



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
(ERIS)  
Maestría en Gestión de Recursos Hídricos

**DETERMINACIÓN DE LOS ESTRATOS (ESTRATIFICACIÓN  
TÉRMICA) DEL LAGO DE AMATITLÁN A TRAVÉS DE LOS PARÁMETROS  
DE TEMPERATURA Y OXÍGENO DISUELTO**

**Licenciada en Acuicultura Sthefany Ludivina Fuentes**

Asesorado por el Msc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS  
HIDRÁULICOS

**DETERMINACIÓN DE LOS ESTRATOS (ESTRATIFICACIÓN  
TÉRMICA) DEL LAGO DE AMATITLÁN A TRAVÉS DE LOS PARÁMETROS  
DE TEMPERATURA Y OXÍGENO DISUELTO**

TESIS

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS  
POR

**LICENCIADA EN ACUICULTURA STEFANY LUDIVINA FUENTES**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

EXAMINADOR	Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	Ing. Joram Matias Gil Laroj
EXAMINADOR	Ing. Zenon Much Santos

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

### **DETERMINACIÓN DE LOS ESTRATOS (ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA) DEL LAGO DE AMATITLÁN A TRAVÉS DE LOS PARÁMETROS DE TEMPERATURA Y OXÍGENO DISUELTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería, en el mes de febrero de 2010.



---

Licda. Sthefany Ludivina Fuentes

Guatemala, 2 de julio del 2012

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,  
Instalaciones de Prefabricados, CII  
Ciudad universitaria Zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C. A.

Tel. (502) 24188000,  
Ext. 86212 y 86213  
(502) 24189138  
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

M. Sc. Ing. Elfego Orozco  
Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos "ERIS"  
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**"Determinación de los estratos (estratificación térmica)  
del Lago de Amatitlán a través de los parámetros de  
temperatura y oxígeno disuelto".**

Elaborado por la Licenciada Sthefany Ludivina Fuentes,  
como parte de su Estudio Especial, y como requisito para  
optar al grado académico de Maestro en Gestión de  
Recursos Hidráulicos, mediante la presente me permito  
informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto,  
le comunico que dicho documento cuenta con mi  
aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me  
suscribo de usted,

Atentamente.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS".**

M. Sc. Ing. Zenón Muñoz Santos  
Asesor del estudio



Guatemala, 11 de julio de 2012

Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,  
Instalaciones de prefabricados, CII  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9140

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

**Determinación de los estratos (estratificación térmica) del Lago de Amatitlán a través de los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto**

presentado por la estudiante,

**Licda. en Acuicultura Sthefany Ludivina Fuentes**

Les manifiesto que la estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Elfego Orozco  
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos

Edificio de ERIS,  
Instalaciones de prefabricados, CII  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

Telfax (502) 2418 9140

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Joram Matias Gil Larroj, MSc. Ing. Pedro Saravia Celis y MSc. Ing. Zenón Much Santos; así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos, MSc. Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes; la revisión lingüística realizada por la Licda. Aura Mayorga Salguero, Colegiado 2702 y el trabajo de la estudiante: Licda. En Acuicultura Sthefany Ludivina Fuentes, titulado "Determinación de los estratos (estratificación térmica) del Lago de Amatitlán a través de los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 13 de julio de 2012.

**IMPRIMASE**

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in blue ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text: "ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS - FACULTAD DE INGENIERIA - DIRECCION".

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis  
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC -

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria - ERIS -

Autoridad Para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA- en especial a la División de Control Ambiental. Por permitirme realizar este trabajo, esperando que sea un granito de arena que contribuya a la dinámica de un lago agonizante pero hermoso.

Catedráticos de ERIS, en especial a: Ingeniero Elfego Orozco, Ingeniero Pedro Saravia e Ingeniero Joram Gil

Personal administrativo de ERIS: Dorita, Frida y Janet

A mis amigos y Compañeros: Lucrecia, Claudia, Ana Beatriz, Susan, Pamela, Elizabeth, Mónica, Jorge, Mux, Raúl, Ericka, Janania, y todos aquellos con los que compartimos en la maestría.

Y a todas aquellas personas que me animaron a seguir adelante.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser el dador de vida, sabiduría e inteligencia, para cada triunfo que me ha permitido alcanzar.
<b>Virgen María</b>	Por ser mi madre celestial, que intercede cada día por nosotros.
<b>Mi Madre</b>	Por permitir formar parte de este mundo y que este triunfo sea una flor más que pongo sobre su tumba.
<b>Marty y Adel</b>	Por apoyarme y animarme cada momento de mi vida.
<b>Mi familia</b>	Gracias por su cariño y apoyo.
<b>Manolo</b>	Por apoyarme y animarme siempre, TQM.
<b>Ing. Zenón Much Santos</b>	Por el asesoramiento incondicional de este trabajo y animarme desde el inicio de la maestría.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
ALCANCES.....	XV
LIMITANTES.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MONOGRAFÍA DEL LAGO DE AMATITLÁN.....	1
1.1. La cuenca del lago de Amatitlán.....	1
1.2. Ubicación geográfica del lago de Amatitlán.....	3
1.3. Municipio de Amatitlán.....	7
1.3.1. Situación geográfica.....	7
1.3.1.1. Aspectos geográficos.....	8
1.3.1.2. Aspectos hidrográficos.....	8
1.3.1.3. Aspectos topográficos.....	9
1.3.1.4. Etimología.....	9
1.3.2. Población.....	10
1.3.2.1. Población Económicamente activa (PEA).....	10

2.	MARCO CONCEPTUAL .....	11
2.1.	Lagos.....	11
2.1.1.	El origen de los lagos .....	11
2.1.2.	Fuentes de alimentación hídrica de un lago .....	12
2.1.3.	Clasificación de los lagos por su estratificación térmica .	12
2.1.4.	Lagos eutrofizados .....	12
2.2.	Limnología.....	13
2.3.	Estratificación térmica.....	13
2.3.1.	Temperatura .....	16
2.3.2.	Temperatura y estratificación vertical de los lagos .....	16
2.3.3.	Oxígeno disuelto.....	17
3.	METODOLOGÍA .....	19
3.1.	Universo del estudio.....	19
3.2.	Puntos de muestreo .....	19
3.3.	Metodología utilizada.....	22
3.4.	Enfoque de la investigación.....	23
3.5.	Diseño de la investigación.....	23
3.6.	Selección de la muestra. ....	23
3.7.	Recolección de datos .....	23
3.8.	Análisis de datos .....	24
4.	RESULTADOS.....	25
4.1.	Correlación de los datos de temperatura y oxígeno disuelto.....	54
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES .....	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICES.....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de ubicación del lago de Amatitlán.....	6
2.	Estratificación térmica en los lagos .....	15
3.	Localización de puntos de toma de parámetros de campo .....	19
4.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 1985-1989.....	26
5.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, años1987-1989.....	28
6.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 1990-1994.....	30
7.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 1995-1999.....	32
8.	Temperatura y oxígeno lado oeste, años 1990-1994.....	34
9.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, años 1995-1999.....	36
10.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 2000-2005.....	38
11.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 2005-2011.....	40
12.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, años 2000-2005.....	42
13.	Temperatura y oxígeno lado oeste, años 2006-2011.....	44
14.	Temperatura y oxígeno bahía Playa de Oro, años 1995-1999.....	46
15.	Temperatura y oxígeno bahía Playa de Oro, años 1996-2011.....	48
16.	Temperatura y oxígeno aireadores lado este, año 2008.....	50
17.	Temperatura y oxígeno, aireadores lado oeste, año 2008.....	53
18.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado este, 1985.....	56
19.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado este, 1995.....	56
20.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado este, 2005.....	57
21.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado este, 2011.....	57
22.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, 1987.....	59
23.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste,	

	año 1997.....	59
24.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado oeste, 2007 .....	60
25.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado oeste, 2011 .....	60
26.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto bahía Playa de Oro, 1995 .....	62
27.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto Playa de Oro, 2005 .....	62
28.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto Playa de Oro, 2011 ..	63
29.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 1 lado este, 2008 .....	64
30.	Correlación de la temperatura y oxígeno aireador 5 lado este, 2008..	64
31.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 11, lado este, 2008.....	65
32.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 15 lado este, 2008.....	65
33.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador lado oeste, 2008 .....	66
34.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador lado oeste, 2008 .....	67
35.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 20 lado oeste, 2008 .....	67
36.	Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, aireador lado oeste, 2008 .....	68

## TABLAS

I.	Identificación de coordenadas de los puntos de muestreo .....	20
II.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este lago de Amatitlán, años 1985-1989 .....	25
III.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán, años 1987-1989 .....	27
IV.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este lago de Amatitlán, años 1990-1994 .....	29
V.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este lago de Amatitlán, años 1995-1999 .....	31
VI.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán, años 1990-1994 .....	33
VII.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán, años 1995-1999 .....	35
VIII.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado este lago de Amatitlán, años 2000-2005 .....	37
IX.	Temperatura lado este, lago de Amatitlán, años 2006-2011.....	39
X.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán, años 2000-2005 .....	41
XI.	Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán, años 2006-2011 .....	43
XII.	Temperatura y oxígeno disuelto, bahía Playa de Oro, lago de Amatitlán, años 1995-1999 .....	45
XIII.	Temperatura y oxígeno disuelto, bahía Playa de Oro, lago de Amatitlán, años 2000-2011 .....	47
XIV.	Temperatura y oxígeno disuelto, aireadores lado este de Amatitlán, año 2008 .....	49
XV.	Temperatura en aireadores, lado oeste, lago de Amatitlán, año	

	2008.....	51
XVI.	Oxígeno disuelto en aireadores, lado oeste, lago de Amatitlán, año 2008.....	52
XVII.	Correlación de los años 1985-2011, para el lado este.....	55
XVIII.	Correlación de los años 1987-2011, para el punto del lado oeste.....	58
XIX.	Correlación de los años 1995-2011, para la bahía Playa de Oro..	61
XX.	Correlación de los aireadores del lado este, año 2008.....	63
XXI.	Correlación de los aireadores del lado oeste, año 2008.....	66

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AIDIS</b>	Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
<b>AMSA</b>	Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán
<b>mg/L</b>	Miligramos por litro
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno
<b>Ppm</b>	Partes por millón
<b>Prof.</b>	Profundidad
<b>T °C</b>	Temperatura grados centígrados

## GLOSARIO

<b>Eutrofización/ Eutroficación</b>	Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.
<b>Estratificación térmica</b>	Calentamiento diferencial de las capas superficiales con respecto a las profundas.
<b>Epilimnio</b>	La parte superior más cálida en un lago.
<b>Hipolimnio</b>	La parte más fría en un lago.
<b>Inversión térmica o volteo</b>	Ocurre en los lagos monomícticos cálidos, es una calificación que se aplica a los lagos que tienen las características de que sus aguas se mezclan una vez al año por causa de variaciones de la temperatura.
<b>Lago</b>	Un lago (del latín lacus) es un cuerpo de agua dulce o salada, más o menos extensa, que se encuentra alejada del mar, y asociada generalmente a un origen glaciar. El aporte de agua a los lagos viene de los ríos y del afloramiento de aguas freáticas.

**Limnología**

Es la rama de la Ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios), las interacciones entre los organismos acuáticos y su ambiente, que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas.

**Oxígeno disuelto**

Es la medida del oxígeno disuelto en el agua, expresado normalmente en mg/L o ppm (parte por millón). La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura: a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve. Por otra parte, si el agua está contaminada, tiene muchos microorganismos y materia orgánica y la gran actividad respiratoria disminuye el oxígeno disuelto. Un nivel alto de OD indica que el agua es de buena calidad.

**Termoclina**

Plano o superficie en el cual la tasa de disminución de la temperatura respecto de la profundidad es máxima. La termoclina es limitada a una zona donde la temperatura cae al menos 1 grado centígrado por metro. Entre el epilimnio e hipolimnio, donde la temperatura desciende rápidamente, se encuentra la termoclina (Birge, 1897).

## RESUMEN

La presente investigación evaluó un componente ambiental importante para los sistemas lóticos, como la temperatura y el oxígeno disuelto en el lago de Amatitlán, ubicado en el municipio de Amatitlán, a 25 kilómetros de la ciudad capital a 1,188 msnm, con un área superficial de 15.06 km<sup>2</sup>.(Batimetría,2001)

Los fenómenos de estratificación y mezcla de las aguas lénticas están relacionados con el ciclo de energía de la tierra. Su existencia depende de los cambios de temperatura en la columna de agua, permitiendo reconocer las condiciones de circulación y estratificación.

Durante años se han realizados estudios y proyectos de investigación enfocados a la parte física, química y microbiológica, no así a la evaluación sobre la estratificación térmica.

En la presente investigación, se utilizaron datos históricos de temperatura y oxígeno disuelto de dos puntos principales del lago, lado Este centro y lado Oeste centro, correspondientes a los años 1987-2011, bahía Playa de Oro, 1996-2011 y 24 aireadores del año 2008, con el fin de evaluar el comportamiento de la temperatura y su influencia en la estratificación térmica.

De acuerdo con los resultados y gráficas obtenidas, la estratificación térmica no se pudo determinar debido a las mínimas variaciones de temperatura, por lo que se establecieron los estratos con los valores de concentración de oxígeno disuelto, para los lados este y oeste,

respectivamente, en los rangos siguientes: en 1985, de 6 a 10 mg/L; años 90-94, de 8 a 10 mg/L; de 1990-1999, de 4 a 10mg/L, y los años 2000 a 2011 de 4 a 12 mg/L, bahía Playa de Oro 1996-2011, en valores de 4 a 12 mg/L; aireadores lado este en valores de oxígeno de 8 a 10 mg/L y en los aireadores del lado oeste, en valores de 2 a 4 mg/L, con profundidades de 1 a 10 metros.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Guatemala cuenta con diversos sistemas lacustres (lagos, lagunas y lagunetas) de singular belleza e importancia económica, biológica y científica, por la diversidad de sus recursos. Muchos de ellos y sus cuencas albergan actividades de recreo, forestales, ganaderas, refugios de fauna y flora silvestre, pesca artesanal, cultivos regionales, reservorios para agua potable y riego; además, constituyen un regulador del ciclo hidrológico del país. (Castañeda, 1995).

Debido al desequilibrio de la estructura social guatemalteca, en los últimos años, los recursos naturales en general, y particularmente los sistemas lacustres vitales para la reproducción animal, manifiestan signos alarmantes de deterioro.

En la categoría de lagos en el departamento de Guatemala se encuentra el lago de Amatitlán a 1,188 msnm, con una área mayor de 10 km<sup>2</sup> (Castañeda, 1995).

Debido a la importancia de los cuerpos de agua naturales y a la importancia ecológica, económica y social, se hace necesario realizar estudios que determinen las condiciones de circulación y estratificación a través de los cambios de la temperatura y el oxígeno disuelto, parámetros importantes en la regulación de procesos biológicos y químicos en el agua.

No existe una sistematización e interpretación de los datos obtenidos de temperatura y oxígeno disuelto durante varios periodos de años. ¿Es posible determinar si a través de los datos de temperatura y oxígeno disuelto se puede establecer la estratificación térmica del lago de Amatitlán a diferentes profundidades? Luego podrá verificarse si la eutrofización ha influido en la estratificación térmica.

## **HIPÓTESIS**

Por medio del análisis de los datos de temperatura y oxígeno disuelto, se puede determinar la estratificación térmica del lago de Amatitlán.

## **ALCANCES**

El presente estudio pretende establecer, con el análisis de la temperatura y el oxígeno disuelto a diferentes profundidades, los estratos del lago: epilimnio, termoclina e hipolimnio, y determinar que en el lago de Amatitlán, a pesar de su problemática de contaminación, todavía existen anualmente los procesos de estratificación.

## **LIMITANTES**

Las limitantes para este estudio, se centraron en no contar con la información confiable y suficiente para ser analizada, debido a que dentro de la información recopilada no se cuenta con metodologías utilizadas para la toma de los parámetros; asimismo, para algunos años se encontraron solamente datos de dos o tres meses.

1

2

3

4

5

附錄

附錄

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar los estratos o la estratificación térmica (epilimnio, termoclina e hipolimnio) del lago de Amatitlán, con los datos de temperatura y oxígeno disuelto.

### **Específicos**

1. Evaluar el comportamiento de la temperatura y oxígeno disuelto a partir de los datos históricos de los años 1985-2011, los cuales fueron obtenidos a diferentes profundidades.
2. Determinar las profundidades a las que se pueden ubicar los estratos del lago.
3. Generar información que ayude al análisis de los resultados obtenidos en el comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto, para determinar la estratificación térmica en un sistema lacustre eutrofizado, como el lago de Amatitlán.



## ANTECEDENTES

El proceso de eutrofización del lago de Amatitlán se aceleró aproximadamente hace tres décadas, durante las cuales el desarrollo físico poco planificado, provocó un excesivo flujo de materiales de desecho hacia este cuerpo de agua, y cuya capacidad de amortiguamiento fue sobrepasada hasta el punto en que se encuentra en sus aguas una gran densidad de algas. (Basterrechea, 1995)

Para el seminario de AIDIS celebrado en San Salvador, se presentó dentro de los programas de investigación de la ERIS, la publicación "Informe preliminar de la eutrofización del lago de Amatitlán" agosto de 1975, de A. Tabarini de Abreu y colaboradores.

Según Basterrechea (1995), con base en el trabajo realizado en la década de estudios limnológicos 1985-1995, en el lago se da un período de estratificación de marzo a octubre y uno de mezcla de noviembre a febrero, y la termoclina se establece a partir de los 8 metros de profundidad, en ambos sectores del lago.

Para optar a un grado académico, varios profesionales realizaron diferentes estudios en el lago de Amatitlán en los siguientes años:

Para el año de 1984, Rolando Aguilera, determinó, a través de su investigación, la productividad primaria del lago de Amatitlán.

En 1985, José Cardona realizó un muestreo de calidad ambiental de la playa pública del lago de Amatitlán.

En 1995, Silvia Argueta, en su tesis de maestría, evaluó la concentración de hidrocarburos derivados del petróleo en el río Villalobos, en el área de abastecimiento de ojo de agua.

Juan Valladares, realizó un estudio en 1999, sobre la caracterización físicoquímica de los afluentes del río Villalobos.

En el año 2003, Carlos Tetzaguic, realizó un estudio para la sistematización de la información de calidad del agua del lago de Amatitlán, con parámetros que determinan su contaminación secuencial.

Hayro García, en el año 2002, realizó una cuantificación de la calidad del agua del río Villalobos, en época seca y lluviosa, en un período de 24 horas, 2 veces al mes, en un punto previo a la entrada del lago de Amatitlán (calidad del agua).

Alexander Esquivel realizó un estudio en el año de 2006, en su tesis de maestría, para determinar la presencia de metales pesados en el agua de origen termal del lago de Amatitlán y zonas aledañas.

Por lo anterior se deduce que la mayoría de estudios se han referido a la calidad del agua, así también se han realizado estudios específicos del proceso de estratificación térmica; el cual es considerado esencial, ya que se evalúa la temperatura y el oxígeno disuelto, parámetros importantes que juegan un papel fundamental en la regulación de numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tomó como tema principal la necesidad de evaluar la temperatura y el oxígeno disuelto a diferentes profundidades en el lago de Amatitlán, ya que son los parámetros que afectan el fenómeno de la estratificación térmica, factores que influyen de manera fundamental en los ciclos físicos y químicos de los lagos, y por lo tanto, en los procesos de producción y respiración que se llevan a cabo en dichos ecosistemas.

Las estratificaciones no se llevan a cabo en todos los lagos, suelen aparecer en los que tienen una profundidad considerable y en diferentes estaciones climáticas, como una zona con clima templado. Asimismo, pueden variar por la contribución de la contaminación con desechos orgánicos, la composición del suelo del lago y desechos químicos.

Aunque el lago de Amatitlán no es tan profundo, sí existe en él un proceso de estratificación, por lo que con base en la evaluación de los datos de temperatura, se conoció cómo se presenta este proceso con nombres tales como epilimnion, termoclina e hipolimnion (Basterrechea, 2005).

Esto se puede determinar a través de la evaluación de la temperatura en el lago; asimismo, se tomaron los datos de oxígeno disuelto como complemento de la temperatura y con esto ver el comportamiento de la variación de la termoclina en el periodo comprendido entre 1985 a 2011.

El lago forma parte de un conjunto de cuerpos de agua que se encuentran en un proceso acelerado de contaminación y de eutrofización artificial, es decir, un desarrollo exagerado de algas debido a la presencia de sales minerales llamadas nutrientes, en particular de nitrógeno y de fósforo, así como la presencia de dióxido de carbono y luz, lo cual tiende a reducir sus usos y a acelerar su desaparición. (Fuentes, 2005).

La información anterior proporciona los resultados a través de gráficas, donde se podrá apreciar cómo ha sido el comportamiento de la temperatura a través del tiempo; así también cómo se marca la estratificación térmica en el lago de Amatitlán.

Finalmente, se describen en forma concreta, las conclusiones derivadas de los objetivos propuestos en este trabajo, las referencias bibliográficas, y los anexos que contienen la información digitalizada por años.

## **1. MONOGRAFÍA DEL LAGO DE AMATITLÁN**

### **1.1. La cuenca del lago de Amatitlán**

Se encuentra ubicada en el Valle de las Vacas o de la Ermita, departamento de Guatemala, situada entre tres sistemas de fallas: Mixco, Pinula y Jalpatagua, formando el "Graben" en donde se encuentran asentados la mayoría de los municipios del departamento.

Tiene una extensión de 381.31 Km<sup>2</sup>, ubicada en la zona de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre. Esta cuenca es una subcuenca del río María Linda, o sea, una parte de la cuenca del mencionado río, y se ubica dentro de las coordenadas 14°42' a 90°16'86" longitud oeste del Meridiano de Greenwich. Los límites de la cuenca son los siguientes: al norte con la divisoria continental de aguas (Calzada Roosevelt y Boulevard Liberación hasta los Arcos en la Ciudad de Guatemala) y la cuenca del río Motagua de la vertiente del océano Atlántico; al oeste con la cuenca del río Achiguate; al este con la cuenca del río Los Esclavos; al sur con el río Michatoya y parte media del río María Linda, que constituye una de las cuencas de la vertiente del Pacífico. La altitud varía entre 1,186 y 2,500 msnm.

La cuenca está formada por catorce municipios, algunos del departamento de Guatemala y otros del departamento de Sacatepéquez; de estos, siete tienen influencia directa en el lago debido al impacto producido por la degradación de los recursos naturales, siendo: Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Mixco, Amatitlán y Guatemala (parte sur de la Ciudad capital, zona 7, 11, 12, 13 y 21).

La población de la cuenca es, aproximadamente, de 2,000,000 de habitantes; siendo Villa Nueva el municipio más poblado, ubicándose el 79% en el área urbana, y cuyo 34% pertenece a la Población Económicamente Activa - PEA-.

Los suelos que conforman la cuenca del lago son, básicamente, formaciones de origen volcánico de diferentes épocas, las que a través del tiempo han ido consolidándose hasta llegar a formaciones de roca.

La cuenca del lago de Amatitlán es sumamente susceptible a la erosión debido a que sus pendientes son superiores a 20%.

En relación con su hidrografía, el río Villalobos es el principal del área, inicia a una altura de 1480 metros sobre el nivel del mar (msnm). Su cuenca tiene una extensión de 61.76 km<sup>2</sup>. Con un caudal promedio de 0.778 m<sup>3</sup>/s (mínimo: 0.027 m<sup>3</sup>/s en verano, máximo: 2.161 m<sup>3</sup>/s en invierno). Está formado por los ríos El Molino, San Lucas y Pinula, toma el nombre de Villalobos desde el puente Villalobos sobre la carretera CA-9, hasta su desembocadura en el lago de Amatitlán, con una longitud de 22 km.

Para 1978 el río Villalobos ya presentaba elevada contaminación de sólidos en suspensión y altas concentraciones de plomo, fósforo, potasio, sodio, nitratos y nitritos, entre otros. Se ha detectado una elevada contaminación con excretas, que se evidencia a través de la presencia de coliformes fecales, provenientes de las descargas de aguas negras. Arrastra al lago de Amatitlán 75,513.33 toneladas de desechos sólidos (basura) por año (ton/año) provenientes de los barrancos, calles, cunetas y basureros clandestinos y autorizados; además, los sólidos sedimentables (tierra), constituyen aproximadamente 500,000 toneladas al año, y son otro grave problema debido

a que se depositan en la desembocadura del río, restándole área y profundidad al lago.

Los materiales contaminantes tienen aspecto desagradable y producen olores fétidos. El río Villalobos arrastra gran cantidad de tierra debido a la erosión de los suelos y a la actividad minera que realizan algunas empresas para la fabricación de materiales de construcción, urbanizaciones y extracción de arena. Todo esto provoca que el lago de Amatitlán disminuya el área y su volumen de agua. En los últimos años el lago ha perdido aproximadamente 26,000 m<sup>2</sup> de extensión.

## **1.2. Ubicación geográfica del lago de Amatitlán**

El lago de Amatitlán tiene su origen en la Era Cuaternaria y su formación se debe a los movimientos tectovolcánicos ocurridos en el área y provocados por los volcanes de Pacaya, Agua, Fuego y Acatenango. Durante esa época, su extensión era de aproximadamente 80 km<sup>2</sup>, ocupando la superficie de los municipios de Amatitlán, Villa Nueva y Villa Canales, ya que se han encontrado fósiles de caracoles y pequeños esqueletos de peces durante excavaciones realizadas en esos lugares a principios de siglo. Durante la época precolombina, el lago fue la fuente principal de abastecimiento de agua y de alimento para las tribus Pocomames asentadas a su alrededor.

El lago de Amatitlán es un lago de cráter situado en Guatemala. Se encuentra a 25 km de la ciudad de Guatemala, a una altitud de 1186 msnm. Tiene 12 km de largo, 3 km de ancho, y una superficie de 15.06 km<sup>2</sup>; su profundidad media es 18 metros y la máxima de 28 metros, ubicada entre la Silla del Niño y el Zanjón de Monte Sión. Los municipios que comparten las riberas del lago son: Amatitlán, Villa Canales, San Miguel Petapa y Villa Nueva.

El volumen del cuerpo de agua es aproximadamente 270 millones de metros cúbicos; coordenadas, 14°28'N 90°36'O / 14.467, -90.6 (Batimetría, 2001).

En la actualidad, el lago es utilizado con fines de consumo doméstico, irrigación, recreación, hidroelectricidad, navegación comercial en pequeña escala, y pesca con fines nutricionales y comerciales.

La temperatura media anual es bastante estable y oscila entre los 18 a 21°C.

El lago de Amatitlán puede ser considerado como dos lagos, debido a que las características físicas, químicas y biológicas de cada parte son diferentes. El lado oeste recibe los vertidos residuales de la zona sur de la ciudad capital que incluye los municipios de Mixco, Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva, Santa Catarina Pinula, entre otros. Este punto tiene la ventaja de descargar sus aguas en el río Michatoya. La mayor descarga residual en el centro lado este, es derivada por la escorrentía de las agrícolas (beneficios de café, agrocultivos, ingenio de azúcar) que acarrea gran cantidad de fertilizantes, plaguicidas, biocidas, etc. Este cuerpo hídrico tiene una clasificación de monomítico cálido.

Este recurso natural tiene un alto grado de eutroficidad por los nutrientes que recibe como el nitrógeno y el fósforo derivados de las industrias y del sector agroindustrial, así como de las aguas domésticas. La columna de agua ha sufrido un desequilibrio, ya que en la parte superficial (epilimnion) del lago sus características son las siguientes: pH alcalino, turbiedad alta, oxígeno disuelto alto, temperatura alta, transparencia baja, sólidos en suspensión altos y en la

parte del hipolimnion (profunda) pH neutro, oxígeno disuelto muy bajo, temperaturas bajas, y sólidos en suspensión muy altos.

Respecto de la flora, en el lago existen varias clases de plantas. En sus orillas se encuentran plantas como la *Jussiaea peruviana*, o hierba de clavo, la *Typha scirpas* o tul. Otras plantas flotan, como la *Eichornia Crassipes*, conocida como lechuguilla o ninfa. Entre las algas está la *Mycrocystis aeruginosa* (nata verde flotante) que produce un olor similar al gamezán, provoca irritación en la piel y al ser ingerida produce vómitos, pudiendo ocasionar la muerte.

Las algas se han producido en exceso debido a las grandes cantidades de fósforo y nitrógeno que llegan al lago, provenientes de las aguas residuales domésticas, industriales y agroindustriales sin ningún tipo de tratamiento, las cuales son transportadas por el río Villalobos.

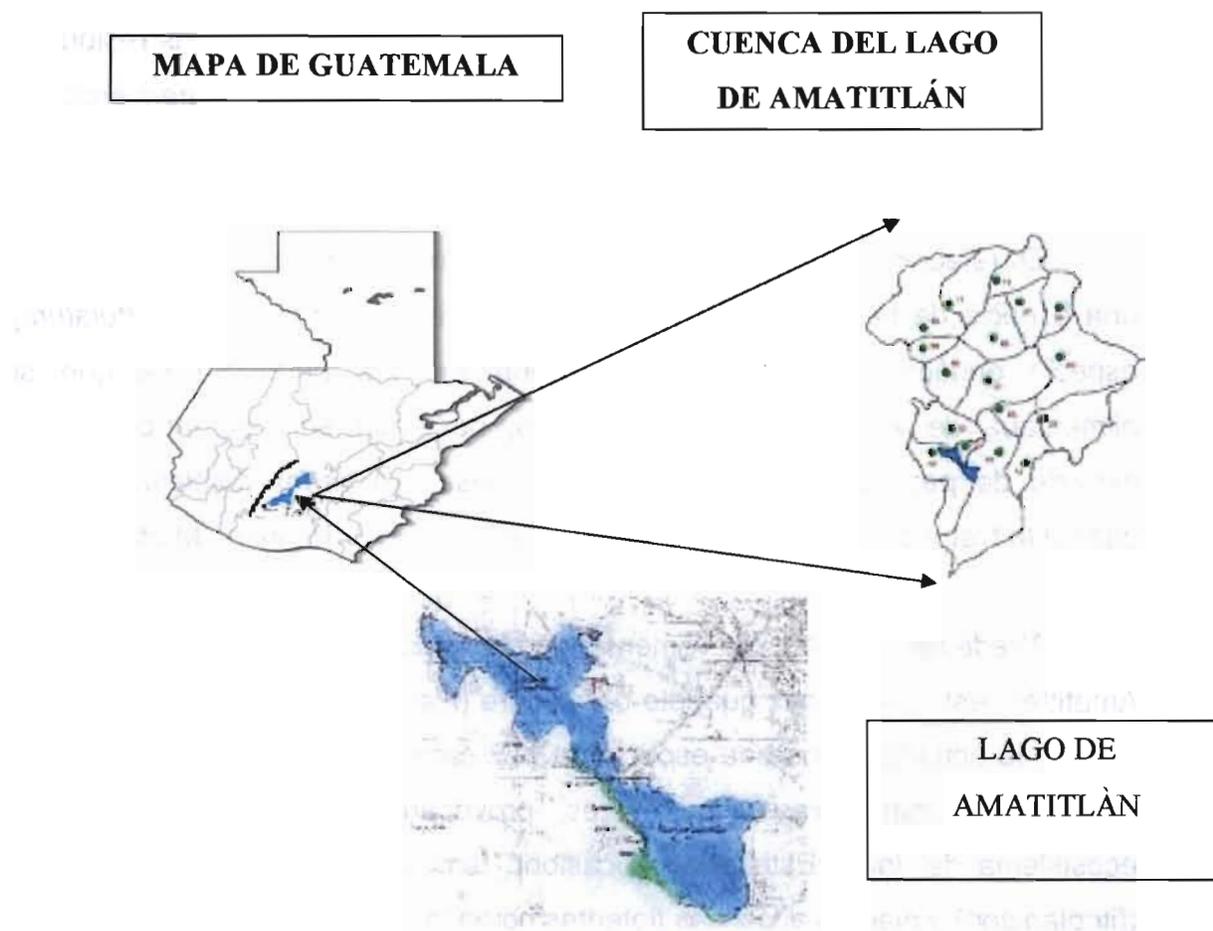
En relación con la fauna, a la llegada de los españoles en el lago existía una especie de pez pequeño llamado mojarra azul (*Parachromis guttulatum*), especie endémica del lugar. Su alimentación era herbívora ya que se alimentaba de algas y plantas acuáticas; posteriormente se introdujo otra especie de pez, también herbívoro: la pepesca (*Astianax fasciatus*); según cuenta la historia, esa fue sembrada en el lago por Fray Jerónimo Martínez.

Alrededor de 1940, nuevamente fue sembrada otra especie en el lago de Amatitlán, este nuevo pez guapote o pez tigre (*Parachromis managuense*) que vive en la actualidad, es una especie de pez carnívoro, el cual se alimentó de las especies herbívoras y omnívoras, provocando un desequilibrio en el ecosistema del lago. Este hecho ocasionó también la proliferación de algas (fitoplancton) y plantas acuáticas flotantes como la lechuguilla.

Según estudios realizados por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el lago de Amatitlán –AMSA-, se han detectado en el lomo del pez, elevadas concentraciones de coliformes fecales y totales, entre otras.

Las descargas de residuos sólidos que afectan al lago también limitan la reproducción de peces, ya que las mismas se precipitan al fondo y cubren los huevecillos de los peces y los organismos que son alimento para estos, impidiendo que se desarrollen. (Fuentes, 2005).

Figura 1. **Mapa de ubicación del lago de Amatitlán**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?q=lago+de+amatitlan>

### **1.3. Municipio de Amatitlán**

El municipio de Amatitlán se encuentra ubicado en la parte sur de la cuenca con una extensión territorial de 114 km<sup>2</sup>; de los cuales, 32.15% intervienen en ella, por toda actividad humana realizada en dicha extensión, que tendrá un efecto posterior en el lago.

#### **1.3.1. Situación geográfica**

El municipio de Amatitlán se ubica en la parte sur del departamento de Guatemala, (sur de la cuenca del lago) a 28 Km. de la ciudad capital. Es uno de los siete municipios con mayor influencia en el deterioro del lago.

- Límites
  - Norte: municipios de Villa Nueva y Villa Canales.
  - Sur: Palín y San Vicente Pacaya (Escuintla) y Villa Canales
  - Este: Villa Canales
  - Oeste: Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús (Sacatepéquez)
  
- Coordenadas cartesianas
  - Latitud: 14°28´42"
  - Longitud 90°37´08"
  
- Elevación: la cabecera municipal se encuentra a 1,189.95 msnm. Tiene las siguientes características climatológicas:

- Temperatura anual: 22° C.
- Humedad: 50%.
- *Clima*: Templado

#### **1.3.1.1. Aspectos geográficos**

Sobresale la sierra Monterrico. En este municipio se encuentra una diversidad de cerros, entre ellos: Cardona, Cerro Grande, Cerro Chiquito, De Corado, El Filón, El Morlón, Hoja de Queso, La Mariposa, La Montaña, La Mujer Dormida, La Pipa, Limón, Mal Paso, Palencia, Santa María Y Silla de Los Órganos.

#### **1.3.1.2. Aspectos hidrográficos**

- Río Michatoya
- Zanjones Malena y Mico
- Lago de Amatitlán
- La laguna de Calderas, que se encuentra ubicada en la aldea del mismo nombre, a inmediaciones del volcán de Pacaya, a una altura de 1778 msnm, coordenadas 14°24'40" y 90°35'25"
- Quebradas: Agua de La Minas, La Azacualpa, Las Estacas, Quitacalzón y La Barranca

#### **1.3.1.3. Aspectos topográficos**

La topografía del municipio es irregular, quebrada en un 65%, con pequeños valles. El mayor de estos es ocupado por la cabecera municipal de Amatitlán.

Cuenta con los parajes siguientes: Bebedero, Castillo de Dori3n, El Aguacate, El Control, El Relleno, El Salitre, El Zapote, La Barca, La Monta3a, La Presa, Las Mesas, Las Mesitas, Las Tapias, Los Sauces, Mal Paso, Monte Sion, Morloncito, Plan de Majunchal, Pozo del Coco, Progresista y Silla del Ni3o.

Su jurisdicci3n municipal comprende: una poblaci3n denominada "Ciudad" que es la cabecera municipal, 14 aldeas, 15 caser3os, 34 fincas y 45 colonias, aproximadamente.

#### **1.3.1.4. Etimolog3a**

Seg3n Francisco Gall, el vocablo Amatitl3n proviene de la lengua mexicana n3huatl y de la lengua pipil, que significa "Ciudad de las cartas" o del Correo. "Amat" significa "carta", y "Tlan" es "ciudad". Amatitl3n recib3a indistintamente esta designaci3n o la de Chichoy, voz cakchiquel, que significa "en el lugar de la laguna"; prevaleciendo la primera denominaci3n, seg3n la opini3n de Gage y muchos otros historiadores.

El idioma predominante es el espa3ol. Algunas lenguas y dialectos mayas son utilizados por personas que se dedican al comercio de productos en el mercado municipal.

La fiesta patronal tradicional y bicentenario de la Santa Cruz se celebra el 3 de mayo de cada a3o, en honor al Ni3o Dios de Amatitl3n.

### **1.3.2. Población**

El número de habitantes del municipio de Amatitlán es de 82,870, según datos estimados por el Instituto Nacional de Estadística, en el año 2002.

#### **1.3.2.1. Población Económicamente Activa (PEA)**

Según datos del Censo IV habitacional y IX de Población, la PEA es de 29,102.4 personas entre hombre y mujeres. La población a partir de los 7 años de edad, es considerada Económicamente Activa y se divide entre ocupada y desocupada. En el ámbito de los municipios de la cuenca, la distribución de la PEA varía en cuanto a las principales actividades económicas a que se dedican. En Amatitlán las principales actividades son: la agricultura, pecuaria, industria, artesanal, pesca, construcción y turismo; predominando el visitante nacional sobre el internacional.

El turista nacional se convierte en el mayor generador de ingresos al municipio. La playa pública del lago de Amatitlán se ve revestida de familias en busca de sana diversión y entretenimiento, ventas de comida popular, restaurantes y paseos en lancha se convierten en el mayor atractivo del lugar. Amatitlán cuenta con una variedad de parques, piscinas, sitios arqueológicos, hospedajes, ríos, entre otros. (AMSA, Monografía Amatitlán, 2003).

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1. Lagos**

Un lago (del latín *lacus*) es un cuerpo de agua dulce o salada, más o menos extenso, que se encuentra alejado del mar, y asociado generalmente a un origen glaciario. El aporte de agua a los lagos viene de los ríos y del afloramiento de aguas freáticas.

#### **2.1.1. El origen de los lagos**

Es posible deducir el origen de un lago si se observa su contorno. Un lago es un cuerpo de agua estancada en una depresión del suelo. Las depresiones lacustres se han formado a partir de una o varias fuerzas del subsuelo.

Los lagos muy profundos quizá surgieron a raíz de movimientos tectónicos, esto es, cuando se hundieron bloques de la corteza terrestre; los redondos y de bordes altos tal vez se formaron cuando se desplomó o voló el cráter de un volcán; los alargados podrían ser restos de valles glaciares; por último, los de forma de media luna, son por lo regular producto de cambios más recientes en el curso de un río.

### **2.1.2. Fuentes de alimentación hídrica de un lago**

Un lago se alimenta de las siguientes fuentes:

- Precipitaciones
- Sistemas fluviales
- Aguas subterráneas
- Mar

### **2.1.3. Clasificación de los lagos por su estratificación térmica**

Las diferencias de densidad en las aguas de los lagos resultan del gradiente térmico, e influyen sobre su circulación vertical a lo largo del año. La circulación general depende de la temperatura y, por consiguiente, va ligada al clima de la región.

Numerosos autores se han interesado por la clasificación de los lagos en función de sus características de estratificación y mezcla, que son las decisivas desde el punto de vista biológico.

### **2.1.4. Lagos eutrofizados**

Estos lagos tienen una alta productividad a causa de la abundancia de nutrientes. Las algas hacen que el agua sea muy turbia, de modo que estas abarcan el espejo del lago solo de manera parcial.

Los lagos eutróficos tienen las siguientes características:

- Hay grandes cantidades de sedimentos en el fondo

- Solo habitan peces de agua templada, gusanos y bentos
- Tienen grandes concentraciones de algas flotantes
- Malos olores a causa de la descomposición de la materia orgánica (ácido sulfhídrico y otros gases)
- Poca productividad en el fondo a causa de la falta de luz.

## **2.2. Limnología**

La Limnología (del griego λίμνη, "laguna", y λογος, "tratado") es la rama de la Ecología que estudia los ecosistemas acuáticos continentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios) y las interacciones entre los organismos acuáticos y su ambiente, que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas.

La Limnología no fue considerada como ciencia hasta la publicación de "El origen de las especies", de Charles Darwin, a mediados del siglo XIX.

## **2.3. Estratificación térmica**

En relación con la temperatura, los lagos se clasifican en:

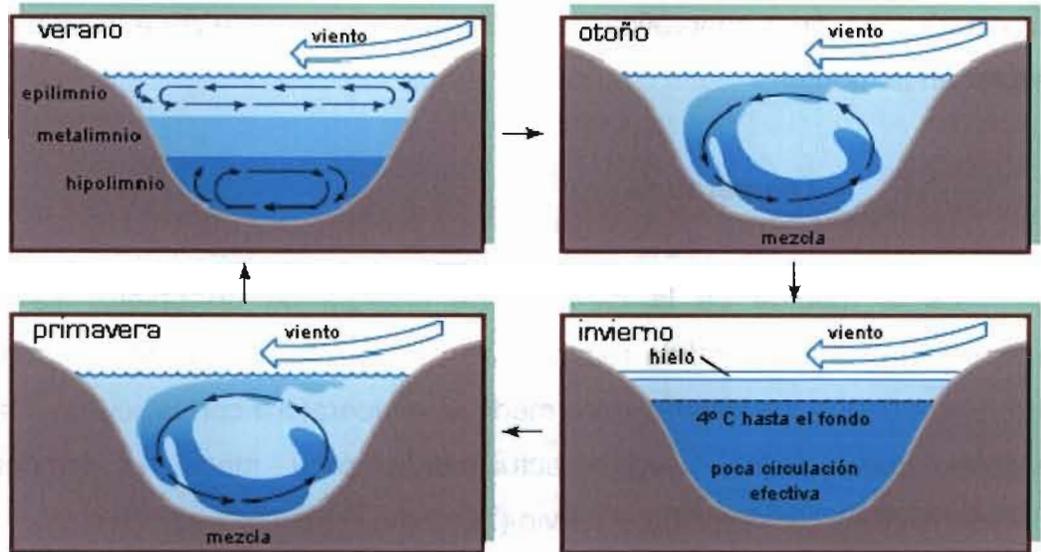
- Lagos templados y subtropicales monomícticos: en estos lagos, la temperatura del agua superficial nunca baja a 4° C y en invierno no se hielan. La mezcla vertical de las aguas solo se puede producir durante la estación fría.
- Lagos tropicales oligomícticos: la temperatura del agua superficial oscila entre 20° - 30° C, manteniéndose casi constante durante todo el año. El

gradiente térmico es débil, y se producen por consiguiente cambios poco notorios. La circulación vertical es irregular y rara vez es total.

- Lagos fríos monomícticos: la temperatura del agua profunda y superficial no sobrepasa nunca los 4° C. Cuando las aguas superficiales alcanzan en verano 4°C, puede producirse una circulación vertical que origina la mezcla de las aguas. Estos lagos se encuentran en las regiones polares.
- Lagos templados dimícticos: en los lagos de las zonas templadas suficientemente profundos, se producen ciclos estacionales que alteran la estratificación de las aguas. Durante el verano, las aguas de las capas superiores se calientan más que las del fondo; este hecho da origen a que se produzca la circulación de las aguas superficiales, las cuales no se mezclan con las del fondo.

La diferencia de temperatura entre las aguas superiores y las profundas, da origen a una zona intermedia denominada *termoclina* que separa dos capas de agua bien diferenciadas: la que está por encima de la termoclina se denomina *epilimnio*, con aguas calientes y circulantes; la capa profunda por debajo de la termoclina recibe el nombre de *hipolimnio* y comprende las aguas frías, no circulantes.

Figura 2. **Estratificación térmica en los lagos**



Fuente: <http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3.html>

En el otoño, la temperatura baja en el epilimnio hasta igualar la del hipolimnio; este hecho provoca la circulación total de las aguas del lago, produciendo la mezcla de las aguas superficiales y profundas. Durante el invierno se produce una estratificación, debido a que las aguas de la superficie se congelan, mientras las aguas del fondo permanecen a 4° C. Esta temperatura corresponde al máximo de densidad del agua. La descomposición bacteriana se reduce a temperaturas bajas.

Durante la primavera, sube la temperatura de las aguas del epilimnio, el hielo se funde y al hacerse el agua más pesada, aumenta su densidad y desciende hacia el fondo, provocando la subida de las aguas profundas; así se establece una circulación total de las aguas con la consiguiente fertilización de las capas superiores por el arrastre de nutrientes en suspensión.

Desde el punto de vista biológico conviene distinguir otro tipo constituido por lagos que son monomícticos templados o subtropicales por sus características, pero geográficamente están situados en la zona tropical, a gran altura, en la montaña.

### **2.3.1. Temperatura**

Es la medida de la cantidad de energía de un objeto. Ya que la temperatura es una medida relativa, las escalas que se basan en puntos de referencia deben ser usadas para medir la temperatura con precisión. Hay tres escalas comúnmente usadas actualmente para medir la temperatura: Fahrenheit (°F), Celsius (°C), y Kelvin (°K).

### **2.3.2. Temperatura y estratificación vertical de los lagos**

En flujos turbulentos como los de los ríos, las aguas son continuamente mezcladas, por lo tanto no se desarrollan gradientes de temperatura durante los meses de verano. En ríos muy lentos y profundos, pero especialmente en lagos, las aguas superficiales tienden a calentarse más rápidamente que las aguas más profundas. Cuando el viento y las corrientes son insuficientes para mezclar las aguas de los lagos desde la parte alta hasta el fondo, lo que es muy común en sistemas muy profundos, un abrupto gradiente de temperatura se genera.

El estrato más superficial, 1 o 2 metros, absorbe una gran cantidad de energía calórica. Este estrato más cálido se denomina epilimnio y el inferior, más denso y frío, es el hipolimnio. Entre ambos estratos existe una zona de transición llamada metalimnio. En esta zona transicional, la temperatura varía rápidamente en un pequeño cambio de posición vertical.

La ocurrencia de este rápido cambio vertical de temperatura con el desarrollo de estratificación se denomina termoclina.

La estratificación termal afecta la calidad del agua. El epilimnio permite abundante crecimiento de lagos, mientras que el contenido de oxígeno disuelto, disminuye en el hipolimnion de lagos eutróficos. Compuestos orgánicos de mal olor y hierro reducido son liberados desde sedimentos de fondo, debido a las condiciones anaeróbicas (Argueta, 2011)

### **2.3.3. Oxígeno disuelto**

La determinación de la concentración de oxígeno disuelto, es una de las pruebas más importantes de los estudios de la contaminación, debido a que los organismos vivos dependen del oxígeno disuelto de alguna manera para mantener los procesos metabólicos que producen energía para crecer y reproducirse.

El oxígeno disuelto (OD) es esencial, no solo para mantener los organismos vivos, sino también los niveles de reproducción de especies, su vigor y desarrollo. La reducción de OD interfiere con la población de peces a través de retrasos en la suelta de huevos, disminución en la tolerancia a tóxicos, y en otros organismos que se ven afectados igualmente. Todos los organismos acuáticos aerobios lo necesitan, su eliminación total conduce a la muerte. El OD evita la formación de olores

La concentración de OD está condicionada por la presión atmosférica, temperatura y la concentración de cloruro, la máxima concentración que se puede esperar está alrededor de los 14 mg/L.

La máxima concentración de OD es conocida también como concentración de saturación de oxígeno disuelto. (Saravia, P.2007)

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). A veces se expresan en términos de porcentaje de saturación (<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/430/43004105.pdf>).

Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua.

En un lago muy fértil, es decir eutrófico, estará más propenso a sufrir carencia de oxígeno disuelto en la parte profunda del agua, el hipolimnion. El lago de Amatitlán, es considerado muy productivo; el agua de fondo sufrirá consecuencias debidas a la estratificación térmica; la mayor parte de la fotosíntesis se realiza en el agua de la superficie que está bien iluminada, por lo tanto el epilimnio contará con una buena provisión de oxígeno disuelto. Sin embargo, los organismos que habitan en el agua profunda necesitan respirar y las pocas reservas que existen en el fondo (hipolimnion) se comienzan a agotar (Colinvaux, 1980).

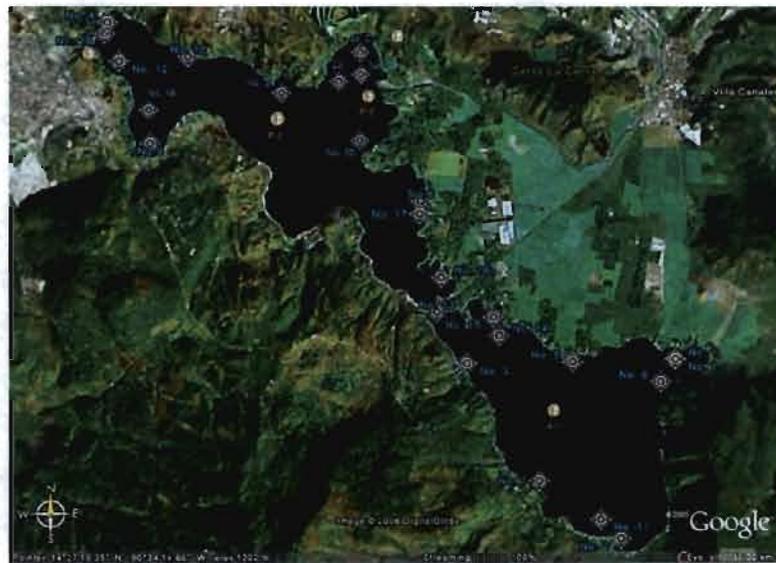
### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Universo del estudio

El universo de estudio es el lago de Amatitlán; por lo que se procedió a evaluar la información, a diferentes profundidades de tres estaciones principales de monitoreo: centro lado este, centro lado oeste, bahía Playa de Oro, y veinticuatro puntos adicionales (ubicación de aireadores), para tener puntos alternos de comparación.

#### 3.2. Puntos de muestreo

Figura 3. Localización de puntos de toma de parámetros de campo



Fuente: AMSA, Google Earth.

A continuación se presenta una tabla resumen de los puntos de toma de parámetros de campo (temperatura °C y oxígeno disuelto O<sub>2</sub> en mg/L)

Tabla I. **Identificación de coordenadas de los puntos de muestreo**

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Localización</b>	<b>Georreferencia</b>
	Lado este-lago de Amatitlán	N 14°26'17.4" W 090°33'07.0"
	Lado oeste-lago de Amatitlán	N 14°28'38.1" W 090°35'13.4"
	Bahía Playa de Oro	N 14°29'13.1" W 090°34'12.1"
1	Villa Canales (Fam. Escamilla)	N 14°26'44.6" W 090°32'00.2"
2	Finca Belén	N 14°25'18.9" W 090°32'27.0"
3	Tacatón (Fam. García Granados)	N 14°26'42.5" W 090°33'41.6"
4	Frente Club de Remo	N 14°29'23.9" W 090°36'35.5"
5	Finca El Zapote	N 14°26'43.2" W 090°32'49.9"
6	Finca Zapote (Flores Asturias)	N 14°27'59.4" W 090°34'03.9"
7	Frente al Chalet Ing. Lerín	N 14°26'01.9" W 090°33'22.2"
8	Villa Canales	N 14°26'33.9" W 090°32'07.5"

9	Aldea El Salitre	N 14°28'26.8" W 090°36'15.3"
10	La Barca (Fam. Cohen)	N 14°29'07.7" W 090°35'56.5"
11	Belén	N 14°25'27.8" W 090°32'36.6"
12	Frente a Club El Morlón	N 14°29'05.8" W 090°36'30.3"
13	Después del Relleno Oeste-Este	N 14°27'06.8" W 090°33'56.0"
14	El Zapote II	N 14°26'55.7" W 090° 33'25.7"
15	Villa Canales	N 14°26'47.5" W 090° 31'47.8"
16	El Zapote IV (Frente a la aldea Cerritos)	N 14° 27'23.1" W 090°33'53.8"
17	El Zapote (a la par de Oxigenador de Flores Asturias)	N 14°27'53.3" W 090°34'04.3"
18	Frente a Playa Pública	N 14°29'18.7" W 090°36'36.9"
19	Frente a Salitre	N 14°28'39.0" W 090°36'19.9"
20	Antes desembocadura río Villalobos	N 14°28'27.7" W 090°34'31.4"
21	Frente al Club Mayan Golf	N 14°29'12.9" W 090°34'31.9"
22	Frente al Club Mayan Golf	N 14°29'07.3" W 090°34'39.5"
23	Frente al Club Mayan Golf	N 14°29'08.2"

		W 090°34'32.9"
24	Antes de Silla del Niño	N 14°26'17.5" W 090°33'05.4"

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros evaluados son físicos, considerando principalmente el parámetro de temperatura y oxígeno disuelto.

Las razones por las cuales se tomaron los parámetros y estaciones de monitoreo, es por la relación que tienen estos con la estratificación térmica y la disponibilidad de datos en los años analizados.

La información recopilada es de varias décadas, años ochentas (80`s), noventas (90`s) y dos mil (2000) lado este y oeste; bahía Playa de Oro, década de los noventas y dos mil (2000) y 24 aireadores año, 2008.

### **3.3. Metodología utilizada**

La información fue recopilada con el apoyo de documentos que se encontraban en la división de control, calidad ambiental y manejo de lagos de AMSA.

Todos los datos fueron digitalizados en hojas electrónicas Excel y separados por años, parámetro y estación de monitoreo. Ya ordenada la información se procedió a realizar las gráficas y los mapas.

### **3.4. Enfoque de la investigación**

La investigación fue de tipo exploratoria, ya que busca determinar cómo la temperatura afecta el fenómeno de estratificación térmica en el lago de Amatitlán.

### **3.5. Diseño de la investigación**

Se elaboró un diseño de investigación de tipo experimental, ya que se obtuvieron resultados a partir de la información de diferentes monitoreos de la temperatura, a diferentes profundidades del lago de Amatitlán, los cuales permitieron la elaboración de gráficas y establecer así los procesos de estratificación térmica.

### **3.6. Selección de la muestra**

Se eligió una muestra no probabilística o dirigida, ya que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación; por lo que se tomaron en total 27 puntos, pero se evaluaron dos principales, debido que estos son los que cuentan con la mayor información suficiente del Lago de Amatitlán, a diferentes profundidades.

### **3.7. Recolección de datos**

Para recolectar datos se utilizó toda la información necesaria obtenida por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán – AMSA-.

### 3.8. Análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos fue de tipo comparativo según el año (en dos puntos principales del Lago de Amatitlán, este y oeste, en el punto de la bahía Playa de Oro 2006-2011, y en 25 puntos adicionales del lago del año 2008, para relacionar los valores obtenidos en la medición de los diferentes parámetros característicos de los lagos.

Toda la información fue almacenada y tabulada mediante gráficas descriptivas, para tener el control del comportamiento de los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto. Así como de mapas a diferentes profundidades con el apoyo del Programa Arc View.

## 4. RESULTADOS

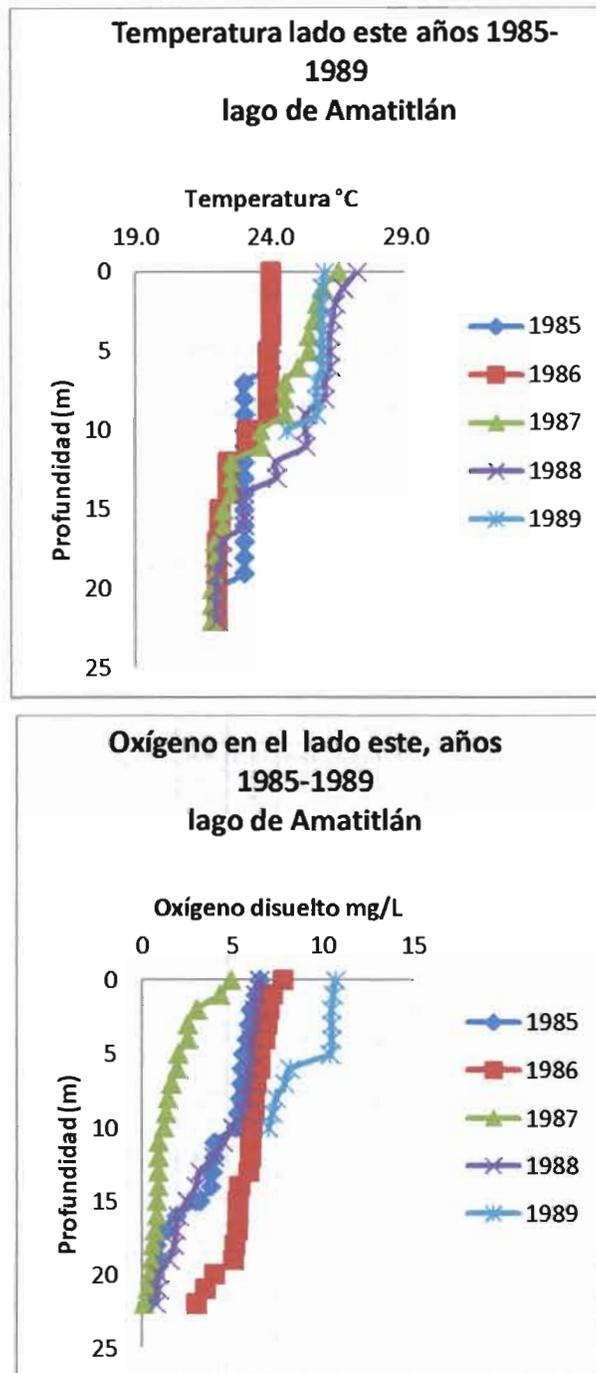
Los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto que a continuación se presentan, fueron tomados *in situ* a diferentes profundidades. Se tomó la decisión de seleccionar estos dos parámetros, debido a que la temperatura en varios años no presentó la estratificación térmica bien definida, debido a la poca variación de la misma; situación que se observó en los resultados.

Tabla II. **Temperatura y oxígeno disuelto lado este lago de Amatitlán, años 1985-1989**

TEMPERATURA						OXÍGENO DISUELTO					
Prof.	1985	1986	1987	1988	1989	Prof.	1985	1986	1987	1988	1989
0	24	24	26.5	27.2	26	0	6.5	7.8	4.9	6.5	10.7
1	24	24	25.9	26.7	25.9	1	6.3	7.2	4.3	6.3	10.6
2	24	24	25.7	26.4	25.9	2	6	7	3	6.2	10.5
3	24	24	25.6	26.3	25.9	3	5.9	6.9	2.5	6.2	10.5
4	24	24	25.4	26.2	25.9	4	5.8	6.8	2.5	6	10.5
5	24	23.9	25.4	26.2	25.9	5	5.6	6.5	2	6	10.4
6	24	23.9	25	26.2	25.9	6	5.5	6.5	1.9	5.9	8.2
7	23	23.9	24.5	26	25.7	7	5.5	6.3	1.6	5.8	7.9
8	23	23.9	24.5	26	25.7	8	5.4	6.2	1.4	5.7	7.4
9	23	23.9	24.5	25.3	25.7	9	5.3	6.2	1.3	5.6	7.2
10	23	23.1	23.6	25.3	24.6	10	5.2	6.1	1.2	5	7
11	23	23.1	23.6	25.3		11	4	6	0.9	4.5	
12	23	22.4	22.5	24.2		12	4	6	0.9	4	
13	23	22.4	22.5	24.2		13	3.9	5.9	0.89	3.2	
14	23	22.4	22.5	23		14	3.8	5.4	0.89	3	
15	23	22.1	22.2	23		15	3.2	5.3	0.8	2.5	
16	23	22.1	22.2	23		16	1.9	5.3	0.8	2	
17	23	22	21.9	22.2		17	1.2	5.3	0.7	1.9	
18	23	22	21.9	22.2		18	0.8	5.1	0.6	1.8	
19	23	22	21.9	22		19	0.8	5	0.5	1.5	
20	22	22	21.8	22		20	0.7	4	0.4	0.95	
21	22	22	21.8	22		21	0.5	3.5	0.3	0.9	
22	22	22	21.8	22		22	0.3	3	0.1	0.8	

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Temperatura y oxígeno disuelto lado este, años 1985-1989



Fuente: elaboración propia.

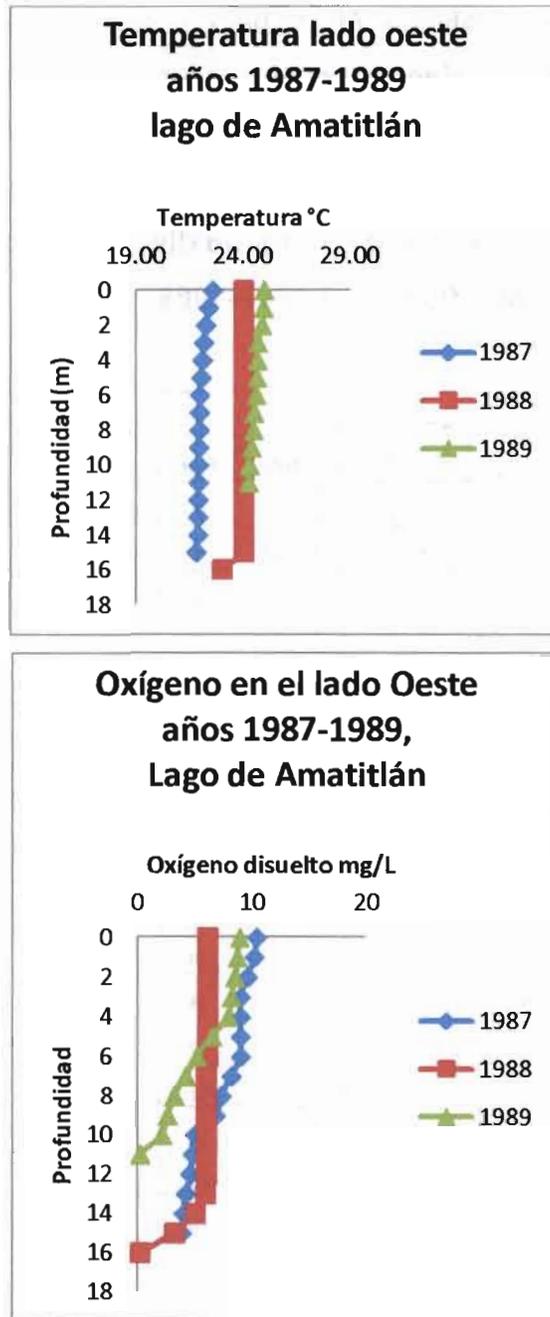
De acuerdo con la figura 4, de temperatura del lado este, la información de los años de 1985 a 1989, no es del todo confiable para determinar una estratificación térmica definida. Ahora bien, si se observan los datos de la figura donde se presenta el oxígeno disuelto, se puede determinar que en el año 1985, el epilimnio estaba a 6 metros de profundidad y en 1989, se presentó a 10.

Tabla III. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, lago de Amatitlán años 1987-1989**

TEMPERATURA				OXÍGENO DISUELTO			
Prof.	1987	1988	1989	Prof.	1987	1988	1989
0	22.57	24.0	25.0	0	10.4	6.1	8.9
1	22.38	24.0	24.9	1	10.2	6.1	8.7
2	22.25	24.0	24.9	2	9.6	6.1	8.5
3	22.16	24.0	24.7	3	9.0	6.1	8.2
4	22.08	24.0	24.6	4	9.0	6.1	7.9
5	22.03	24.0	24.6	5	9.0	6.1	6.5
6	21.97	24.0	24.6	6	9.0	6.1	5.2
7	21.95	24.0	24.5	7	8.2	6.0	4.2
8	21.93	24.0	24.5	8	7.3	6.0	3.2
9	21.91	24.0	24.4	9	6.8	6.0	2.6
10	21.9	24.0	24.3	10	5.0	6.0	2.1
11	21.9	24.0	24.2	11	4.8	6.0	0.2
12	21.89	24.0		12	4.6	6.0	
13	21.88	24.0		13	4.2	5.9	
14	21.87	24.0		14	4.0	5.0	
15	21.79	24.0		15	3.8	3.2	
16		23.0		16		0.2	

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, años 1987-1989



Fuente: elaboración propia.

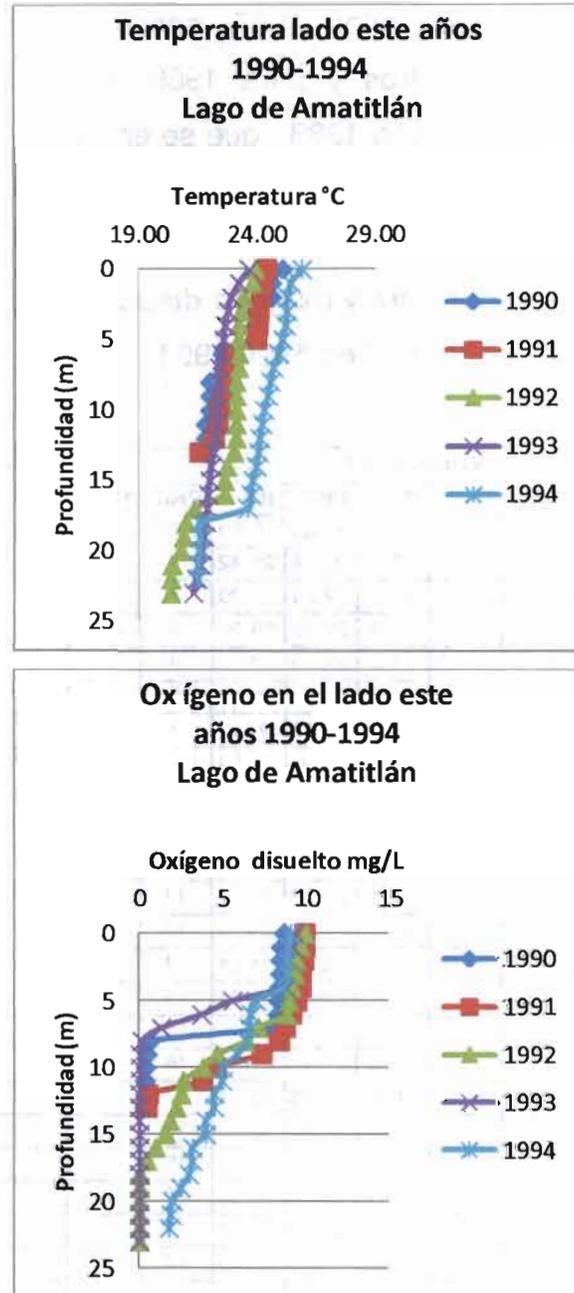
Como se puede observar en la figura 5, los datos demuestran claramente que no se encuentran marcados los estratos de lago, a diferencia del comportamiento del oxígeno disuelto, se puede determinar una estratificación térmica marcada para los años 1987, encontrándose el epilimnio en la profundidad de 0 a 3 metros y para 1989, se encontró a 4 metros de profundidad; no así para el año 1988, que se encontró el epilimnio demasiado profundo.

Tabla IV. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, lago de Amatitlán años 1990-1994**

TEMPERATURA						OXÍGENO DISUELTO					
Prof.	1990	1991	1992	1993	1994	Prof.	1990	1991	1992	1993	1994
0	25.07	24.4	23.9	23.65	25.89	0	8.69	9.93	9.95	9.23	9.10
1	24.6	24.23	23.8	23.24	25.42	1	8.48	9.93	9.72	9.23	9.00
2	24.6	24.13	23.4	22.91	25.29	2	8.45	9.86	9.45	8.95	8.90
3	23.9	24.07	23.3	22.78	25.26	3	8.45	9.70	9.36	8.89	8.90
4	23.9	24.03	23.2	22.65	25.2	4	8.40	9.70	9.17	8.77	8.70
5	23.9	23.97	23.2	22.59	25.07	5	8.33	9.44	8.99	5.61	7.00
6	22.5	22.93	23.2	22.48	24.9	6	8.30	9.12	8.86	3.75	6.70
7	22.5	22.87	23.2	22.4	24.69	7	7.89	8.75	7.16	1.35	6.60
8	22.0	22.73	23.1	22.39	24.56	8	0.65	8.40	6.45	0.18	6.50
9	22.0	22.53	23.1	22.35	24.44	9	0.49	7.36	4.65	0.07	5.90
10	22.0	22.4	23.1	22.3	24.29	10	0.41	4.6	3.83	0.07	5.00
11	21.8	22.33	23.1	22.28	24.2	11	0.37	3.81	2.65	0.07	5.00
12	21.8	22.17	23.1	22.24	24.1	12	0.35	0.55	2.51	0.04	4.50
13	21.8	21.57	23	22.16	24.04	13	0.33	0.46	2.22	0.02	4.50
14			22.7	22.05	23.96	14			1.85	0.02	4.00
15			22.6	22.0	23.8	15			1.58	0.02	4.00
16			22.6	21.91	23.72	16			0.98	0.02	3.20
17			21.33	21.88	23.58	17			0.47	0.02	3.20
18			20.97	21.83	21.6	18			0.04	0.02	3.00
19			20.87	21.75	21.58	19			0.02	0.02	2.5
20			20.77	21.66	21.53	20			0.02	0.02	2.9
21			20.4	21.6	21.48	21			0.02	0.02	1.9
22			20.33	21.4	21.48	22			0.02	0.02	1.8
23			20.33	21.3		23			0.02	0.02	

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 1990-1994**



Fuente: elaboración propia.

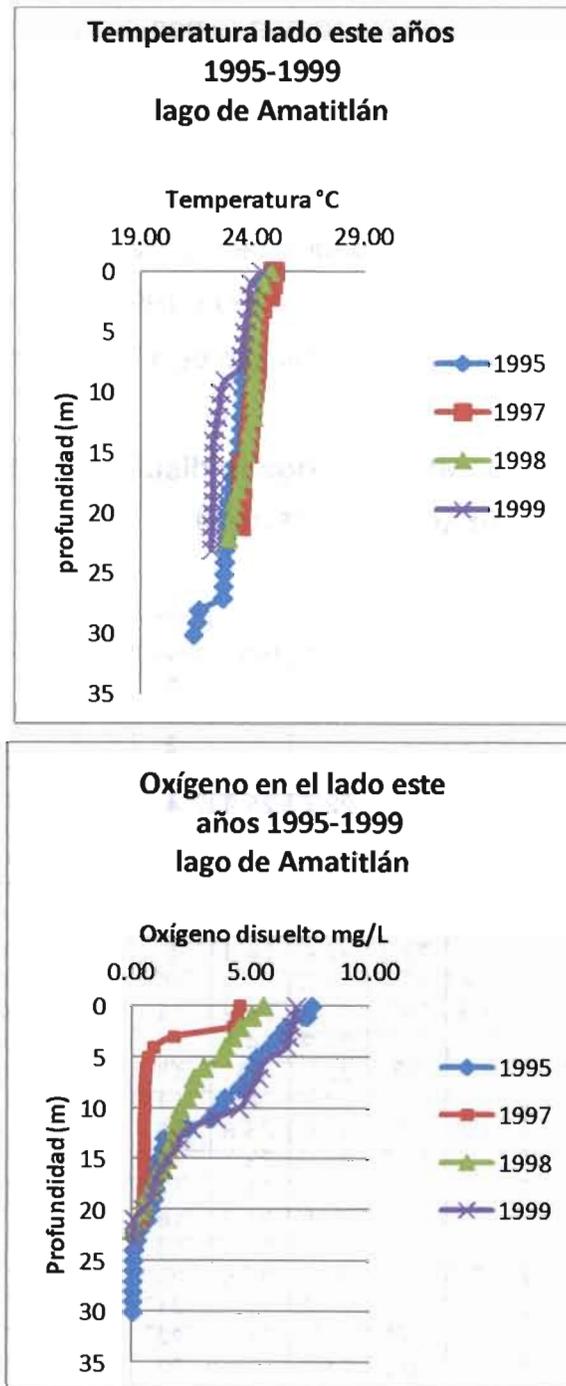
En la figura 6, con los datos de temperatura y oxígeno disuelto, se pudo evaluar la estratificación térmica tanto de temperatura como de oxígeno; aunque no en los mismos años, para la temperatura en los años 1990 y 1991, se puede observar la estratificación térmica, presentando el estrato del epilimnio de 0 a 6 metros, no así en los años de 1992-1994; pero también en la figura de oxígeno disuelto se aprecia mejor la estratificación térmica, encontrándose el epilimnio dentro de las profundidades de 0 a 10 metros. Aunque los años que mejor presentan la estratificación son 1990 y 1993, encontrándose el epilimnio a los 8 metros de profundidad y el hipolimnio de 10 a 23 metros.

Tabla V. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado este lago de Amatitlán año 1995-1999**

TEMPERATURA						OXIGENO DISUELTO					
Prof.	1990	1991	1992	1993	1994	Prof.	1990	1991	1992	1993	1994
0	25.1	24.4	23.9	23.7	25.9	0	8.69	9.93	9.95	9.23	9.10
1	24.6	24.2	23.8	23.2	25.4	1	8.48	9.93	9.72	9.23	9.00
2	24.6	24.1	23.4	22.9	25.3	2	8.45	9.86	9.45	8.95	8.90
3	23.9	24.1	23.3	22.8	25.3	3	8.45	9.70	9.36	8.89	8.90
4	23.9	24	23.2	22.7	25.2	4	8.40	9.70	9.17	8.77	8.70
5	23.9	24	23.2	22.6	25.1	5	8.33	9.44	8.99	5.61	7.00
6	22.5	22.9	23.2	22.5	24.9	6	8.30	9.12	8.86	3.75	6.70
7	22.5	22.9	23.2	22.4	24.7	7	7.89	8.75	7.16	1.35	6.60
8	22.0	22.7	23.1	22.4	24.6	8	0.65	8.40	6.45	0.18	6.50
9	22.0	22.5	23.1	22.4	24.4	9	0.49	7.36	4.65	0.07	5.90
10	22.0	22.4	23.1	22.3	24.3	10	0.41	4.6	3.83	0.07	5.00
11	21.8	22.3	23.1	22.3	24.2	11	0.37	3.81	2.65	0.07	5.00
12	21.8	22.2	23.1	22.2	24.1	12	0.35	0.55	2.51	0.04	4.50
13	21.8	21.6	23	22.2	24	13	0.33	0.46	2.22	0.02	4.50
14			22.7	22.1	24	14			1.85	0.02	4.00
15			22.6	22.0	23.8	15			1.58	0.02	4.00
16			22.6	21.9	23.7	16			0.98	0.02	3.20
17			21.3	21.9	23.6	17			0.47	0.02	3.20
18			21	21.8	21.6	18			0.04	0.02	3.00
19			20.9	21.8	21.6	19			0.02	0.02	2.5
20			20.8	21.7	21.5	20			0.02	0.02	2.9
21			20.4	21.6	21.5	21			0.02	0.02	1.9
22			20.3	21.4	21.5	22			0.02	0.02	1.8
23			20.3	21.3		23			0.02	0.02	

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 1995-1999



Fuente: elaboración propia.

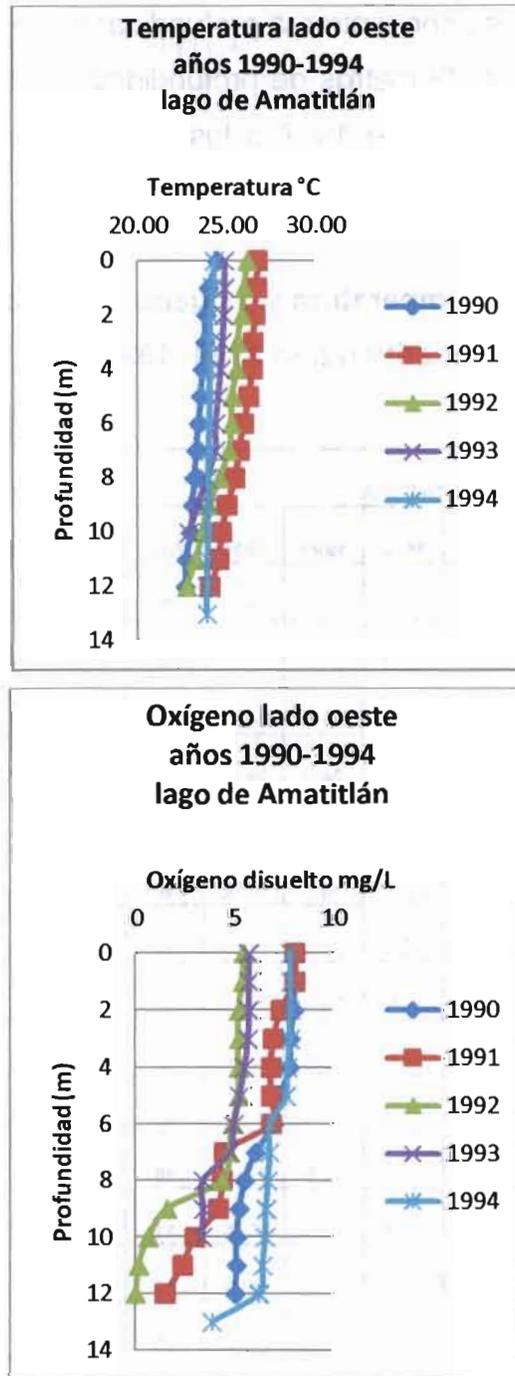
La temperatura y el oxígeno disuelto, del lado este, durante los años 1995 y 1999, presentan los valores para poder definir los estratos de un lago, donde el epilimnion se encuentran a profundidades de 0 a 4 y de 0 a 9 metros, y el hipolimnion de 5 a 22 metros de profundidad; también se puede identificar una termoclina en el año de 1997 a los 5 metros, en la figura del oxígeno disuelto.

**Tabla VI. Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán año 1990- 1994**

TEMPERATURA						OXÍGENO DISUELTO					
Prof.	1990	1991	1992	1993	1994	Prof.	1990	1991	1992	1993	1994
0	24.5	26.75	26.2	24.9	24.31	0	8.14	8.1	5.5	5.76	7.89
1	24.0	26.7	26.0	24.9	24.23	1	8.08	8.1	5.45	5.76	7.88
2	23.85	26.6	25.88	24.8	24.11	2	8.03	7.4	5.25	5.76	7.86
3	23.79	26.5	25.63	24.8	24.08	3	7.88	7.0	5.25	5.72	7.84
4	23.65	26.45	25.58	24.7	24.07	4	7.83	6.9	5.25	5.51	7.73
5	23.55	26.25	25.33	24.5	24.06	5	7.34	6.9	5.25	5.30	7.64
6	23.41	25.95	25.3	24.4	24.04	6	7.03	6.9	4.95	4.98	6.85
7	23.3	25.7	25.13	24.4	24.01	7	6.1	4.5	4.75	4.80	6.81
8	23.18	25.45	24.63	23.9	24.01	8	5.54	4.4	4.4	3.45	6.73
9	23.1	25.0	23.98	23.4	24	9	5.28	4.2	1.6	3.44	6.64
10	22.98	24.7	23.63	22.9	23.95	10	5.15	3.0	0.65	3.38	6.6
11	22.73	24.55	23.25		23.92	11	5.13	2.4	0.15		6.46
12	22.66	24.05	22.73		23.9	12	5.07	1.5	0.0		6.28
13					23.89	13					3.9

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Temperatura y oxígeno, lado oeste, años 1990-1994



Fuente: elaboración propia.

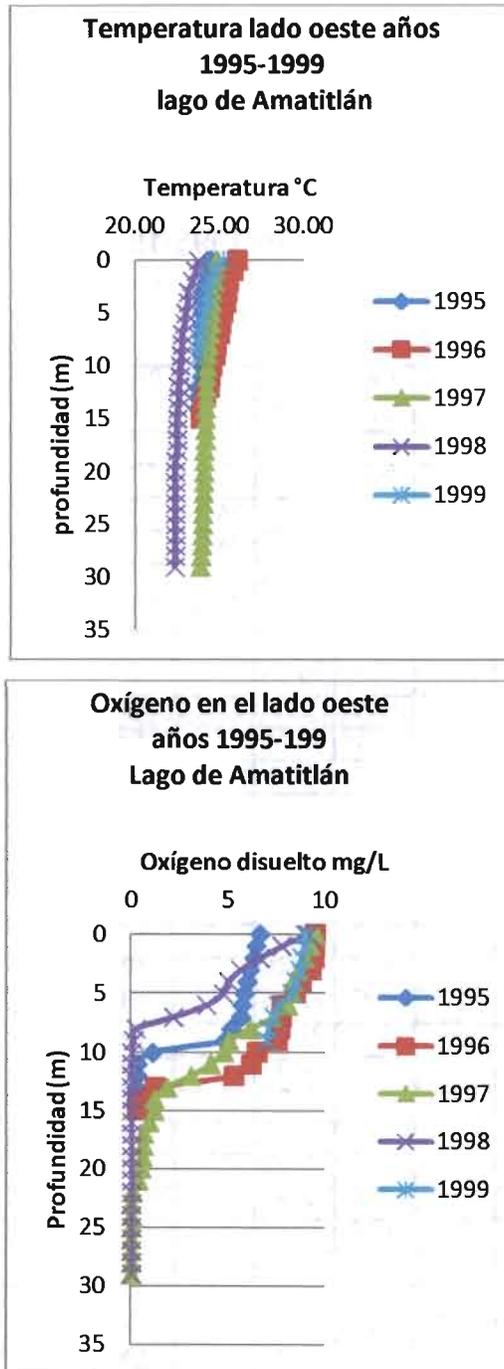
Para definir la estratificación térmica en las dos figuras anteriores, se hace un poco difícil determinar los estratos, sobre todo para el parámetro de la temperatura, debido a que no existe una definición de los estratos, y para el oxígeno, los estratos se encuentran demasiado profundos.

Tabla VII. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán año 1995-1999**

TEMPERATURA						OXIGENO DISUELTO					
Prof.	1995	1996	1997	1998	1999	Prof.	1995	1996	1997	1998	1999
0	24.4	26	24.8	23.7	25.18	0	6.63	9.48	9.51	9.11	8.95
1	24.4	25.7	24.7	23.55	24.67	1	6.44	9.43	9.22	7.76	8.93
2	24.2	25.5	24.6	23.35	24.43	2	6.35	9.4	8.94	6.64	8.79
3	23.9	25.4	24.5	23.1	24.31	3	6.09	9.23	8.65	5.64	8.71
4	23.9	25.3	24.5	23.1	24.22	4	5.97	8.76	8.34	5.02	8.49
5	23.9	25.1	24.5	22.95	24.07	5	5.84	8.46	8.32	4.76	8.29
6	23.9	25.0	24.4	22.9	23.94	6	5.71	7.77	8.06	3.88	7.58
7	23.9	24.9	24.4	22.75	23.85	7	5.66	7.74	7.32	2.18	7.36
8	23.9	24.8	24.3	22.75	23.81	8	5.15	7.67	6.11	0.26	7.1
9	23.9	24.7	24.3	22.7	23.71	9	4.83	7.54	5.02	0.13	7.01
10	23.9	24.5	24.2	22.65		10	1.1	6.47	4.77	0.04	
11	23.9	24.4	24.2	22.6		11	0.33	6.19	4.08	0.04	
12	23.7	24.3	24.2	22.55		12	0.3	5.3	3.08	0.04	
13	23.7	24.1	24.2	22.55		13	0.28	1.24	1.85	0.04	
14	23.7	23.9	24.1	22.5		14	0.26	0.38	1.19	0.04	
15		23.9	24.1	22.45		15		0.34	1.19	0.04	
16			24.1	22.45		16			0.94	0.04	
17			24.1	22.45		17			0.66	0.04	
18			24	22.45		18			0.63	0.04	
19			24	22.35		19			0.59	0.04	
20			24	22.35		20			0.54	0.04	
21			24	22.35		21			0.37	0.04	
22			24	22.35		22			0.09	0.04	
23			24	22.35		23			0.02	0.04	
24			23.9	22.35		24			0.02	0.04	
25			23.9	22.35		25			0.02	0.04	
26			23.9	22.35		26			0.02	0.04	
27			23.9	22.35		27			0.02	0.04	
28			23.9	22.35		28			0.02	0.04	
29			23.8	22.3		29			0	0.04	

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, años 1995-1999



Fuente: elaboración propia.

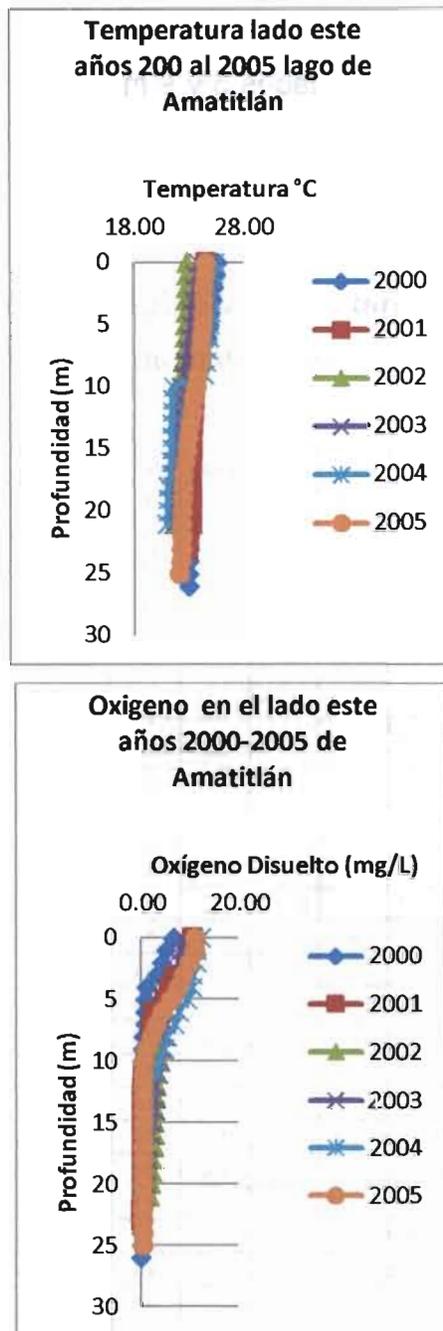
De acuerdo con los valores de temperatura y oxígeno en los años 1995 a 1999, se puede observar que la estratificación más marcada es la de la figura del oxígeno disuelto, donde se puede encontrar el epilimnio para los años 1995, y 1999, dentro de las profundidades 5 y 9 metros, respectivamente; asimismo, se podrá tener los valores del hipolimnio para los mismos años, a profundidades de 10 metros.

Tabla VIII. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, lago de Amatitlán, año 2000-2005**

Prof.	2000	2001	2002	2003	2004	Prof.	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	25.58	24.48	22.73	23.8	25.30	0	6.62	10.5	10.5	8.70	12.3	11.11
1	25.4	24.43	22.70	23.62	25.19	1	5.16	10.0	9.68	8.20	11.5	11.06
2	25.23	24.3	22.68	23.49	25.06	2	4.35	9.18	9.2	8.20	11.4	9.91
3	25.1	24.24	22.64	23.33	25.01	3	3.31	6.85	8.67	8.15	10.7	8.71
4	24.89	24.09	22.62	23.23	24.95	4	1.15	5.82	7.53	7.14	10.5	7.63
5	24.79	23.95	22.58	23.13	24.88	5	0.96	4.86	6.3	6.89	9.58	6.13
6	24.63	23.86	22.54	22.98	24.79	6	0.93	2.62	4.68	5.87	7.76	4.35
7	23.38	23.77	22.54	22.84	24.66	7	0.86	2.08	4.12	5.20	6.95	3.12
8	23.32	23.63	22.34	22.68	24.53	8	0.53	1.96	3.93	4.78	5.36	2.18
9	23.28	23.54	22.29	22.49	24.35	9	0.43	1.84	3.83	4.56	4.73	0.99
10	23.26	23.43	22.18	22.28	21.55	10	0.25	1.02	3.77	3.96	3.77	0.52
11	23.21	23.37	22.1	22.17	21.48	11	0.24	0.47	3.33	3.62	3.3	0.51
12	23.16	23.33	22.06	22.01	21.43	12	0.18	0.33	3.18	2.82	1.52	0.5
13	23.13	23.25	22.0	21.88	21.41	13	0.15	0.17	2.97	2.8	1.05	0.47
14	23.06	23.23	21.96	21.78	21.37	14	0.11	0.13	2.88	2.74	0.98	0.46
15	23.03	23.2	21.93	21.71	21.37	15	0.1	0.13	2.76	2.48	0.98	0.46
16	23.01	23.18	21.9	21.68	21.36	16	0.09	0.13	2.75	2.12	0.94	0.45
17	22.99	23.16	21.86	21.63	21.31	17	0.09	0.13	2.69	1.6	0.89	0.44
18	22.98	23.13	21.77	21.58	21.06	18	0.08	0.12	2.23	1.42	0.83	0.42
19	22.98	23.13	21.76	21.54	21.02	19	0.08	0.12	2.23	1.15	0.45	0.39
20	22.97	23.13	21.73	21.54	21.01	20	0.08	0.12	2.00	1.15	0.19	0.37
21	22.94	23.13	21.72	21.53	20.92	21	0.07	0.11	1.67	0.80	0.15	0.37
22	22.94	22.88				22	0.07	0.10				0.36
23	22.94	22.81				23	0.06	0.03				0.36
24	22.93					24	0.06					0.36
25	22.91					25	0.06					0.35
26	22.91					26	0.04					

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años, 2000-2005



Fuente: elaboración propia.

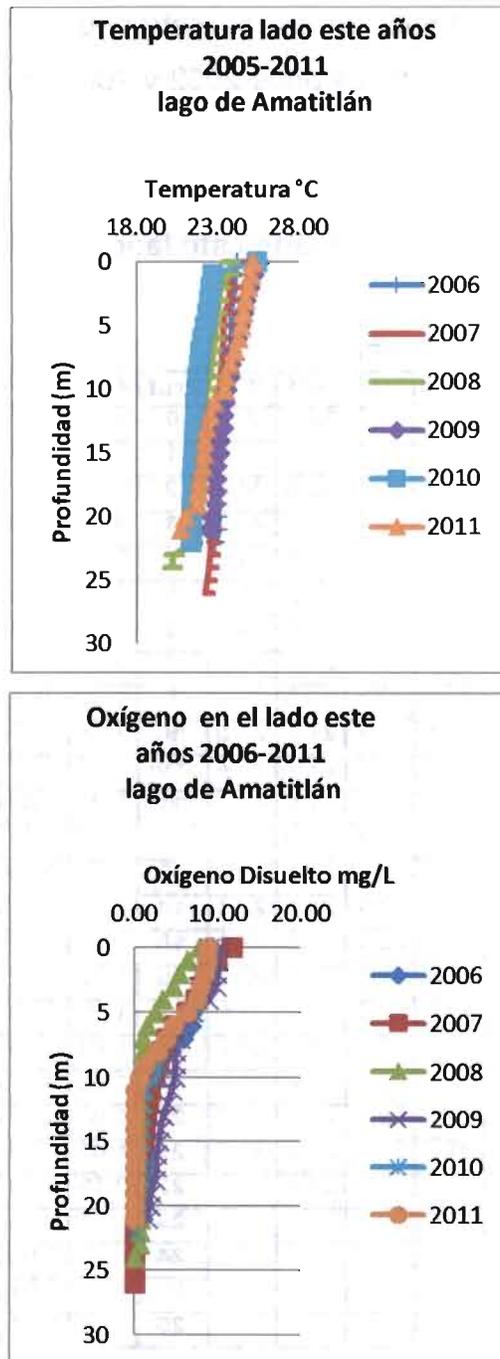
De acuerdo con los datos de la figura 10, de temperatura y de oxígeno disuelto para los años 2000 al 2005, se observa una marcada estratificación, encontrándose el epilimnio a los 5 metros de profundidad para los dos parámetros, a excepción de los años 2002 y 2003, que como muestra la figura de la temperatura, no se puede definir.

Tabla IX. Temperatura lado este lago de Amatitlán, año 2006-2011

TEMPERATURA							OXÍGENO DISUELTO							
Prof.	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Prof.	2006	2007	2008	2009	2010	2005	2011
0	24.2	24.3	23.8	25.6	25.4	25.1	0	9.33	11.7	7.75	10.3	9.01	24.5	8.78
1	24.0	23.8	23.7	25.2	22.7	25.0	1	9.25	9.84	6.31	9.96	8.83	24.4	8.66
2	24	23.7	23.2	25.0	22.5	24.8	2	9.15	8.77	5.33	9.92	8.16	24.3	8.41
3	23.9	23.7	23.1	24.7	22.5	24.7	3	8.79	7.94	4.59	9.8	7.63	24.3	7.9
4	23.8	23.4	23.0	24.6	22.4	24.5	4	8.13	7.32	3.3	8.9	7.62	24.3	7.48
5	23.8	23.3	22.9	24.4	22.2	24.4	5	6.92	6.25	2.42	6.98	7.1	24.2	6.23
6	23.8	23.3	22.8	24.2	22.0	24.2	6	6.8	4.73	1.46	6.0	5.1	24.1	4.69
7	23.8	23.3	22.7	23.8	21.9	24	7	5.87	3.79	1.01	5.5	4.53	24	3.79
8	23.7	23.2	22.6	23.8	21.8	23.7	8	4.34	3.3	0.96	5.0	3.34	24	2.73
9	23.6	23.2	22.5	23.7	21.7	23.5	9	2.64	2.86	0.84	4.99	3.06	23.8	1.36
10	23.5	23.1	22.3	23.6	21.7	23.4	10	2.22	2.37	0.82	4.89	2.64	23.6	0.62
11	23.5	23.0	22.2	23.4	21.6	22.7	11	1.29	1.83	0.8	4.5	1.42	23.3	0.11
12	23.1	23.0	22.1	23.4	21.6	22.5	12	1.27	1.61	0.79	4.0	1.07	23.2	0.08
13	23.1	22.9	22	23.3	21.5	22.3	13	1.19	1.38	0.73	3.5	0.91	23.1	0.07
14	23.0	22.8	21.9	23.1	21.5	22.1	14	1.18	1.22	0.72	3.22	0.89	22.9	0.07
15	23.0	22.7	21.8	23.1	21.5	22.1	15	1.13	1.06	0.69	3.0	0.67	22.7	0.07
16	23.0	22.7	21.7	22.9	21.5	22.0	16	1.12	0.72	0.68	2.7	0.67	22.6	0.07
17	23.0	22.7	21.7	22.9	21.4	21.9	17	1.09	0.42	0.68	2.7	0.51	22.5	0.07
18	23.0	22.7	21.6	22.9	21.4	21.7	18	1.04	0.35	0.68	2.5	0.43	22.4	0.06
19	23.0	22.6	21.5	22.8	21.4	21.7	19	1.03	0.33	0.67	2.0	0.24	22.3	0.05
20	23.0	22.6	21.5	22.6	21.4	21.0	20	1.02	0.25	0.66	1.9	0.17	22.3	0.03
21	23.0	22.6	21.5	22.4	21.4	20.7	21	1.01	0.23	0.65	1.58	0.1	22.3	0.03
22	22.8	22.5	21.4		21.3		22	0.18	0.03	0.64		0.1	22.3	
23		22.5	20.3				23		0.03	0.64			22.3	
24		22.4	20.2				24		0.02	0.02			22.2	
25		22.3					25		0.01				22.1	
26		22.2					26		0.01					

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Temperatura y oxígeno disuelto, lado este, años 2005-2011



Fuente: elaboración propia.

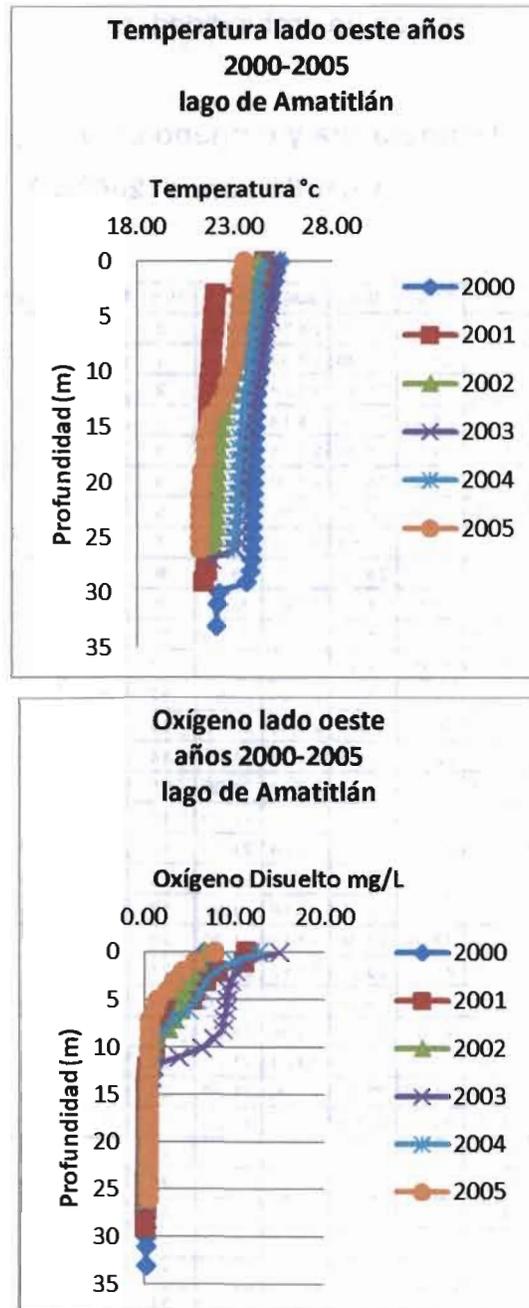
En relación con los datos de temperatura de los años 2006 al 2011, solamente se puede determinar para el año 2010 a 1 metro de profundidad, no así en el parámetro de oxígeno disuelto, donde se pueden marcar los valores del epilimnio de 0 a 10 metros de profundidad, en los 6 años graficados.

Tabla X. **Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste lago de Amatitlán años 2000-2005**

Prof.	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Prof.	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	25.31	24.51	24.23	25.12	24.58	23.48	0	6.54	11.22	6.63	14.90	12.6	7.75
1	25.07	24.46	24.2	25.03	24.32	23.34	1	6.22	10.96	5.86	11.00	9.96	5.59
2	24.93	24.39	24.13	24.91	24.24	23.32	2	5.59	8.07	5.14	10.10	7.87	4.19
3	24.81	21.99	24.05	24.87	24.14	23.32	3	4.98	6.67	4.91	9.60	6.83	3.22
4	24.72	21.97	23.89	24.78	24.06	23.25	4	4.60	5.53	4.35	9.26	6.26	2.54
5	24.58	21.91	23.8	24.74	24.00	23.23	5	3.54	5.18	4.18	9.11	5.70	1.42
6	24.47	21.88	23.69	24.63	23.86	23.14	6	3.52	1.55	3.89	9.03	4.83	1.05
7	24.45	21.82	23.51	24.53	23.82	23.12	7	3.00	1.13	3.18	8.73	3.32	0.57
8	24.38	21.8	23.33	24.42	23.76	23.06	8	1.87	1.07	2.55	8.68	2.37	0.53
9	24.32	21.79	23.15	24.32	23.68	23.00	9	1.12	1.05	1.29	7.63	1.3	0.52
10	24.25	21.78	23.03	24.23	23.64	22.83	10	1.08	1.01	0.91	6.34	0.77	0.46
11	24.18	21.7	22.85	24.13	23.6	22.6	11	0.92	0.55	0.75	3.80	0.41	0.46
12	24.13	21.67	22.67	23.99	23.48	22.53	12	0.84	0.29	0.49	1.00	0.28	0.46
13	24.09	21.64	22.5	23.9	23.46	22.18	13	0.75	0.18	0.33	0.27	0.26	0.44
14	24.08	21.63	22.41	23.81	23.38	21.75	14	0.69	0.17	0.24	0.17	0.25	0.43
15	24.05	21.63	22.29	23.7	23.34	21.60	15	0.34	0.16	0.22	0.15	0.23	0.43
16	24.03	21.6	22.24	23.57	23.3	21.50	16	0.32	0.13	0.21	0.14	0.23	0.43
17	24.02	21.6	22.17	23.5	23.24	21.50	17	0.3	0.13	0.16	0.13	0.22	0.43
18	24.01	21.6	22.14	23.42	23.2	21.50	18	0.29	0.13	0.14	0.11	0.21	0.42
19	24	21.59	22.09	23.4	23.18	21.30	19	0.28	0.12	0.12	0.1	0.21	0.42
20	23.98	21.59	22.08	23.36	23.14	21.30	20	0.28	0.12	0.1	0.1	0.20	0.42
21	23.95	21.59	22.08	23.28	23.12	21.20	21	0.26	0.11	0.08	0.1	0.20	0.41
22	23.94	21.59	22.05	23.21	23.1	21.20	22	0.25	0.11	0.08	0.08	0.20	0.41
23	23.92	21.58	22.03	23.17	23.08	21.20	23	0.25	0.11	0.08	0.07	0.19	0.41
24	23.91	21.54	22.02	23.12	23.01	21.20	24	0.24	0.10	0.07	0.07	0.19	0.41
25	23.91	21.54	21.92	23.08	22.96	21.20	25	0.22	0.10	0.07	0.06	0.17	0.41
26	23.88	21.53	21.87	23.04	22.92	21.20	26	0.21	0.09	0.06	0.06	0.17	0.4
27	23.85	21.53		21.81			27	0.2	0.09		0.01		
28	23.79	21.52					28	0.2	0.08				
29	23.6	21.38					29	0.19	0.06				
30	22.17						30	0.18					
31	22.1						31	0.17					
33	22.04						33	0.17					

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste, años 2000- 2005



Fuente: elaboración propia.

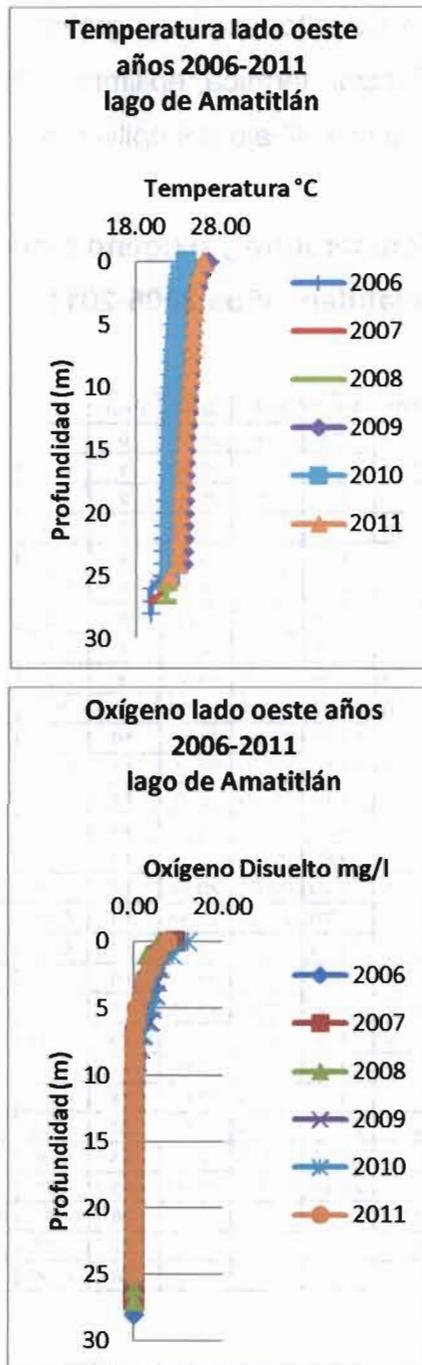
Al evaluar las gráficas tanto de temperatura como de oxígeno disuelto y de acuerdo con los datos de temperatura el año 2001, se determinó el epilimnio, a diferencia del oxígeno disuelto; según la gráfica, para los años 2000 al 2005 se determinó la estratificación térmica, epilimnio a partir de los de 0 a 6 metros de profundidad, y el hipolimnio abajo del epilimnio.

**Tabla XI. Temperatura y oxígeno disuelto lado oeste lago de Amatitlán, años 2006-2011**

Prof.	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Prof.	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0	23.14	25.09	24.78	26.5	23.85	25.94	0	9.03	9.2	5.68	8.14	12.03	7.61
1	22.87	24.49	24.01	25.63	23.25	25.30	1	6.78	5.75	2.94	5.37	8.61	5.27
2	22.66	24.13	23.75	25.28	22.98	25.01	2	4.82	3.85	2.66	5.35	5.97	3.82
3	22.59	24.06	23.65	24.77	22.88	24.89	3	3.39	2.90	2.33	5.12	4.7	2.47
4	22.43	23.96	23.61	24.67	22.81	24.85	4	2.46	2.33	1.49	4.84	4.62	1.78
5	22.34	23.9	23.57	24.53	22.76	24.73	5	1.84	1.83	1.15	4.05	3.99	0.68
6	22.23	23.81	23.51	24.44	22.68	24.62	6	1.21	0.98	0.96	3.55	2.75	0.52
7	22.14	23.72	23.36	24.4	22.61	24.58	7	0.52	0.28	0.87	1.75	2.13	0.17
8	22.06	23.56	23.24	24.36	22.45	24.42	8	0.26	0.28	0.64	1.00	1.27	0.09
9	21.99	23.38	23.16	24.35	22.4	24.31	9	0.12	0.24	0.51	0.70	0.67	0.08
10	21.9	23.18	23.09	24.25	22.33	24.18	10	0.11	0.18	0.49	0.38	0.53	0.08
11	21.84	23.01	22.98	24.18	22.25	24.05	11	0.09	0.18	0.44	0.26	0.35	0.08
12	21.8	22.74	22.89	24.13	22.19	23.9	12	0.07	0.17	0.36	0.01	0.26	0.07
13	21.77	22.51	22.8	24.03	22.14	23.75	13	0.06	0.17	0.33	0.00	0.03	0.06
14	21.68	22.12	22.74	23.86	22.09	23.64	14	0.06	0.17	0.31	0.00	0.02	0.06
15	21.67	22.04	22.65	23.79	22.06	23.54	15	0.06	0.16	0.26	0.00	0.01	0.06
16	21.67	21.93	22.61	23.78	22.05	23.44	16	0.06	0.13	0.25	0.00	0.01	0.06
17	21.67	21.91	22.55	23.73	22.02	23.41	17	0.06	0.12	0.25	0.00	0.01	0.06
18	21.63	21.84	22.48	23.7	22	23.23	18	0.05	0.11	0.25	0.00	0.01	0.05
19	21.5	21.8	22.43	23.66	22	23.19	19	0.05	0.11	0.23	0.00	0.01	0.05
20	21.48	21.76	22.4	23.64	21.98	23.14	20	0.05	0.1	0.23	0.00	0.01	0.05
21	21.2	21.72	22.38	23.62	21.95	23.09	21	0.05	0.09	0.21	0.00	0.01	0.04
22	21.2	21.69	22.37	23.59	21.94	23.05	22	0.05	0.09	0.2	0.00	0.01	0.04
23	21.1	21.67	22.34	23.54	21.93	22.91	23	0.05	0.09	0.17	0.00	0.01	0.04
24	21.1	21.63	22.33	23.53	21.9	22.88	24	0.05	0.09	0.12	0.00	0.01	0.04
25	21.05	21.62	21.6	21.73	21.88	21.89	25	0.05	0.08	0.1	0.00	0	0.03
26	19.74	21.61	21.57				26	0.05	0.08	0.09			
27	19.72	19.62	21.5				27	0.05	0.08	0.09			
28	19.67						28	0.05					

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Temperatura y oxígeno lado oeste, años 2006-2011



Fuente: elaboración propia.

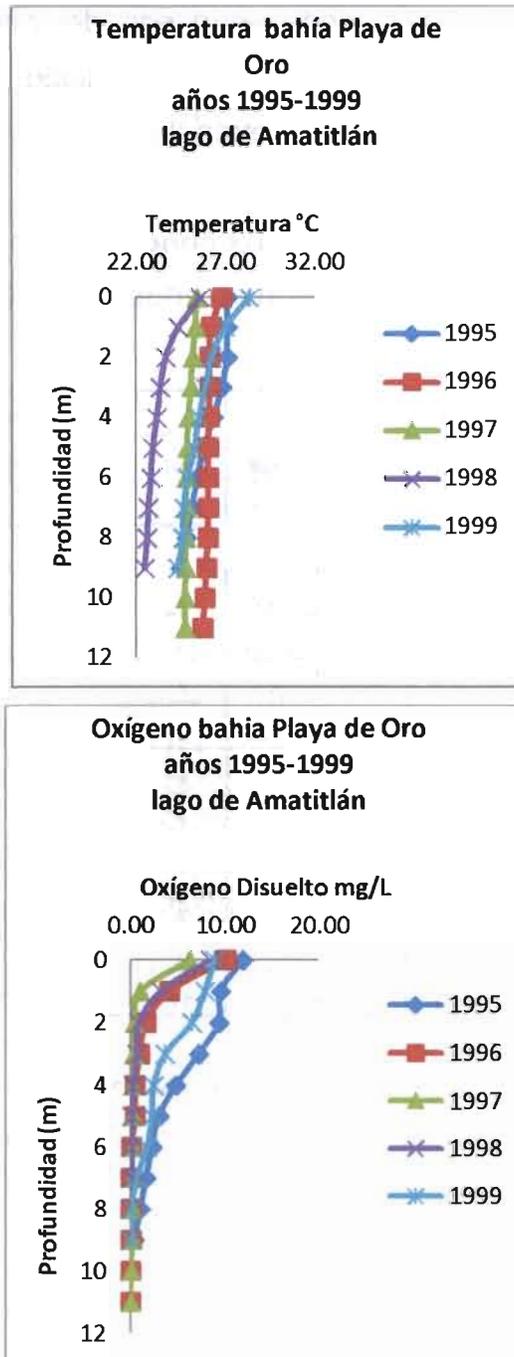
En este período comprendido desde el año 2006 a 2011, existen valores bajos de oxígeno a nivel superficial entre 2 a 13 mg/l en la superficie y un descendimiento del mismo donde se puede determinar el epilimnio en la estratificación entre 0 a 5 metros de profundidad; encontrándose con un hipolimnio anóxico a partir de los 6 metros de profundidad.

**Tabla XII. Temperatura y oxígeno disuelto, bahía Playa de Oro, lago de Amatitlán, años 1995-1999**

TEMPERATURA						OXÍGENO DISUELTO					
Prof.	1995	1996	1997	1998	1999	Prof.	1995	1996	1997	1998	1999
0	27.1	26.78	25.38	25.58	28.3	0	11.9	10.14	6.25	8.44	8.92
1	27.1	26.2	25.32	24.35	26.95	1	9.59	4.13	1.00	3.24	7.91
2	27.1	26.1	25.16	23.65	26.2	2	9.4	1.6	0.44	0.86	6.51
3	26.8	26.1	25.06	23.35	25.85	3	7.22	0.96	0.33	0.64	3.66
4	26.3	26.08	24.9	23.15	25.5	4	4.81	0.49	0.24	0.27	2.45
5	25.8	26.03	24.84	22.95	25.25	5	3.02	0.49	0.22	0.14	2.26
6	25.4	26.03	24.8	22.83	24.85	6	2.27	0.08	0.19	0.12	1.72
7	25.1	26.03	24.8	22.68	24.65	7	1.64	0.05	0.18	0.08	0.64
8	24.8	26.00	24.76	22.6	24.6	8	1.04	0.04	0.18	0.07	0.09
9	24.5	25.93	24.76	22.48	24.3	9	0.38	0.03	0.17	0.06	0.06
10		25.83	24.72			10		0.02	0.04		
11		25.7	24.7			11		0.01	0.03		

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Temperatura y oxígeno bahía Playa de Oro, años 1995-1999



Fuente: elaboración propia.

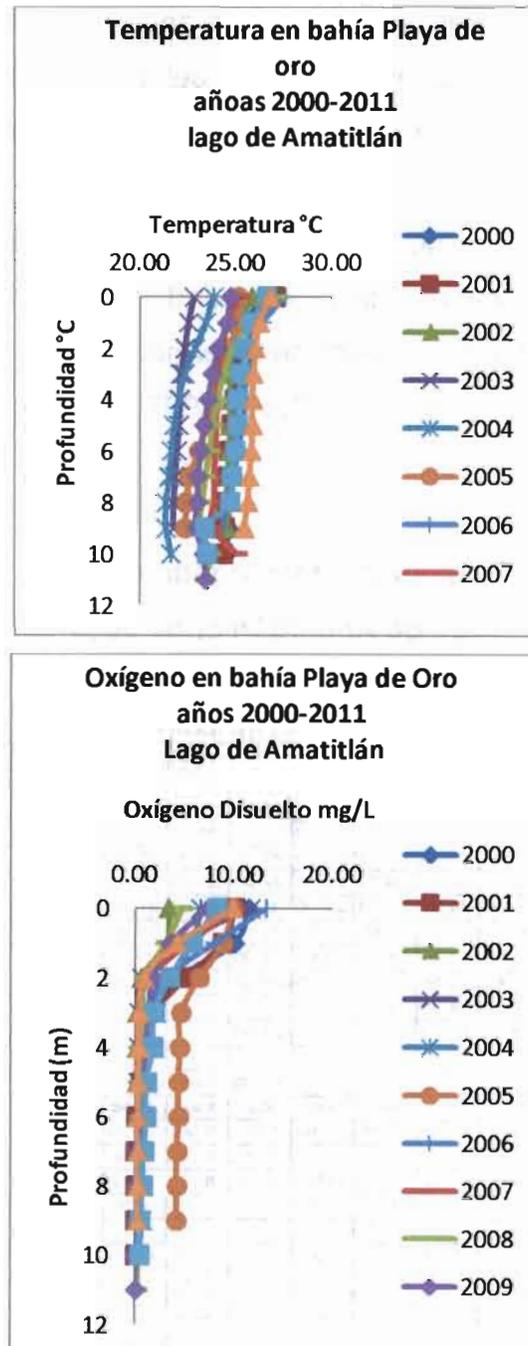
Bahía Playa de Oro es otro punto que se encuentra ubicado dentro del lago, y donde los parámetros de calidad del agua son diferentes a los puntos del lado este y oeste; por eso se tomó la decisión de evaluar este punto para conocer la tendencia de la estratificación del lago en otro punto diferente; solo que para esta investigación se obtuvo información a partir del año 1996; como se observa en la gráfica de temperatura, no se marca la estratificación térmica a diferencia del parámetro de oxígeno; de modo que ilustra que el epilimnio se encuentra de 0 a 2 metros de profundidad y el hipolimnio a partir de los 3 metros y se podría definir un valor de la termoclina que no se pudo observar en los otros puntos para los años 1996, 1997 y 1998, a los tres metros de profundidad.

Tabla XIII. **Temperatura y oxígeno disuelto, bahía Playa de Oro, lago de Amatitlán años 2000-2011**

TEMPERATURA												
Prof.	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0	26.60	27.00	25.80	22.80	23.80	25.10	27.50	25.20	27.10	24.70	26.60	26.70
1	25.30	26.00	25.10	22.50	23.40	25.10	26.30	24.50	25.70	24.50	25.80	26.20
2	25.00	25.40	24.70	22.30	22.80	24.60	25.90	24.30	24.80	24.10	25.40	26.00
3	24.90	25.10	24.70	22.10	22.30	23.90	25.50	24.10	24.30	23.80	25.20	25.90
4	24.80	24.90	24.70	22.10	22.00	23.70	25.40	24.00	24.00	23.50	25.10	25.80
5	24.80	24.80	24.70	22.00	21.80	23.50	25.30	24.00	23.80	23.30	25.10	25.80
6	24.70	24.60	24.60	21.90	21.60	23.10	25.00	23.90	23.60	23.10	24.90	25.80
7	24.60	24.60	24.60	21.80	21.50	22.60	24.80	23.90	23.40	23.00	24.80	25.70
8	24.60	24.50	24.60	21.70	21.30	22.40	24.50	23.80	23.20	23.00	24.70	25.60
9	24.60	24.40	24.50	21.70	21.30	22.30	24.30	23.80	23.10	22.90	23.40	25.40
10	24.50	24.30			21.60			25.10	23.70	23.30	23.50	
11									23.40	23.40		
OXIGENO DISUELTO												
Prof.	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0	11.40	10.00	3.26	11.60	6.54	9.80	13.20	10.10	4.73	7.30	8.22	9.85
1	9.95	8.79	3.21	4.10	5.70	8.80	7.94	5.29	3.01	3.47	5.69	4.15
2	4.27	5.06	0.57	0.56	3.44	6.43	2.96	1.35	0.82	1.75	3.45	0.82
3	1.35	1.83	0.09	0.30	2.04	4.57	1.29	0.34	0.81	1.36	1.86	0.37
4	0.34	1.15	0.09	0.29	1.41	4.46	0.19	0.22	0.58	0.99	1.73	0.32
5	0.32	0.53	0.08	0.25	1.05	4.36	0.13	0.21	0.57	0.95	1.10	0.23
6	0.28	0.11	0.08	0.23	0.95	4.36	0.08	0.17	0.43	0.78	1.08	0.20
7	0.13	0.04	0.08	0.23	0.72	4.22	0.08	0.15	0.41	0.29	0.84	0.20
8	0.10	0.04	0.08	0.20	0.69	4.19	0.07	0.15	0.34	0.07	0.74	0.20
9	0.09	0.04	0.08	0.19	0.66	4.15	0.07	0.14	0.29	0.03	0.49	0.19
10	0.05	0.03			0.34			0.12	0.25	0.03	0.41	
11									0.24	0.02		

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Temperatura y oxígeno, bahía Playa de Oro, años 1996-2011**



Fuente: elaboración propia.

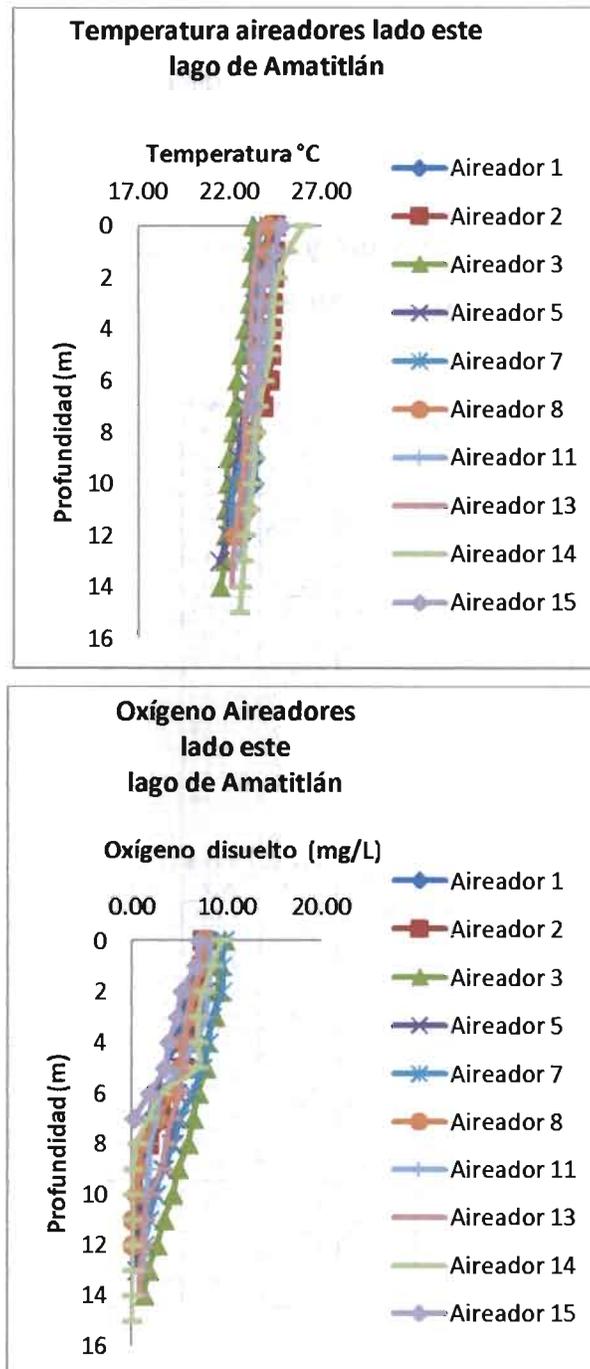
En este punto de bahía Playa de Oro para los años 2000 al 2011, la estratificación térmica se evalúa mejor con el parámetro de oxígeno disuelto; los estratos se definen dentro de los valores de 0 a 2 metros para el epilimnio, y del hipolimnio, a partir de los 3 metros de de profundidad; a excepción del año 2005 que se encuentra un metro más abajo.

Tabla XIV. **Temperatura y oxígeno disuelto, aireadores lado este lago de Amatitlán, año 2008**

TEMPERATURA										
Prof.	A.1	A.2	A.3	A.5	A.7	A.8	A.11	A.13	A.14	A.15
0	24.21	24.41	23.23	24.5	23.63	24.07	24.67	23.53	25.95	24.75
1	23.80	24.4	23.18	24.15	23.47	24.03	24.4	23.42	25.1	24.40
2	23.79	24.36	23.13	23.70	23.47	23.8	24.3	23.23	24.55	23.83
3	23.63	24.27	23.05	23.40	23.3	23.73	24.23	23.15	24.35	23.63
4	23.61	24.21	22.78	23.25	23.13	23.60	24.00	23.1	24.3	23.55
5	23.52	24.17	22.58	23.10	23.07	23.53	23.87	23.07	24.15	23.45
6	23.48	24.09	22.33	23.05	23.07	23.47	23.47	23.02	23.85	23.40
7	23.4	23.76	22.25	22.85	22.90	23.30	23.4	22.82	23.55	23.18
8	23.36	23.00	22.15	22.55	22.77	23.23	23.27	22.77	23.4	
9	23.33		21.88	22.40	22.67	22.99	23.17	22.72	23.3	
10	23.28		21.85	22.15	22.2	22.83	23.03	22.68	23.2	
11	22.71		21.75	21.95	22.07	22.83	22.87	22.38	23.05	
12	22.69		21.73	21.85	22	22.23	22.83	22.3	22.8	
13			21.68	21.40			22.3	22.13	22.7	
14			21.43					22.07	22.6	
15									22.5	
OXÍGENO DISUELTO										
Prof.	A.1	A.2	A.3	A.5	A.7	A.8	A.11	A.13	A.14	A.15
0	8.32	7.42	9.7	7.89	9.69	7.75	8.24	7.17	9.47	7.05
1	6.86	7.37	9.23	7.84	9.48	7.58	8.22	7.14	8.5	6.66
2	6.04	7.06	9.07	7.75	9.46	6.53	7.99	6.36	7.54	5.27
3	5.22	6.57	8.69	7.01	8.41	6.25	7.76	5.70	7.00	4.73
4	4.63	6.05	7.81	5.46	8.04	5.45	6.62	5.52	6.98	3.90
5	3.42	5.38	7.75	5.15	7.37	5.14	5.12	5.28	6.94	3.44
6	2.41	3.92	6.97	4.75	6.35	4.33	3.17	5.02	3.05	1.89
7	1.83	3.57	6.43	4.54	5.07	2.64	2.67	4.16	1.82	0.24
8	1.46	1.68	5.88	4.15	4.45	1.19	2.00	3.61	0.55	
9	0.93		4.9	3.37	3.22	0.78	1.86	3.12	0.17	
10	0.80		4.29	1.37	2.51	0.52	1.53	1.94	0.12	
11	0.67		3.38	0.88	1.83	0.07	1.48	1.26	0.1	
12	0.05		2.64	0.58	1.32	0.06	1.34	1.19	0.08	
13			1.73	0.55			1.29	0.93	0.06	
14			1.30					0.83	0.04	
15									0.03	

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Temperatura y oxígeno aireadores lado este, año 2008



Fuente: elaboración propia.

En el lago de Amatitlán fueron colocados 24 aireadores, con el fin de proporcionar oxígeno adicional al mismo; como se puede observar en los valores de temperatura no existe una estratificación marcada, por lo que podría decirse que se está dando un efecto de rompimiento de la estratificación térmica, donde no se pueden definir los estratos con ninguno de los parámetros evaluados.

Tabla XV. **Temperatura en aireadores lado oeste lago de Amatitlán, año 2008**

TEMPERATURA														
Prof.	A.4	A.6	A.9	A.10	A.12	A.16	A.17	A.18	A.19	A.20	A.21	A.22	A.23	A.24
0	24.1	24.5	22.1	24	23.8	23.6	24.4	24	23.5	23.9	26.2	23.9	26.6	25.8
1	24.0	24.5	22.1	23.9	23.7	23.4	24.3	24	23.4	23.8	25.5	23.9	26.1	24.9
2	23.9	24.1	22.1	23.9	23.6	23.2	24.1	23.9	23.4	23.7	24.5	23.8	24.9	24.2
3	23.7	23.9	22.1	23.8	23.5	23.2	24.0	23.8	23.4	23.6	24.3	23.8	24.5	23.3
4	23.6	23.7	22.1	23.8	23.5	23.0	23.7	23.7	23.4	23.5	24.1	23.8	24.3	23.1
5	23.4	23.5	22.1	23.5	23.4	22.9	23.5	23.7	23.4	23.4	24	23.8	24.2	23.0
6	23.0	23.3	21.8	23.5	23.3	22.7	23.4	23.7	23.3	23.3	23.9	23.6	24.0	23.0
7	22.8	23.2	21.8	23.1	23.1	22.6	23.3	23.7	23.2	23.2	23.8	23.5	23.8	22.9
8	22.4	23.1	21.8	23.0	23.0	22.6	23.3	23.7	23.1	23.0	23.7	23.3	23.8	22.7
9	22.3	23.0	21.8	22.9	23.0	22.4	23.1	23.7	23.0	22.8	23.6	23.2	23.7	22.7
10	22.3	22.9	21.7	22.7	23.0	22.1	23.1	23.6	23.0	22.7	23.5	23.1	23.6	22.7
11	22.2	22.8	21.7	22.6	23.0		23.0	23.6	23.0	22.5	23.3	23.0	23.5	22.6
12	21.9	22.7	21.7	22.5	22.8		22.9	23.6	22.8	22.3	23.2	22.9	23.4	22.5
13	21.7		21.2		22.7		22.8	23.5	22.6	22.1	23.1	22.5	23.3	22.5
14					22.7		22.7	23.5		21.7	22.9	22.4	23.3	22.5
15							22.6			21.4		22.0	23.1	22.4
16														22.3
17														22.2
18														22.2
19														22.1
20														22
21														21.8
22														21.8
23														21.7

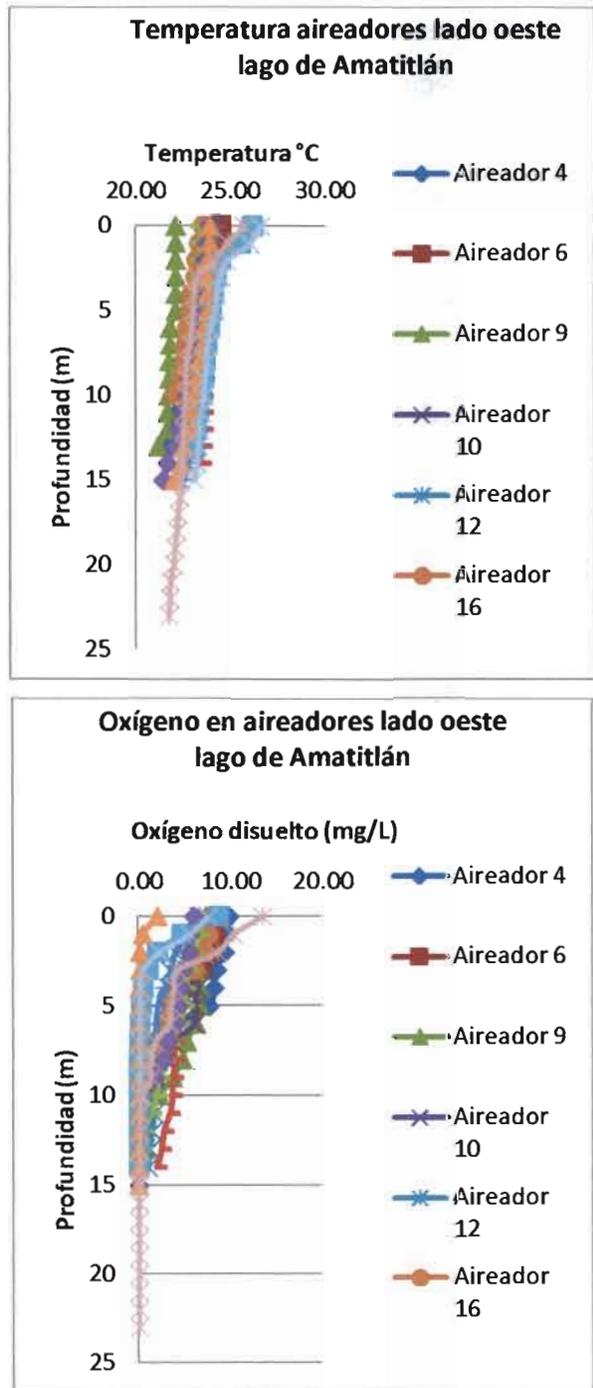
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Oxígeno disuelto en aireadores, lado oeste, lago de Amatitlán, año 2008

OXÍGENO DISUELTO														
Prof.	A.4	A.6	A.9	A.10	A.12	A.16	A.17	A.18	A.19	A.20	A.21	A.22	A.23	A.24
0	9.89	8.79	7.37	7.02	6.63	8.16	6.74	5.77	7.18	6.06	8.81	2.09	7.65	13.6
1	9.69	8.27	7.03	6.77	5.44	7.67	6.04	5.69	6.74	5.61	4.73	0.48	5.66	10.4
2	9.39	7.85	6.77	6.7	4.08	7.13	5.88	5.22	5.95	5.58	2.12	0.17	2.35	8.69
3	8.5	6.91	6.74	6.61	3.54	6.17	5.12	5.1	5.52	4.92	1.09	0.16	0.56	4.25
4	8.25	5.41	6.71	6.46	3.35	4.24	2.87	4.7	5.22	4.63	0.54	0.09	0.29	3.98
5	7.7	3.66	6.67	6.23	3.21	3.74	2.2	4.63	5.1	4.37	0.35	0.09	0.28	3.59
6	4.11	2.93	6.25	6.13	2.96	2.72	2.02	4.48	4.5	4.08	0.18	0.07	0.2	3.4
7	3.01	2.56	5.25	3.7	2.57	1.86	1.82	3.96	3.46	3.27	0.1	0.06	0.18	1.91
8	2.12	1.88	4.75	2.86	2.19	0.9	1.44	3.95	2.91	2.79	0.09	0.06	0.17	1.4
9	1.4	1.67	3.75	1.26	2.13	0.52	0.89	3.83	2.35	1.78	0.08	0.05	0.17	1.38
10	0.38	0.8	2.2	0.39	1.77	0.23	0.65	3.7	2.01	0.36	0.08	0.04	0.15	0.42
11	0.15	0.76	0.76	0.29	1.7		0.38	3.43	1.45	0.25	0.06	0.04	0.14	0.2
12	0.05	0.4	0.69	0.26	1.51		0.31	2.77	0.6	0.16	0.06	0.03	0.13	0.17
13	0.04		0.69		1.23		0.29	2.52	0.37	0.12	0.06	0.02	0.13	0.16
14					1.06		0.28	2.02		0.07	0.04	0.02	0.12	0.13
15							0.16			0.03		0.01	0.07	0.11
16														0.11
17														0.11
18														0.1
19														0.1
20														0.1
21														0.09
22														0.09
23														0.09

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Temperatura y oxígeno, aireadores lado oeste, año 2008



Fuente: elaboración propia.

Para los aireadores colocados en el lado oeste del lago, solo se observa una estratificación en la gráfica de temperatura, para los aireadores 19,20, 21 y 24, no así para el resto de los mismos; con la tendencia de que hubo un rompimiento de la estratificación.

En la gráfica de temperatura, el valor del epilimnio se encuentra entre 0 y 4 metros de profundidad, el valor del aireador 4, lo presenta a 5 metros de profundidad, y el estrato del epilimnio es bastante variable para ser definido.

#### **4.1. Correlación de los datos de temperatura y oxígeno disuelto**

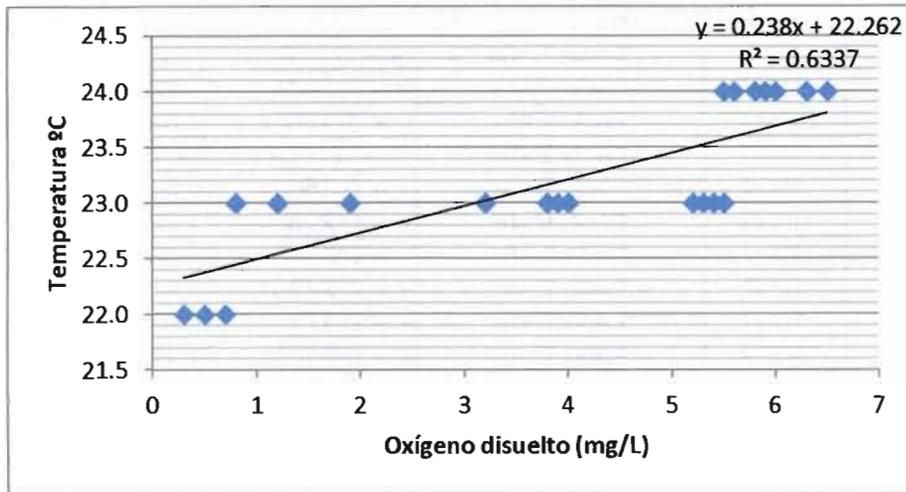
A continuación se presenta un resumen de la correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, de los datos utilizados para la determinación de la estratificación térmica; esto con el objetivo de evaluar si en dichos datos existía una correlación aceptable o nula, lo cual se podrá observar a continuación:

Tabla XVII. Correlación de los años 1985-2011, para el lado este

Año	Punto de muestreo	Ecuación	Correlación
1985	Lado Este	$y = 0.238x + 22.262$	$R^2 = 0.6337$
1986	Lado Este	$y = 0.6401x + 19.293$	$R^2 = 0.6829$
1987	Lado Este	$y = 1.1789x + 21.855$	$R^2 = 0.7953$
1988	Lado Este	$y = 0.8837x + 20.93$	$R^2 = 0.972$
1989	Lado Este	$y = 0.1562x + 24.303$	$R^2 = 0.4077$
1990	Lado Este	$y = 0.2538x + 21.764$	$R^2 = 0.7109$
1991	Lado Este	$y = 0.2309x + 21.493$	$R^2 = 0.7267$
1992	Lado Este	$y = 0.2425x + 21.431$	$R^2 = 0.641$
1993	Lado Este	$y = 0.1232x + 21.952$	$R^2 = 0.6747$
1994	Lado Este	$y = 0.5161x + 21.182$	$R^2 = 0.8233$
1995	Lado Este	$y = 0.2723x + 22.607$	$R^2 = 0.8086$
1996	Lado Este		
1997	Lado Este	$y = 0.274x + 23.68$	$R^2 = 0.6701$
1998	Lado Este	$y = 0.2668x + 23.19$	$R^2 = 0.8161$
1999	Lado Este	$y = 0.2783x + 21.913$	$R^2 = 0.8903$
2000	Lado Este	$y = 0.4633x + 23.141$	$R^2 = 0.7639$
2001	Lado Este	$y = 0.1351x + 23.196$	$R^2 = 0.889$
2002	Lado Este	$y = 0.1187x + 21.665$	$R^2 = 0.799$
2003	Lado Este	$y = 0.2924x + 21.152$	$R^2 = 0.9822$
2004	Lado Este	$y = 0.394x + 21.015$	$R^2 = 0.8892$
2005	Lado Este	$y = 0.1196x + 22.968$	$R^2 = 0.8686$
2006	Lado Este	$y = 0.1424x + 22.56$	$R^2 = 0.923$
2007	Lado Este	$y = 0.3412x + 21.553$	$R^2 = 0.6056$
2008	Lado Este	$y = 0.2996x + 22.151$	$R^2 = 0.9681$
2009	Lado Este	$y = 0.2996x + 22.151$	$R^2 = 0.9681$
2010	Lado Este	$y = 0.2072x + 21.254$	$R^2 = 0.6105$
2011	Lado Este	$y = 0.356x + 22.098$	$R^2 = 0.8177$

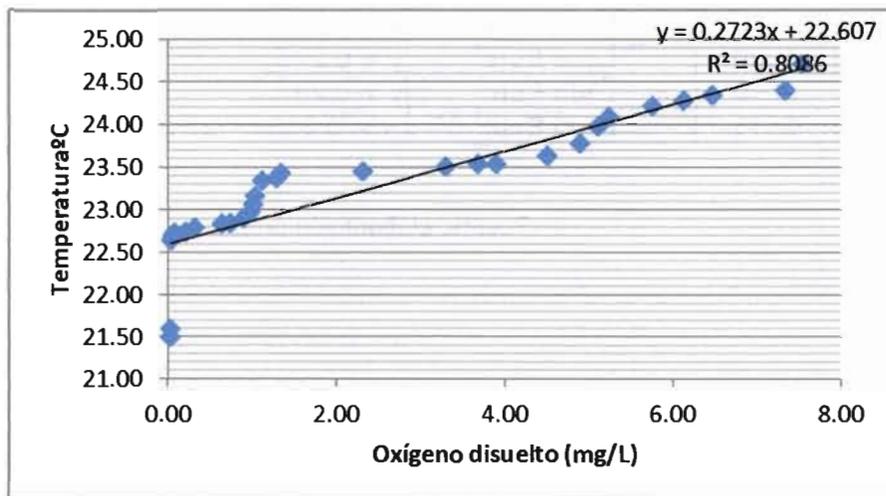
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado este, 1985**



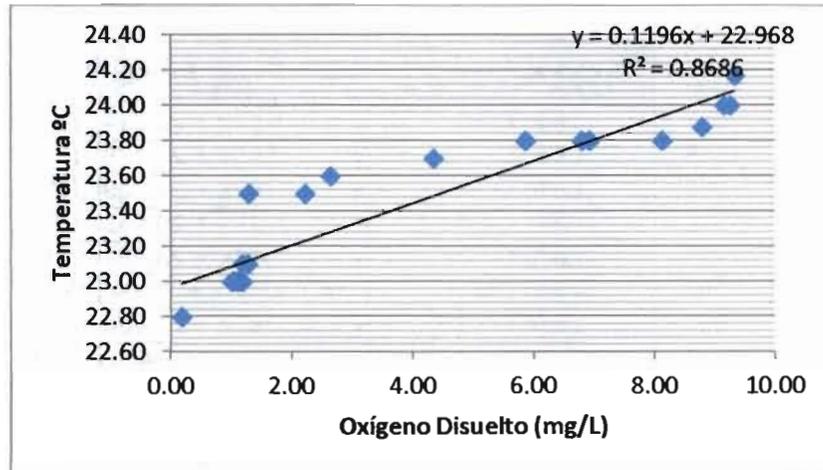
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado este, 1995**



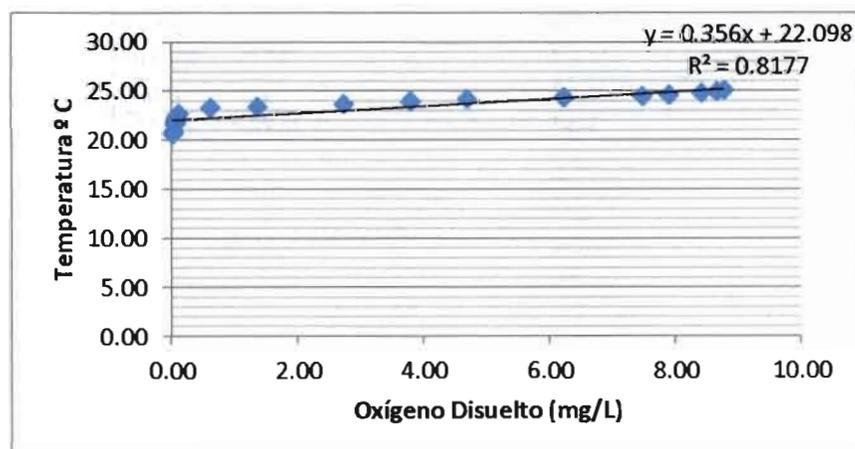
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado este, año 2005**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado este, año 2011**



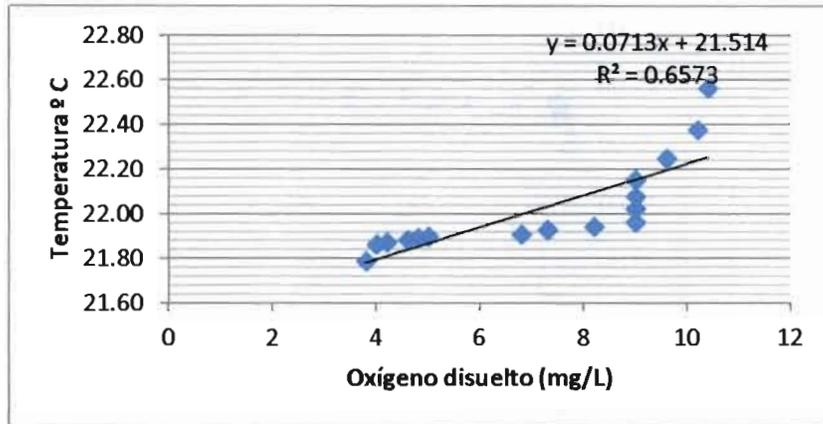
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Correlación de los años 1987-2011, para el punto del lado oeste**

<b>Año</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Correlación</b>
1985			
1986			
1987	Lado Oeste	$y = 0.0713x + 21.514$	$R^2 = 0.6573$
1988	Lado Oeste	$y = 0.1395x + 23.178$	$R^2 = 0.7809$
1989	Lado Oeste	$y = 0.0762x + 24.159$	$R^2 = 0.8891$
1990	Lado Oeste	$y = 0.3739x + 20.948$	$R^2 = 0.8486$
1991	Lado Oeste	$y = 0.3977x + 23.561$	$R^2 = 0.96$
1992	Lado Oeste	$y = 0.4893x + 23.04$	$R^2 = 0.9292$
1993	Lado Oeste	$y = 0.6307x + 21.228$	$R^2 = 0.8917$
1994	Lado Oeste	$y = 0.083x + 23.464$	$R^2 = 0.5536$
1995	Lado Oeste	$y = 0.0597x + 23.699$	$R^2 = 0.5047$
1996	Lado Oeste	$y = 0.1793x + 23.652$	$R^2 = 0.7963$
1997	Lado Oeste	$y = 0.0713x + 23.948$	$R^2 = 0.9235$
1998	Lado Oeste	$y = 0.1333x + 22.438$	$R^2 = 0.9113$
1999	Lado Oeste	$y = 0.504x + 20.126$	$R^2 = 0.7532$
2000	Lado Oeste	$y = 0.1865x + 23.933$	$R^2 = 0.9629$
2001	Lado Oeste	$y = 0.2361x + 21.508$	$R^2 = 0.8161$
2002	Lado Oeste	$y = 0.3672x + 22.203$	$R^2 = 0.92$
2003	Lado Oeste	$y = 0.1445x + 23.325$	$R^2 = 0.7694$
2004	Lado Oeste	$y = 0.1194x + 23.252$	$R^2 = 0.8368$
2005	Lado Oeste	$y = 0.2978x + 21.841$	$R^2 = 0.3733$
2006	Lado Oeste	$y = 0.2287x + 21.463$	$R^2 = 0.4423$
2007	Lado Oeste	$y = 0.4054x + 22.229$	$R^2 = 0.4906$
2008	Lado Oeste	$y = 0.506x + 22.443$	$R^2 = 0.6786$
2009	Lado Oeste	$y = 0.2957x + 23.681$	$R^2 = 0.6802$
2010	Lado Oeste	$y = 0.1533x + 22.077$	$R^2 = 0.9325$
2011	Lado Oeste	$y = 0.3529x + 23.604$	$R^2 = 0.5284$

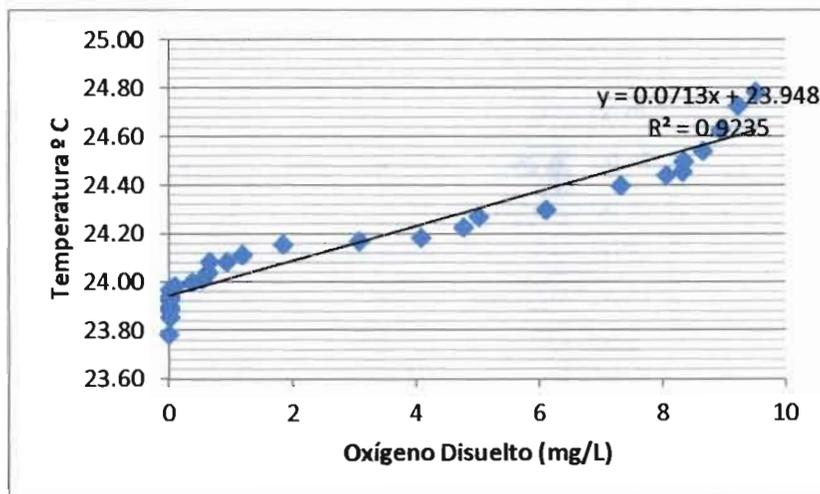
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste año 1987**



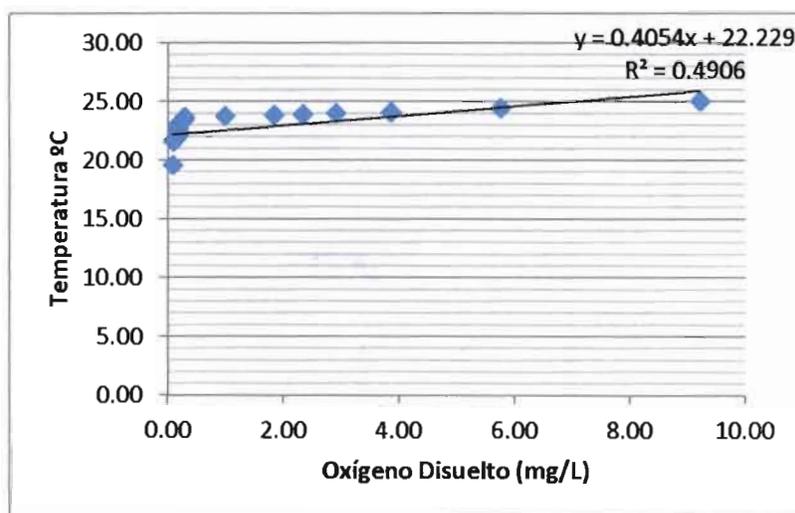
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, lado oeste año 1997**



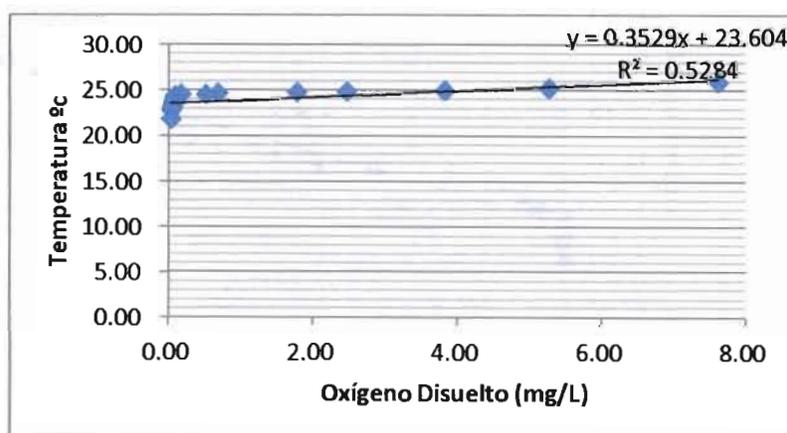
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado oeste, año 2007**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto lado oeste, año 2011**



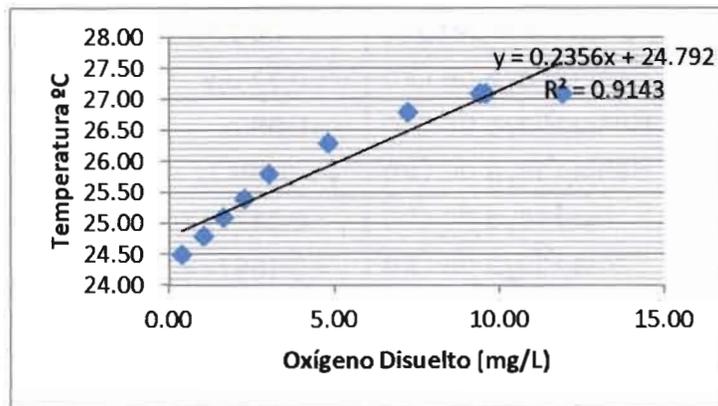
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Correlación de los años 1995-2011, para la bahía Playa de Oro**

<b>Año</b>	<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Correlación</b>
1995	Bahía Playa de Oro	$y = 0.2356x + 24.792$	$R^2 = 0.9143$
1996	Bahía Playa de Oro	$y = 0.0808x + 25.943$	$R^2 = 0.8489$
1997	Bahía Playa de Oro	$y = 0.0947x + 24.86$	$R^2 = 0.4827$
1998	Bahía Playa de Oro	$y = 0.3427x + 22.883$	$R^2 = 0.9005$
1999	Bahía Playa de Oro	$y = 0.3667x + 24.391$	$R^2 = 0.9284$
2000	Bahía Playa de Oro	$y = 0.1266x + 24.635$	$R^2 = 0.8029$
2001	Bahía Playa de Oro	$y = 0.2072x + 24.524$	$R^2 = 0.9248$
2002	Bahía Playa de Oro	$y = 0.2625x + 24.6$	$R^2 = 0.7968$
2003	Bahía Playa de Oro	$y = 0.0808x + 21.952$	$R^2 = 0.6986$
2004	Bahía Playa de Oro	$y = 0.3888x + 21.305$	$R^2 = 0.9642$
2005	Bahía Playa de Oro	$y = 0.4282x + 21.264$	$R^2 = 0.7389$
2006	Bahía Playa de Oro	$y = 0.1944x + 24.961$	$R^2 = 0.8409$
2007	Bahía Playa de Oro	$y = 0.1085x + 24.033$	$R^2 = 0.4921$
2008	Bahía Playa de Oro	$y = 0.8199x + 23.328$	$R^2 = 0.9119$
2009	Bahía Playa de Oro	$y = 0.2502x + 23.186$	$R^2 = 0.7735$
2010	Bahía Playa de Oro	$y = 0.3049x + 24.227$	$R^2 = 0.6903$
2011	Bahía Playa de Oro	$y = 0.1074x + 25.709$	$R^2 = 0.8391$

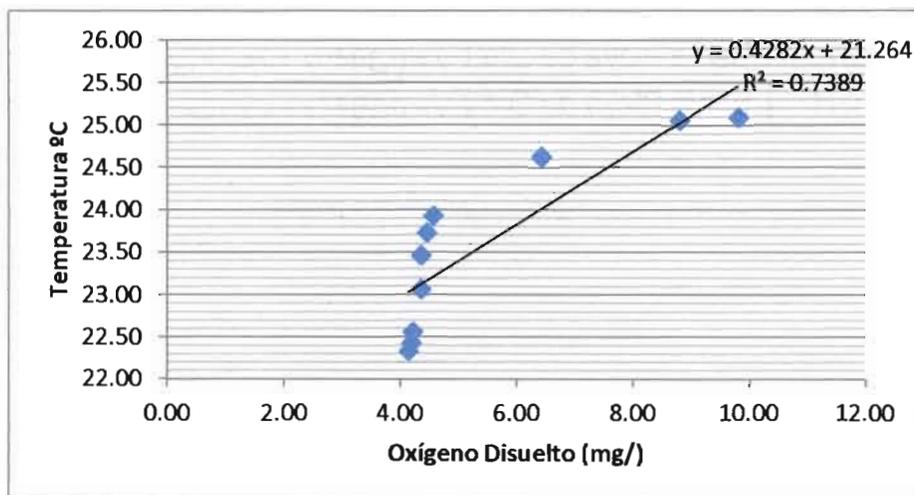
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto bahía Playa de Oro, 1995**



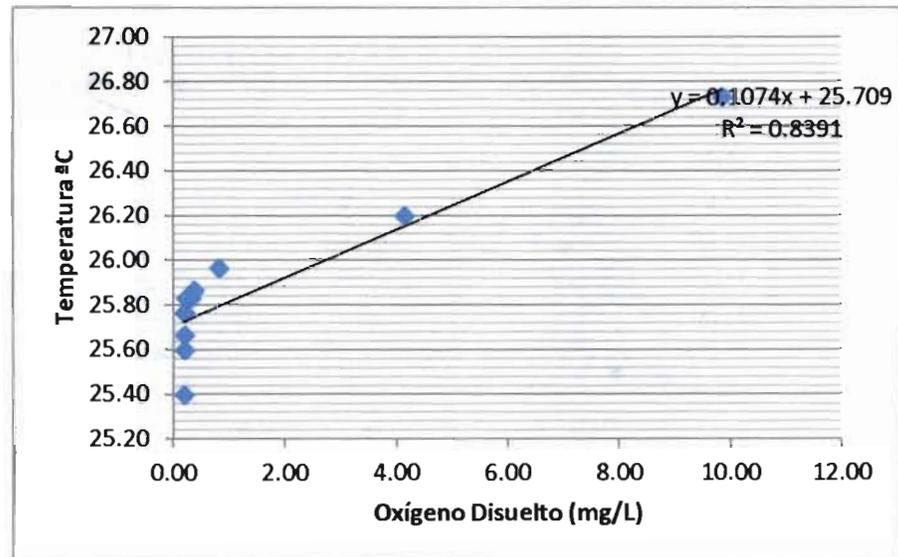
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto Playa de Oro, año 2005**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto Playa de Oro, año 2011**



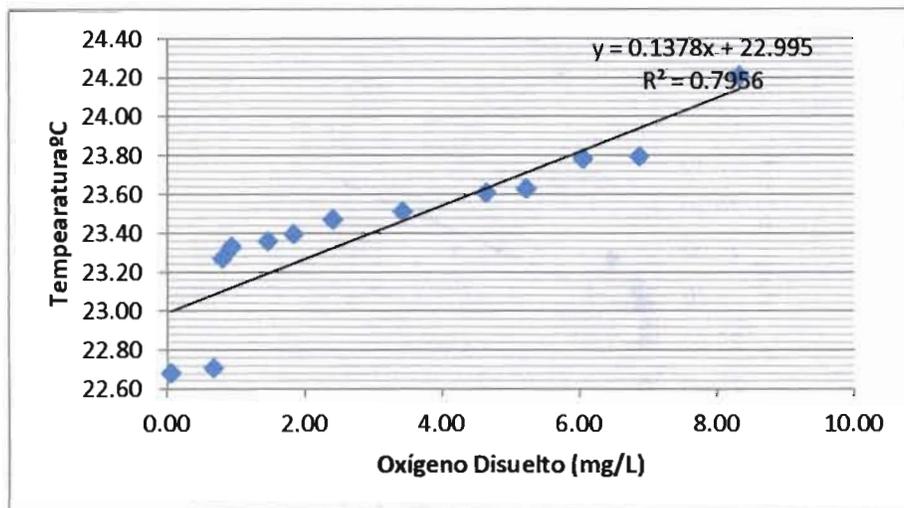
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Correlación de los aireadores del lado este, año 2008**

Año	Punto de muestreo	Ecuación	Correlación
2008	Aireador 1 - Lado Este	$y = 0.1378x + 22.995$	$R^2 = 0.7956$
2008	Aireador 2 - Lado Este	$y = 0.2092x + 22.935$	$R^2 = 0.8619$
2008	Aireador 3 - Lado Este	$y = 0.2124x + 21.059$	$R^2 = 0.9358$
2008	Aireador 5 - Lado Este	$y = 0.3172x + 21.491$	$R^2 = 0.9293$
2008	Aireador 7 - Lado Este	$y = 0.1727x + 21.877$	$R^2 = 0.9501$
2008	Aireador 8 - Lado Este	$y = 0.1689x + 22.731$	$R^2 = 0.8812$
2008	Aireador 11 - Lado Este	$y = 0.2281x + 22.591$	$R^2 = 0.9077$
2008	Aireador 13 - Lado Este	$y = 0.193x + 22.064$	$R^2 = 0.9577$
2008	Aireador 14 - Lado Este	$y = 0.246x + 22.904$	$R^2 = 0.8793$
2008	Aireador 15 - Lado Este	$y = 0.2104x + 22.899$	$R^2 = 0.8162$

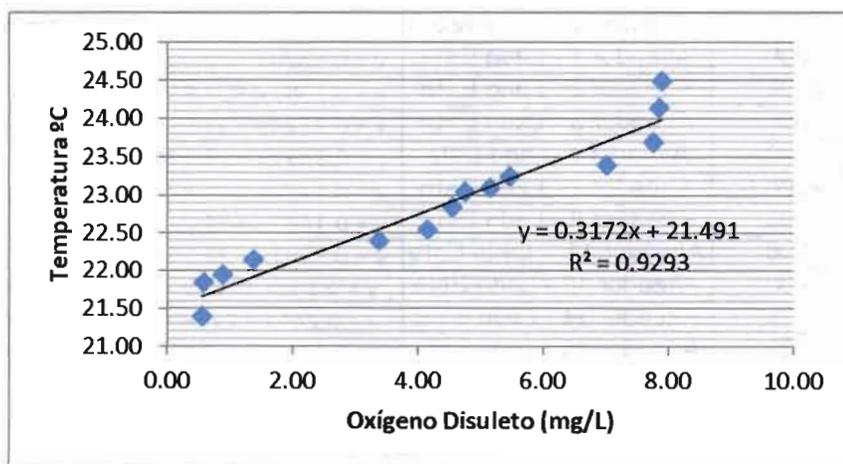
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 1 lado este, 2008**



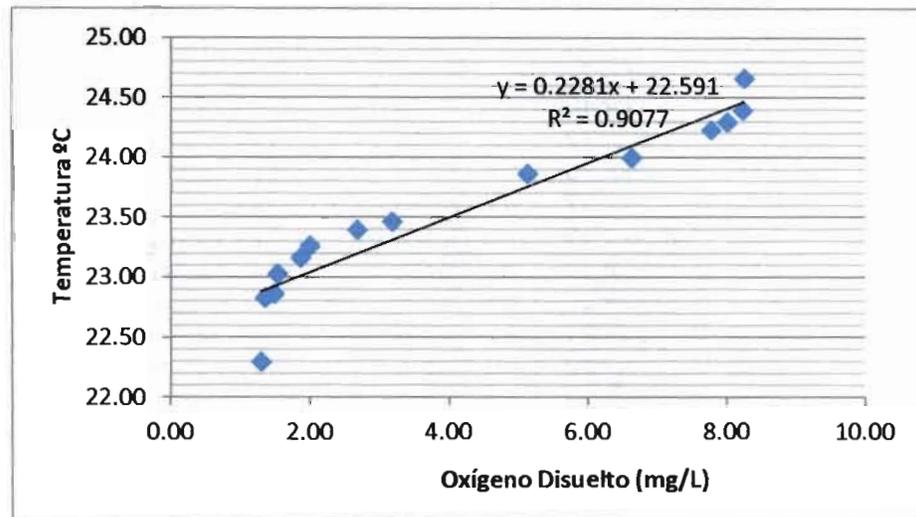
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Correlación de la temperatura y oxígeno aireador 5 lado este, año 2008**



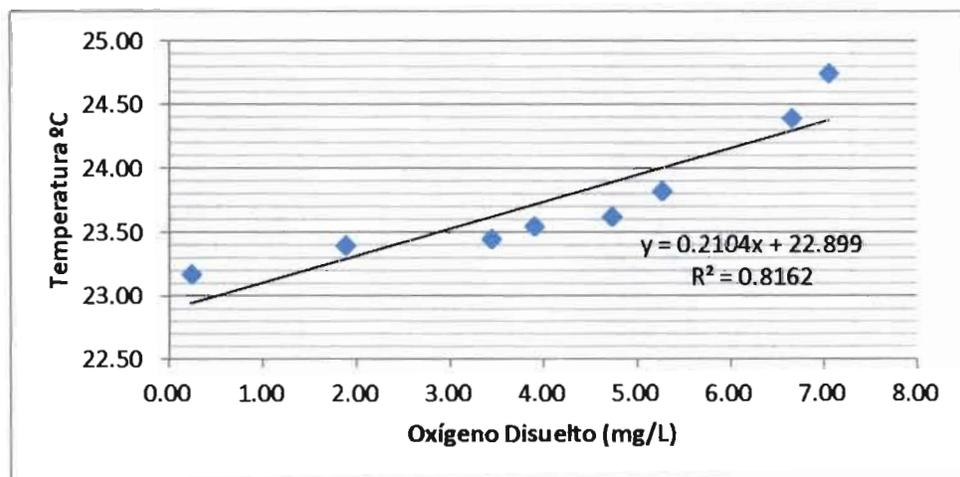
Fuente: elaboración propia

Figura 31. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 11, lado este, año 2008**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 15 lado este, año 2008**



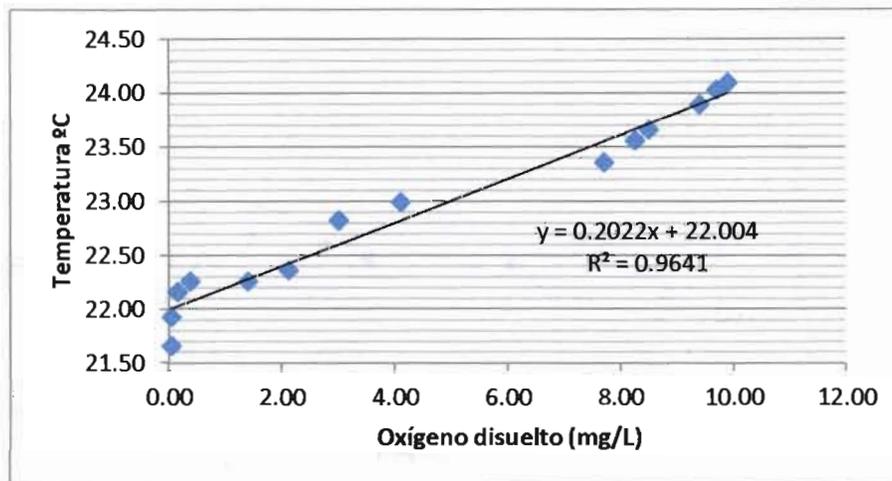
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Correlación de los aireadores lado oeste, año 2008

Año	Punto de muestreo	Ecuación	Correlación
2008	Aireador 4 - Lado Oeste	$y = 0.2022x + 22.004$	$R^2 = 0.9641$
2008	Aireador 6 - Lado Oeste	$y = 0.2015x + 22.675$	$R^2 = 0.9773$
2008	Aireador 9 - Lado Oeste	$y = 0.0928x + 21.411$	$R^2 = 0.7512$
2008	Aireador 10 - Lado Oeste	$y = 0.1863x + 22.509$	$R^2 = 0.9533$
2008	Aireador 12 - Lado Oeste	$y = 0.2122x + 22.584$	$R^2 = 0.8969$
2008	Aireador 16 - Lado Oeste	$y = 0.1435x + 22.313$	$R^2 = 0.9525$
2008	Aireador 17 - Lado Oeste	$y = 0.2353x + 22.827$	$R^2 = 0.9451$
2008	Aireador 18 - Lado Oeste	$y = 0.1432x + 23.101$	$R^2 = 0.8916$
2008	Aireador 19 - Lado Oeste	$y = 0.1155x + 22.721$	$R^2 = 0.9384$
2008	Aireador 20 - Lado Oeste	$y = 0.303x + 22.091$	$R^2 = 0.8693$
2008	Aireador 21 - Lado Oeste	$y = 0.3353x + 23.557$	$R^2 = 0.8476$
2008	Aireador 22 - Lado Oeste	$y = 0.4607x + 23.181$	$R^2 = 0.1579$
2008	Aireador 23 - Lado Oeste	$y = 0.413x + 23.633$	$R^2 = 0.8748$
2008	Aireador 24 - Lado Oeste	$y = 0.2541x + 22.209$	$R^2 = 0.9401$

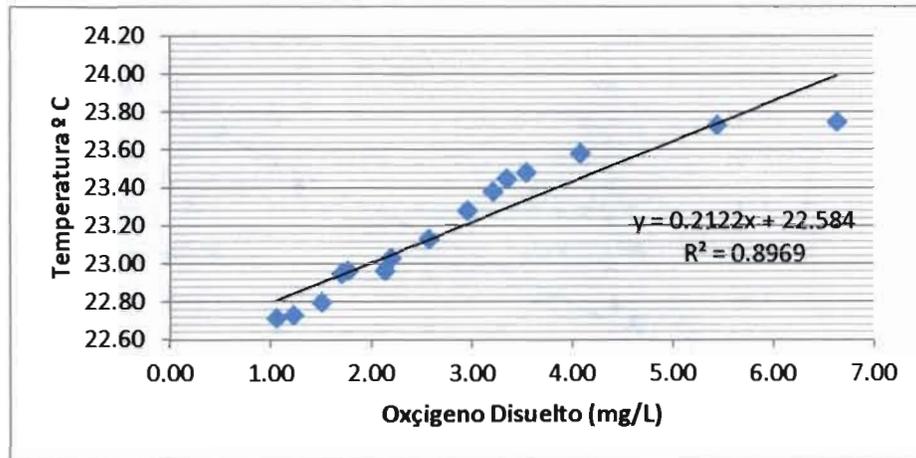
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador lado oeste, año 2008



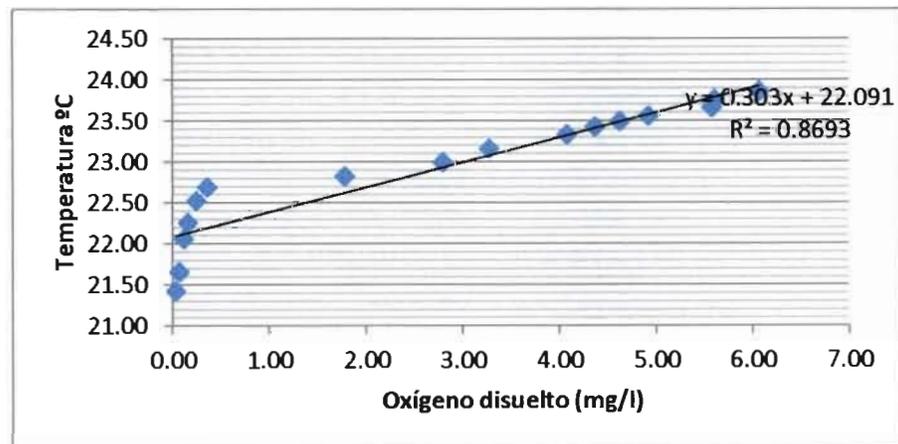
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador lado oeste, año 2008**



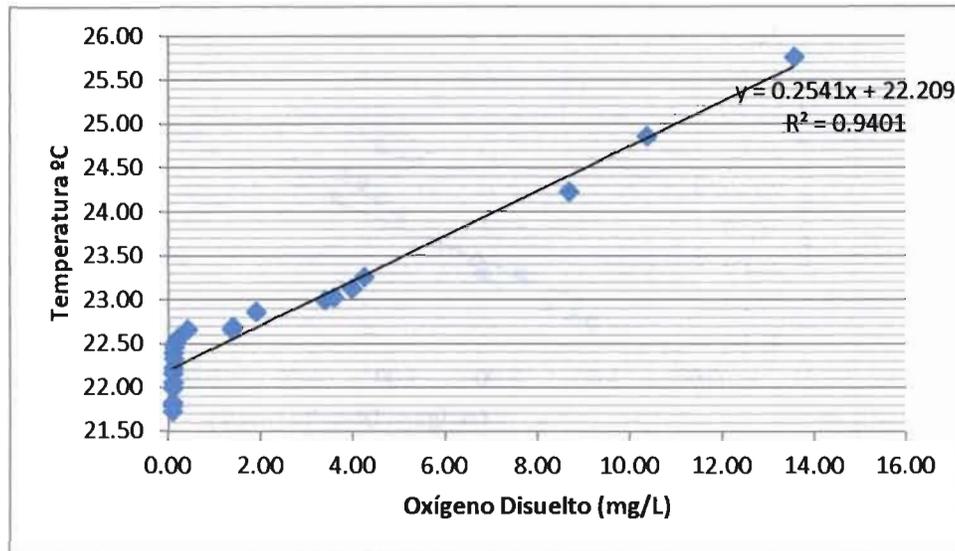
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto aireador 20 lado oeste, 2008**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Correlación de la temperatura y oxígeno disuelto, aireador lado oeste, año 2008**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Los estratos del lago de Amatitlán se determinaron con el parámetro de oxígeno disuelto.
2. Con base en las evaluaciones realizadas a través del comportamiento de la temperatura y oxígeno disuelto, a partir de datos históricos de los años 1985-2011, obtenidos a diferentes profundidades, se encontró el epilimnio para los años 1985-1989, lado este del lago, a una profundidad media de 5 metros; el lado oeste, a profundidad de 9 metros; en el año 2000-2006 para el lado este, a una profundidad de 7 metros; para el lado oeste, a 8 metros; bahía Playa de Oro, en los años 1995-1996 y 2000-2011, a una profundidad media de 2 metros. Los puntos donde se encuentran los 24 aireadores, se presentó para el lado este un rompimiento de la estratificación térmica, y para los del lado oeste, a 4 metros de profundidad.
3. En el punto de bahía Playa de Oro, se pudieron determinar los estratos definidos del lago, encontrando el epilimnio, la termoclina o metalimnio y el hipolimnio, para el año 1996, a tres metros de profundidad.
4. La hipótesis del estudio fue comprobada con el parámetro de oxígeno disuelto; debido a que los valores de la temperatura no influyen en la estratificación del agua, por ser un lago de poca profundidad, o por el grado de eutrofización.

5. El proceso de eutrofización en el que se encuentra el lago de Amatitlán ha influido específicamente en la sobresaturación de oxígeno en su superficie, así como en el incremento de algas.
6. El uso de los aireadores, causa un rompimiento en la estratificación térmica de lado este, a diferencia de los aireadores ubicados en el lado oeste, donde se encuentra mucha variación en la profundidad; por lo que el epilimnio e hipolimnio no se pudieron definir.
7. El análisis de correlación realizado en diferentes años y puntos del lago de Amatitlán, determina que sí existe una buena correlación en dichos datos, dentro de los parámetros establecidos.

## RECOMENDACIONES

1. La presente investigación debe servir como base para estudios posteriores, ya que a través de su lectura e interpretación, se establece una metodología que podría ser utilizada o ampliada para complementar y enriquecer más la realización de trabajos similares.
2. Se recomienda evaluar los datos pero en las dos épocas, para así poder conocer la tendencia de la estratificación en el lago.
3. Evaluar otras metodologías que ayuden a determinar la estratificación térmica del lago, en relación con la temperatura.
4. La circulación general en el lago depende de la temperatura y por consiguiente, hay que evaluar el clima de la región.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA -Autoridad para el Manejo Sustentables de la Cuenca y el Lago de Amatitlán, GT-. *Plan Maestro Integrado del Lago de Amatitlán y sus cuencas tributarias –PLANDEAMAT-*. Guatemala, 2005 p. irr.
2. ----- *Rescate del Lago de Amatitlán*. Guatemala, 2005. Boletín Informativo.
3. ----- *Monografía Municipio de Amatitlán*. Guatemala, 2003. p. irr
3. AGUILERA MEJÍA, R.G. *Determinación de la productividad primaria del lago de Amatitlán*. Tesis Maestría de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, USAC, 1984. 60 p.
5. ARGUETA MAYORGA, Dennis Salvador. *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*. Tesis Maestría de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, USAC, 2011. 176 p.
6. BASTERRECHEA Manuel, D.C. *Lago de Amatitlán: década de estudios limnológicos*. Guatemala, 1995. 41 p.
7. CARRILLO Leonel; Cabrera, F; Martínez, J; Rodríguez, G; Leiva, V. *Perspectiva Limnológica del Lago Petén Itzá*. Guatemala, CEMA, 2002. p. irr.

8. CARDONA MATTA J. G. Muestreo de la calidad ambiental de la playa publica del lago de Amatitlán. Tesis Maestría de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, USAC, 1985. 56 p.
9. CASTAÑEDA SALGUERO, César. *Sistemas Lacustres de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, 1995. 196 p.
10. COLINVAUX, Paul. *Introducción a la ecología*. México: Editorial Limusa, México D.F., 1980.
11. CHESAPEAKE BAY PROGRAM, US. 2004. *Plancton* [en línea]. [Consultado 18 nov. 2005]. Disponible en <http://www.chesapeakebay.net/plankton.htm>
12. ESQUIVEL LÓPEZ, A. D. *Determinación de la presencia de metales pesados en el agua de origen termal del lago de Amatitlán y zonas aledañas*. Tesis Maestría de recursos hidráulicos opción calidad del agua, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 70 p.
13. FUENTES Sthefany. *Informe final del ejercicio profesional supervisado realizado en la Autoridad para el Manejo sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán –AMSA-* Tesis de Lic. Acuicultura, Guatemala, USAC, 2006. 159 p.
14. GARCÍA GARCÍA, Hayro Oswaldo. *Cuantificación de la calidad del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa en un periodo de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada al lago de Amatitlán*. Tesis Maestría de recursos hidráulicos opción calidad del agua, 2002. 122 p.

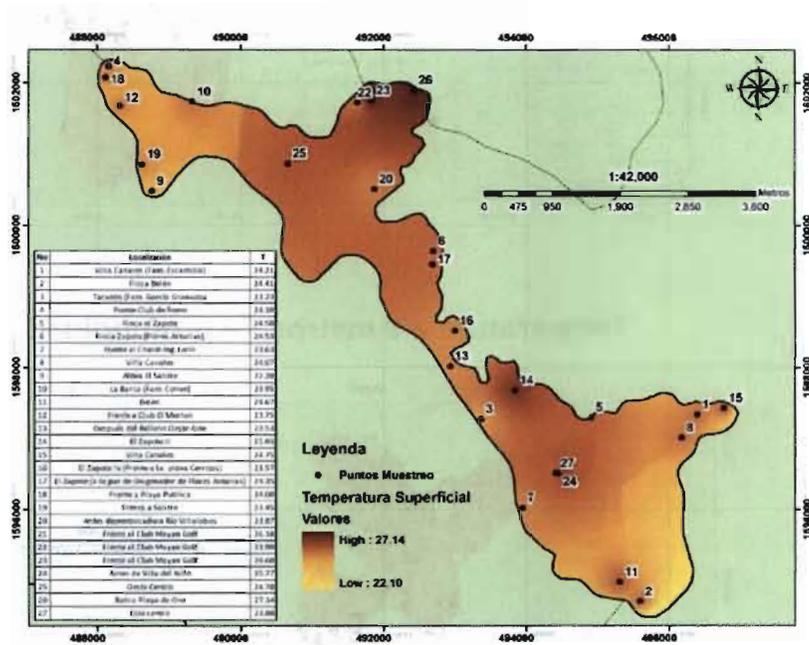
15. INSIVUMEH -Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT-. Guatemala, 2005. *Boletines informativos*. [en línea]. [Consultado 2 de enero de 2012]. Disponible en: <http://www.insivumeh.gob.gt>.
16. MARCANO. *Ecología de las aguas dulces*. [en línea]. [Consultado 10 nov. 2011]. Disponible en: [www.jmarcano.com/nociones/fresh3.html](http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3.html)
17. RAMÍREZ, A; Viña G. *Limnología Colombiana*. Colombia: Editorial Panamericana, 1998. 180 p.
18. ROLDÁN, G. *Fundamentos de limnología tropical*. Colombia, Editorial Universidad de Antioquia, 1992. 350 p.
19. SARAVIA Pedro. *Contaminación del Agua*. Edición publicada por la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007
19. TABARINI DE ABRERU, A. *Eutrofización del lago de Amatitlán, informe preliminar*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, 1975.
21. UNIVERSIDAD ANTIOQUIA, Facultad de Ingeniería. *Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua*. Artículos relacionados. Revista No 48-65. [en línea]. [Consultado 18 nov. 2010]. 41. p. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/430/43004105.pdf>.
22. VALLADARES MORALES, J.F. *Caracterización fisicoquímica de los afluentes del Río Villalobos*. Tesis Maestría de Ingeniería Sanitaria. Guatemala, USAC, 1999. 58 p.



# APÉNDICES

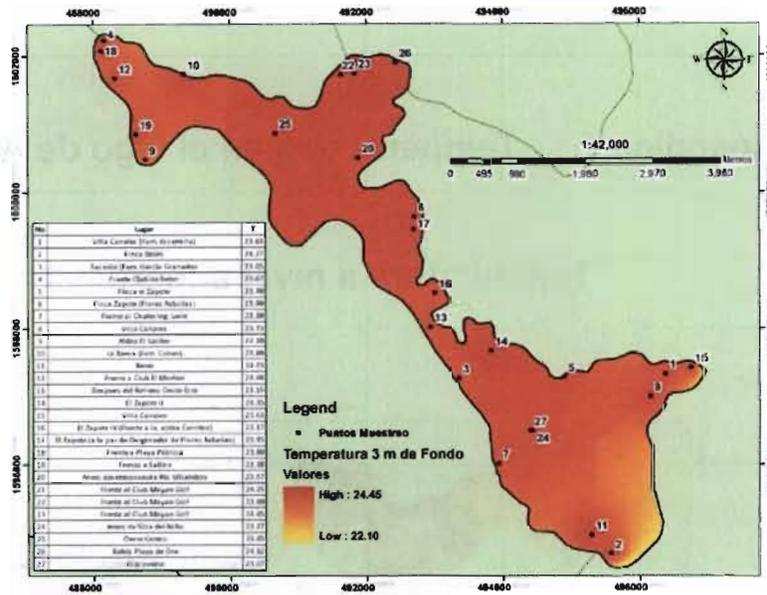
## Apéndice 1. Temperaturas en el lago de Amatitlán

### Temperatura a nivel superficial

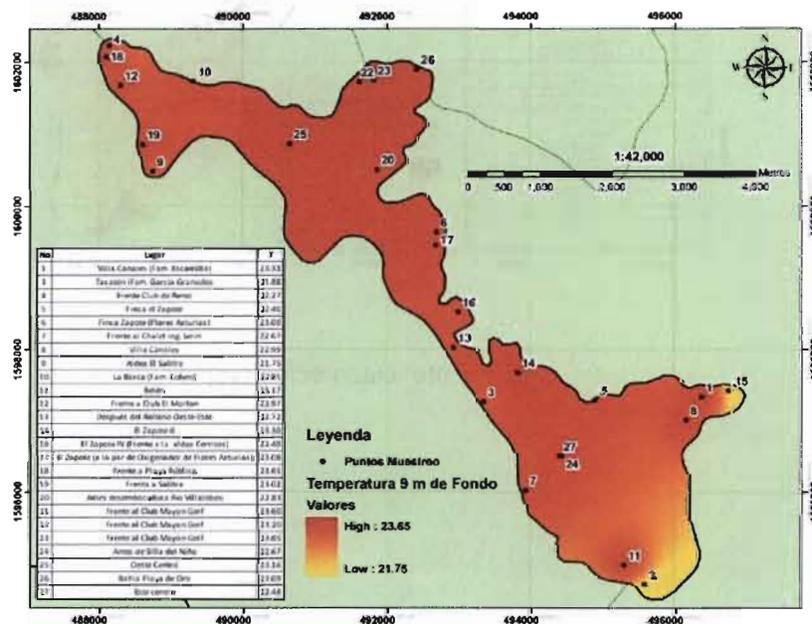


Fuente: elaboración propia.

## Temperatura a 3 metros de profundidad



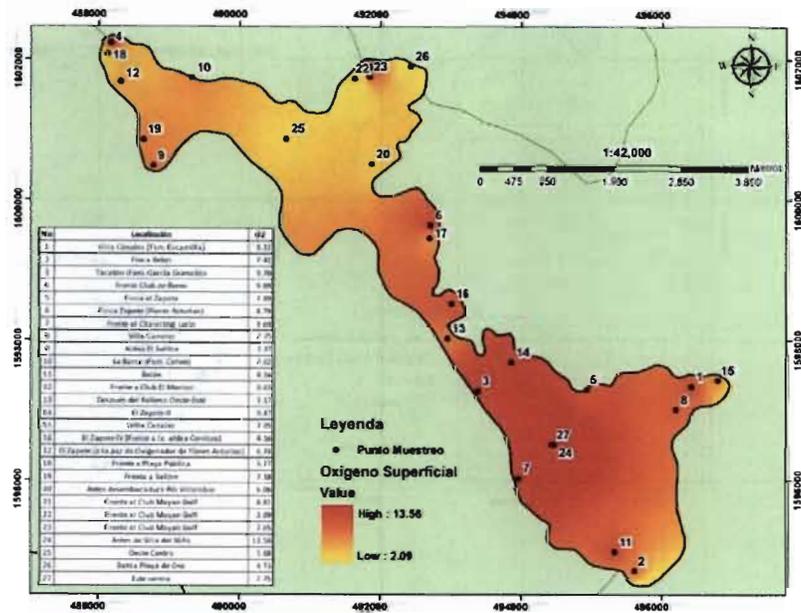
## Temperatura a 9 metros de profundidad



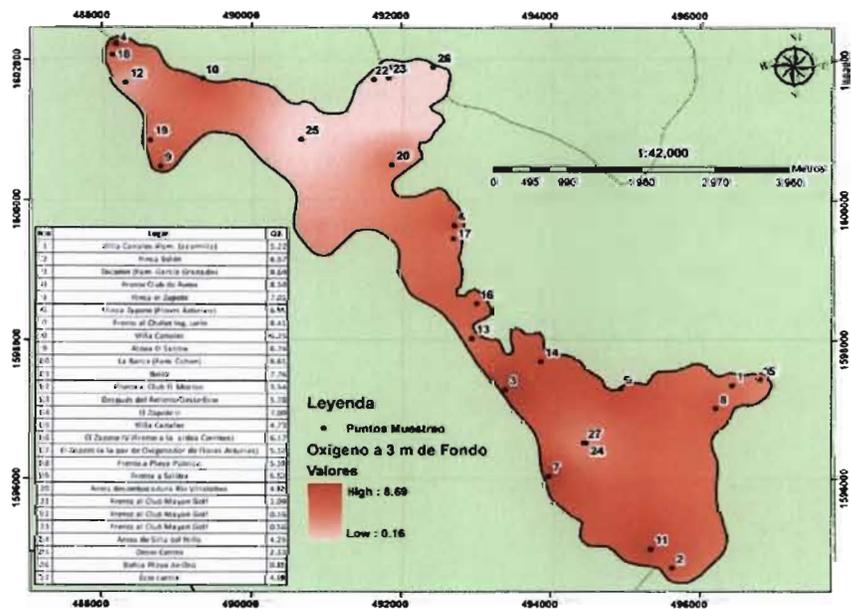
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Oxígeno en el lago de Amatitlán

### Oxígeno disuelto a nivel superficial

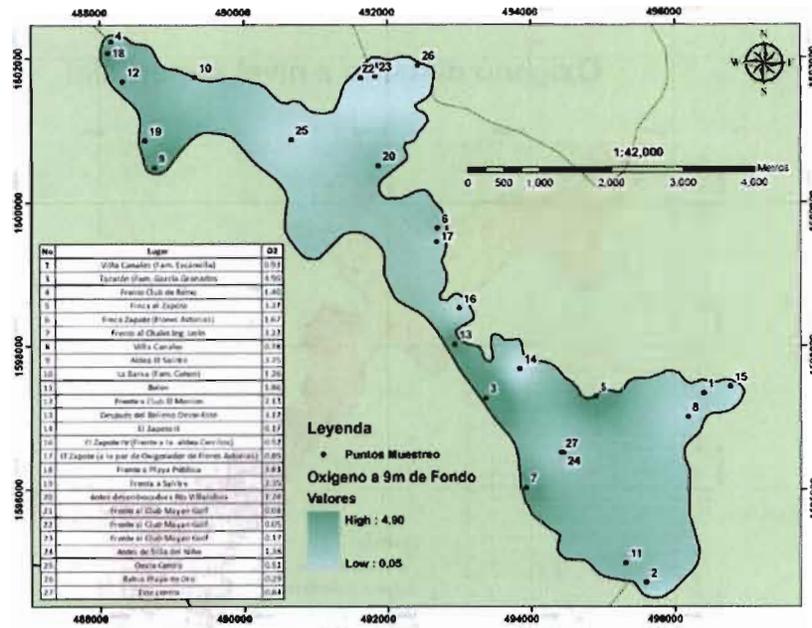


### Oxígeno disuelto a 3 metros de profundidad



Fuente: elaboración propia.

## Oxígeno disuelto a 9 metros de profundidad



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Datos usados para la determinación de correlación del los parámetro de temperatura y oxígeno disuelto

**LADO ESTE LAGO DE AMATITLÁN**

Profundidad	1985	1985	1986	1986	1987	1987	1988	1988	1989	1989
0	6.5	24.0	7.8	24.0	4.9	26.5	6.5	27.2	10.7	26.0
1	6.3	24.0	7.2	24.0	4.3	25.9	6.3	26.7	10.6	25.9
2	6.0	24.0	7.0	24.0	3.0	25.7	6.2	26.4	10.5	25.9
3	5.9	24.0	6.9	24.0	2.5	25.6	6.2	26.3	10.5	25.9
4	5.8	24.0	6.8	24.0	2.5	25.4	6.0	26.2	10.5	25.9
5	5.6	24.0	6.5	23.9	2.0	25.4	6.0	26.2	10.4	25.9
6	5.5	24.0	6.5	23.9	1.9	25.0	5.9	26.2	8.2	25.9
7	5.5	23.0	6.3	23.9	1.6	24.5	5.8	26.0	7.9	25.7
8	5.4	23.0	6.2	23.9	1.4	24.5	5.7	26.0	7.4	25.7
9	5.3	23.0	6.2	23.9	1.3	24.5	5.6	25.3	7.2	25.7
10	5.2	23.0	6.1	23.1	1.2	23.6	5.0	25.3	7.0	24.6
11	4.0	23.0	6.0	23.1	0.9	23.6	4.5	25.3		
12	4.0	23.0	6.0	22.4	0.9	22.5	4.0	24.2		
13	3.9	23.0	5.9	22.4	0.9	22.5	3.2	24.2		
14	3.8	23.0	5.4	22.4	0.9	22.5	3.0	23.0		
15	3.2	23.0	5.3	22.1	0.8	22.2	2.5	23.0		
16	1.9	23.0	5.3	22.1	0.8	22.2	2.0	23.0		
17	1.2	23.0	5.28	22.0	0.7	21.9	1.9	22.2		
18	0.8	23.0	5.13	22.0	0.6	21.9	1.8	22.2		
19	0.8	23.0	5.07	22.0	0.5	21.9	1.5	22.0		
20	0.7	22.0	4.0	22.0	0.4	21.8	0.95	22.0		
21	0.5	22.0	3.5	22.0	0.3	21.8	0.9	22.0		
22	0.3	22.0	3.0	22.0	0.1	21.8	0.8	22.0		

**OESTE**

Profundidad	1987	1987	1988	1988	1989	1989
0	10.4	22.57	6.1	24	8.9	25.0
1	10.2	22.38	6.1	24	8.7	24.9
2	9.6	22.25	6.1	24	8.5	24.9
3	9.0	22.16	6.1	24	8.2	24.7
4	9.0	22.08	6.1	24	7.9	24.6
5	9.0	22.03	6.1	24	6.5	24.6
6	9.0	21.97	6.1	24	5.2	24.6
7	8.2	21.95	6.0	24	4.2	24.5
8	7.3	21.93	6.0	24	3.2	24.5
9	6.8	21.91	6.0	24	2.6	24.4
10	5.0	21.9	6.0	24	2.1	24.3
11	4.8	21.90	6.0	24	0.2	24.2
12	4.6	21.89	6.0	24		
13	4.2	21.88	5.9	24		
14	4.0	21.87	5.0	24		
15	3.8	21.79	3.2	24		
16			0.2	23		

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 4. Datos usados para la determinación de correlación de los parámetro de temperatura y oxígeno disuelto

**LADO ESTE AÑO LADO ESTE LAGO DE AMATITLÁN**

Profundidad	1990	1990	1991	1991	1992	1992	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1997	1997	1998	1998	1999	1999
0	8.69	25.07	9.93	24.40	9.95	23.90	9.23	23.65	9.1	25.89	7.53	24.72	4.52	24.92	5.5	24.77	6.9	24.38
1	8.48	24.60	9.33	24.23	9.72	23.80	9.23	23.24	9	25.42	7.33	24.41	4.4	24.85	5	24.43	6.8	23.92
2	8.45	24.60	9.86	24.13	9.45	23.40	8.95	22.91	8.9	25.29	6.46	24.35	4.25	24.74	4.5	24.16	6.7	23.85
3	8.45	23.90	9.7	24.07	9.36	23.30	8.89	22.78	8.9	25.26	6.12	24.29	1.75	24.36	4.2	24.07	6.6	23.80
4	8.4	23.90	9.7	24.03	9.17	23.20	8.77	22.65	8.7	25.20	5.75	24.22	0.9	24.21	3.9	24.03	6.5	23.69
5	8.33	23.90	9.44	23.97	8.99	23.10	5.61	22.59	7	25.07	5.24	24.10	0.66	24.18	3.8	24.03	5.8	23.62
6	8.3	22.50	9.12	22.91	8.86	23.20	3.75	22.48	6.7	24.90	5.11	23.98	0.58	24.15	3	24.02	5.4	23.56
7	7.89	22.50	8.75	22.87	7.16	23.20	1.35	22.40	6.5	24.69	4.89	23.79	0.56	24.14	2.6	24.02	5.3	23.48
8	0.65	22.00	8.4	22.73	6.45	23.10	0.18	22.39	6.5	24.56	4.50	23.64	0.53	24.12	2.5	24.01	5	23.41
9	0.49	22.00	7.36	22.53	4.65	23.10	0.07	22.35	5.9	24.44	3.90	23.54	0.53	24.08	2.3	24.01	4.8	23.24
10	0.41	22.00	4.6	22.40	3.83	23.10	0.07	22.30	5	24.29	3.68	23.54	0.53	24.02	2	24.01	4.5	23.17
11	0.37	21.80	3.81	22.33	2.65	23.10	0.07	22.28	5	24.20	3.30	23.51	0.51	23.93	1.9	24.00	3.5	22.51
12	0.35	21.80	0.55	22.17	2.51	23.10	0.04	22.24	4.5	24.10	2.31	23.46	0.51	23.90	1.8	23.98	2.5	22.41
13	0.33	21.80	0.46	21.57	2.22	23.00	0.02	22.16	4.5	24.04	1.34	23.43	0.51	23.84	1.7	23.81	2	22.39
14					1.85	22.70	0.02	22.05	4	23.96	1.29	23.38	0.51	23.80	1.5	23.74	1.9	22.23
15					1.58	22.60	0.02	22.00	4	23.80	1.12	23.35	0.51	23.77	1.4	23.67	1.5	22.23
16					0.98	22.60	0.02	21.91	3.2	23.72	1.04	23.17	0.51	23.49	1.3	23.52	1.3	22.23
17					0.47	21.33	0.02	21.88	3.2	23.58	1.01	23.07	0.49	23.48	0.9	23.49	1	22.23
18					0.04	20.97	0.02	21.83	3	23.60	0.98	22.98	0.48	23.47	0.8	23.33	0.9	22.23
19					0.02	20.87	0.02	21.75	2.5	23.58	0.90	22.91	0.48	23.44	0.51	23.13	0.8	22.22
20					0.02	20.77	0.02	21.66	2	23.53	0.74	22.85	0.48	23.42	0.5	23.10	0.5	22.19
21					0.02	20.40	0.02	21.60	1.9	23.48	0.64	22.84	0.48	23.42	0.2	22.99	0.1	22.17
22					0.02	20.33	0.02	21.40	1.8	23.48	0.32	22.80			0.01	22.88	0.1	22.14
23					0.02	20.33	0.02	21.30			0.21	22.74					0.1	22.14
24											0.08	22.74						
25											0.06	22.70						
26											0.06	22.67						
27											0.04	22.65						
28											0.03	21.60						
29											0.03	21.50						
30											0.03	21.35						

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Datos usados para la determinación de correlación del los parámetro de temperatura y oxígeno disuelto

LADO OESTE LAGO DE AMATITLÁN

Profundidad	1990	1990	1991	1991	1992	1992	1993	1993	1994	1994	1995	1995	1996	1996	1997	1997	1998	1998	1999	1999
0	8.14	24.50	8.1	26.75	5.5	26.20	5.76	24.91	7.89	24.31	6.63	24.43	9.48	25.98	9.51	24.79	9.11	23.70	8.95	25.18
1	8.08	24.00	8.1	26.70	5.45	26.00	5.76	24.90	7.88	24.23	6.44	24.35	9.43	25.73	9.22	24.73	7.76	23.55	8.93	24.67
2	8.03	23.85	7.4	26.60	5.25	25.88	5.76	24.84	7.86	24.11	6.35	24.20	9.40	25.47	8.94	24.63	6.64	23.35	8.79	24.43
3	7.88	23.79	7.0	26.50	5.25	25.63	5.72	24.76	7.84	24.08	6.09	23.93	9.23	25.37	8.65	24.54	5.64	23.10	8.71	24.31
4	7.83	23.65	6.9	26.45	5.25	25.58	5.51	24.67	7.73	24.07	5.97	23.93	8.76	25.30	8.34	24.50	5.02	23.10	8.49	24.22
5	7.34	23.55	6.9	26.25	5.25	25.33	5.3	24.53	7.64	24.06	5.84	23.92	8.46	25.12	8.32	24.46	4.76	22.95	8.29	24.07
6	7.03	23.41	6.9	25.95	4.95	25.30	4.98	24.39	6.85	24.04	5.71	23.91	7.77	25.02	8.06	24.44	3.88	22.90	7.58	23.94
7	6.10	23.30	4.5	25.70	4.75	25.13	4.8	24.36	6.81	24.01	5.66	23.91	7.74	24.92	7.32	24.40	2.18	22.75	7.36	23.85
8	5.54	23.18	4.4	25.45	4.4	24.63	3.45	23.88	6.73	24.01	5.15	23.90	7.67	24.75	6.11	24.30	0.26	22.75	7.1	23.81
9	5.28	23.10	4.2	25.00	1.6	23.98	3.44	23.38	6.64	24.00	4.83	23.90	7.54	24.65	5.02	24.27	0.13	22.70	7.01	23.71
10	5.15	22.98	3.0	24.70	0.65	23.63	3.38	22.88	6.6	23.95	1.1	23.89	6.47	24.48	4.77	24.23	0.04	22.65		
11	5.13	22.73	2.4	24.55	0.15	23.25			6.46	23.92	0.33	23.89	6.19	24.37	4.08	24.19	0.04	22.60		
12	5.07	22.66	1.5	24.05	0.0	22.73			6.28	23.90	0.3	23.67	5.3	24.32	3.08	24.17	0.04	22.55		
13									3.9	23.89	0.28	23.66	1.24	24.10	1.85	24.16	0.04	22.55		
14											0.26	23.66	0.38	23.92	1.19	24.11	0.04	22.50		
15													0.34	23.85	1.19	24.11	0.04	22.45		
16														0.94	24.09	0.04	22.45			
17														0.66	24.09	0.04	22.45			
18														0.63	24.04	0.04	22.45			
19														0.59	24.03	0.04	22.35			
20														0.54	24.01	0.04	22.35			
21														0.37	24.00	0.04	22.35			
22														0.09	23.99	0.04	22.35			
23														0.02	23.97	0.04	22.35			
24														0.02	23.94	0.04	22.35			
25														0.02	23.93	0.04	22.35			
26														0.02	23.90	0.04	22.35			
27														0.02	23.89	0.04	22.35			
28														0.02	23.86	0.04	22.35			
29														0	23.79	0.04	22.30			

Fuente: elaboración propia

LADO ESTE AÑO 2000-2011, LAGO DE AMATITLÁN

Profundidad	2000	2000	2001	2001	2002	2002	2003	2003	2004	2004	2005	2005	2006	2006	2007	2007	2008	2008	2009	2009	2010	2010	2011	2011
0	6.62	75.58	10.54	24.48	10.51	22.73	8.70	23.80	12.28	25.30	11.11	24.50	9.33	24.17	11.66	24.32	7.75	23.80	10.33	25.56	9.01	25.39	8.79	25.12
1	5.16	75.40	10.03	24.43	9.68	22.70	8.20	23.62	11.46	25.19	11.06	24.40	9.25	24.00	9.84	23.81	6.31	23.70	9.96	25.20	8.83	22.65	8.66	25.00
2	4.35	75.23	9.18	24.30	9.20	22.68	8.20	23.49	11.39	25.06	9.91	24.30	9.35	24.00	8.77	23.71	5.33	23.18	9.92	24.96	8.16	22.54	8.41	24.84
3	3.31	75.10	6.85	24.24	8.67	22.64	8.15	23.33	10.66	25.01	8.71	24.30	8.79	23.88	7.94	23.70	4.59	23.07	9.80	24.73	7.63	22.46	7.90	24.65
4	1.15	24.89	5.87	24.09	7.53	22.62	7.14	23.23	10.52	24.95	7.63	24.26	8.13	23.80	7.32	23.42	3.30	22.98	8.90	24.59	7.62	22.35	7.48	24.52
5	0.96	24.79	4.86	23.95	6.30	22.58	6.89	23.13	9.58	24.88	6.13	24.20	6.92	23.80	6.25	23.33	2.42	22.87	6.98	24.38	7.10	22.20	6.23	24.40
6	0.93	24.63	2.62	23.86	4.68	22.54	5.87	22.98	7.76	24.79	4.35	24.10	6.80	23.80	4.73	23.32	1.46	22.81	6.00	24.21	5.10	22.04	4.69	24.24
7	0.86	23.38	2.08	23.77	4.12	22.54	5.20	22.84	6.95	24.66	3.12	24.04	5.87	23.80	3.79	23.25	1.01	22.72	5.50	23.81	4.53	21.93	3.79	24.01
8	0.53	23.32	1.96	23.63	3.93	22.34	4.78	22.68	5.36	24.53	2.18	24.00	4.34	23.70	3.30	23.19	0.96	22.57	5.00	23.80	3.34	21.84	2.73	23.71
9	0.43	23.28	1.84	23.54	3.83	22.29	4.56	22.49	4.73	24.35	0.99	23.77	2.64	23.60	2.86	23.15	0.84	22.48	4.99	23.74	3.06	21.73	1.36	23.45
10	0.25	23.26	1.02	23.43	3.77	22.18	3.96	22.28	3.77	23.55	0.52	23.59	2.22	23.50	2.37	23.05	0.82	22.30	4.89	23.56	2.64	21.69	0.62	23.36
11	0.24	23.21	0.47	23.37	3.33	22.10	3.62	22.17	3.30	23.48	0.51	23.31	1.29	23.50	1.83	23.01	0.80	22.19	4.50	23.43	1.62	21.62	0.11	22.73
12	0.18	23.16	0.33	23.33	3.18	22.06	2.82	22.01	1.52	23.43	0.50	23.24	1.27	23.10	1.61	22.95	0.79	22.08	4.00	23.36	1.07	21.60	0.08	22.47
13	0.15	23.13	0.17	23.25	2.97	22.00	2.80	21.88	1.05	23.41	0.47	23.05	1.19	23.10	1.38	22.89	0.73	21.98	3.50	23.34	0.91	21.54	0.07	22.28
14	0.11	23.06	0.13	23.23	2.88	21.96	2.74	21.78	0.98	23.37	0.46	22.89	1.18	23.00	1.22	22.75	0.72	21.89	3.22	23.11	0.89	21.52	0.07	22.13
15	0.10	23.03	0.13	23.20	2.76	21.93	2.48	21.71	0.98	23.37	0.46	22.74	1.13	23.00	1.06	22.74	0.69	21.79	3.00	23.09	0.67	21.47	0.07	22.10
16	0.09	23.01	0.13	23.18	2.75	21.90	2.32	21.60	0.94	23.36	0.45	22.61	1.12	23.00	0.72	22.67	0.68	21.73	2.70	22.92	0.67	21.45	0.07	22.04
17	0.09	22.99	0.13	23.16	2.69	21.86	1.60	21.63	0.89	23.31	0.44	22.45	1.09	23.00	0.42	22.65	0.68	21.68	2.70	22.91	0.51	21.41	0.07	21.85
18	0.08	22.98	0.12	23.13	2.23	21.77	1.42	21.58	0.83	23.06	0.42	22.39	1.04	23.00	0.35	22.65	0.68	21.62	2.50	22.89	0.43	21.39	0.06	21.72
19	0.08	22.98	0.12	23.13	2.23	21.76	1.15	21.54	0.45	23.02	0.39	22.33	1.03	23.00	0.33	22.63	0.67	21.52	2.00	22.83	0.24	21.36	0.05	21.69
20	0.08	22.97	0.12	23.13	2.00	21.73	1.15	21.54	0.19	23.01	0.37	22.31	1.02	23.00	0.25	22.59	0.66	21.49	1.90	22.63	0.17	21.35	0.03	20.98
21	0.07	22.94	0.11	23.13	1.67	21.72	0.80	21.53	0.15	20.92	0.37	22.27	1.01	23.00	0.23	22.57	0.65	21.46	1.58	22.40	0.10	21.35	0.03	20.70
22	0.07	22.94	0.10	22.88							0.36	22.27	0.18	22.80	0.03	22.52	0.64	21.41			0.10	21.33		
23	0.06	22.94	0.03	22.81							0.36	22.25			0.03	22.51	0.64	20.28						
24	0.06	22.93									0.36	22.21			0.02	22.42	0.02	20.19						
25	0.06	22.91									0.35	22.07			0.01	22.30								
26	0.04	22.91													0.01	22.18								

LADO OESTE, AÑO 2000-2011, LAGO DE AMATITLÁN

Profundidad	2000	2000	2001	2001	2002	2002	2003	2003	2004	2004	2005	2005	2006	2006	2007	2007	2008	2008	2009	2009	2010	2010	2011	2011
0	6.54	25.31	11.22	24.51	6.63	24.23	14.93	25.12	12.58	24.58	7.75	23.48	9.03	23.14	9.20	25.09	5.68	24.78	8.14	26.50	12.03	23.85	7.61	25.94
1	6.22	25.07	10.96	24.46	5.86	24.20	10.95	25.03	9.96	24.32	5.59	23.34	6.78	22.87	5.75	24.49	2.94	24.01	5.37	25.63	8.61	23.25	5.27	25.30
2	5.59	24.93	8.07	24.39	5.14	24.13	10.05	24.91	7.87	24.24	4.19	23.32	4.82	22.66	3.85	24.13	2.66	23.75	5.35	25.28	5.97	22.98	3.82	25.01
3	4.98	24.81	6.67	23.99	4.91	24.05	9.58	24.87	6.83	24.14	3.22	23.32	3.39	22.59	2.90	24.06	2.33	23.65	5.12	24.77	4.70	22.88	2.47	24.89
4	4.60	24.72	5.53	23.97	4.35	23.89	9.26	24.78	6.26	24.06	2.54	23.25	2.46	22.43	2.33	23.96	1.49	23.61	4.84	24.67	4.62	22.81	1.78	24.85
5	3.54	24.58	5.18	23.91	4.18	23.80	9.11	24.74	5.70	24.00	1.42	23.23	1.84	22.34	1.83	23.90	1.15	23.57	4.05	24.53	3.99	22.76	0.68	24.73
6	3.52	24.47	1.55	23.88	3.89	23.69	9.03	24.63	4.83	23.86	1.05	23.14	1.21	22.23	0.98	23.81	0.96	23.51	3.55	24.44	2.75	22.68	0.52	24.62
7	3.00	24.45	1.13	23.82	3.18	23.51	8.73	24.53	3.32	23.82	0.57	23.12	0.52	22.14	0.28	23.72	0.87	23.36	1.75	24.40	2.13	22.61	0.17	24.58
8	1.87	24.38	1.07	23.80	2.55	23.33	8.68	24.42	2.37	23.76	0.53	23.06	0.26	22.06	0.28	23.56	0.64	23.24	1.00	24.36	1.27	22.45	0.09	24.42
9	1.12	24.32	1.05	23.79	1.29	23.15	7.63	24.32	1.30	23.68	0.52	23.00	0.12	21.99	0.24	23.38	0.51	23.16	0.70	24.35	0.67	22.40	0.08	24.31
10	1.08	24.25	1.01	23.78	0.91	23.03	6.34	24.23	0.77	23.64	0.46	22.83	0.11	21.90	0.18	23.18	0.49	23.09	0.38	24.25	0.53	22.33	0.08	24.18
11	0.92	24.18	0.55	23.70	0.75	22.85	3.80	24.13	0.41	23.60	0.46	22.60	0.09	21.84	0.18	23.01	0.44	22.98	0.26	24.18	0.35	22.25	0.08	24.05
12	0.84	24.13	0.29	23.67	0.49	22.67	1.00	23.99	0.28	23.48	0.46	22.53	0.07	21.80	0.17	22.74	0.36	22.89	0.01	24.13	0.26	22.19	0.07	23.90
13	0.75	24.09	0.18	23.64	0.33	22.50	0.27	23.90	0.26	23.46	0.44	22.18	0.06	21.77	0.17	22.51	0.33	22.80	0.00	24.03	0.03	22.14	0.06	23.75
14	0.69	24.08	0.17	23.63	0.24	22.41	0.17	23.81	0.25	23.38	0.43	21.75	0.06	21.68	0.17	22.12	0.31	22.74	0.00	23.86	0.02	22.09	0.06	23.64
15	0.34	24.05	0.16	23.63	0.22	22.29	0.15	23.70	0.23	23.34	0.43	21.60	0.06	21.67	0.16	22.04	0.26	22.65	0.00	23.79	0.01	22.06	0.06	23.54
16	0.32	24.03	0.13	23.60	0.21	22.24	0.14	23.57	0.23	23.30	0.43	21.50	0.06	21.67	0.13	21.93	0.25	22.61	0.00	23.78	0.01	22.05	0.06	23.44
17	0.30	24.02	0.13	23.60	0.16	22.17	0.13	23.50	0.22	23.24	0.43	21.50	0.06	21.67	0.12	21.91	0.25	22.55	0.00	23.73	0.01	22.02	0.06	23.41
18	0.29	24.01	0.13	23.60	0.14	22.14	0.11	23.42	0.21	23.20	0.42	21.50	0.05	21.63	0.11	21.84	0.25	22.48	0.00	23.70	0.01	22.00	0.05	23.23
19	0.28	24.00	0.12	23.59	0.12	22.09	0.10	23.40	0.21	23.18	0.42	21.30	0.05	21.50	0.11	21.80	0.23	22.43	0.00	23.66	0.01	22.00	0.05	23.19
20	0.28	23.98	0.12	23.59	0.10	22.08	0.10	23.36	0.20	23.14	0.42	21.30	0.05	21.48	0.10	21.76	0.23	22.40	0.00	23.64	0.01	21.98	0.05	23.14
21	0.26	23.95	0.11	23.59	0.08	22.08	0.10	23.28	0.20	23.12	0.41	21.20	0.05	21.20	0.09	21.72	0.21	22.38	0.00	23.62	0.01	21.95	0.04	23.09
22	0.25	23.94	0.11	23.59	0.08	22.05	0.08	23.21	0.20	23.10	0.41	21.20	0.05	21.20	0.09	21.69	0.20	22.37	0.00	23.59	0.01	21.94	0.04	23.05
23	0.25	23.92	0.11	23.58	0.08	22.03	0.07</																	