas (como hierro, oxígeno y fósforo) y puede tener efectos profundos sobre la calidad del agua. El proceso de estratificación térmica se lleva a cabo por la relación entre la temperatura del agua y la densidad. La densidad máxima del agua se da a 3.94° C (figura 3). Entonces el hielo flota y los lagos se congelan de arriba hacia abajo, en vez de abajo hacia arriba, como lo harían si su máxima densidad fuera a los 0° C. (Considere las implicaciones de la situación opuesta.) Durante la

estratificación del verano, una capa superior de agua tibia, menos densa, flota sobre una capa de agua fría, más densa.

A las capas se les asignan tres nombres como se muestra en la figura 4: 1) el epilimnion, una capa superficial tibia, bien mezclada; 2) el metalimnion, una región de transición en donde la temperatura cambia al menos 1° C con cada metro de profundidad y, 3) el hipolimnion, una capa de fondo fría bien mezclada. El plano en el metalimnion en donde la gradiente de temperatura-profundidad está más empinada se llama termoclina.

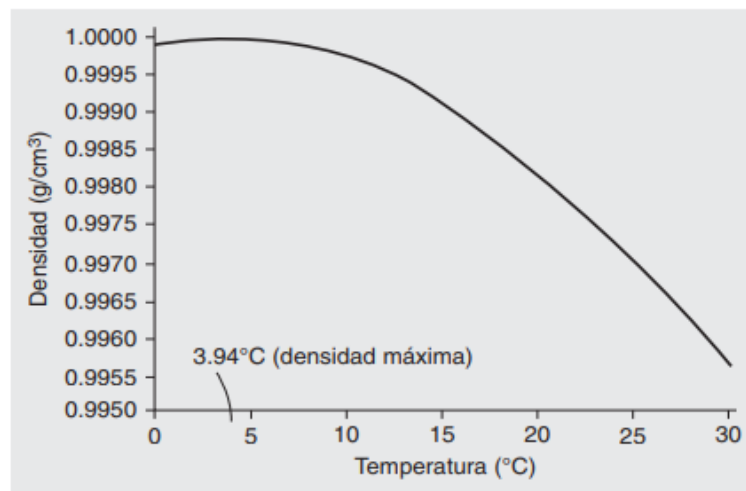


Figura 3. Densidad máxima del agua.

La densidad máxima se da a los 3.94° C. Por lo tanto, el agua a aproximadamente 4° C se encontrará por debajo de las aguas más frías (hielo a 0° C) en el invierno y las más calientes (20° C) en el verano. Fuente : Mihelcic (1999). Reimpreso con permiso de John Willey & Sons, Inc.

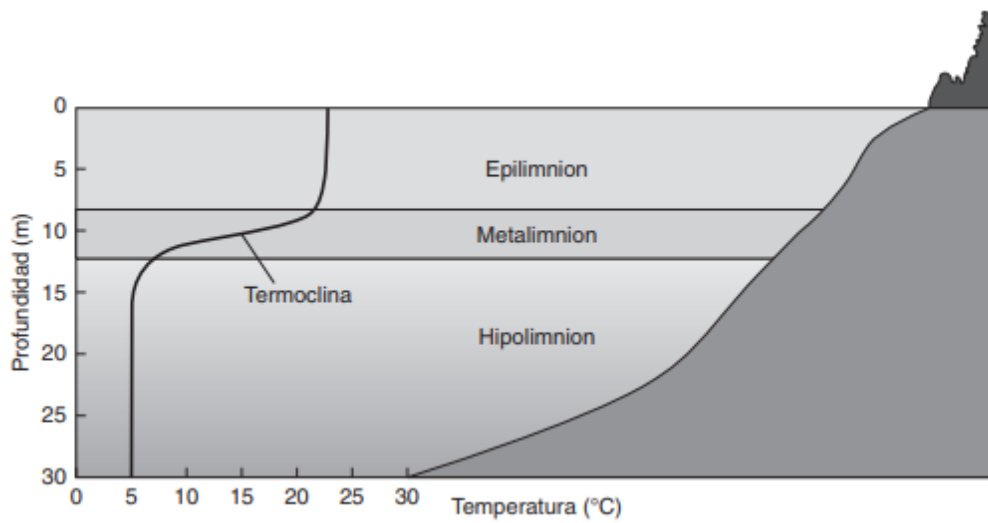


Figura 4. Perfil de temperatura de mitad de verano para un lago estratificado térmicamente.

Advierta el epilimnion, el metalimnion (con una termoclina) y el hipolimnion. Fuente : Mihelcic (1999). Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.

Los procesos de estratificación y desestratificación (mezcla) siguen un patrón estacional predecible como se muestra en la figura 5. En el invierno, el lago es térmicamente estratificado con agua fría ($\sim 0^{\circ}\text{C}$) cerca de la superficie y con aguas más calientes (2°C a 4°C) y densas cerca del fondo. A medida que la superficie se calienta hacia los 4°C en la primavera, se hacen más densas y se sumergen, sacando a las aguas más frías a la superficie para que se calienten.

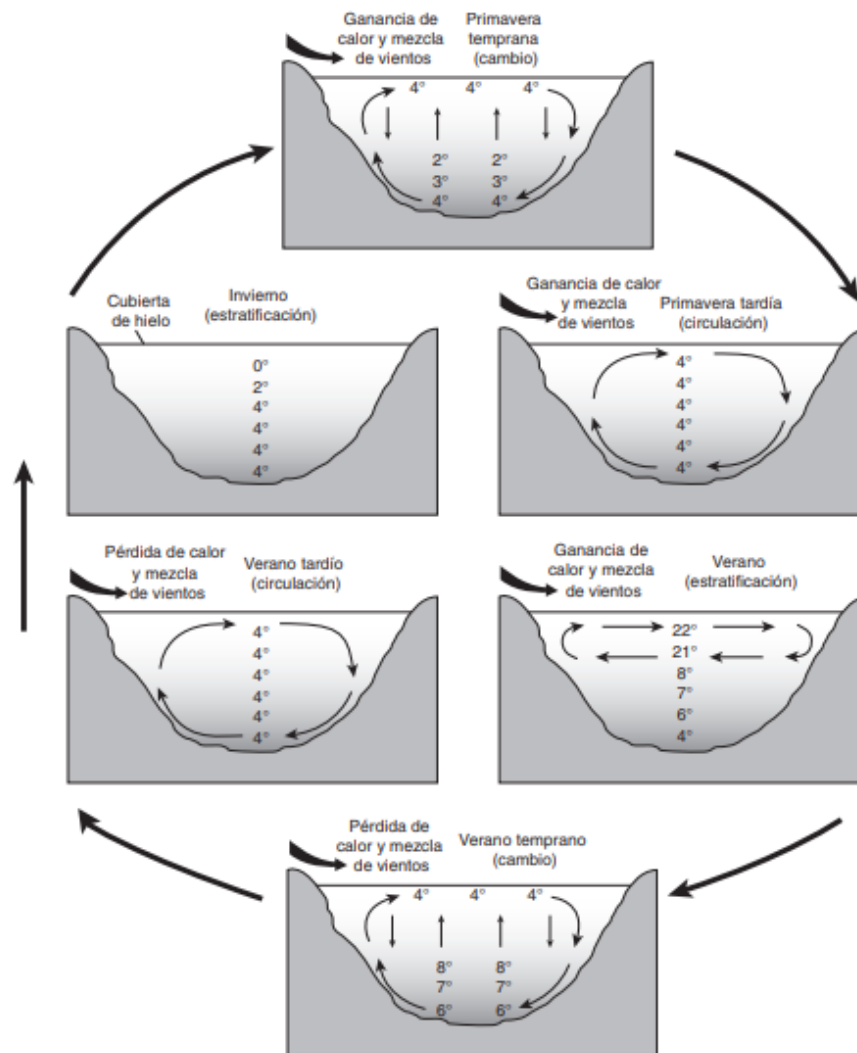


Figura 5. Ciclo anual de estratificación, cambio y circulación en lagos y reservas templados.

La variación en las condiciones meteorológicas (temperatura, velocidad del viento) pueden causar una variación significativa al tiempo y extensión de estos eventos. Fuente: Mihelcic (1999). Reimpreso con permiso de John Wiley & Sons, Inc.

El proceso de mezclado por convección, ayudado por la energía del viento, hace circular la columna de agua, llevándola a una condición isotérmica llamada cambio de primavera. A medida que las aguas del lago comienzan a calentarse por arriba de los 4° C, el lago se estratifica térmicamente.

Las aguas superficiales son significativamente más calientes y menos densas que las aguas más bajas durante la estratificación de verano. En el otoño se reduce el ingreso solar y se pierde el calor del lago más rápidamente de lo que se gana. A medida que las aguas superficiales se enfrían, se hacen más densas, se hunden y promueven la circulación a través de la convección, ayudadas por el viento. Este fenómeno, llamado cambio de otoño, otra vez lleva a condiciones isotérmicas. Finalmente, a medida que el lago se enfría más, las aguas frías de baja densidad se reúnen en la superficie, y el lago reingresa a la estratificación de invierno (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

6.3. Parámetros fisicoquímicos

6.3.1. Temperatura

La temperatura es un parámetro muy importante en la vida del cuerpo de agua, pues la existencia de la biota depende directamente de la temperatura. La biota tiene rangos de tolerancia para diferentes factores: acidez, cantidad de nutrientes, porcentaje de humedad y temperatura. Asimismo, la temperatura tiene efectos directos o indirectos sobre la mayoría de las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el agua y la solubilidad de los gases en el agua. El efecto de un cambio en la temperatura se manifiesta en un cambio en la cantidad de nutrientes, así como gases solubles, de los cuales el más importante es el oxígeno. Si la temperatura aumenta, se aceleran las reacciones que envuelven la disolución de sólidos, pero decrece la solubilidad de los gases, por lo que no se oxidan los elementos orgánicos (Campos., 2000).

La tasa metabólica de los organismos acuáticos también se relaciona con la temperatura. Aguas más calientes incrementan la tasa de respiración (Baulch *et al.*, 2005), lo cual conduce a un aumento en el consumo del oxígeno disuelto (OD) y en la descomposición de la materia orgánica. El incremento de la temperatura favorece la tasa de crecimiento de bacterias (Rae & Vincent, 1998) y fitoplancton (Adrian *et al.*, 2006). También puede ocurrir crecimiento de macrofitas (Jeppesen *et al.*, 1998) y

floreCIMIENTO de cianobacterias cuando existe suficiente cantidad de nutrientes disponibles (Jöhnk *et al.*, 2008; Wagner y Adrian, 2009).

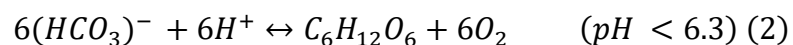
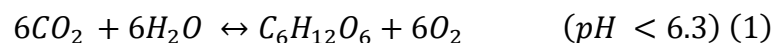
Los cambios en la temperatura del agua provocan variaciones en su densidad. A valores altos de temperatura le corresponde una mayor variación de la densidad por unidad de temperatura (Wetzel, 1975).

6.3.2. Potencial de Hidrogeno (pH)

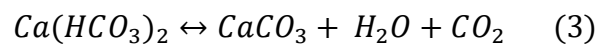
Muchos factores naturales pueden influir sobre el pH pero su valor depende fundamentalmente del balance entre dióxido de carbono, bicarbonato y carbonato, así como de la presencia de otras sustancias naturales como los ácidos húmico y fúlvico (Chapman, 1996). Su medición debe realizarse in situ o inmediatamente después de haber tomado la muestra.

A su vez el pH es una variable que influye en los procesos biológicos y químicos que se desarrollan dentro de un cuerpo de agua (Lampert y Sommer, 2007). Regula los procesos biológicos como la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno (Lampert y Sommer, 2007). Sus variaciones pueden tener efecto marcado sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel del ecosistema (Fuentes y Massol-Deyá, 2002). La influencia del pH sobre la distribución de especies le confiere utilidad a esta variable para estudios paleolimnológicos (Catalán *et al.*, 2009).

Los procesos de fotosíntesis y respiración pueden tener un efecto marcado sobre el pH del agua en dependencia del equilibrio carbonato-bicarbonato-dióxido de carbono y de la prevalencia de la especie de carbono inorgánico que esté presente en el agua. De forma simplificada la fotosíntesis se puede representar por las ecuaciones:



En la ecuación (1) se representa el predominio en el agua del dióxido de carbono. En este caso no se consumen iones hidronios cuando se asimila una molécula de dióxido de carbono. En la ecuación (2) se representa el predominio del ión bicarbonato (HCO_3^-) - en el agua y el consumo de un ión hidronio por cada molécula de (HCO_3^-) - consumida en la fotosíntesis, lo cual provoca un aumento del pH del agua (las reacciones inversas representan el proceso de la respiración). Para valores de pH inferiores a 6.3 predomina el dióxido de carbono como especie inorgánica y la respiración y la fotosíntesis tienen poco efecto sobre el pH, porque no hay consumo de iones hidronios (Lampert y Sommer, 2007).



Según la ecuación (3) la remoción del CO_2 como consecuencia de la actividad fotosintética desplaza el equilibrio hacia la derecha, lo cual provoca un aumento de pH y la precipitación del carbonato de calcio. La ecuación antes señalada explica la descalcificación del agua en lagos y embalses productivos (Wetzel, 1975).

La asimilación de nitrógeno por los organismos acuáticos puede afectar el pH del agua. Si se usan los iones de nitrógeno amoniacal como fuente de nitrógeno se debe liberar una cantidad equivalente de iones hidronios para mantener el balance de carga. Cuando el nitrato es el ión asimilado, por el contrario se debe consumir una cantidad equivalente de iones hidronios. En general la asimilación de nitrógeno no influye tanto en el pH como la asimilación del carbono en la fotosíntesis y su efecto sobre éste es más notable. Cuando el pH del agua es inferior a 6.3 la fotosíntesis tiene un efecto menor sobre el mismo por los bajos valores de (HCO_3^-) - en el agua (Lampert y Sommer, 2007).

Como se explicó anteriormente el pH también influye en los procesos químicos desarrollados en el agua. Son múltiples los estudios donde la medida del pH se utiliza para interpretar resultados sobre la liberación de metales (Gammons *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2008; Yin *et al.*, 2008) y nutrientes (Jin *et al.*, 2005; Marín *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2005) desde los sedimentos de los cuerpos de agua. La superficie activada de los oxihidróxidos metálicos es una función del pH del medio (Davranche y Bollinger, 2001). También es una variable a considerar cuando se necesita determinar la especiación

química y solubilidad de sustancias presentes en el agua (Hanrahan *et al.*, 2005). Además interviene en el proceso de lavado de la roca, y se ha encontrado una relación inversa entre el intemperismo y el pH (Abesser y Robinson, 2010).

La influencia del pH sobre el balance del carbono total fue demostrada por Finlay *et al.* (2009). La investigación referida se efectuó en seis lagos situados en el norte de las Grandes Llanuras de Canadá. Durante 14 años se observó una alta fluctuación en los valores de CO₂ relacionada con los cambios de pH: cuando el pH fue superior a 8.6 los lagos actuaron como receptores del CO₂ atmosférico, mientras que para valores inferiores a este el CO₂ se expulsó desde los lagos hacia la atmósfera. De forma similar, se encontró una dependencia entre las fluctuaciones del CO₂ y los valores del pH, y se demostró que los lagos salinos actuaron como sumideros de CO₂ cuando el pH fue superior a 9 (Duarte *et al.*, 2008).

6.3.3. conductividad eléctrica

La conducción de la corriente eléctrica en agua, puede explicarse por medio de la disociación electrolítica. Cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos. (NMX-AA-093-SCFI-2000)



Los iones se mueven independientemente y se dirigen a los electrodos de carga opuesta mediante la aplicación de un campo eléctrico.

La cantidad de moléculas que se han disociado depende de la concentración de la solución. Las soluciones, al igual que los conductores metálicos obedecen a la Ley de Ohm, excepto en voltajes muy elevados y corrientes de frecuencia muy alta.

Si en una solución electrolítica se colocan dos electrodos de área A separados por una distancia d, y se aplica un campo eléctrico E, la diferencia de potencial V entre los electrodos será proporcional a la distancia d y al campo eléctrico E.

$$v = dE \quad (1)$$

Dónde:

V es la diferencia de potencial entre los electrodos en volts;

E es el campo eléctrico aplicado en amperes

D es la distancia de separación entre las placas en cm.

La conductancia específica o conductividad σ es inversamente proporcional a la resistencia eléctrica y está definida por la relación:

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad (2)$$

Dónde:

J es la densidad de corriente

E es la carga eléctrica.

La densidad de corriente J se define a su vez por la ecuación:

$$J = \frac{I}{A} \quad (3)$$

Dónde:

I es la intensidad de corriente,

A es el área.

Combinando las ecuaciones (1), (2), y (3) se obtiene que la diferencia de potencial V es:

$$V = \frac{Id}{A} \quad (4)$$

Al valor $d/\sigma A$ se le conoce como la resistencia que presenta la disolución al paso de la corriente y se denota por la letra R.

$$R = \frac{d}{\sigma A} \quad (5)$$

Por lo que la ecuación (4) se transforma en la ley de Ohm.

$$V = \frac{IR}{\sigma} \quad (6)$$

De la ecuación (5) se obtiene que las unidades de la conductancia específica sean:

$$\sigma = \frac{d}{RA} = \frac{\text{cm}}{\text{ohm} \times \text{cm}^2} = \frac{1}{\text{ohm} \times \text{cm}} = \frac{\text{Siemen}}{\text{cm}} \quad (7)$$

La ecuación anterior permite el cálculo de la conductancia específica de la disolución conociendo su resistencia y las dimensiones de la celda de conductividad.

Se define como constante K de la celda de conductividad a la relación existente entre la distancia de los electrodos d, y su área A.

$$K = \frac{d}{A} \quad (8)$$

Por lo que la fórmula de conductividad está dada por:

$$\sigma = \frac{K}{R} \quad (9)$$

Una vez medida la resistencia de la solución o su inverso la conductividad y conociendo la constante de la celda se conoce la conductancia específica de la solución σ .

6.3.4. turbidez

Este parámetro mide el grado en que la luz es absorbida o reflejada por el material suspendido, por lo que la podemos considerar como una medida del efecto de los sólidos suspendidos en el cuerpo de agua.

La turbiedad no es una medida directa de la cantidad de sólidos suspendidos, puesto que la turbiedad es función de la forma y características de la superficie del material suspendido.

El efecto que la turbiedad causa en el agua es que interfiere en la penetración de la luz, por lo que afecta el proceso de fotosíntesis (Campos, 2000).

6.3.5. oxígeno disuelto

El oxígeno es esencial para la mayoría de los organismos vivos dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Se considera una de las variables más importante para el estudio de la calidad del agua; es indicadora de los diferentes estados tróficos,

del grado de contaminación, de la salud ecológica de los cuerpos de agua y de estudios para evaluar el cambio climático (MacKay *et al.*, 2009). En el medio acuático es necesario en los procesos de fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica (Fuentes y Massol-Deyá, 2002), así como la liberación de nutrientes desde los sedimentos (Sondergaard *et al.*, 2003). Esta variable es ampliamente usada para estudios de diferentes tipos sobre la calidad del agua (AlShaibani, 2008; Nabi-Bidhendi *et al.*, 2007; Quiroz *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2006; Staehr y Sand-Jensen, 2006).

La solubilidad del oxígeno varía inversamente con la temperatura y la salinidad. En el agua dulce su concentración oscila entre 15 mg/L a 0°C y 8 mg/L a 25°C. El OD se puede expresar en términos de porcentaje de saturación, niveles inferiores a 80% puede provocar el rechazo de los consumidores como resultado del olor y sabor del agua (Chapman, 1996).

Existe una relación directa entre la solubilidad de los gases y la presión atmosférica, por lo tanto la altitud a la cual se ubica un cuerpo de agua puede afectar la cantidad de OD. La presión hidrostática ejercida por las masas de agua también puede afectar la solubilidad del oxígeno. La turbulencia favorece el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera de manera que a mayor turbulencia, se incrementa la exposición del agua al aire, y se incrementa la concentración de oxígeno en el agua (Wetzel, 1975).

En relación a los procesos biológicos, la fotosíntesis genera oxígeno mientras que la respiración consume oxígeno, por lo tanto las tasas de fotosíntesis y producción así como la distribución de los organismos en la columna de agua pueden afectar la distribución vertical del oxígeno (Hem, 1985).

En los embalses la concentración de OD varía en dependencia del incremento de la productividad biológica como resultado de la entrada de nutrientes y de materia orgánica, del patrón de distribución térmica, de su estado trófico (Likens, 1972) así como de su ubicación geográfica, morfometría y condiciones meteorológicas. En Revista Agroecosistemas Vol.1 No.1: 78-103, 2013 83 sistemas con baja producción biológica (sistemas oligotróficos) la distribución vertical del OD está determinada principalmente por factores físicos (temperatura y turbulencia); en el epilimnio es

ligeramente menor que en el hipolimnio, ya que la temperatura en los estratos superiores es mayor que en los estratos inferiores (Wetzel, 1975). Esta distribución vertical de oxígeno, característica de un lago oligotrófico, se representa a través de una curva que se denomina ortógrada (Fig. 6) (Lampert y Sommer, 2007).

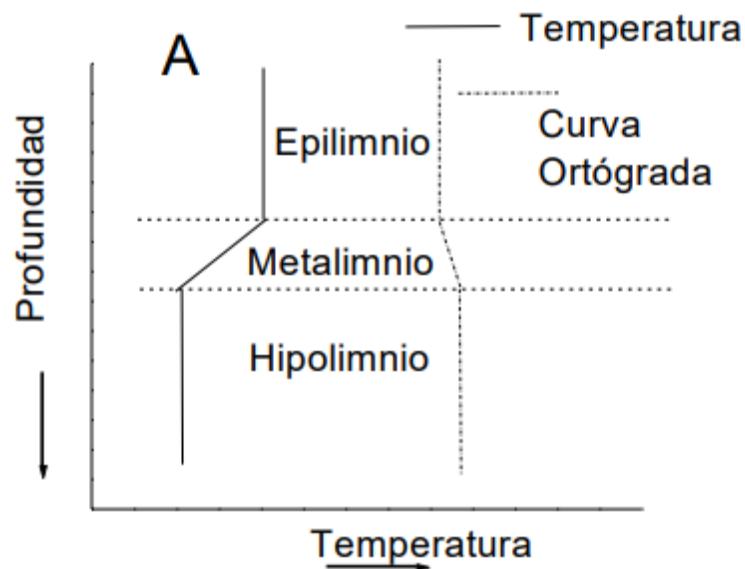


Figura 6. Curva ortógrada en embalses oligotróficos

Fuente: Wetzel, 1975.

En un embalse eutrófico durante el periodo de estratificación, la concentración de oxígeno tiende a ser elevada en los estratos superiores, donde se desarrolla la fotosíntesis con mayor intensidad. Sin embargo, esta productividad tan alta, genera gran cantidad de detrito (materia orgánica particulada muerta) que se va sedimentando y descomponiendo. El proceso de descomposición de la materia orgánica en los sedimentos consume oxígeno, y por ello el hipolimnio de un lago con una producción alta puede tener baja concentración de oxígeno o incluso ser anóxico (sin oxígeno). Este tipo de curva se denomina clinógrada de oxígeno (Lampert y Sommer, 2007) (Figura 7).

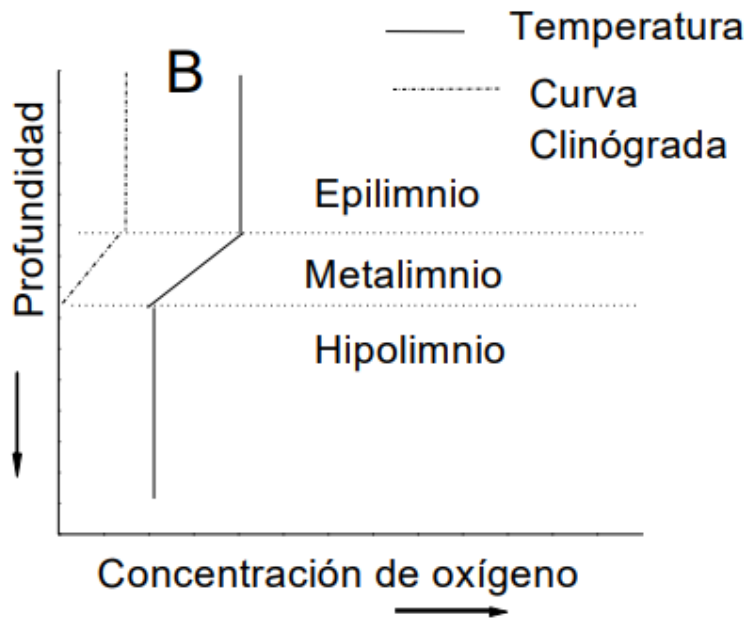


Figura 7. Curva clinógrada en embalses productivos

Fuente: Wetzel, 1975.

En ambos tipos de embalses, el periodo de circulación está acompañado por una distribución homogénea de oxígeno en toda la columna de agua.

La distribución vertical de oxígeno proporciona información sobre la condición trófica del lago (oligotrófica, mesotrófica, eutrófica) y sobre la distribución de los organismos planctónicos, bentónicos y de los peces. Igualmente ejerce gran influencia sobre los procesos de descomposición de materia orgánica y la presencia de reacciones de oxidación-reducción (Chapman, 1996).

6.3.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica mediante procesos biológicos aeróbicos (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa, por otro tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Se utiliza para determinar la concentración de las aguas. Cuando los niveles de la DBO son altos los niveles de oxígeno disueltos serán bajos,

ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Al haber menos oxígeno disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menor posibilidad de sobrevivir (Sánchez *et al.*, 2007).

Relacionado con la DBO, encontramos la DBO₅, que es la prueba en el laboratorio en el cual una muestra de agua se alimenta con bacterias y nutrientes, y se hace una incubación a una temperatura de 20 °C durante 5 días en la oscuridad, el valor de DBO se determina comparando el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia entre los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra y es la mejor aproximación del nivel de la DBO. La DBO se mide en ppm o mg/L. Los valores de DBO₅, pueden interpretarse con base en la tabla 1 (Sánchez *et al.*, 2007).

Tabla 1. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

DBO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con inicios de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descarga de aguas residuales crudas. Principalmente de origen municipal.
Mayor de 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

6.3.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico (Fernández & Curt, 2016).

La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta pH = 2- 3. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros.

6.3.5.2.1. Principio del método del dicromato potásico

En condiciones definidas, ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de dicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y de sulfato de mercurio. El exceso de dicromato potásico se valora con sulfato de hierro y amonio. (Fernández & Dolores, 2016).

6.4. Clorofila

las plantas, las algas y algunas bacterias, llevan a cabo el proceso de la fotosíntesis en un orgánulo especializado denominado cloroplastos. Dentro de los cloroplastos se encuentran una serie de membranas denominadas tilacoides. Los tilacoides contienen los pigmentos fotosintéticos capaces de interceptar la luz. Los principales pigmentos fotosintéticos son las clorofilas y los carotenoides (Feria *et al.*, 2007).

Las clorofilas a y b (figura 8) son los dos principales pigmentos fotorreceptores que se encuentran en las plantas superiores. Las dos formas son idénticas con excepción de que la clorofila a tiene un grupo metilo en el C-3 del anillo II y la clorofila b tiene un grupo formilo. Las clorofilas son magnesio-ferro-porfirinas (hemo) en los tipos y posiciones de los grupos de los grupos sustituyentes en el anillo tetrapirrólico además de tener fundido un anillo ciclopentanona (V). la cadena lateral hidrofóbica (compuesta

por cuatro unidades isoprenoides) de la clorofila es el fitol, alcohol esterificado al grupo ácido propiónico del anillo IV (figura 8).

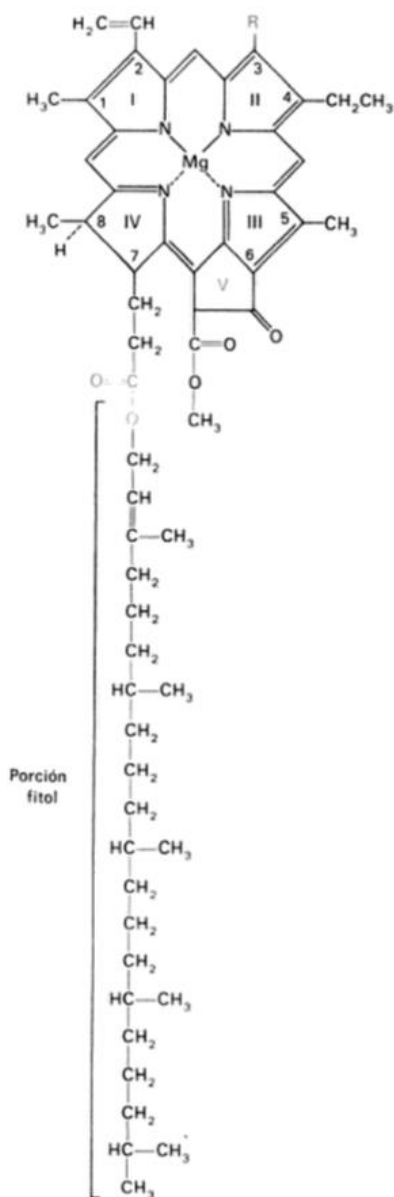


Figura 8. Estructura de la clorofila a y b.

En a, R = CH, en b, R = -CHO. Fuente: (Bradley & Peter, 1982)

La clorofila a y b absorben de manera efectiva ciertas longitudes de onda de la luz visible (400 a 700 nm) debido a sus sistemas de dobles enlaces conjugados. Los espectros de absorción similares aunque distintos de la clorofila a y la b los dos tipos de clorofilas se complementan mutuamente en la absorción de la luz para incrementar la cantidad total de energía solar atrapada en la fotosíntesis. La clorofila a se encuentra siempre presente en las células fotosintéticas productoras de oxígeno; se encuentra con la clorofila b en todas las plantas verdes y con la clorofila c en las algas marrones, diatomeas y dinoflagelados. Las algas cianofíceas sólo contiene clorofila a. (Bradley & Peter, 1982)

7. Metodología

El área de estudio de la Laguna La Encantada se encuentra localizada geográficamente en 16 ° 7"N 91 ° 43"O ubicado dentro de los Municipios de la Trinitaria e Independencia, Chiapas en temporada de lluvia.

Se llevó a cabo la localización y selección de los puntos de monitoreo de la calidad del agua de la Laguna La Encantada, ubicando cada punto con un GPS portátil de la marca Garmin e Trex modelo 010-00190-06 durante la temporada de lluvias.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo la medición de forma *in situ*: temperatura, pH, Conductividad eléctrica y oxígeno disuelto mediante un equipo de sensores multi paramétricos de la marca global wate®.



Figura 9. Ubicación de la Laguna La Encantada

Fuente: Google Maps, 2018.

7.1. Recolección y transportación de muestras

El 17 de septiembre del 2018 se llevó a cabo la toma de muestras en 7 diferentes puntos dentro de la laguna La Encantada. Las muestras recolectadas fueron almacenadas en frascos de vidrio color ámbar se llenaron los frascos a $\frac{3}{4}$ de su capacidad y se taparon perfectamente para luego ser almacenadas a temperatura de 4° y transportadas en un hielera al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en donde se llevó a cabo la determinación de la DBO_5 , DQO y clorofila.

7.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se realizó mediante la metodología definida en el método NMX-AA-028-scfi2001.

7.3. Demanda Química de oxígeno (DQO)

Se realizó mediante el método NMX-AA-030/1-SCFI-2012 para DQO, conservando la muestra a 2° - 5° C

7.4. Clorofila-a

Se determinó mediante espectrofotometría UV-Vis en los intervalos de absorbancia de 440-660nm método SM-Edición 21, 2005.

8. Resultados y Discusión de Resultados

Los resultados del estudio ambiental de la Laguna la Encantada perteneciente al PNLM permitió determinar los parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos de muestreo en la laguna con una distancia entre cada punto de 50 metros. Los resultados obtenidos de parámetros bioquímicos fueron los siguientes: Temperatura, pH, CE, Turbidez, OD, DQO, DBO y Clorofila tipo-a. A diferentes puntos de la laguna.

Temperatura.

Se obtuvieron resultados de temperatura de la laguna en los diferentes puntos de muestreo (figura 10.) y a diferentes profundidades de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 m (Tabla 2). El valor mínimo de temperatura que se presentó en toda la columna de agua es 21.02 °C y el valor máximo es de 26.25 °C. Los datos obtenidos de todos los puntos de muestreo dentro de la laguna se muestran en la (Tabla 3.)

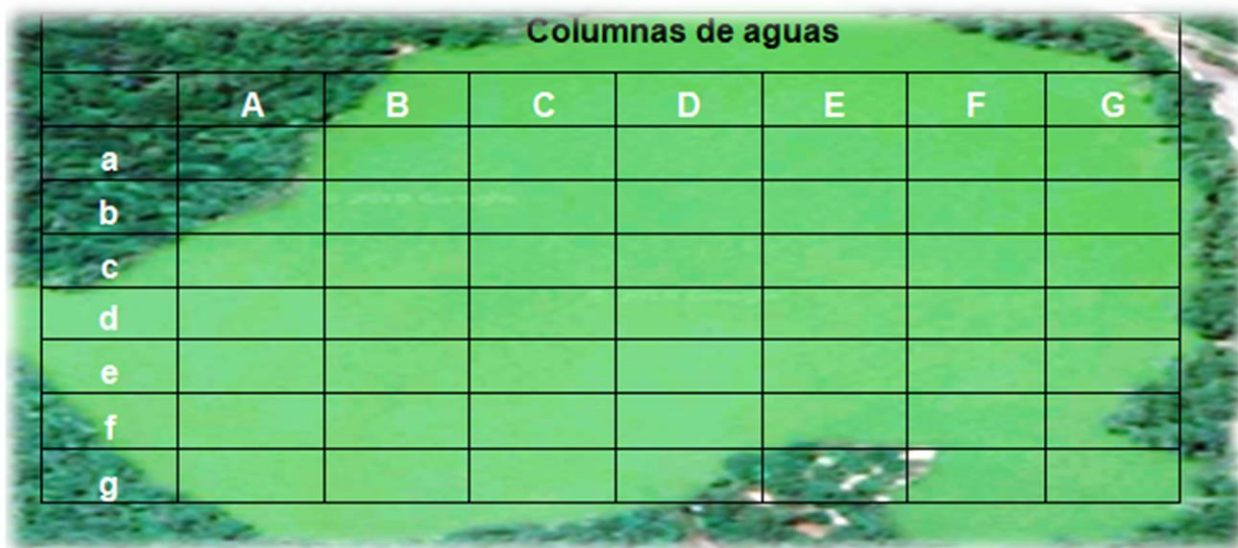


Figura 10. Puntos de muestreos en la Laguna la encantada. (Con una distancia entre cada punto de 50 m).

Tabla 2. Valores de temperatura en los diferentes puntos muestreados en la laguna La Encantada. Los valores máximos están marcados en color rojo y los valores mínimos están marcados en color verde).

Columnas de agua (T °C)							
0 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a				21.55	21.47	21.66	
b			21.02	21.48	23.56	22.45	21.58
c		22.47	22.14	22.85	22.63	24.84	24.36
d	23.01	22.09	22.08	21.07	24.58	24.63	24.63
e	25.6	23.09	22.3	21.56	25.06	24.09	24.01
f		23.21	23.01	25.46	22.31		
g		25.12	25.03		22.22		25.81
3 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a				22.01	21.49	21.65	
b			21.25	21.22	23.68	22.52	21.54
c		23.99	24.02	22.14	22.84	22.15	22.74
d	23.25	24.52	24.56	24.03	22.07	22.09	23.05
e	24.65	24.08	25.06	22.02	22.5	23.04	25.7
f		21.07	22.32	26.25	23.45		
g			22.23	25.01			25.83
6 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a				21.65	21.5	21.63	
b			21.25	21.22	23.65	22.52	21.55
c		23.96	25.01	22.23	22.79	22.17	22.51
d	24.55	24.56	24.66	22.09	22.15	23.04	
e	25.14	22.02	22.45	23.05	25.8		
f		25.9	23.14	26.25			
g							
9 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						21.65	
b			23.89	21.26	21.29	21.54	22.54
c		25.05	22.25	24.51	22.19	22.56	23.08
d		24.45	22.84	24.62	22.09	22.17	
e			25.41	22.08	22.47		
f		25.8	23.04				
g							
12 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						21.64	
b			21.12	21.26	23.75		
c			23.13	24.76	22.4	22.84	

d				23.01	22.54	22.16	
e			22.16	22.01	24.99		
f		21.46	21.09				
g							
15 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						21.65	
b			23.14	21.2	21.23	23.74	
c			24.03	21.99	21.56	21.03	
d				21.96	22.01	22.63	
e			23.63	21.06		21.03	
f							
g							

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de temperatura de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).

T (°C)				
Profundidad	Mín.	Máx.	Prom.	D.E
0	21.02	25.81	23.02	1.4
3	21.07	25.83	23.04	1.42
6	21.22	26.25	23.15	1.52
9	21.26	25.8	23.03	1.37
12	21.09	24.99	22.52	1.19
15	21.2	24.03	22.12	1.05

Los perfiles de temperatura muestran un resultado de flujo de calor hacia la columna de agua Ad, Ae y Bc formando una termoclina en una capa metalimnion, en donde la temperatura cambia al menos 1°C que van de 0 a 6 m de profundidad. La columna de agua Bd de 0 a 3 m muestra una capa metalimnion y de 3 a 9 metros presenta una capa hipolimnion con temperatura cálidas que van de los 24.42 °C a 3 m, 24.56°C a 6 m y 24.45°C a 9 m de en un flujo de corriente de agua constante. (Figura 11).

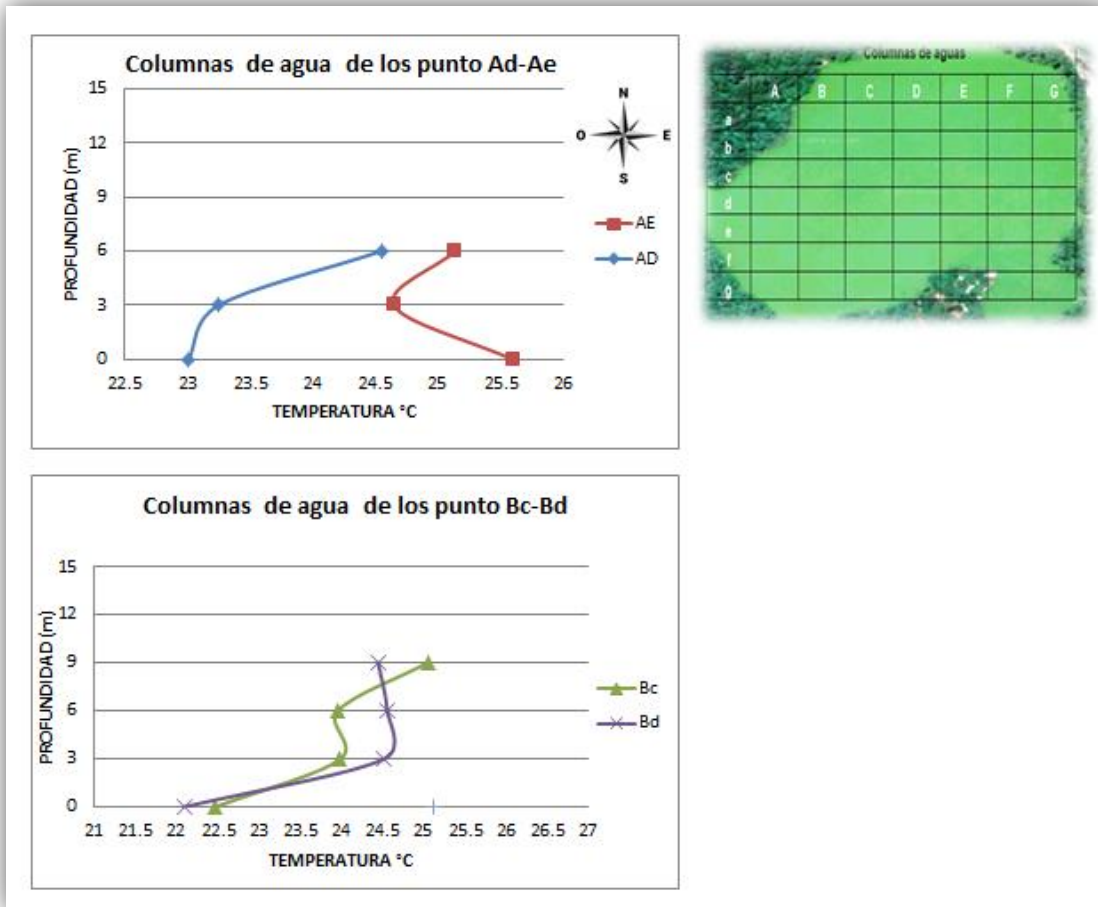


Figura 11. Perfiles de temperatura de las columnas de agua Ae, Ad, Bc y bd.

En la columna de agua Be forman una termoclina metalimnion la cual de 0 a 3 m asciende un casi 1 °C que va de 23.09 °C a 24.08 °C y a los 6 m el flujo de calor baja a 22.02 °C mientras que la columna Bf tiene un comportamiento metalimnion que va de los 23.21 °C a 21 0.7 °C, a 6 metros hay un pequeño incremento de 4.83 ° (25.9°C) y a los 12 m la temperatura tiene un descenso de 4.4 °C (21.46).La columna de agua Cb se forma una curva hipolimnion de 0 a 6 m, de 6 a 15 m forma una capa metalimnion muestra pequeñas variaciones en los perfiles de temperatura, Cc y Cd forman una capa metalimnion que van en una dirección de flujo de agua de sureste a suroeste. La estructura térmica que presenta la columna de agua Ce de 0 a 3 m toma un comportamiento metalimnion que oscilan a un incremento aproximadamente de 3°C, de 3 a 6 metros los flujos de calor disminuyen de 25.06 °C a 22.45 °C, a los 9m la temperatura tiene otro incremento de casi 3°C ya los 12 m la temperara disminuye. Cf a

cada 3 m de profundidad presenta poca variación en los perfiles de temperatura en un rango de 1°C en toda la columna de agua formando una capa metalimnion. Cg de 0 a 3 m tiene una disminución de 23.03°C a 22.23 °C.

(Vera *et al.*, 2015) Realizaron un estudio de los perfiles de temperatura y OD en la laguna La Encantada y Montebello los lagos se encuentran estratificados mostrando una termoclina estrecha en la Laguna la encantada con temperatura mínima de 18.1 °C y máxima de 24.9°C.

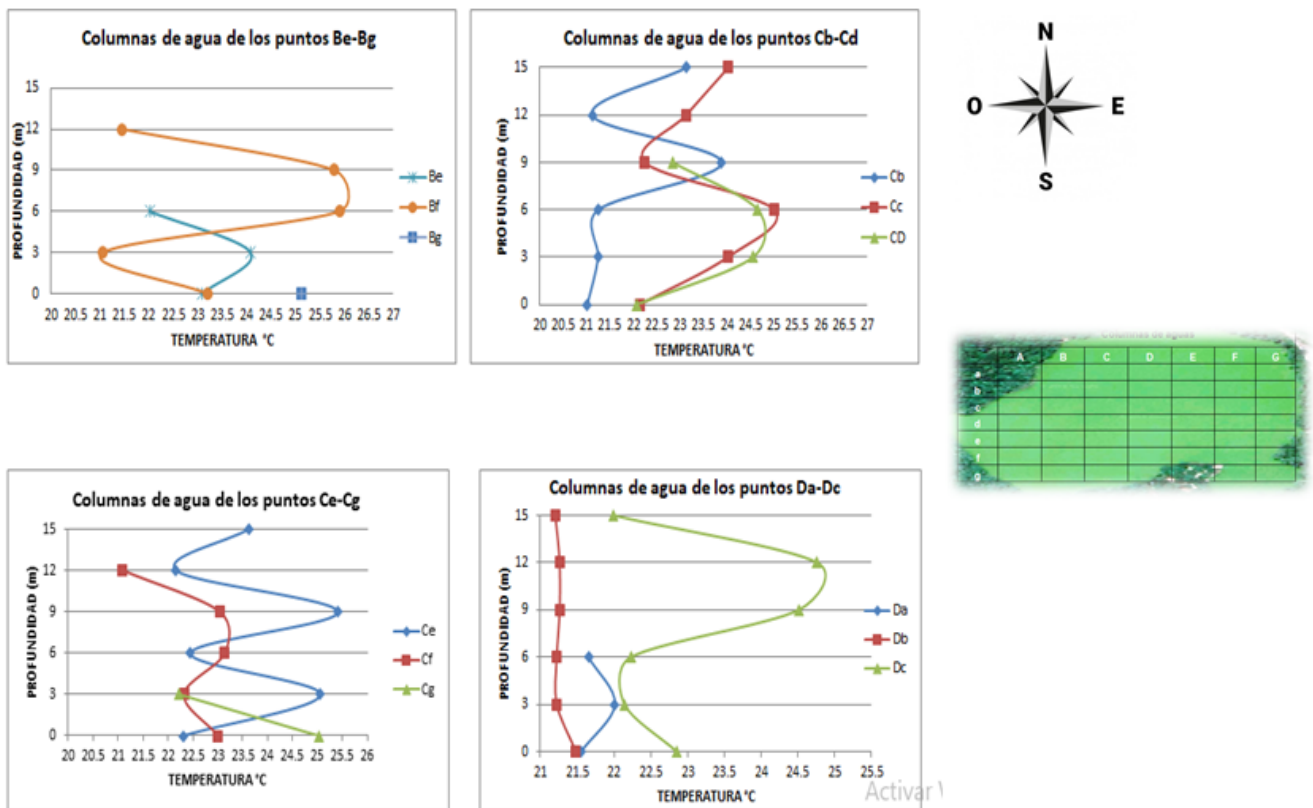


Figura 12. Perfiles de temperatura de las columnas de agua Be- Bg, Cb- Cd, Ce- Cg y Da-Dc de 0 A 15 m de profundidad.

pH

Con respecto a los valores de pH en la laguna la Encantada, los valores máximos obtenidos fueron 8.98 a 0 m de profundidad, 8.95 a 3 m, 8.17 a 6 m, 7.69 a 9 m, 7.69 a 9 m, 7.64 a 12 m y 7.63 a 15 m. los valores mínimos obtenidos fueron de 6.63 a 15 m, 6.94 a 12 m, 6.91 a 6 m y 9 m, 7.01 a 3 m y 7.6 a 0 m (tabla 4 y 5).

Tabla 4. Valores de pH en los diferentes puntos muestreados en la laguna La Encantada. (Los valores máximos están marcados en color rojo y los valores mínimos están marcados en color verde).

Columnas de agua (pH)							
0 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a				8.7	8.49	8.98	
b			8.53	8.51	8.81	8.44	8.93
c		8.3	8.35	8.51	8.51	8.53	8.51
d	8.51	8.34	8.63	8.49	8.19	8.7	8.39
e	8.42	8.12	8.12	8.07	8.05	8	8.51
f		8.49	8.49	8.47	7.77		7.6
g			8.69	7.98	7.65		
3 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a				8.76	8.46	8.95	
b			8.39	8.46	8.8	8.42	8.56
c		8.12	8.25	8.49	8.52	8.5	8.5
d	8.15	8.3	8.23	8.02	8.12	8.6	8.1
e	8.39	8.11	8.13	8.06	8.04	7.99	8.56
f		8.36	8.43	8.25	7.23		7.01
g			7.13	7.01			
6 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a				7.99	7.69	7.99	
b			8.17	8.11	8.03	8.02	7.89
c		8.03	8.01	7.99	7.56	7.96	7.99
d	7.96	7.85	7.56	7.69	7.54	7.91	
e	6.99	7.32	7.43	7.12	7.01		
f		6.95	6.97	6.91			
g							
9 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						7.64	

b			7.52	7.51	7.51	7.53	7.65
c		7.56	7.68	7.69	7.61	7.54	7.66
d		6.93	6.93	6.97	6.94	6.96	
e			6.93	6.91	6.9		
f		6.97	6.94				
g							
12 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						7.64	
b			7.14	7.44	7.44		
c			7.61	7.12	7.14	7.54	
d				6.94	7.61	7.1	
e			6.95	6.94	6.94		
f		6.96	6.97				
g							
15 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						7.63	
b			7.4	7.61	7.63	7.63	
c			6				
d			7.46	7.46	7.61	7.25	
e				7.09	7.16	7.23	
f			6.99	6.98		6.94	
g							

Tabla 5. Valores máximos y mínimos de pH de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).

pH				
Profundidad	Mín.	Máx.	Prom.	D.E
0	7.6	8.98	8.38	0.32
3	7.01	8.95	8.21	0.46
6	6.91	8.17	7.66	0.41
9	6.91	7.69	7.29	0.33
12	6.94	7.64	7.21	0.27
15	6.94	7.63	7.25	0.41

Los valores del pH fueron disminuyendo conforme va aumentando la profundidad de la laguna. De 0 a 3 metros se muestra un pH neutro-alcalino, mientras que a mayor profundidad el pH se va haciendo ácido mostrando valores menores a 7 de 6 a 15 m de profundidad (figura 13). De manera general cuando el pH es alcalino o ligeramente

alcalino, es propenso a sedimentar más rápido los metales pesados o sustancias tóxicas que cuando el pH es ácido. Debido a ello se consideran que estos cuerpos de agua tienen la capacidad natural de atrapar estos contaminantes y fungir como un sumidero natural. Por lo que la probabilidad de encontrar estos contaminantes es muy alta y aún más cuando hay desarrollos humanos cercanos. (López *et al.*, 2012).

En investigaciones realizadas por otros autores, en agua y sedimentos existen dos unidades de diferencia promedio entre los valores de pH registrados a mayor profundidad, para agua de 7,2 y para sedimentos de 5,5; lo cual indica que la diferencia de pH puede originar reacciones disímiles, a los valores registrados en sedimentos de lagos dulceacuícolas. (López *et al.*, 2012).

Al igual que el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el pH es una variable común entre los ICA, por su potencial como indicador de la calidad del agua en general, el grado de afectación de la misma por agentes contaminantes y la extensión de una estela de contaminación producida por la descarga de un efluente.

Los cambios en el pH pueden indicar el ingreso de fertilizantes, particularmente cuando se registran mediciones continuas junto con la conductividad del cuerpo de agua y; De los procesos de eutrofización, se asocian con los ciclos de fotosíntesis y respiración de las algas. Además, el pH indica la toxicidad de algunos compuestos, como el amoníaco, el control de la ionización, así como, la disponibilidad biológica de ciertos contaminantes, como los metales pesados.

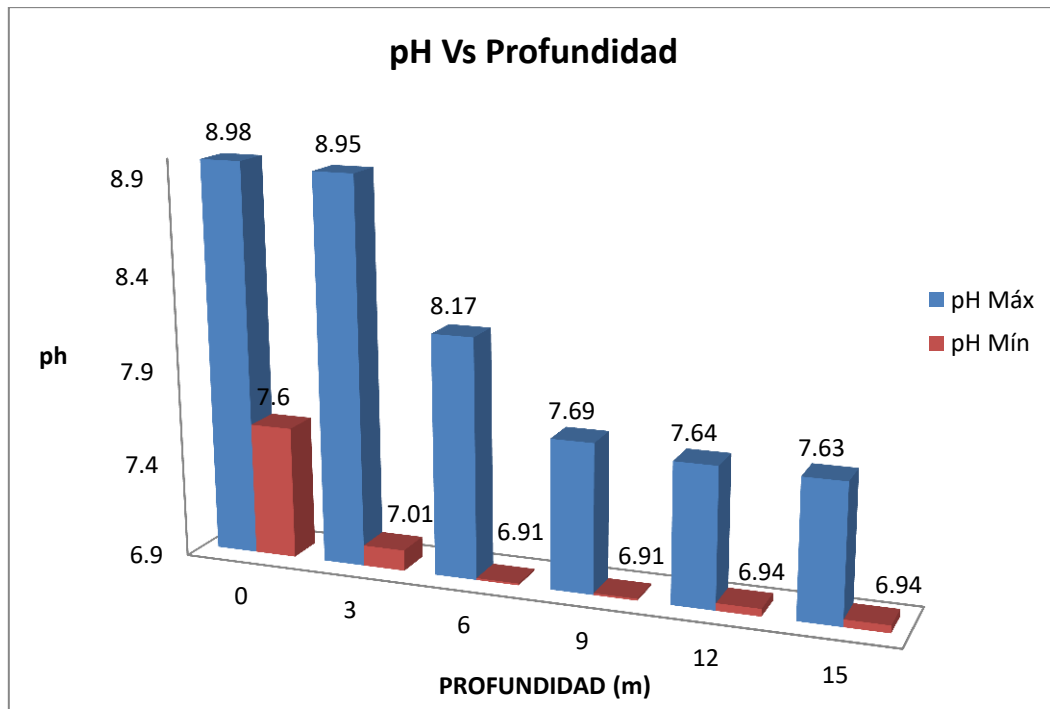


Figura 13. Gráfico de Profundidad Vs pH de los valores máximos y mínimos encontrados en los diferentes puntos de muestreo de la laguna La Encantada.

Conductividad Eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica reportados en la tabla 6 nos muestran que el valor mínimo es de 372.82 uS/cm A 9 m de profundidad en la columna de agua G y a 12 m en la columna de agua C. mientras que el valor máximo de CE es de 409.12 US a los 3 m de profundidad en la columna de agua D.

En la tabla 7 se muestran los valores mínimos y máximos de la CE a las diferentes profundidades de la laguna la Encantada, así como el promedio de todas las columnas de agua y Desviación estándar.

Tabla 6. Valores de Conductividad Eléctrica en los diferentes puntos muestreados en la laguna La Encantada. (Los valores máximos están marcados en color rojo y los valores mínimos están marcados en color verde).

Columnas de aguas (CE)							
0 m	A	B	C	D	E	F	G
a				391.17	388.13	391.17	
b			386.61	389.65	386.61	388.13	386.61
c		386.61	392.69	394.22	395.74	392.69	388.13
d	394.22	379.25	377.47	379	380.52	379	380.52
e	397.26	395.74	392.69	395.22	392.69	391.17	389.65
f		406.39	404.87	409.25	392.69		394.22
g			408.78	404.44	409.25		
3 m	A	B	C	D	E	F	G
a				391.16	388.12	390.12	
b			386.55	386.65	386.59	388.11	385.61
c		388.12	392.63	395.45	394.19	392.66	386.01
d	394.11	376.24	377.01	376	376.12	376	380.12
e	394.26	392.74	391.52	393.21	390.36	390.14	389.01
f		401.12	401.86	409.12	392.01		390.12
g		408.74		404.11			
6 m	A	B	C	D	E	F	G
a				390.23	385.26	395.23	
b			386.23	394.61	386.41	389.16	394.12
c		385.12	390.61	391.43	392.14	390.14	385.01
d	381.74	380.12	374.78	374.12	374.13	378.12	
e	391.12	391.21	390.36	390.1	388.1		
f		407.26	389.3	388.3			
g							
9 m	A	B	C	D	E	F	G
a						392.15	
b			386.63	381.21	386.91	394.13	388.12
c		384.67	391.01	384.21	375.73	376.19	372.82
d		391.83	390.73	391.69	387.91	389	
e			390.05	389.91	401.36		
f			398.14				
g							

12 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						392.15	
b			386.91	394.13	388.12		
c			381.21	386.63	384.67	391.01	
d				376.19	375.73	384.21	
e			372.82	389	387.91		
f		391.69	390.73				
g							
15 m							
	A	B	C	D	E	F	G
a						392.91	
b			374.61	385.9	393.12	385.45	
c			375.95	380.12	384.26	384.74	
d				375.95	385.73	385.83	
e			374.37	386.56		388.91	
f							
g							

Tabla 7. Valores máximos y mínimos de la Conductividad Eléctrica de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).

CE (uS/cm)				
Profundidad	Mín.	Máx.	Prom.	D.E
0	386.61	406.39	492.01	8.68
3	376	409.12	490.16	8.44
6	374.12	407.26	387.65	7.11
9	372.82	401.36	387.82	7.01
12	372.82	394.13	385.81	6.35
15	374.37	393.12	383.62	6.14

A medida que es más profundo el lago, la conductividad eléctrica tiende a disminuir. Se puede ver que a los 3 m de profundidad hay un pico en donde esta incrementa (figura 14) los datos mostrados en color azul son los valores máximos que se presentaron a lo largo de las columnas de agua en diferentes profundidades, los datos en rojo muestra los valores mínimos.

La conductividad Eléctrica es un parámetro no regulado por los límites máximos permisibles en la descarga de agua de cuerpos receptores, agua residuales

alcantarillado o aguas para usos y actividades agrícolas, para el contacto primario y para consumo humano. Este parámetro si se encuentra dentro del límite máximo permisible el cual es de 1500 mS/cm esto dentro de la NMX.AA-093-SCFI-2000.

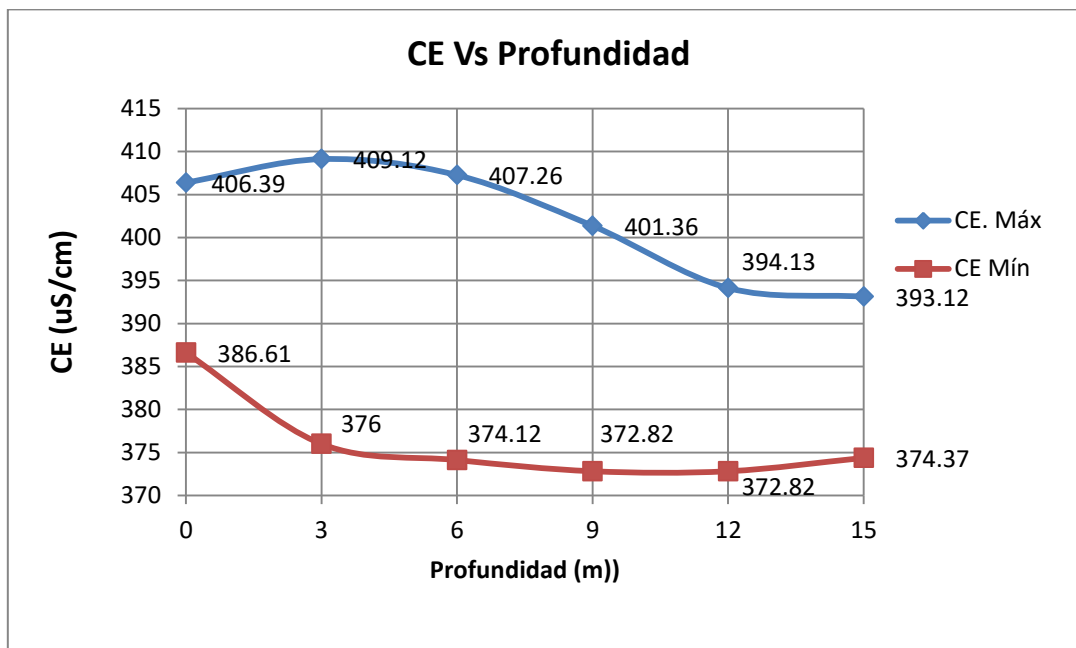


Figura 14. Grafico de CE Vs Profundidad de los valores máximos y mínimos encontrados en los diferentes puntos de muestreos de la laguna La Encantada.

En un estudio realizado por García *et al.*, (2018) en el lago san Lorenzo en Montebello Chiapas, reportaron valores más altos de conductividad eléctrica que van de los 588 y 662 uS/cm en comparación a los resultados que se obtuvieron en la Laguna La Encantada.

Turbidez

Los resultados obtenidos de Turbidez en La Laguna La Encantada vario de entre un valor mínimo de 55.01 NTU a los 9 m hasta un valor máximo de 65.09 NTU a 0 m de profundidad. (Tabla 8).

En la figura 15 se puede apreciar los valores mínimos y máximos encontrados de turbidez a diferentes profundidades en la Laguna.

La turbidez se considera un parámetro importante en el grado de limpieza por partículas en la misma, en la laguna está muy relacionada con la presencia de sólidos

en suspensión, ninguno de los parámetros medios respetan el Estándar de Calidad ECA (Alva, 2018)

Tabla 8. Valores máximos y mínimos de la Turbidez de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo, Máx. = valor máximo, Prom = promedio y D.E = desviación estándar).

Turbidez (NTU)				
Profundidad	Mín.	Máx.	Prom.	D.E
0	57.47	69.13	65.09	3.20
3	55.21	68.56	63.68	3.63
6	55.36	68.99	63.94	3.053
9	55.01	64.28	62.45	3.01
12	56.34	66.19	60.84	2.89
15	54.01	65.78	60.04	3.08

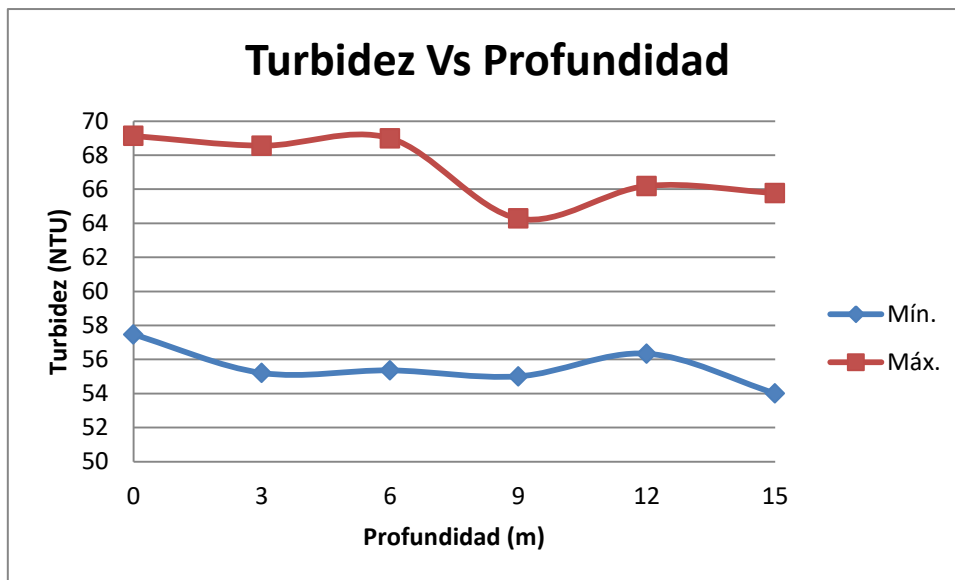


Figura 15. Grafico de Turbidez Vs Profundidad de los valores máximos y mínimos encontrados en los diferentes puntos de muestreo de la laguna La Encantada.

OD.

Los datos mínimos y máximos del oxígeno disuelto medido en la Laguna La Encantada a las diferentes profundidades de la Laguna se presentan en la tabla 9. El OD mínimo de toda la laguna presentó un valor de 4.82 mg/L a 15 m de profundidad y el valor máximo de 8.98 mg/L a 0 m de profundidad.

Tabla 9. Valores máximos y mínimos de la OD de laguna La Encantada a diferentes profundidades. (Mín. = valor mínimo y Máx. = valor máximo)

OD(mg/L)		
Profundidad	Mín.	Máx.
0	7.6	8.98
3	5.01	8.22
6	4.96	7.29
9	4.84	8.01
12	4.84	7.26
15	4.82	7.91

En la figura 16 se muestran los valores promedio del OD de las columnas de aguas (A, B, C, D, E, F y G) mostrando el valor más alto en la columna de agua "A" a 0 m de profundidad y el valor mínimo en la columna de agua "B" a 9 m de profundidad.

El oxígeno disuelto es un parámetro muy influyente en la calidad de agua de cualquier corriente superficial en este caso de la laguna, los valores de OD son más altos a la profundidad de 0m y 3m que van de un rango de entre 8.5 y 6.5, mientras la profundidad del lago aumenta este comienza a ir disminuyendo.

En un estudio realizado por (Vera *et al.*, 2015) reportaron valores máximos de OD en la Laguna La Encantada de 7.5 mg/L y un valor mínimo de 0 mg/L. el cual mostró un perfil clinogrado con hipolimnion anóxico en los lagos profundos

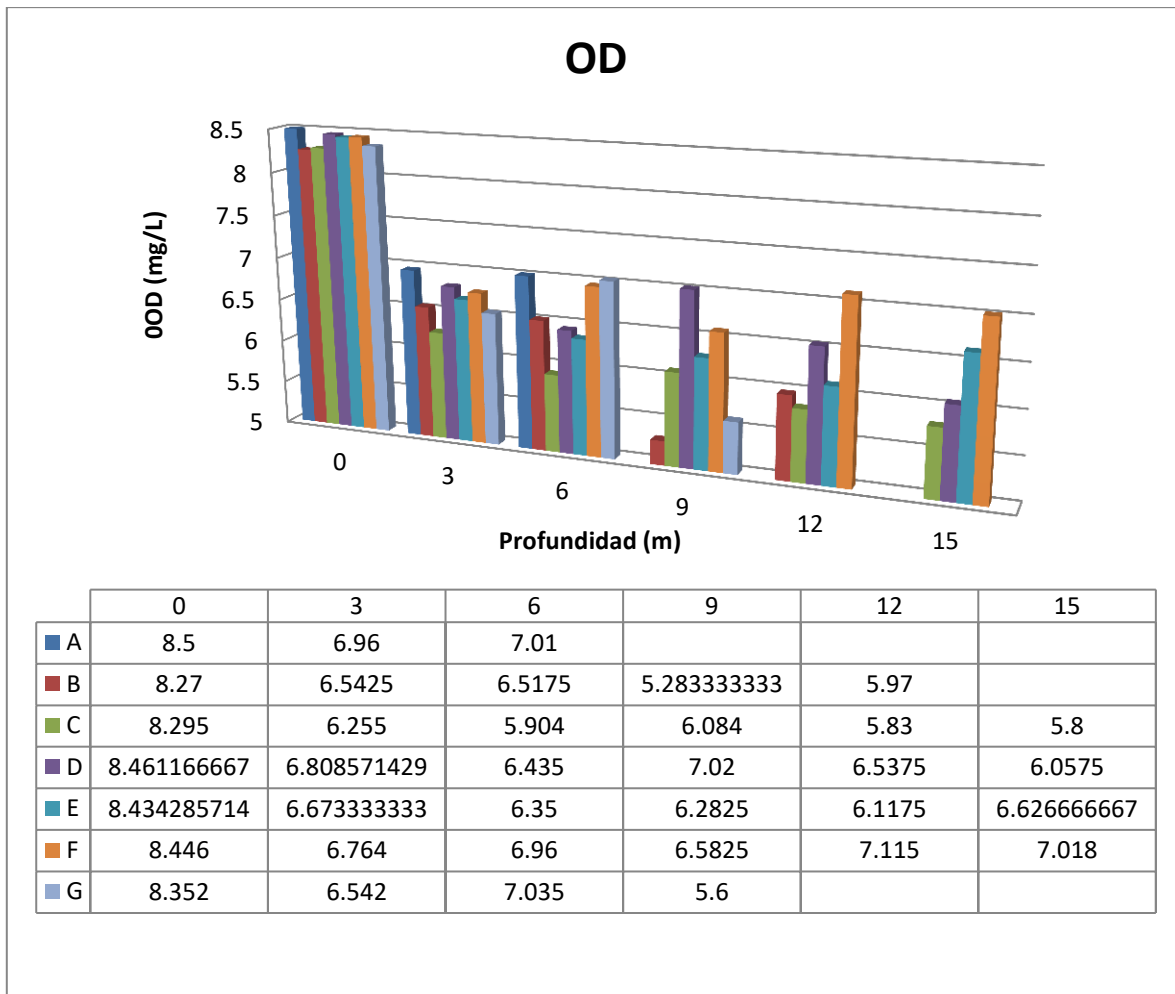


Figura 16. Gráfico de OD Vs Profundidad. (Las letras A, B, C, D, E, F Y G son las columnas de agua de los puntos muestreados en la Laguna La Encantada.

DQO Y DBO₅

Los valores de DQO obtenidos en los diferentes puntos de muestreo de la Laguna nos muestran un valor máximo de 86.7 mg/L en el punto 7 y el valor mínimo de 62.14 mg/L en el punto 5. (Figura 18)

En el 2017 se realizaron estudios de DQO en los sedimentos de la laguna la Encantada en tres puntos diferentes de la laguna (figura17), los cuales mostraron valores de 82.36 mg/L en el punto 1, en el punto 2 se obtuvo un valor de 87.01 mg/L y de 77.72 en el punto 3.

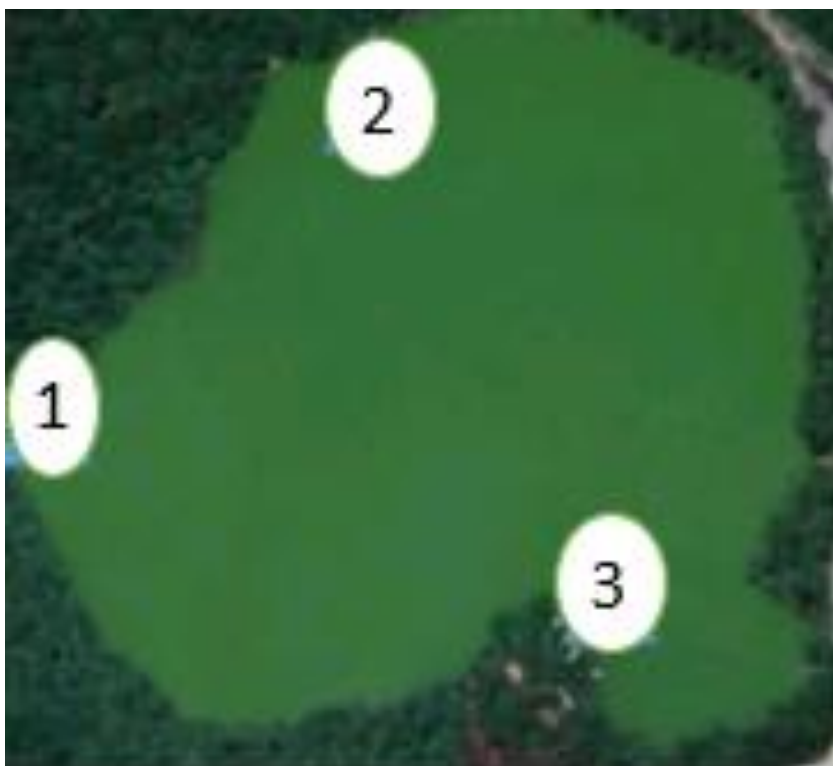


Figura 17. Puntos de muestreos de DQO en el 2017 en la laguna la encantada.



Figura 18. Puntos de muestreos de DQO y DBO en Septiembre del 2018 en la laguna la encantada.

Es un indicador de contaminación orgánica, aporta básicamente la misma información que la DBO, pero su análisis no requiere inocular las muestras tomadas en ambientes cercanos a anoxia. La diferencia entre los valores de DQO y DBO se origina primordialmente en la estabilidad de los ácidos fúlvicos y húmicos, los que aumentan la DQO pues sólo se oxidan en presencia de dicromato. Aunque sus concentraciones dependen de las características físico-geográficas, en condiciones naturales los ácidos húmicos y fúlvicos llegan a constituir hasta 80% de la DQO (Pérez & Rodríguez, 2008)

Los valores mínimos y máximos de la demanda bioquímica de oxígeno dentro de la laguna se presenta un valor mínimo de 0.63 mg/L en el punto 1, mientras que el valor máximo es de 2.45 mg/L en punto 5, por lo que se obtuvieron valores bajos de DBO.

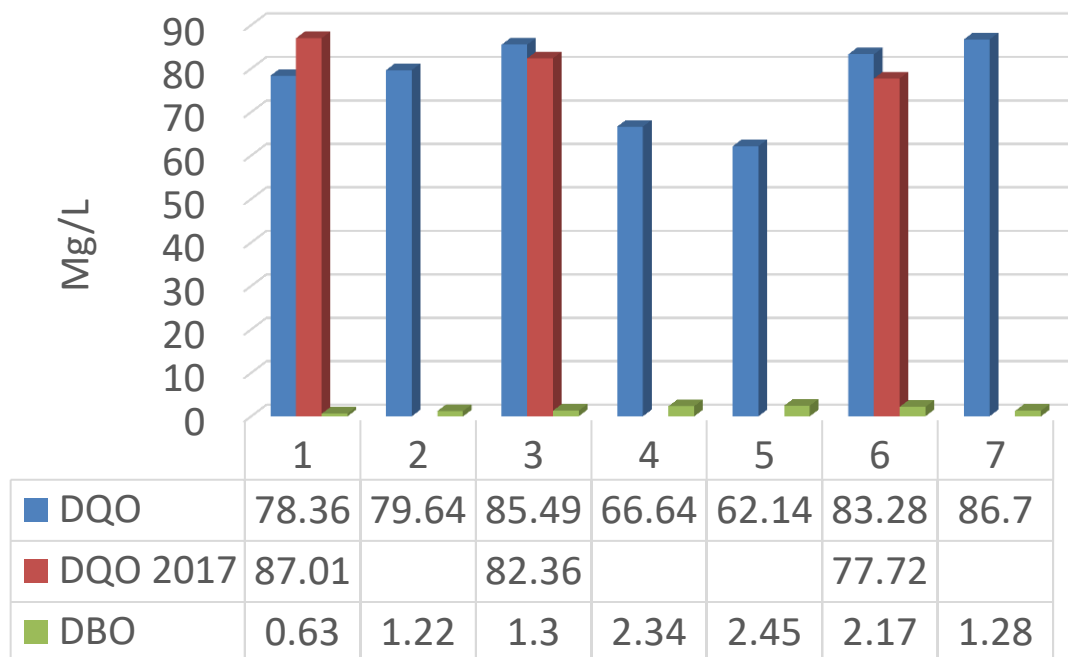


Figura 19. Gráfico de DQO y DBO.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se encuentra dentro los límites máximos permisibles, donde de acuerdo a la norma oficial mexicana (NMX-AA-030-SCFI-2001) el cual es de 200 mg/L.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno se determinó con la relación en la medición del oxígeno disuelto que consume los microorganismo en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un periodo de incubación de 5 días a 20 °C (Metcalf & Eddy, 1996.). Esto se encuentra dentro los límites máximos permisibles que es de 75 mg/L, de acuerdo con la (NOM-001-ECOL-1996).



Figura 20.Puntos de muestreo para Clorofila-a en La Laguna La Encantada.

Clorofila- a.

Los datos obtenidos de la concentración de clorofila-a vario entre un mínimo de 5.4 mg/m³ en el punto 1 hasta un máximo de 40.82 mg/m³ (figura 21).

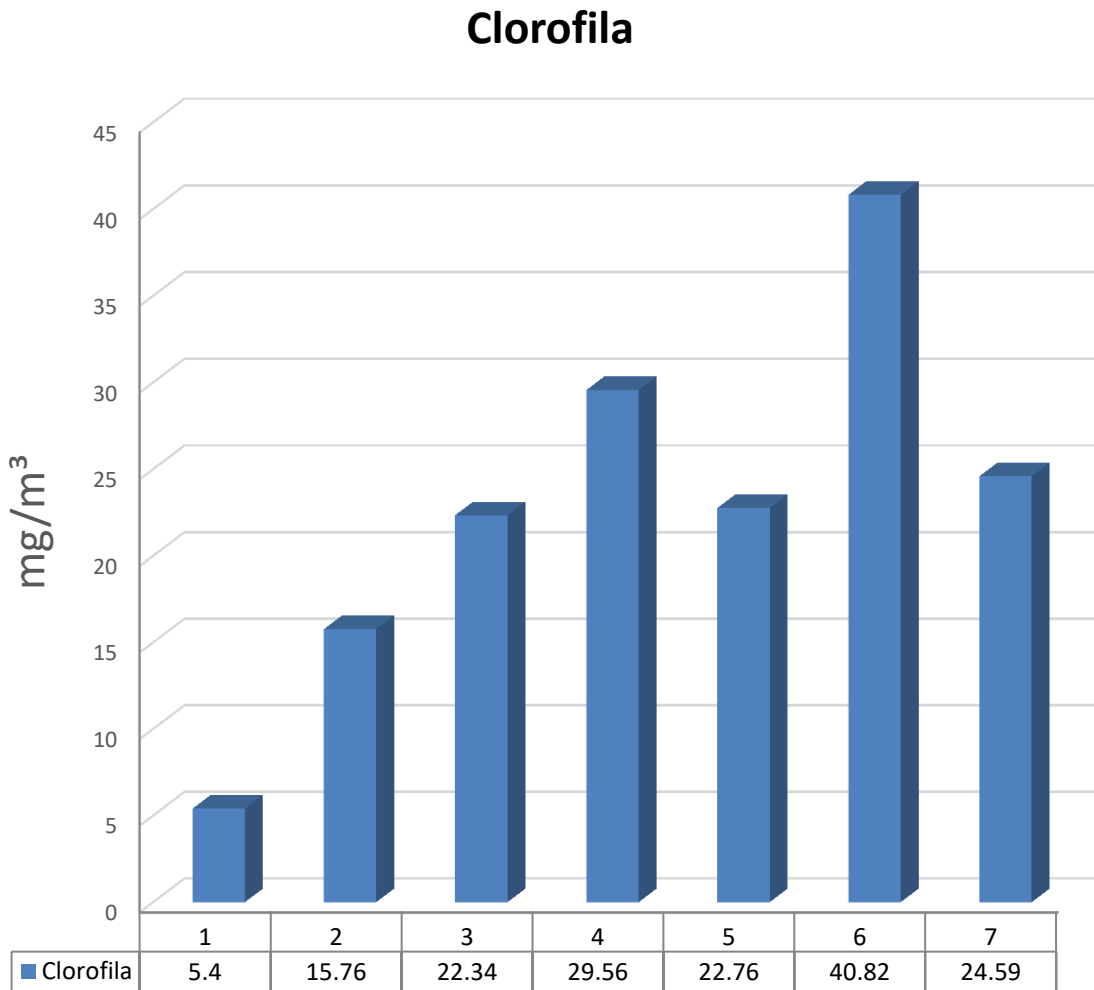


Figura 21. Grafico de los datos obtenidos de Clorofila-a.

De acuerdo a la clasificación trófica propuesta por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1982) los resultados obtenidos de clorofila-a la Laguna La Encantada se encuentra en un estado Eutrófico.

9. Cronograma de actividades

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Revisión bibliográfica																
Preparación de material y equipo para el muestreo																
Medición y recolección de datos fisicoquímicos <i>in situ</i>																
Recolección de muestras de agua provenientes de la laguna la encantada																
Cuantificación <i>ex situ</i> en muestras de agua provenientes de la Laguna la Encantada																
Evaluación de resultados																
Redacción del informe de Residencia																

10. Conclusiones

La laguna La encantada fue evaluada en épocas de lluvias a nivel primario presentado algunos resultados negativos en cuanto a la calidad del agua, los cuales confirman que se debe de realizar un estudio más profundo en diferentes épocas del año para tener un diagnóstico más completo del grado de eutrofización de la Laguna La Encantada.

Los resultados de temperatura mostraron una estructura térmica de comportamiento metalimnion el cual variaba de 1 °C aproximadamente a cada 3 metros de profundidad en la mayoría de los puntos de muestreo y en otros casos un comportamiento hipolimnion. Se obtuvo un valor mínimo de 21.02°C a 0 m de profundidad y un valor máximo de 26.26°C a 6 m de profundidad

De acuerdo con los resultados obtenidos con respecto al pH agua es apropiada para la subsistencia de muchos sistemas biológicos. Los resultados obtenidos mostraron valores aceptables de pH en donde la concentración de H⁺ se mantiene dentro del rango de 6.91 y 8.98 para aguas naturales no contaminadas.

Para los parámetros de conductividad eléctrica y pH no existen aún Límites Máximos Permisibles (LMP) en la NOM-001-ECOL-1996 ni tampoco en los CE-CCA-001/89, por lo que sería necesario cambiar la legislación vigente en donde se involucren los LMP de los parámetros estudiados.

Los resultados obtenidos para la DQO y DBO₅ se encontraron dentro de los límites máximos permisibles que marcan las normas oficiales mexicanas.

La Laguna La Encantada mostro una gran variación en las concentraciones de clorofila-a teniendo como resultado una clasificación del lago como Eutrófico.

11.Recomendaciones

Es recomendable seguir realizando estudios fisicoquímicos de la calidad de agua de manera sistemática, se recomienda hacerlo en más sitios para poder analizar su comportamiento dentro de varias lagunas del Parque Nacional Lagos de Montebello y los efectos con los organismos que la habitan.

Los parámetros fisicoquímicos analizados en este estudio ambiental se realizaron en temporada de lluvias, por lo que se requiere realizar una investigación en temporada de sequía para tener mejores resultados y poder compararlos.

12. Bibliografía

Adrian, R., Wilhelm, S., y Gerten, D. (2006). Life history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. *Glob. Change Biol.*, 12, 652-661.

Aguirre, M., Venegas, E., & García, N. (2016). Water Quality Index Application. Case study: Lake Izabal, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. ISSN - 1010-2760.25(2): 39-46.

Alva, B. (2018). Determinación de la calidad del agua de La Laguna Azul de Sauce para su uso según estándares de calidad ambiental (ECAS). Universidad Nacional de San Martín–Tarapoto. Perú. pp 29-35.

Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C. & Acosta, E. (2008). Calidad integral del agua superficial del agua en la cuenca hidrológica del río Amajac, *Revista Información Tecnológica*. 19(6), pp. 21-32.

Babaei, F., Hassani, A., Torabian, A., Karbassi, A., & Hosseinzadeh, F. (2011). Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Iran. *Water Science & Technology*, ISSN: 0273-1223, 64(12): 2483-2491.

Ban, X., Qiuzhen, W., Pan, B., Du, Y., & Feng, Q. (2014). Application of composite water quality identification index on the water quality evaluation in spatial and temporal variations: a case study in Honghu Lake, China”, *Environmental Monitoring & Assessment*, ISSN: 01676369, 186(7): 4237-4247.

Baulch, H. M., Schindler, D. W., Turner, M. A., Findlay, D. L., Paterson, M. J., y Vinebrooke, R. D. (2005). Effects of warming on benthic communities in a boreal lake: Implications of climate change. *Limnol. Oceanogr.*, 50, 1377–1392

Bradley, F. & Peter, T. (1982). *Bioquímica*. 1st ed. España: Reverté, S.A, pp.23-24.

Cabrera, M. y W. Ramírez. (Eds). 2014. Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogota, D.C. Colombia, 296 pp.

Campos, I. (2000). Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica : Universidad Estatal a Distancia .

Catalán, J., Pla, S., García, J., y Camarero, L. (2009). Climate and CO₂ saturation in an alpine lake throughout the Holocene Limnol. Oceanogr., 54, 2542-2552.

Chapman, D. (1996). (ed.) Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Second Edition. Chapman y Hall, London. 651 p.

Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONANP-SEMARNAT), 2007, "Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello, México", disponible en <Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONANP-SEMARNAT), 2007, "Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello, México", disponible en http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Final_Montebello.pdf >

Duran, L., Escolero, O., Muñoz, E., Castillo, M., & Silva, G. (2014). Cartografía geomorfológica a escala 1:50000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 66(2). p. 263-277.

Demin, P. (2013). Caracterización preliminar de la calidad del agua en la cuenca superior del río Del Valle Catamarca. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, ISSN-p: 0370-4661, 45(1):53-61.

Feria, Y., Salcedo, M.A., Ranjel, J.A & Galindo, A. (2007). Estado trófico de sistemas Lóticos y Lénticos de la subcuenca central Río Puxcatán-Tulijá en la región de la sierra del estado de Tabasco. Semana de divulgación y video científico UJAT. Memorias de congresos y Simposium, p. 489.

Fernández, J & Curt, MD. (2016). Métodos Analíticos para aguas residuales. Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. ciencias-marinas. P. 119.

Fuentes, F., y Massol-Deyá, A. (2002). Manual de laboratorio. Ecología de Microorganismos. Universidad de Puerto Rico. 202-217.

García, L.A., Escolero, O.A & Fernández, G. (2018). Hydrogeochemistry lake San Lorenzo in Montebello, Chiapas (México). ACODAL.

Gómez, M. F., L. A. Moreno, G. I. Andrade y C. Rueda. (Eds.). 2016. Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia, 108 pp.

Instituto Municipal de Planeación de Comitán de Domínguez (IMPLAN Comitán), 2015, Plan de Gestión de la cuenca del Río Grande, Lagunas de Montebello, Chiapas, México, disponible en <Instituto Municipal de Planeación de Comitán de Domínguez (IMPLAN Comitán), 2015, Plan de Gestión de la cuenca del Río Grande, Lagunas de Montebello, Chiapas, México, disponible en http://www.implancomitan.org.mx/images/0_2%20MONTEBELLO%20FINAL.pdf >

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M., y Christoffersen, K. (1998). (eds.) The structuring role of submerged macrophytes in lakes. Springer Verlag, New York.

Jiménez, V. (2014). Chiapas Guía para descubrir los encantos del estado. Solaris , turismo y comunicación. p 19..

Jöhnk, K., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Visser, P. M., y Stroom, J. M. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. Glob. Change Biol., 14, 495–512.

Lampert, W., y Sommer, U. (2007). Limnoecology. In: Special features of aquatic habitats. Second Edition. Oxford University Press Inc., New York.

López, M.A., Scot, M., Serrano, A., Pulido, G., Gaytan, J.A & López., M. (2012). Dynamics of sediment physic-chemical variables of Lake Tampamachoco, Veracruz, Mexico. UDO Agrícola. 12 (4): 965-972.

Melcalf y Eddy, 1994. Ingeniería tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Segunda edición. Traducción de Juan de Dios Trillo Editorial Labor. S.A. México.

Montalvo, J., García, E., Perigó, O., Alburquerque., & García, N. (2013). Calidad química del agua y sedimento en las bahías del archipiélago Sabana-Camagüey”, Revista Cubana de Química, ISSN: 0258-5995, 25(2):123-133.

Norma Oficial Mexicana NMX-AA-028-SCFI-1981. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas naturales, Residuales (DBO₅) y Residuales tratadas.

Norma Oficial Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas naturales, Residuales y Residuales tratadas.-Método de prueba - parte 1 - Método de reflujó abierto.

Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996). Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 1982. The OCDE Listo Social Indicators, Paris.

pp 28-30.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2009). Biosphere Reserve Information, Lagunas de Montebello, disponible en, consultado en Noviembre del 2018.

Pérez, A.G., y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Biología Tropical*. 56(4):1905-1918.

Rae, R., y Vincent, W. F. (1998). Effects of temperature and ultraviolet radiation on microbial foodweb structure: Potential responses to global change *Freshwater Biol.*, 40, 747–758

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Reserva de la Biosfera Laguna de Montebello. Noviembre 03, 2018, de SEMARNAT
Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-lagunas-de-montebello>.

Semiromi, B. & NADERI, M.(2011). Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Iran, *Water Science & Technology*, ISSN: 02731223, 64(12): 2483-2491

Rodríguez, C. (2002). Variaciones estacionales de la calidad del agua del río Chocancharava (río Cuarto), Córdoba, Argentina. *Ecología Austral*, 12(1), pp. 65-72.

Vázquez, M.A., Méndez, E. (1994). Aspectos generales de la región: Lagos de Montebello, Reporte del trabajo para el curso de conservación de naturaleza y recursos naturales: Recursos Naturales y Desarrollo Rural, ECOSUR Chiapas, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, Maestría en Ciencias México. 109 p.

Vera, M.N., Hernández, P.P., Alcocer, J., Ardiles, G.V., & Oseguer, L.A. (2015). Concentración y distribución vertical de la clorofila-a fitoplanctónica en los lagos de Montebello, Chiapas. *Tendencias de investigación en Limnología: tropical*. Edition: 1, pp.109-113.

Wagner, C., y Adrian, R. (2009). Cyanobacteria dominance: Quantifying the effects of climate change. *Limnol. Oceanogr.*, 54, 2460–2468.

Wetzel, R. G. (1975). *Limnology*, W. B. Saunders Company, United States of América. 743 p.

13. Anexos

13.1. Análisis de agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO₅) y Residuales tratadas - Método de Prueba (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)

INTRODUCCIÓN

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NOTA.

Se determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica, en un periodo de incubación de 5 días a 20°C.

REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma se deben consultar las siguientes normas mexicanas vigentes o las que las sustituyan:

Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Calidad del agua – Determinación de cloro total – Método iodométrico. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación del 22 de junio de 1987.

PRINCIPIO DEL MÉTODO

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.

Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (ver 2 Referencias).

Fórmula para calcula el DBO

$$DBO(mg/L) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

D₁ = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D₂ = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20° C, mg/l.

P = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

B₁ = OD del control de simiente antes de la incubación, mg/l.

B₂ = OD del control de simiente después de la incubación, mg/l.

f = proporción de la simiente en la muestra diluida con respecto a la del control de simiente = (% de simiente en la muestra diluida) / (% de simiente en el control de simiente).

Valores de DBO

Tipo de agua	DBO mgO/ L
Agua potable	0.75-1.5
Agua poco contaminada	5-50
Agua potable negra municipal	100- 400
Residuos industriales	5000- 1000

13.2. Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua - Medición de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas.- Método de Prueba - Parte 1 - Método de Reflujo Abierto - (Cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001).

INTRODUCCIÓN

La demanda química de oxígeno (DQO) del agua, medida a través de este método del dicromato, puede ser considerada como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, por ejemplo: la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación química total de constituyentes orgánicos a productos inorgánicos finales. El grado en el cual los resultados de prueba se aproximan al valor teórico depende principalmente de qué tan completa es la oxidación. Un gran número de compuestos orgánicos se oxidan en una proporción de 90 % a 100 %. Para aguas en las que estos compuestos predominan, tales como las descargas municipales, el valor de DQO es una medida realista de la demanda de oxígeno teórica. Para otro tipo de aguas, que contienen grandes cantidades de ciertas sustancias difíciles de oxidar, bajo las condiciones de prueba (capítulo 9), el valor de DQO es una medida pobre de la demanda de oxígeno teórica. Éste puede ser el caso de algunas descargas industriales.

Por consiguiente, la importancia del valor de DQO dependerá de la composición del agua estudiada. Esto deberá tenerse en cuenta a la hora de evaluar resultados obtenidos por el método especificado en la presente norma mexicana.

La norma mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012 es una de dos partes.

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma específica un método para la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua. Es aplicable a muestras de aguas naturales crudas no salinas (epicontinentales, subterráneas y pluviales), aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales mediante método de reflujo abierto. Es de aplicación nacional.

Es aplicable para muestras con valores de DQO hasta 700 mg/L. El contenido de cloruro no debe exceder los 1 000 mg/L. Una muestra de agua que cumpla con estas condiciones se analiza directamente.

Si el valor de DQO excede los 700 mg/L, diluir según aplique.

Bajo las condiciones de reacción dadas, los compuestos orgánicos pueden ser oxidados extensamente. Algunos compuestos con elementos estructurales específicos, por ejemplo, núcleo de piridina, compuestos nitrogenados cuaternarios, no se incluyen en esta consideración. Las sustancias hidrófobas volátiles pueden evaporarse y así escapar a la oxidación. Los compuestos inorgánicos que sufren oxidación bajo las condiciones de reacción son, por ejemplo:

- Iones bromuro, iones yoduro
- Algunos compuestos sulfurados
- Iones nitrito
- Algunos compuestos metálicos.

Por otra parte, ciertos compuestos pueden reaccionar como agentes oxidantes bajo las condiciones de reacción. Estas circunstancias deberán tomarse en cuenta, dependiendo del uso de los resultados de prueba. En el caso de interferencias, particularmente debido a cloruros,

FUNDAMENTO.

Se somete a reflujo en presencia de sulfato de mercurio II, una porción de muestra con una cantidad conocida de dicromato de potasio, con ion plata como catalizador, en ácido sulfúrico concentrado, por un periodo determinado, durante el cual parte del dicromato es reducido por las sustancias reductoras presentes.

PROCEDIMIENTO REFLUJO CERRADO. (HACH)

- Preparar la solución patrón 0-150, 0-1500, 0-15000 (Baja, alta, alta plus).
- Homogenizar 100 ml de muestra.
- Conectar el reactor de DQO, precalentara 150 °c, colocar el plástico protector.
- Colocar 2 ml de muestra en cada tubo.
- Tapar correctamente y lavar el exterior con agua, secar.
- Homogenizar y colocar en el reactor.
- Preparar el blanco y colocar en el reactor.
- Calentar durante 2 horas.
- Desconectar el reactor y dejar enfriar.
- Homogenizar las muestras.
- Escoger el rango de análisis. Baja, alta o alta plus.

Lectura al espectrofotómetro.

- Escoger el rango de análisis.
- Ajustar la longitud de onda a 420 nm.
- Colocar el adaptador e introducir el blanco.
- Ajustar el blanco a Cero.
- Leer las muestras.

Resultados.

- Se analizaran los resultados con la curva tipo.
- Expresar el valor en mg/L de oxígeno