

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Biología

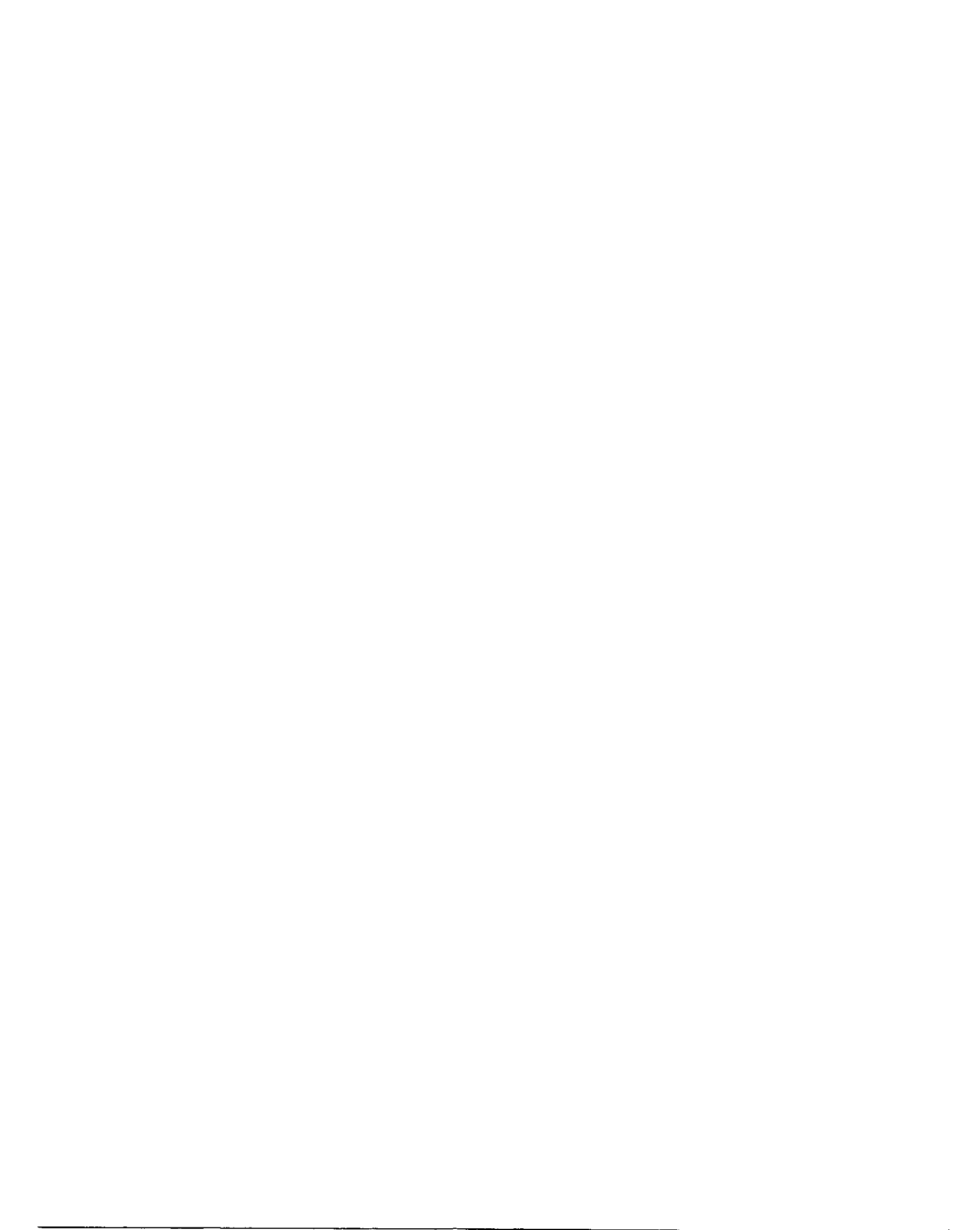
CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA LAGUNA CALDERAS,
AMATITLÁN, GUATEMALA

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

ALEJANDRO DEL VALLE MORENO

Guatemala

2000



CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA LAGUNA CALDERAS,
AMATITLÁN, GUATEMALA

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Biología

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LA LAGUNA CALDERAS,
AMTITLÁN, GUATEMALA

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

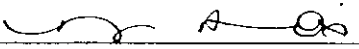
Trabajo de investigación presentado por
ALEJANDRO DEL VALLE MORENO

Para optar al grado académico de Licenciatura en Biología

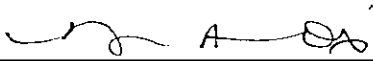
Guatemala

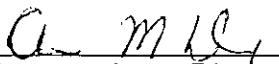
2000

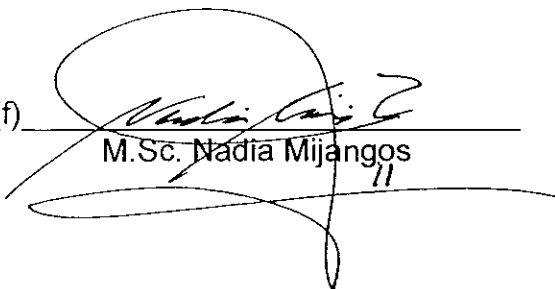
Vo. Bo. :

(f) 
Doctora Margaret Dix
Asesora

Tribunal :

(f) 
Doctora Margaret Dix

(f) 
Doctora Anne Dix

(f) 
M.Sc. Nadia Mijangos

Fecha de aprobación: 10 de noviembre de 2000

DEDICATORIA

**Al poder celestial,
por iluminar mi camino.**

**A mis padres,
por ser lo que yo he de ser.**

**A mi hermana,
por que la amo.**

**A mi familia y mis amigos,
por su apoyo incondicional.**

**A mi Guatemala,
antes muerto que esclavo seré...**

AGRADECIMIENTOS

Al Fideicomiso para la Conservación en Guatemala, por apoyar económicamente este esfuerzo de conservación.

A la Universidad Del Valle de Guatemala por el apoyo institucional, logístico y económico. Especialmente al Departamento de Biología.

Al Comité de Conservación de la laguna Calderas, por su esfuerzo como autoridad local para conservar el recurso hídrico.

A mis asesores, por su apoyo profesional en la elaboración de este trabajo, especialmente a la Dra. Margaret Dix, M.Sc. Nadia Mijangos, Dra. Anne Dix y Dra. Elfride de Pöll.

A mis asistentes de campo, Rosalío Irlá, Estuardo Chavarría, Mario Escobar, Rodrigo Morales y Ricardo Del Valle, por su apoyo desinteresado.

CONTENIDO

LISTADO DE CUADROS.....	vii
LISTADO DE GRÁFICAS	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. OBJETIVOS.....	6
IV. ANTECEDENTES	7
A. Descripción.....	7
B. Clima	8
C. Hidrología.....	10
D. Suelos.....	13
E. Condición socioeconómica de la aldea Calderas	14
F. Uso actual de la laguna	16
G. Flora y fauna.....	16
H. Parámetros físicos y químicos	18
I. Parámetros microbiológicos.....	19
J. Parámetros biológicos.....	20
V. METODOLOGÍA.....	22
A. Factores físicos	22
B. Factores químicos.....	23
C. Microbiológica: coliformes totales, coliformes fecales y <i>E.coli</i>	23
D. Fitoplancton y zooplancton.....	24
E. Índice de estado trófico (Según Machorro 1996).....	25
VI. RESULTADOS.....	26

A. Análisis físico	26
B. Análisis químico.....	36
C. Análisis microbiológico.....	39
D. Índice de estado trófico.....	41
E. Resultados biológicos. Fitoplancton, zooplancton y nutrientes.....	42
VII. DISCUSIÓN	48
A. Análisis físico	48
B. Análisis químico.....	51
C. Análisis microbiológico. Coliformes totales y fecales.....	54
D. Análisis biológico. Fitoplancton, zooplancton y nutrientes.....	58
VIII. CONCLUSIONES.....	61
IX. RECOMENDACIONES.....	63
X. LITERATURA CITADA.....	66
XI. APÉNDICE.....	70

LISTADO DE CUADROS

1. Lagunas desaparecidas en el Departamento de Guatemala	2
2. Temperaturas de la Laguna Calderas, del período de 1978-1982.....	9
3. Precipitación mensual (mm) en la Laguna Calderas, comparada con dos estaciones meteorológicas a menor altura en el Municipio de Amatitlán. Enero-diciembre, 1993.	9
4. Fluctuación de niveles (en metros) de agua de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. 1976-1983.	12
5. Distribución demográfica en Calderas y San Francisco de Sales, dos aldeas dentro de los límites del PNVP.....	15
6. Géneros de fitoplancton dominantes en diferentes estados tróficos de lagos y lagunas en el trópico. 21	
7. Clasificación del nivel trófico de lagos (Hakanson and Jansson 1983) comparados con el nivel trófico de la laguna Calderas.	42
8. Densidad de géneros de fitoplancton (organismo/l) en el punto 1 a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	43
9. Densidad de géneros de fitoplancton (organismo/l) en el punto 2, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	43
10. Densidad de géneros de fitoplancton (organismo/l) en el punto 3, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	44
11. Densidad de géneros de fitoplancton (organismos/l) en el punto 4, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	44
12. Densidad de zooplancton (organismos/l), punto 1, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	45
13. Densidad de zooplancton (organismo/l), punto 2, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	45
14. Densidad de zooplancton (organismo/l), punto 3, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	46
15. Densidad de zooplancton (organismo/l), punto 4, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	46
16. Concentración de N-Total y P-Total en mg/l, y su razón N/P, en el punto 4, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Mayo-septiembre, 2000.....	47

LISTADO DE GRÁFICAS

1. Precipitación pluvial anual (mm) de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Período 1970-1989.....	11
2. Evaporación total anual de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Período 1975-1989.....	11
3. Unidades de color Pt-Co en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.....	27
4. Turbidez FT (Formazin Turbidity Units) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.....	27
5. Promedio de transparencia en base al disco Secchi en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	28
6-9. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en mg/l en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-junio, 2000.	30
10-13. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en mg/l en cuatro puntos de muestreo en la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Julio-noviembre, 2000.....	31
14-17. Perfil térmico de cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-junio, 2000.	32
18-21. Perfil térmico de cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Julio-noviembre, 2000.	33
22-25. Comportamiento de la conductividad específica en μS en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-junio, 2000.	34
26-29. Comportamiento de la conductividad específica en μS en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Julio-noviembre, 2000.	35
30. Concentración de nitratos mg/l (N-NO_3) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.....	36
31. Concentración de nitritos mg/l (NO_2) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.....	37
32. Concentración de sulfatos mg/l (SO_4) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.....	38
33. Concentración de ortofosfatos mg/l (PO_4) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.	39
34. Cuantificación de coliformes totales de NMP (Número Más Probable)/100ml, en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Abril-noviembre, 2000.....	40
35. Cuantificación de coliformes fecales, en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Abril-noviembre, 2000.	41

RESUMEN

La Laguna Calderas se localiza en la aldea Calderas, municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala, dentro de la Zona de Usos Múltiples del Parque Nacional Volcán de Pacaya. En este departamento, la laguna Calderas es el único cuerpo léntico que se utiliza como fuente de agua potable para más de 15,000 personas dentro y fuera de su microcuenca. Está ubicada a 1,778 m.s.n.m. en una antigua caldera volcánica, en el complejo vulcanológico del volcán de Pacaya (14°24'51 N y 90°35'40" O en la vertiente del Océano Pacífico). No posee ningún afluente superficial y es abastecida por aguas subterráneas. Para conocer el estado actual de la laguna se realizó una caracterización ecológica, localizando cuatro puntos de muestreo y midiendo los siguientes factores: físicos (temperatura, conductividad, color, turbidez); químicos (oxígeno, nitritos, nitratos, sulfatos, fosfatos, N-Total y P-Total); biológicos (fitoplancton, zooplancton y clorofila *a*); y microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*). La laguna se encuentra en un estado de transición oligo-eutrófico, pero sufre enriquecimiento por desechos humanos y animales, los cuales están causando problemas de salud. La temperatura superficial de la laguna promedió 21-22°C y a 15 metros de profundidad descendió a 17.5°C. El oxígeno disuelto registró una curva de tipo clinograda a los 8-10 metros de profundidad en todos los puntos de muestreo. El color y turbidez presentaron valores muy por debajo de los límites máximos establecidos por COGUANOR, para el consumo de agua potable. La transparencia de la laguna tuvo una profundidad de 6.2 metros, según lectura obtenida del disco Secchi. Los nitratos, nitritos, sulfatos y fosfatos en la laguna, se encontraron por debajo de los límites permitidos para el uso de agua potable establecidos por APHA (1980). En los meses de mayo, junio, julio y septiembre, el nutriente limitante fue el nitrógeno. En el mes de agosto el nutriente limitante fue el fósforo. Las concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* presentaron niveles entre

los 2NMP/100ml y $\geq 2,400$ NMP/100ml, los cuales fueron superiores a los establecidos por COGUNAOR para el consumo de agua potable. En los parámetros biológicos, la división dominante de fitoplancton fue la *Clorophyta*, seguida en orden descendente por *Cianophyta*, *Chrysophyta* y *Bacilliarophyta*. Las divisiones dominantes en zooplancton fueron *Microcystis*, *Melosita*, *Oocystis*, *Glenodinium*, *Oscillatoria* y *Botryococcus*. La laguna Calderas se encuentra en un estado de transición oligo-eutrófico. Con base al conjunto de datos obtenidos de las características analizadas, se recomendaron mejores formas de manejo racional al Comité de Conservación de la Laguna. Por último, este estudio enfatiza la necesidad de investigación en cuerpos de aguas lénticos productivos con enfoque antropológico, ya que dentro del Departamento de Guatemala sólo existe el 10% de las lagunas presentes el siglo XX.

I. INTRODUCCIÓN

El fundamento para este estudio es la desaparición de las lagunas el Naranjo y Nacahuil dentro del Departamento de Guatemala debido principalmente a la falta de una organización urbana, deforestación incontrolada, uso incorrecto de fertilizantes, plaguicidas y fungicidas. Laguna Calderas, junto con la Laguna Potrerillos, la Laguna sin nombre y el Lago de Amatitlán, son los únicos cuatro cuerpos lénticos de agua dulce superficial existentes en el Departamento de Guatemala. El Cuadro No.1, muestra las lagunas desaparecidas en este Departamento y su localización. El 90% de ellas desaparecieron el siglo XX (Modificado de Castañeda 1995).

Este estudio caracterizó ecológicamente la Laguna Calderas, obteniendo parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. Cada uno de ellos se analizó en cuatro puntos ubicados en las zonas de mayor influencia humana. Estos sitios fueron seleccionados, ya que existen actividades antropogénicas que utilizan el recurso hídrico de forma no racional. Las actividades que afectan la calidad del agua en el área de estudio son: el lavado de ropa a orillas de la laguna, la alimentación de ganado bovino y equino, descarga de aguas residuales sin previo tratamiento y a menor escala el uso de fertilizantes químicos de marca desconocida. Además, se debe tomar en cuenta, que la calidad del agua está relacionada directamente con el estado actual de la microcuenca, ya que esta laguna no recibe afluentes superficiales que transporten material orgánico proveniente de otras poblaciones.

Como parte de un estudio ecológico, la ciencia no puede apartar la influencia directa del hombre en los recursos naturales, por lo que se toma en cuenta las necesidades básicas que afrontan los pobladores de la microcuenca de la Laguna Calderas. En orden de importancia las necesidades inmediatas son: educación, fuentes de trabajo, eficiencia en los servicios de salud y reorganización e implementación urbana. En conjunto, estos factores influyen directa o indirectamente en el uso racional de la laguna.

Cuadro 1. Lagunas desaparecidas en el Departamento de Guatemala

Nombre	Localización	Causa principal de desaparición	Década aproximada
Laguna Miraflores	Hotel Hyatt, z. 7	Uso agrícola y urbanización en el período prehispánico	200 años D.C.
Laguneta	Área del Hospital General	Urbanización	1930
Laguneta el Soldado	Actual Teatro Nacional	Urbanización	1940
Laguneta	Cerca del Obelisco	Urbanización	1940
Laguneta	Terminal de buses, z. 4	Urbanización	1940
Laguneta	Villa de Guadalupe	Urbanización	1950
Lagunetas	Colonia las Charcas, z. 11	Urbanización	1950
Laguneta del Tívoli	Parque de la Industria	Urbanización	1950
Laguna El Naranjo	Colonia el Rosario, z. 7	Urbanización	1970
Laguneta de San José Nacahuil	San Pedro Ayampuc, Guatemala	Uso agrícola	1970

(Modificado de Castañeda 1995)

II. JUSTIFICACIÓN

De los aproximadamente 1,151 sistemas lacustre en el país, los lagos comprenden el 76.24% del espejo de agua dulce. Guatemala tiene 7 lagos, 365 lagunas y 779 lagunetas (Castañeda, 1995). Las lagunas y lagunetas son más abundantes que los lagos, pero ocupan una menor área léntica¹ (22.27%). Debido al desaparecimiento de estos pequeños cuerpos de agua, se estima de suma importancia la caracterización ecológica y limnológica, así como la evaluación de servicios ambientales para promover políticas de protección de los recursos hídricos, tanto para las comunidades internas como externas de las microcuencas. En el caso particular de la laguna de Calderas, sus recursos son limitados, pero importantes para los habitantes de la región.

En Guatemala, existen algunos trabajos que caracterizan ecológicamente cuerpos de aguas lénticas, como es el caso de los lagos Atitlán, Amatitlán (Basterrechea 1997), Izabal (Dix, A. & M. Dix 1999), Petén Itzá y en algunas lagunas como, Chichoj (FOGUAMA 2000), Lachuá, El Tigre (Basterrechea 1993), El Pino y Calderas (Coloma 1998). Además reportes de disminución del área léntica de cuerpos de agua como la Laguna Atescatempa (Atescatempa, Jutiapa), El Comendador (Pasaco, Jutiapa) y Magdalena (Chiantla, Hueheutenango). Estos estudios y reportes se han realizado debido a los siguientes factores: a) importancia biológica; b) importancia hídrica (como fuente de agua potable); c) alimento; d) turismo; e) ubicación del cuerpo de agua; f) área que ocupa; y g) recreación, para las poblaciones que habitan dentro y fuera de su microcuenca.

¹ Agua s sin movimiento

En el Departamento de Guatemala, la Laguna Calderas es el único cuerpo léntico que aún se utiliza como fuente de agua potable, abasteciendo a más de 15,000 personas, en las aldeas San José Calderas, El Pepinal, Los Llanos, Mesillas Altas, Mesillas Bajas (pertenecientes al municipio de Amatitlán); y San Francisco de Sales, El Patrocinio, San Vicente Pacaya, El Cedro, El Bejucal (pertenecientes al municipio de San Vicente Pacaya).

La autoridad gubernamental con ingerencia directa en la Laguna es la Municipalidad de Amatitlán, la cual carece de políticas ambientales para realizar un manejo razonable del recurso hídrico. En la aldea San José Calderas, existe un comité organizado y avalado por la Municipalidad, para ejecutar pequeños planes de mantenimiento de la laguna tanto en época de verano como en invierno. De forma paralela a la concienciación que el Comité de Conservación ha realizado, se deben tomar acciones de acuerdo a resultados de trabajos de investigación limnológica, para fortalecer el uso adecuado de la laguna y su microcuenca a corto, mediano y largo plazo.

La caracterización ecológica de Calderas pretende ser un complemento a los criterios para realizar la zonificación del Parque Nacional Volcán de Pacaya y Laguna Calderas (límites arbitrarios establecidos pero no utilizados para la elaboración de los POA²); así como ser material de consulta para generar una protección legal para cualquier actividad que deteriore el recurso hídrico. Los resultados también pretenden determinar la influencia de la planta geotérmica en la laguna y su microcuenca.

En el Parque Nacional Volcán de Pacaya la Laguna Calderas es el único cuerpo de agua superficial accesible. La laguna es única en su género en el país, ya que se encuentra en un complejo vulcanológico en constante actividad. Esto permite realizar estudios complementarios de caracterización ecológica, de una laguna de cráter tropical con características propias, comparables con otras lagunas en Centroamérica.

² POA: Plan Organizativo Anual.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización ecológica de la Laguna Calderas en el Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala, analizando factores físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, en época seca y en época lluviosa para proponer recomendaciones de un manejo racional de la laguna.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el comportamiento de factores físico-químicos básicos del agua en las épocas verano-invierno de la Laguna Calderas.
- Localizar y analizar las fuentes inmediatas de contaminación, tanto físico-química como microbiológica, puntuales y no puntuales en la Laguna Calderas.
- Identificar fitoplancton y zooplancton de la columna de agua en dos épocas del año en la Laguna Calderas.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de todos los análisis, generar recomendaciones para un manejo racional de la laguna.

IV. ANTECEDENTES

ÁREA DE ESTUDIO

A. Descripción

La Laguna Calderas se localiza a 14°24'51 N y 90°35'40" O en la vertiente del Océano Pacífico a 1,778 m.s.n.m, en la Zona de Usos Múltiples del Parque Nacional Volcán de Pacaya (PNVP), Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala. Sus límites geográficos son los siguientes: al Norte, las aldeas El Bejucal (San Vicente Pacaya, Escuintla) y el Pepinal (Amatitlán, Guatemala); al Oeste, las aldeas San Francisco de Sales y El Cedro (San Vicente Pacaya, Escuintla); al Este, las aldeas Mesillas Altas y Mesillas Bajas (Amatitlán, Guatemala); y al Sur, los cerros Grande, Chiquito y el Volcán de Pacaya (ver Mapa No.1, Apéndice A).

El PNVP se ubica en la zona de vida Bosque Tropical Húmedo Montano Bajo, basado en el sistema de Holdridge de Zonas de Vida de Guatemala, adaptado por de la Cruz (1980) y modificado por M. Dix (1999).

La vía de acceso principal a la Laguna Calderas inicia en el kilómetro 37 de la carretera CA-9-Sur, ruta Amatitlán-Palín, pasando por el pueblo de San Vicente Pacaya, aldea el Cedro, y la aldea San Francisco de Sales, llegando a la aldea Calderas. En total son 17 kilómetros de terracería, 9 de ellos se encuentran asfaltados desde la carretera CA-9 hasta San Vicente Pacaya. Otra vía de acceso de terracería, se localiza partiendo del kilómetro 15 de la carretera que conduce de Amatitlán a Villa Canales, tomando el camino que conecta a El Pepinal-El Cedro. Una última vía de acceso entra de Belén

(Lago de Amatitlán), Mesillas Bajas y Mesillas Altas, llegando hasta la aldea de Calderas. El área del PNVP, no posee más carreteras además de las tres anteriormente mencionadas, las cuales se unen y atraviesan el Parque de Este a Oeste. También existen senderos que se dirigen a diferentes unidades productivas y sobre todo a los bosques existentes en las cimas de las montañas Cerro Grande, Chiquito, Hoja de Queso y Volcán de Pacaya. Existe el servicio de transporte público en bus, el cual efectúa dos recorridos, de la Capital-Amatitlán-Calderas y viceversa. También se cuenta con servicio de microbuses y carros de palangana para el transporte de productos agrícolas (Modificado de Castro 1998).

B. Clima

El clima es templado (Sistema de Thornthwaite), sin estación fría bien definida, húmedo con invierno seco y vegetación natural característica de bosque. La temperatura promedio varía entre los 15°-20°C, dependiendo de la época del año y la altura sobre el nivel del mar (Castro 1998). En la Laguna Calderas existe una temperatura media anual de 17.9°C (ver Cuadro No.2) (Carballo 1993).

En la Aldea Calderas, se encontraba ubicada la estación meteorológica del INSIVUMEH, tipo "B" clave 06-02-2h, denominada Calderas. Los datos anuales de evaporación y precipitación (recabados desde 1970, incompletos) se presentan en las Gráficas (1 y 2). Esta estación fue clausurada en 1998 debido a los problemas económicos del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH 2000).

Durante el período de 1967-1972, se estudiaron las curvas de intensidad de lluvias, demostrándose que durante la primera media hora precipita el 80% del total de una tormenta. Se comparan los datos obtenidos de Calderas con los datos de la estación meteorológica de Jardines Mil Flores y la Cuenca del Michatoya (ver Cuadro No.3). En Calderas, para el año 1993, se registran 125 días lluviosos y el volumen total anual ascendió a 1,322.5 mm (Carballo 1993).

Cuadro 2. Temperaturas de la Laguna Calderas, del período de 1978-1982.

Año	Temperaturas absolutas máx./min.	Promedio temperatura máx./min.	Temperaturas medias en °C
1978	26.5/7.09	22.7/11.6	17.1
1979	25.8/7.61	22.4/12.2	17.3
1980	27.5/7.35	23.3/12.2	17.7
1981	30.0/4.0	22.9/12.6	17.8
1982	29.0/4.0	23.4/12.8	17.8

(INSIVUMEH 1997)

Cuadro 3. Precipitación mensual (mm) en la Laguna Calderas, comparada con dos estaciones meteorológicas a menor altura en el Municipio de Amatitlán. Enero-diciembre, 1993.

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Anual
Calderas	3.1	3.4	11.4	25.2	107.2	222	197.6	199.1	241.8	98.5	15.6	5.8	1130.7
J. Mil Flores	4	0.4	7.9	29.2	85.1	167.6	155.2	201	220	103.1	14.5	3.6	991.6
Cuenca Michatoya	3.4	2.4	10.2	26.5	99.8	203.9	183.5	199.7	234.8	100.1	15.2	5.1	1084.6

(Carballo 1993)

Los vientos que prevalecen en la región vienen del noroeste, incidiendo a los que provienen del océano Pacífico y creando zonas más húmedas en la ladera sur del macizo volcánico (Castro 1998).

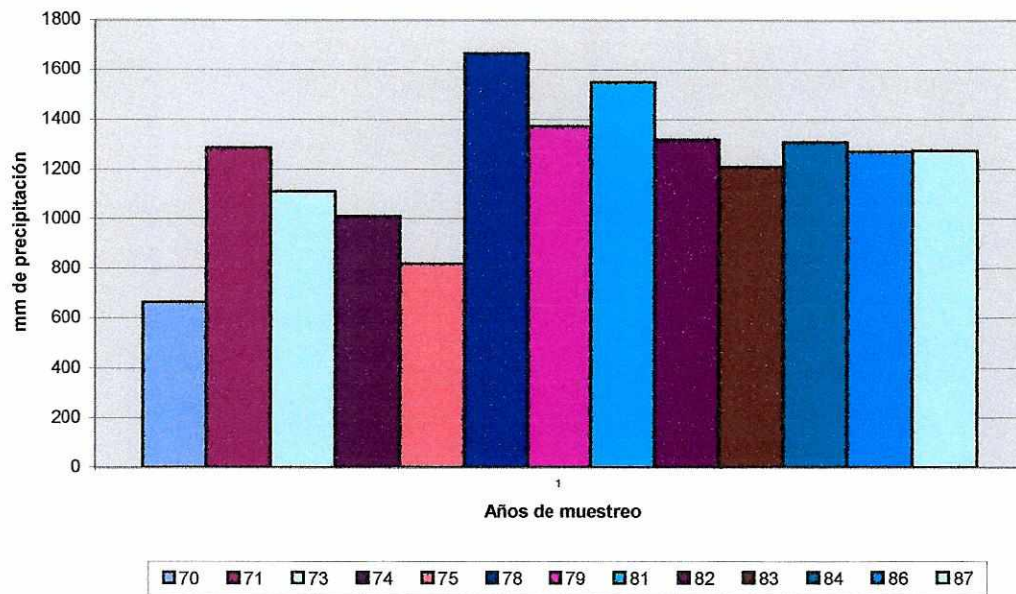
La oscilación de las velocidades del viento medio mensual en un año son del 27%, con rangos entre 1.5 hasta 3.4 m por segundo, lo cual significa que en promedio pueden alcanzarse velocidades equivalentes a 12.3 Km. por hora durante el mes de febrero y los valores menores durante los meses de junio y julio de 5.6 hasta 5.7 Km. por hora. La variación de los vientos en esta zona está influenciada por el estrechamiento natural del Cañón de Palín (Carballo 1993).

El período lluvioso inicia a finales de mayo para el área de la laguna Calderas, justamente cuando la precipitación es mayor que la evaporación (ver gráfica 1 y 2). La lluvia se establece completamente entre los meses de junio hasta septiembre e incluso hasta mediados de octubre. A principios de junio se ha completado el almacenamiento y se inician los volúmenes de exceso de lluvia en los primeros estratos del suelo. El período seco en la zona puede considerarse desde mediados de octubre hasta principios de mayo (Carballo 1993).

C. Hidrología

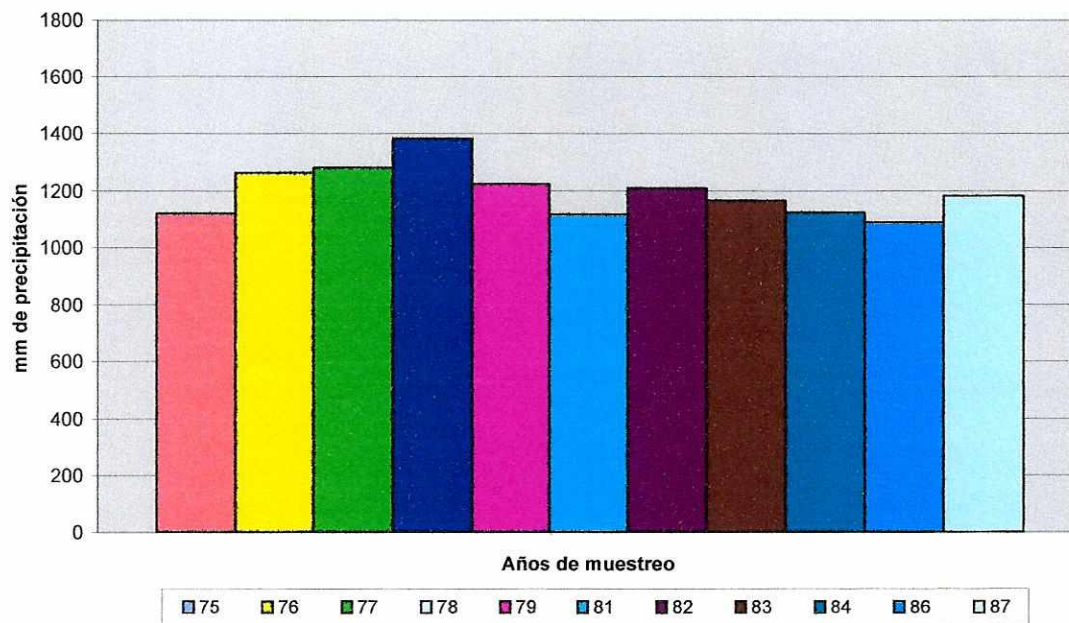
El área del Parque Nacional Volcán de Pacaya y de la Laguna Calderas está ubicada dentro de la cuenca del río María Linda (Michatoya). No existen corrientes superficiales permanentes que desemboquen directamente en la Laguna, únicamente corrientes efímeras, formadas durante la época de invierno y aguas subterráneas. En esta época, el escurrimiento de agua es muy rápido, debido al relieve escarpado de la microcuenca (Modificado de Castro 1998).

Gráfica 1. Precipitación pluvial anual (mm) de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Período 1970-1989.



(INSIVUMEH 1997)

Gráfica 2. Evaporación total anual de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Período 1975-1989.



(INSIVUMEH 1997)

La única fuente de agua superficial dentro del Parque Nacional Volcán de Pacaya es la Laguna Calderas, con una extensión de 0.35 km². El agua de esta Laguna se utiliza principalmente para consumo humano por las poblaciones asentadas en la microcuenca y 7 poblaciones aledañas a la misma, con más de 15,000 habitantes. Para el consumo hídrico, existen cuatro bombas que llevan el agua a las aldeas cercanas (ver Mapa No.2, Apéndice B). Adicionalmente, pobladores de caseríos y fincas cercanas a la Laguna, se desplazan hacia la misma en búsqueda de agua. El sistema de distribución de agua no potable, es irregular, lo cual ha provocado que las aldeas de Calderas y San Francisco, utilicen todo el tiempo el agua de la Laguna para aseo personal (lavado de ropa y recolección en recipientes). Las demás aldeas incrementan su consumo por sistemas de bombeo durante la época seca (Castro 1998).

En el Cuadro No.4 se observan los niveles de la Laguna Calderas, en nueve años de monitoreo y su relación con las fluctuaciones debido a la precipitación en las dos épocas del año. El cero, en la escala limnimétrica, fue tomado con base a la altura sobre el nivel del mar.

Cuadro 4 Fluctuación de niveles (en metros) de agua de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. 1976-1983.

Niveles	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Máx/Mín 1976-1977	1.24/ 1.09	1.08/ 0.96	0.95/ 0.80	0.86/ 0.76	2.00/ 1.79	1.84/ 1.78	1.83 1.68	1.69/ 1.60	1.62/ 1.55	1.59/ 1.49	1.49/ 1.39	1.39 1.24	2.00/ 0.76
Máx/Mín 1977-1978	0.16/ 0.01	0.00/ -13	-13/ -26	-27/ -38	0.67/ 0.55	0.62/ 0.53	0.64/ 0.56	0.62/ 0.55	0.61/ 0.53	—	0.42/ 0.31	0.31/ 0.16	0.67/ -38
Máx/Mín 1978/1979	1.96/ 1.93	1.96/ 1.94	1.94/ 1.89	1.89/ 1.85	—	0.89/ 0.83	1.08/ 0.88	1.08/ 1.01	1.35/ 1.07	1.69/ 1.36	1.84/ 1.69	1.94/ 1.85	1.96/ 0.83
Máx/Mín 1980-1981	3.06/ 3.02	3.02/ 2.95	2.94/ 2.87	2.86/ 2.76	2.54/ 2.50	2.60/ 2.47	2.64/ 2.53	2.80/ 2.64	3.00/ 2.80	3.10/ 3.01	3.12/ 3.10	3.12/ 3.07	3.12/ 2.47
Máx/Mín 1981-1982	3.84/ 3.83	3.83/ 3.76	3.76/ 3.68	3.66/ 3.58	2.75/ 2.68	2.85/ 2.72	3.02/ 2.84	3.14/ 3.01	3.37/ 3.14	3.67/ 3.37	3.76/ 3.67	3.83/ 3.77	3.84/ 2.68
Máx/Mín 1982-1983	4.58/ 4.49	4.49/ 4.40	4.42/ 4.29	4.28/ 4.13	3.61/ 3.54	3.70/ 3.53	3.74/ 3.64	3.74/ 3.63	4.17/ 3.60	4.50/ 4.18	4.60/ 4.51	4.61/ 4.58	4.61/ 3.53
Máx/Mín 1983-1984	3.67/ 3.53	3.52/ 3.41	3.40/ 3.28	3.28/ 3.14	4.12/ 3.98	4.01/ 3.97	3.99/ 3.93	3.99/ 3.91	4.02/ 3.94	4.00/ 3.92	3.92/ 3.81	3.81/ 3.68	4.12/ 3.14

D. Suelos

Los suelos presentes en el PNVP corresponden a los suelos del Declive del Pacífico, clasificado en volcánico, metamórfico y sedimentario, de moderada a altamente susceptibles a la erosión debido a las fuertes pendientes. Los suelos en el área del Parque son un reflejo de su origen volcánico, en general son permeables con alto contenido de arena y grava en los horizontes A y B. Las texturas en los horizontes A se extienden de suelo franco arenoso a otro suelo areno arcilloso, con profundidades entre 8-20 metros. El horizonte B, está formado especialmente de una arena arcillosa y/o grava con profundidades entre 40-60 cm. El material del horizonte C es también bastante permeable. Debido a la alta permeabilidad de los suelos en la microcuenca de la Laguna Calderas y en el lado este de Cerro Grande, la erosión laminar no es generalmente un problema. No obstante, en el Cerro Hoja de Queso, la utilización de tierras con vocación forestal para fines agrícolas y la falta de conocimiento en la implementación de prácticas de conservación de suelos están provocando un alto índice de erosión en canales o surcos pequeños, que han provocado la formación de cárcavas (Modificado de Pereira 1990). El problema de las cárcavas y surcos radica en que presentan un alto peligro de erosión avanzada en las laderas escarpadas por la falta de cohesión de estas aberturas, incidiendo también el grado de la pendiente de la microcuenca de la Laguna Calderas. Las principales fuentes de sedimentos son justamente ocasionadas por las cárcavas y la erosión de áreas de cultivo, senderos y caminos.

El valor nutritivo de las tierras cultivadas también es una consecuencia de su naturaleza volcánica. Las tierras son generalmente ricas en potasio, bajas en fósforo y variables en contenido de nitrógeno. El pH es ligeramente ácido, variando entre 6.1 y 6.95 (Pereira 1990).

La geología en la parte sur de la microcuenca de la Laguna Calderas (geológicamente la parte más antigua y desarrollada del parque), consiste en domos de andesita y dacita. El resto del parque está formado principalmente por el Volcán de Pacaya y los recientes flujos de lava (Castro 1998). Según el mapa de Perfiles Geológicos, de acuerdo a un estudio de aguas subterráneas en las cuencas del Valle de Guatemala (Muñoz 1978), la Laguna Calderas se encuentra entre dos fallas geológicas con rechazo y constituida geológicamente por lavas cono ancestral.

Dentro de la microcuenca de la Laguna, existen otras formaciones inactivas, tales como Cerro Grande, Cerro Chiquito y el Cerro Chino, que a su vez están montadas sobre un relieve volcánico más antiguo. A éste pertenecen los cerros Malpaso, la Mariposa, Limón y entre ellos quedan encerrados varios cráteres antiguos como el Durazno, en el que están ubicadas las poblaciones de San Vicente Pacaya y la Laguna Calderas (ver Mapa No.1, Apéndice A). Todo el complejo se levanta sobre una antigua caldera de explosión, llamada Amatitlán, que fue rellenada excepto al noreste donde se encuentra actualmente el lago de Amatitlán. La Laguna Calderas, formada en el fondo de una caldera, es geológicamente reciente, ya que el flujo de lava que cerró la salida de agua de la caldera, pertenece a la actividad moderna, posiblemente de la época del cono del Cerro Chino (Castro 1998).

E. Condición socioeconómica de la aldea Calderas

El área de influencia y de amortiguamiento del Parque Nacional posee 9,147 habitantes, de los cuales 48% son mujeres y 52% son hombres. Calderas posee 855 habitantes, 51.34% masculino y 48.66% femenino. La tasa de crecimiento poblacional

para esta aldea se estima inferior al 2.6%, la cual es menor que la tasa de crecimiento poblacional a nivel nacional, 2.9% (según los datos del INE) (Pereira 1990).

La distribución poblacional por edad en Calderas, se muestra en el Cuadro No. 5, utilizando los datos de 1986 de la Municipalidad de San Vicente Pacaya (Castro 1998). Para observar una parte de la población que demanda directamente el recurso hídrico de la Laguna se utiliza como referencia, la aldea San Francisco de Sales.

Cuadro 5. Distribución demográfica en Calderas y San Francisco de Sales, dos aldeas dentro de los límites del Parque Nacional Volcán de Pacaya.

Aldeas	Personas de hasta 1 año		Personas de 1-4 años		Personas de 5-14 años		Personas de 15-49 años		Personas con más de 50 años		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Calderas	50	3.2	150	9.6	245	15.7	393	25.3	17	1.1	855	54.9
Sn.Francisco	45	2.9	120	7.7	230	14.8	290	18.6	15	0.9	700	45
											1,555	100

(Modificado de Castro 1998)

Se estima que el 74% de la población de Calderas es analfabeta. La infraestructura educacional es deficiente, solamente hay una escuela a nivel primario. Existe una baja escolaridad, en donde a partir de una población escolar potencial del 26% solamente asisten el 33% de dicho porcentaje. Los trabajos temporales son la principal fuente de ocupación para la mayoría de las personas (Castro 1998). En la parte sureste de la laguna se construyó un pozo geotérmico para la producción de energía eléctrica. Esta planta tiene 1 año y 5 meses de funcionar en el lugar y es fuente de trabajo temporal para una pequeña parte de la población de Calderas (aproximadamente el 1 %).

F. Uso actual de la laguna

El uso principal de la Laguna Calderas es la extracción de agua potable, utilizando cuatro bombas eléctricas. No se tienen datos del volumen de agua extraído. A menor escala, la recolección de caracoles (*Pomacea* sp. y *Pleurocera* sp.) en época de invierno es una actividad que permite establecer un comercio con el mercado de la ciudad capital. Aproximadamente 100lbs. de estos moluscos se extraen de la laguna semanalmente para enviarlos a diferentes mercados. La pesca es artesanal y enfocada únicamente para el consumo familiar. Existen muy pocas personas que dependen directamente de la pesca. El tul de la laguna es utilizado para elaborar sopladores, alfombras, canastos, etc. Estos productos no son comerciales y su destino es doméstico. La Laguna también es utilizada con fines recreativos por los habitantes del lugar. Existe muy poco turismo nacional y extranjero.

G. Flora y fauna

La vegetación en la microcuenca de la Laguna está conformada principalmente por café (para venta a través de intermediarios), frijol y maíz (para autoconsumo) y macadamia (comercialización por parte de fincas privadas). También se encuentran dentro de la microcuenca las siguientes especies: *Chusquea* sp., *Quercus* spp., *Alnus* spp., *Pinus pseudostrobus* y *P. oocarpa*, *Gautheria cummingii*, *Myrica cerifera* y *Mimosa albidia*. Dentro de la vegetación acuática superficial se puede encontrar el *Salix chilensis* (Sauce) y parches boscosos formados de cyperaceas, gramineas, asteridaceas y otras. La vegetación acuática inferior incluye a: *Hidrocotyle umbellata* (se encuentra a poca profundidad), *Potamogeton illinoiensis*, *Scirpus californicus* (se encuentra a media profundidad) y *Chara* sp. la cual está sumergida (Castro 1998).

Las especies de flora amenazadas por las actividades antropogénicas y las constantes erupciones del Volcán de Pacaya son las siguientes: *Cedrela pacayana*; *C. imparipinnata*; *P.pseudostrobus*; *P.oocarpa*; *Quercus acatenangensis*; *Q. oocarpa* (encino del Pacaya); *Chamaedorea* spp.; *Nectandra membranaceae* (Laurel); *Alnus arguta*; *Alnus jorullensis*; *Annona diversiflora*; *A.purpurea*; *A.lutescens*; *Almedieella bestecheriana*; además algunas especies de bromelias como *Tillandsia usneoides*; *Catopsis* spp.; Araceas como *Philodendron* spp., *Anthurium* spp. y Orchidaceas, como *Coelia guatemalensis*; *Bletia purpurata*; *Lycaste cruenta* y *Oncidium laeve* (Castro 1998).

Existen 28 especies de mamíferos reportados. En su mayoría son especies pequeñas. Los mamíferos que se encuentran en la región del Volcán de Pacaya son: *Canis latrans* (coyote), *Coendou mexicanus* (cuerpoespín), *Dasyopus novemcinctus* (armado), *Didelphis marsupialis* (tacuazín), *Mephitis macroura* (zorrillo), *Mustela frenata* (comadreja), *Procyon lotor* (mapache); roedores como *Peromyscus* sp. *Reithrodontomys* sp., *Heteromys* sp., *Baiomys* sp. y *Orizomys* sp.; murciélagos como *Pteronotus* spp.; *Myotis* spp.; *Phyllostomus* spp.; ardillas *Sciurus* sp. y conejo *Sylvilagus floridanus* (Castro 1998).

Los bosques del área del Volcán de Pacaya y la Laguna Calderas son lugares importantes para las rutas migratorias de varias especies de aves, como *Muscivora forticata*; *Tyrannus tyrannus*; *Sphyrapicus varius* (carpintero); *Hirundo rustica* (golondrinas); *Riparia riparia*; *Podiceps dominicus* (zambullidorcito); *Fulica americana* (gallareta) y varias anátidos como *Anas affinis* y *Oxyura jamaicensis*. Existen especies comunes como *Aratinga holochlora*; palomas como *Zenaida asiatica*; *Wilsonia pisiulla* (chipes); *Dendroica townsendii*; *Siala sialis* (azulejo); *Tangavius arneus* (tordo); *Mimus gilvus* (sensontle); *Asphata gularis* (tolobojos); *Myadestes obscurus* (guardabarranca);

Artlapetes gutturalis (saltón); *Cassidix mexicanus* (clarinero); *Zonatricha capensis*, (coronadito) entre otras (Castro 1998).

Existen siete especies de peces exóticas reportadas para la Laguna de Calderas. La pepesca *Astyanax* sp., *Poecilestes* sp. (pescadito), *Mollinesia* sp. (pupos) y *Profundulus* sp., especies locales introducidas del lago de Amatitlán. Además se introdujo dos especies exóticas como *Micropterus salmoides* (lobina negra) y *Ciprinus* sp. (carpa) durante los años cincuenta. Recientemente se introdujo la tilapia (Castro 1998).

H. Parámetros físicos y químicos

Los parámetros físicos y químicos de la Laguna Calderas se analizaron para interpretar cuál es la influencia directa de las actividades antropogénicas en la microcuenca. Los datos físicos muestran las condiciones en las que se desarrollan los organismos para mantener sus poblaciones en condiciones estables. El oxígeno disuelto muestra la capacidad de interacción de las capas superficiales con la atmósfera, el proceso de fotosíntesis por medio de las algas y el consumo de oxígeno por otros organismos. La conductividad es un parámetro que muestra la cantidad de iones que se encuentran disueltos en la columna de agua. Una alta conductividad más un número alto de sólidos disueltos en el agua, indican que las fuentes de dónde proviene el agua son muy fértiles, por el contrario, una baja conductividad y bajo nivel de suspensión, indica poca fertilidad (Herrera 1999). La temperatura es fundamental para conocer la estratificación de un cuerpo de agua. El color y transparencia también son parámetros utilizados para conocer la incidencia de los rayos de sol y la profundidad de claridad en la columna de agua. La turbidez muestra los efectos indirectos con el color y la transparencia, influyendo en la penetración de la luz.

Los datos químicos como nitritos, nitratos y N-Total, son parámetros que indican la presencia de materia orgánica nitrogenada. Los compuestos fosforados como los ortofosfatos, junto con el P-Total predicen un aumento de la eutroficación o el inicio de un proceso de depuración. Estos compuestos son limitantes en el proceso metabólico para cierto grupo de organismos, por ejemplo: las macrofitas y las algas. La relación N-Total/P-Total indica cuál es el nutriente limitante de las poblaciones de fitoplancton y zooplancton en el cuerpo de agua. Si el número es mayor que 10 en la relación N/P, el nutriente limitante es el P, por el contrario, si el número es menor que 10, el nutriente limitante es el N (Herrera 1999).

I. Parámetros microbiológicos

Las coliformes totales representan un indicador biológico de la posible presencia de otros microorganismos patógenos debido al deficiente sistema de drenaje, contaminación de origen ambiental en las descargas de material orgánico por escorrentía y material fecal de origen humano y animal, sin un tratamiento previo para su consumo (Dix & Dix 1999). Las coliformes fecales son bacterias gram negativo indicadoras de las condiciones sanitarias del agua, es decir, su contaminación con heces fecales y de posible presencia de microorganismos patógenos. La principal coliforme fecal aislada de cuerpos de agua contaminados es *Escherichia coli* (Hurst et al 1997). Esta especie pertenece a la familia de las enterobacteriáceas y se caracteriza por tener enzimas B-galactosidasa y B-glucoronidasa (OMS, 1995). El ingreso de este tipo de contaminación a una fuente natural de agua, puede ser a través de aguas residuales de origen domiciliar, escorrentillas en el invierno y concentraciones fecales provenientes de mamíferos que se alimentan a orillas de la Laguna. Su importancia radica en que éstas están vinculadas a

bacterias (*Shigella* sp.) y virus (Hepatitis B), que causan enfermedades severas y mortales.

J. Parámetros biológicos

Los indicadores biológicos sirven para conocer el estado actual de un cuerpo de agua. Estos indicadores son especies de organismos utilizados para monitorear cambios en el ambiente, ya que se conoce su comportamiento según el grado de disturbios a que está expuesto su hábitat, tolerancia ecológica y requerimientos de las especies. Además, son fácilmente distinguibles y cuantificables. Es importante estudiar los efectos ambientales del aumento de los niveles de contaminantes en la diversidad de especies, para determinar su impacto (Whitton 1975). El plancton, particularmente el fitoplancton, ha sido utilizado como indicador de la calidad de agua. Algunas especies proliferan en aguas eutrofizadas, mientras otras son muy sensibles a los desperdicios orgánicos y químicos. El fitoplancton reportado como indicador de aguas no contaminadas incluyen a *Melosira islandica*, *Cyclotella ocellata*, y especies del género *Dinobryon* y *Closteriopsis*. Algunas de las especies reportadas como indicadoras de aguas contaminadas son: *Nitzschia palea*, *Microcystis aeruginosa*, y *Aphanizomenon flos-aquae* (ver Cuadro No.6). Las últimas dos especies han sido asociadas con florecimientos tóxicos y condiciones anóxicas. De la misma forma que el fitoplancton, el zooplancton en un área determinada es muy útil para conocer la calidad del agua. Debido a sus cortos ciclos de vida, el zooplancton es muy sensible a los cambios del medio en el que se encuentra (APHA 1980).

La calidad del agua afecta la abundancia, composición de especies, diversidad, estabilidad, productividad y las condiciones fisiológicas de las poblaciones de organismos

acuáticos. Desde el siglo pasado, el plancton se ha estudiado como indicador biológico. Los organismos planctónicos se caracterizan por su tamaño pequeño, y su limitada locomoción. El plancton constituye la unidad básica de producción de materia orgánica en los sistemas lénticos. El desarrollo de la comunidad de plancton dependerá de factores como: luz, calor, gases disueltos (oxígeno, dióxido de carbono) y nutrientes (los de mayor importancia son el nitrógeno y el fósforo, en especial este último es un factor limitante de su producción) (González 1988).

Cuadro 6. Géneros de fitoplancton dominantes en diferentes estados tróficos de lagos y lagunas en el trópico.

Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
<i>Staurastrum, Cosmarium</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Melosira, Asterionella</i>
<i>Stauroidesmus</i>	<i>Closterium</i>	<i>Stephanodiscus</i>
<i>Tabellaria</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Scedesmus</i>
<i>Cyclotella</i>	<i>Stephanodiscus</i>	<i>Eudorina</i>
<i>Melosita</i>	<i>Asterionella</i>	<i>Aphanizonemon</i>
<i>Rhizoselenia</i>	<i>Pediastrum</i>	<i>Microcystis</i>
<i>Dinobryon</i>	<i>Eudorina</i>	<i>Anabaena</i>
	<i>Peridinium</i>	
	<i>Ceratium</i>	

(Machorro 1996)

V. METODOLOGÍA

Para iniciar los estudios de caracterización ecológica en la Laguna Calderas, se realizaron dos giras de reconocimiento. Seguidamente se recolectaron muestras en ocho viajes de tres días cada uno. Estos viajes se realizaron de marzo a noviembre, cubriendo la época seca y la época lluviosa, del año 2000. Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo con base a las actividades humanas dentro y fuera de la laguna. El punto 1 se encuentra en la zona sur-oeste, en donde se encuentra la bomba extractora de agua para la aldea de Mesillas Altas. El punto 2 es el centro de la laguna. El punto 3 se localiza en la zona noreste, donde se ubica únicamente la bomba de extracción para las aldeas de Bejucal y El Pepinal. El punto 4 se ubica a 50 metros de la playa pública (ver Mapa No.2, Apéndice B).

A. Factores físicos

Las muestras físicas se tomaron a un metro de profundidad en cada uno de los cuatro puntos de muestreo y se transportaron en recipientes nuevos de plástico con una capacidad de 1l. Para la medición de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad se utilizó un equipo electrónico (Modelo YSI-85), el cual permite hacer mediciones a partir de la superficie hasta los 15 metros de profundidad. Con los datos obtenidos, se realizaron perfiles de temperatura, oxígeno y conductividad de cada uno de los puntos de muestreo. Para medir la penetración de luz en la laguna se utilizó un disco Secchi. Este se introdujo en el cuerpo de agua, midiendo hasta donde el disco desaparece y a continuación se midió la distancia cuando vuelve a reaparecer, obteniendo luego el promedio. Las tomas de penetración de luz en la laguna se realizaron entre 10:00 y 14:00 horas, desde el lado

sombreado de la lancha. La turbidez (450 nm) y el color (450 nm) se midieron con un método espectrofotométrico (Hach Modelo DR-EL/4) 24 horas después de la colecta.

B. Factores químicos

Las muestras químicas se tomaron a un metro de profundidad en cada uno de los cuatro puntos de muestreo y fueron transportadas en refrigeración en recipientes nuevos de plástico con capacidad de 1l. Los análisis se realizaron 24 horas después de la colecta, utilizando el equipo espectrofotométrico (Hach Modelo DR-EL/4) por medio de los siguientes métodos: Diazotización (nitritos), Reducción de Cadmio (nitratos), Ácido Ascórbico (fósforo), Método Turbidimétrico de Sulfato de Bario (sulfatos). El fósforo total se midió utilizando el HATCH DR/2000. El nitrógeno total se analizó en el laboratorio de química analítica de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Estos dos últimos análisis se realizaron únicamente en el punto 4, durante los meses de mayo-septiembre. Se seleccionó este punto debido a la influencia humana y a las limitaciones técnicas (HACH DR/2000 no obtuvo lectura de N-Total) y financieras para realizar estos dos tipos de análisis.

C. Microbiológica: coliformes totales, coliformes fecales y *E.coli*

Para el análisis microbiológico se tomaron muestras de la superficie en los cuatro puntos de muestreo y fueron transportadas en refrigeración en recipientes nuevos de plástico con capacidad de 1l. Se utilizó el método Fluorocult LMX-Broth, modificado por la utilización del sustrato de acuerdo a MANAFI y OSSMER, para la detección de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* (Merck 2000). El caldo LMX se preparó el mismo día

de la inoculación de los tubos. Cada muestra de agua utilizó 3 grupos de 5 tubos de ensayo cada uno. Estos tubos contenían un volumen de caldo LMX determinado, con relación al volumen de muestra. El volumen de muestra que se utilizó en el primer grupo de tubos fue de 0.1 ml, en el segundo grupo de 1ml y en el tercer grupo de 10 ml. Posterior a la inoculación, el grupo de tubos por muestra se incubó a 37.5°C por 24 horas. El análisis fluorescente se realizó utilizando una lámpara UV dentro de la campana. Para que los resultados de *E.coli* y coliformes totales/fecales fueran confiables, antes de iniciar el análisis fluorescente se inocularon dos tubos. El primer tubo se inoculó con cepas de *E.coli* y LMX, el segundo tubo contenía agua destilada y LMX. Estos tubos se utilizaron como controles, para verificar los resultados de fluorescencia obtenidos bajo este método. Los resultados se analizaron según el número de tubos positivos y negativos, utilizando el NMP (Número Más Probable).

D. Fitoplancton y zooplancton

Los muestreos de fitoplancton y zooplancton se colectaron a un metro de la superficie con una botella Van Dorn, en cada uno de los puntos. Las muestras de fitoplancton de 500ml fueron preservados con 5 ml de lugol³ para 495 ml de muestra, envolviendo el recipiente con papel aluminio. Para el zooplancton se utilizó 50 ml de formaldehído para 450 ml de muestra. En el laboratorio, el plancton se concentró por filtración utilizando papel filtro Fisher 09-803-6G. Posteriormente el material filtrado se suspendió en 25 ml de lugol o formalina de la muestra filtrada. Luego se contaron 5 alícuotas de 1 ml para cada una de las muestras concentradas por filtración y se utilizó un microscopio binocular, una celda Palmer y una cámara Sedgwick-Rafter para la identificación y cuantificación de fitoplancton y zooplancton, respectivamente. El fitoplancton se identificó utilizando las

³ Preparado con 60g KI y 40g I en un litro de agua destilada (APHA 1980).

siguientes claves dicotómicas: Fresh Water Biology (Edmondson 1959), Fresh Water Algae (Prescott 1980), Grünalgen (Klotter 1975), Blaualgen (Bittner 1972) y Diatoms from the Vaal Dam Catchment Area, Transvaal, South Africa (Archibald 1971). El zooplancton se identificó utilizando la clave dicotómica siguiente: Fresh Water Algae (Prescott 1980).

E. Índice de estado trófico (Según Machorro 1996)

Este índice de estado trófico (IET) relaciona la transparencia (DS), Fósforo Total (P_{tot}) y clorofila a (Chl_a), para conocer el estado trófico de la laguna Calderas. El índice de estado trófico se calcula de la siguiente forma:

$$IET(DS) = 10 * (6 - \ln DS / \ln 2)$$

$$IET(P_{tot}) = 10 * (6 - (\ln 48 / P-T) / \ln 2)$$

$$IET(Chl) = 10 * (6 - (2.04 - 0.68 \ln Chl) / \ln 2)$$

Donde,

DS = Disco Secchi

Ln = Logaritmo natural

Chl = Concentración de clorofila ($\mu\text{g/l}$)

P-T = Fósforo Total

Los valores de IET menores a 40, indican un estado oligotrófico; los valores del IET entre 40 y 60 indican un estado eutrófico, y los valores mayores que 60 implican que el cuerpo de agua léntica se encuentra en un estado hipertrófico (Machorro 1996).

VI. RESULTADOS

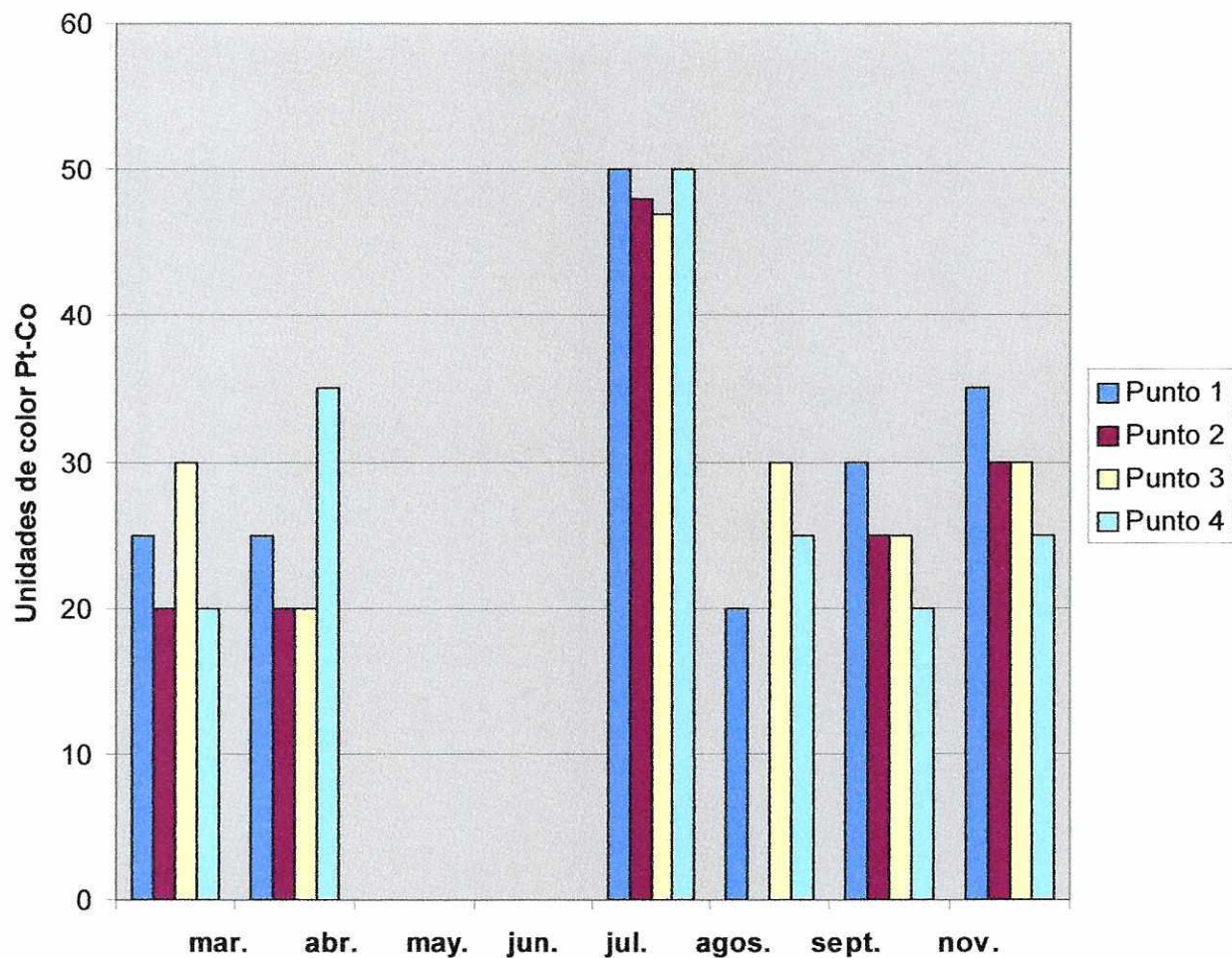
Los resultados que se presentan en forma de gráficas, relacionan las condiciones físicas, químicas, microbiológicas y biológicas en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, de marzo-noviembre de 2000.

A. Análisis físico

En la gráfica No.3 se muestran los análisis del color de agua en los cuatro puntos de muestreo en la Laguna Calderas, donde se utilizó el análisis de Platino-Cobalto. En los meses de marzo y abril se obtuvieron unidades de color indicadoras de aguas muy claras. En los meses de mayo y junio se observó un espectro de luz con resultados cero, indicando una mayor penetración de luz en la columna de agua. En julio se observó el máximo incremento de las unidades de color en los cuatro puntos analizados.

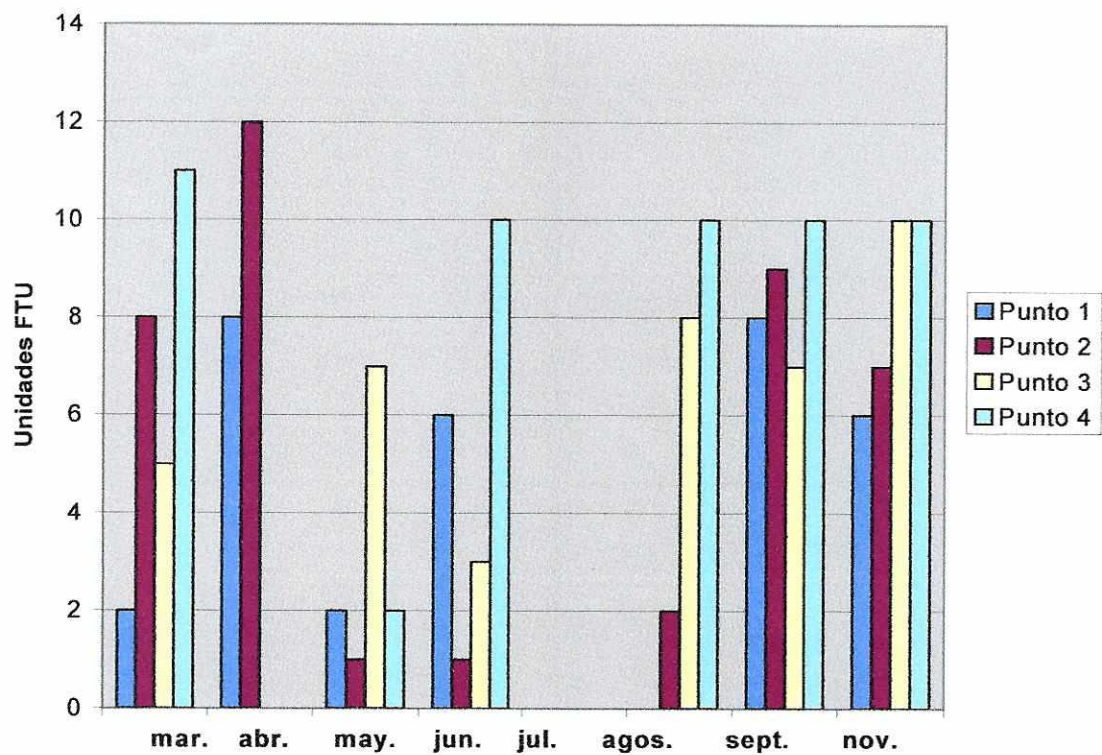
En la Gráfica No. 4 se observa el comportamiento de la turbidez en cuatro puntos de la Laguna Calderas. El valor más alto de turbidez se obtuvo en el mes de abril, en el punto No. 2 (12 FTU), mientras que el valor mínimo se obtuvo en los meses de abril, julio y agosto en los puntos No. 3,4;1,2,3;1, respectivamente.

Gráfica 3. Unidades de color Pt-Co en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

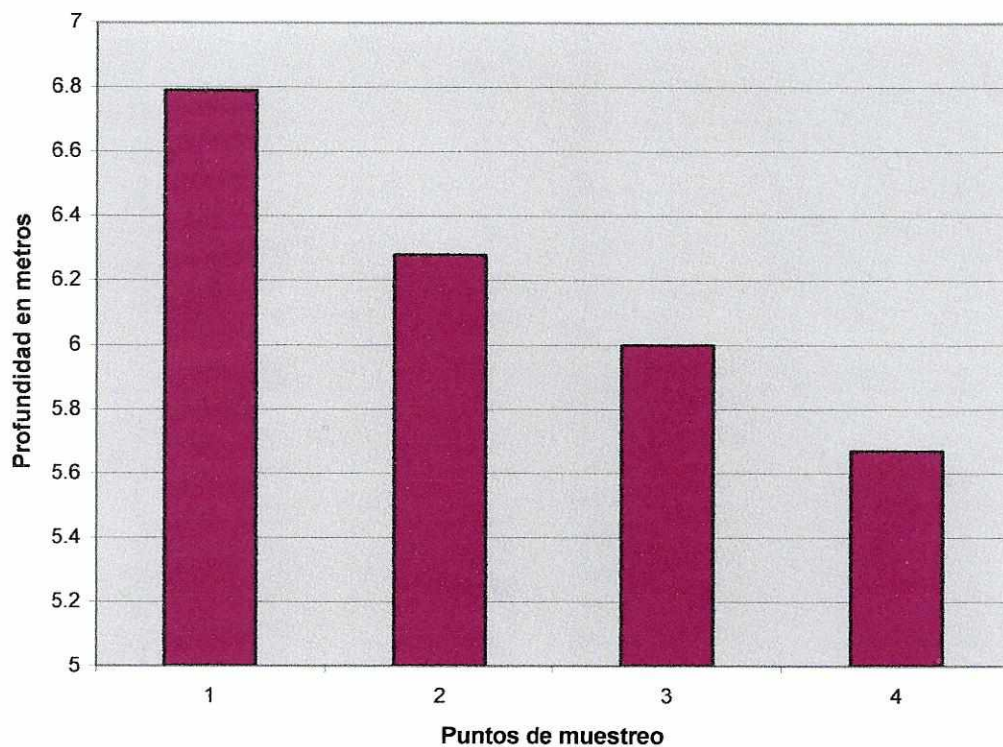


En la Gráfica No. 5 se observa la transparencia promedio en la columna de agua, en los cuatro puntos de muestreo de la laguna Calderas. El punto 1 presentó la mayor transparencia y el punto 4 es el que posee la menor. El promedio de transparencia fue de 6.2 metros.

Gráfica 4. Turbidez FT (Formazin Turbidity Units) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.



Gráfica 5. Promedio de transparencia en base al disco Secchi en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

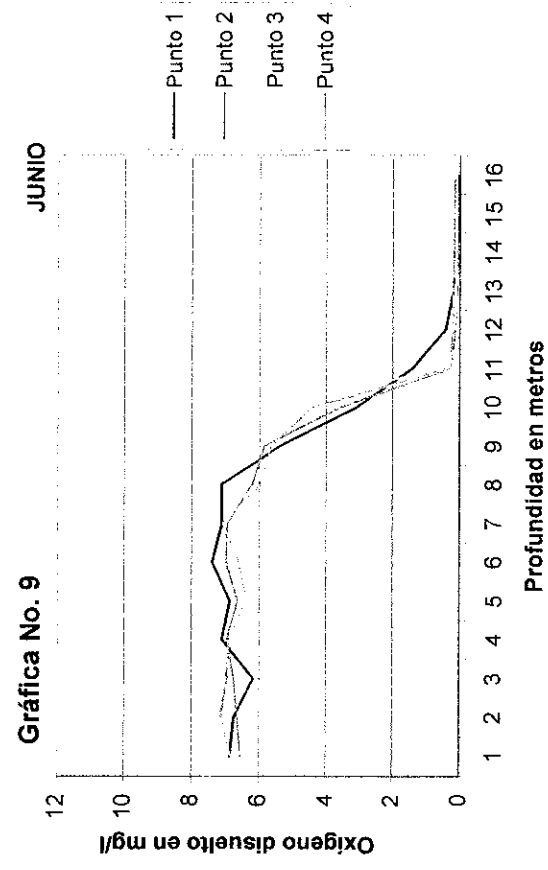
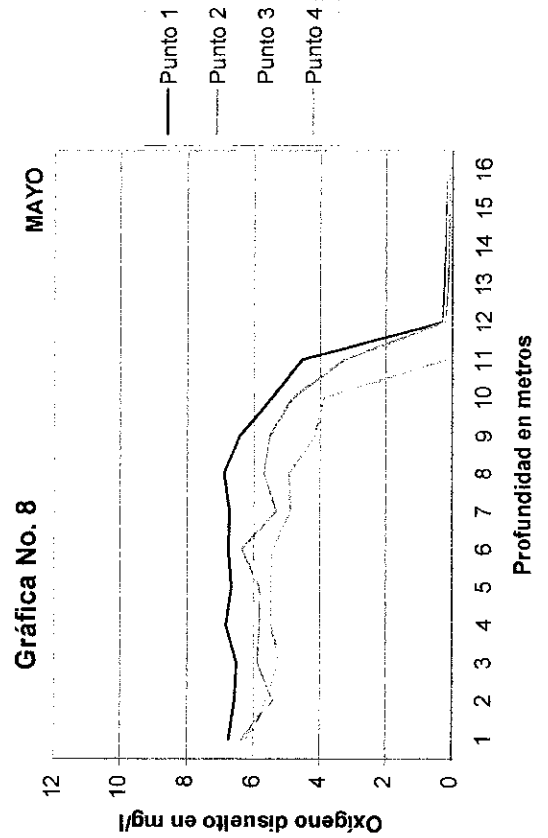
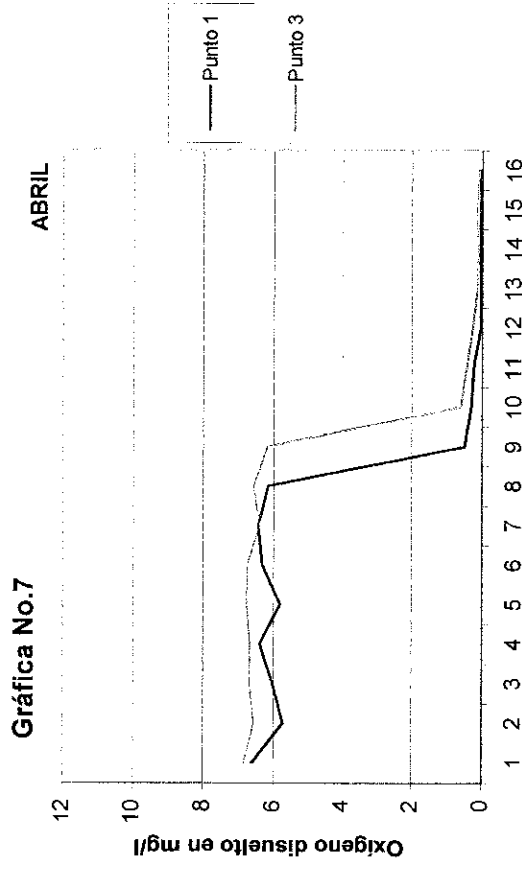
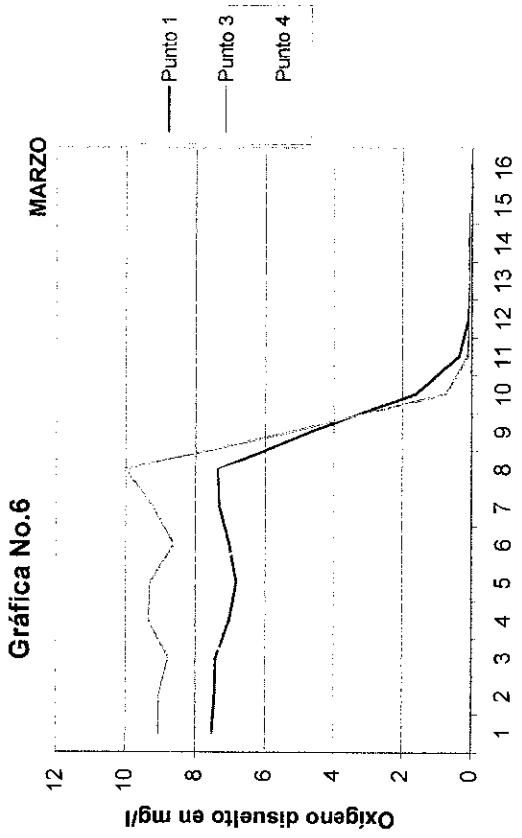


Las gráficas No.6-13 presentan las concentraciones de oxígeno disuelto entre la superficie y 15 metros de profundidad, en los cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas. En el mes de marzo y abril se observó una disminución considerable de oxígeno disuelto a partir de los 7 metros, llegando a una profundidad anóxica de 15 metros. No existió diferencia significativa entre los puntos de muestreo, pero sí entre los diferentes meses. La concentración máxima de oxígeno disuelto fue de 107.9 mg/l y la mínima de 0.003 mg/l.

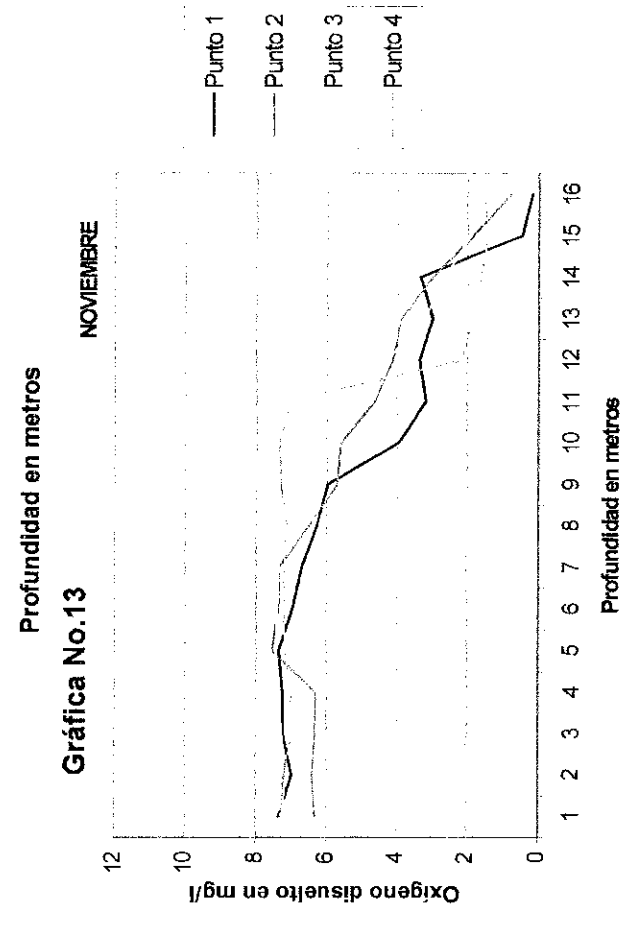
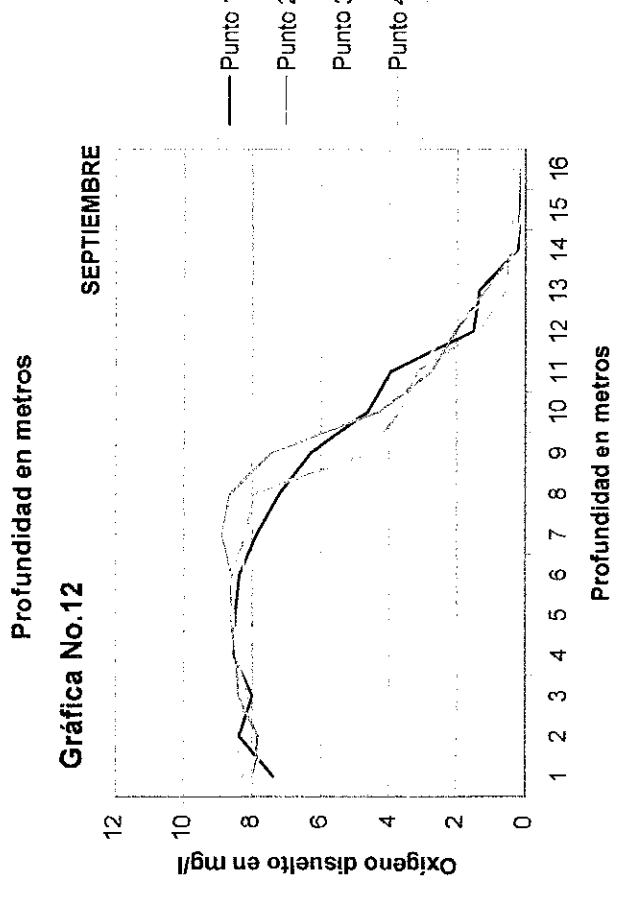
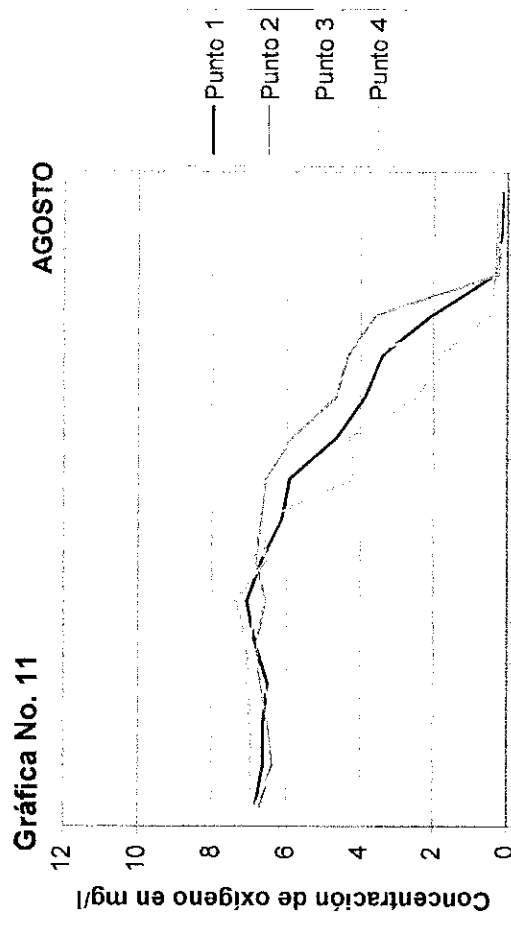
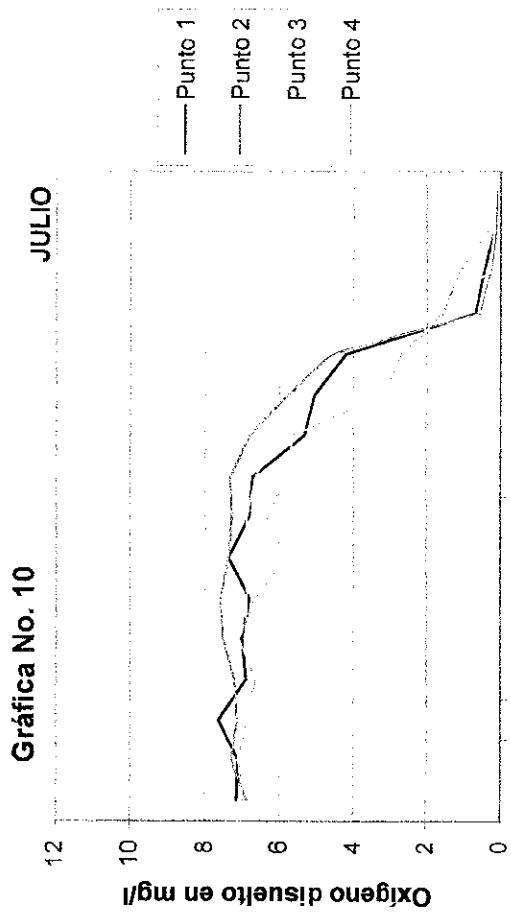
Las gráficas No.14-21 presentan los perfiles de temperatura obtenidos en los cuatro puntos seleccionados de la laguna Calderas. A lo largo de los meses muestreados, no se observó una estratificación clara de temperatura. El comportamiento de las gráficas indica que no existió diferencia entre los puntos 1,2 y 3. El punto 4, presentó valores casi invariables en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. El valor máximo fue de 23.1°C en el mes de abril, y el mínimo de 17.4°C en mayo.

Las gráficas No. 22-29 muestran el comportamiento de la conductividad específica en cuatro puntos de la laguna Calderas, de marzo-noviembre, 2000. En el mes de marzo la conductividad en el punto 1 disminuyó mientras aumentó la profundidad. En mayo alcanzó el valor máximo de 289.4 μ S, y un valor mínimo de 275.4 μ S. A partir de junio hasta noviembre se observó que la profundidad en donde aumenta la conductividad oscila entre los 10-12 metros. En julio-septiembre, el punto 4 llegó a un valor casi constante después de los 8-9 metros de profundidad.

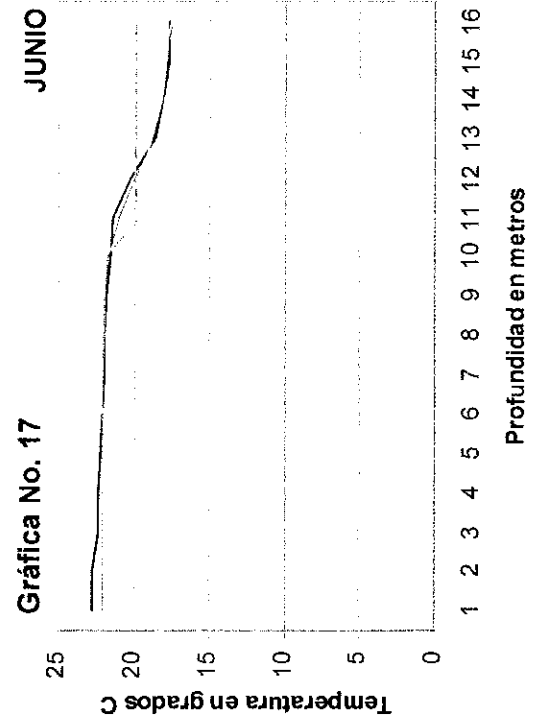
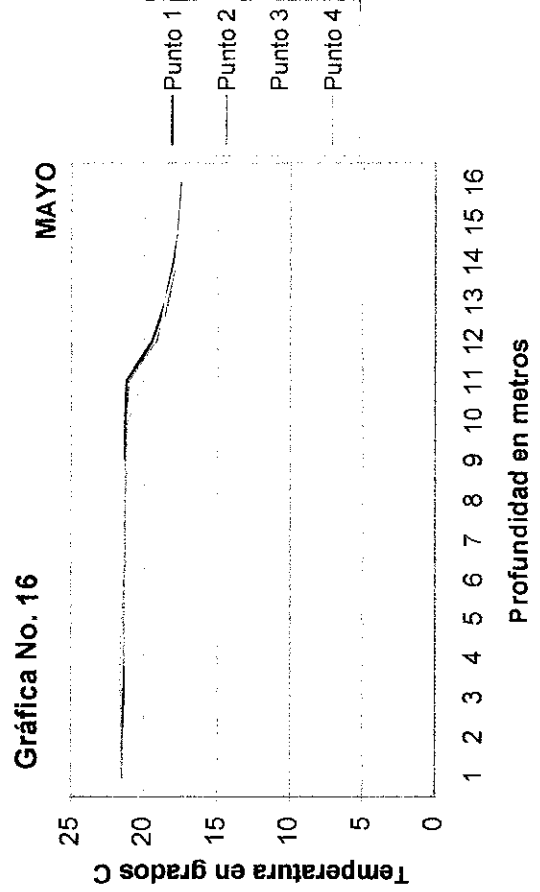
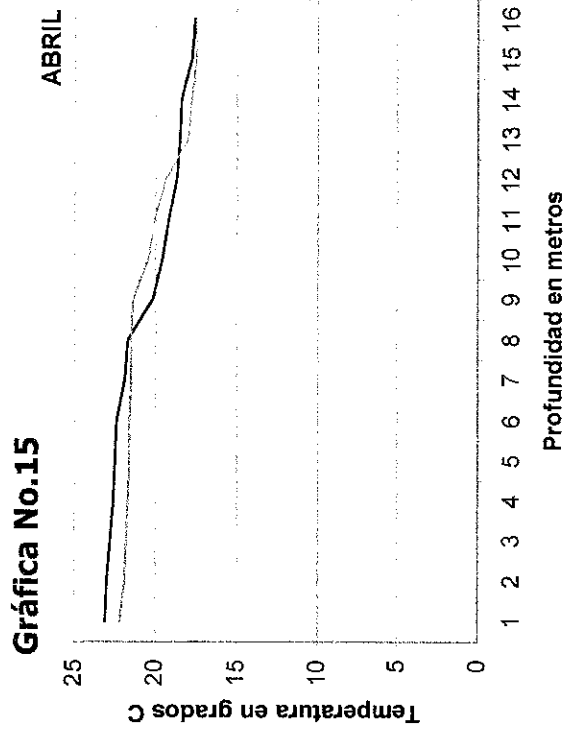
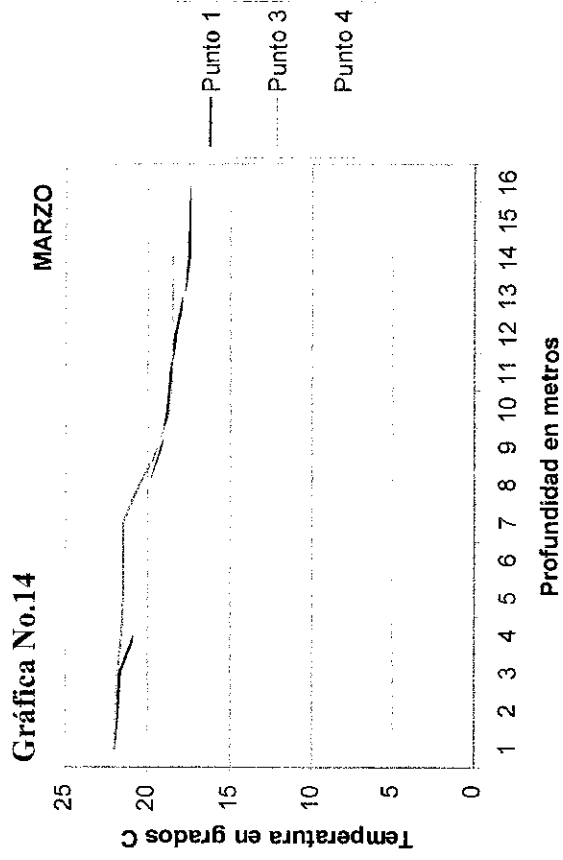
Gráfica 6-9. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en mg/l en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-junio, 2000.



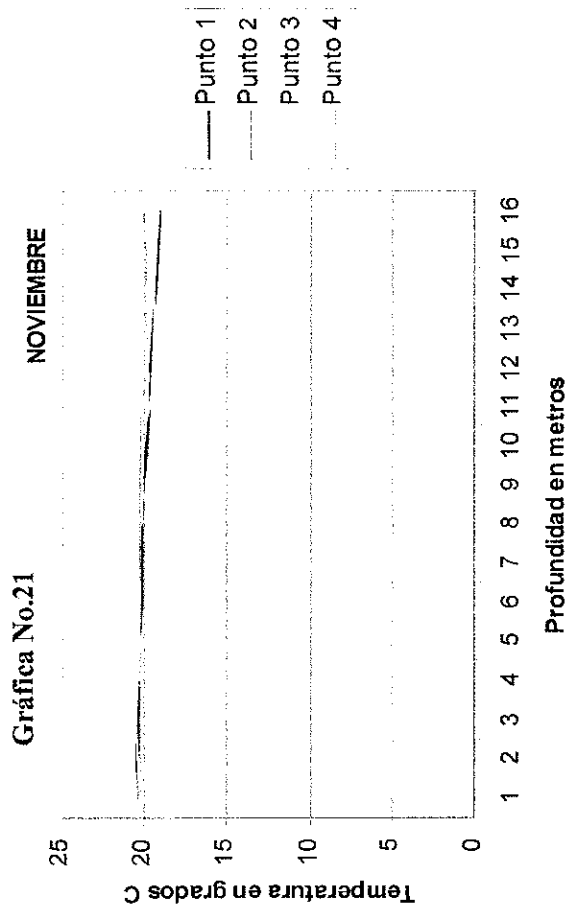
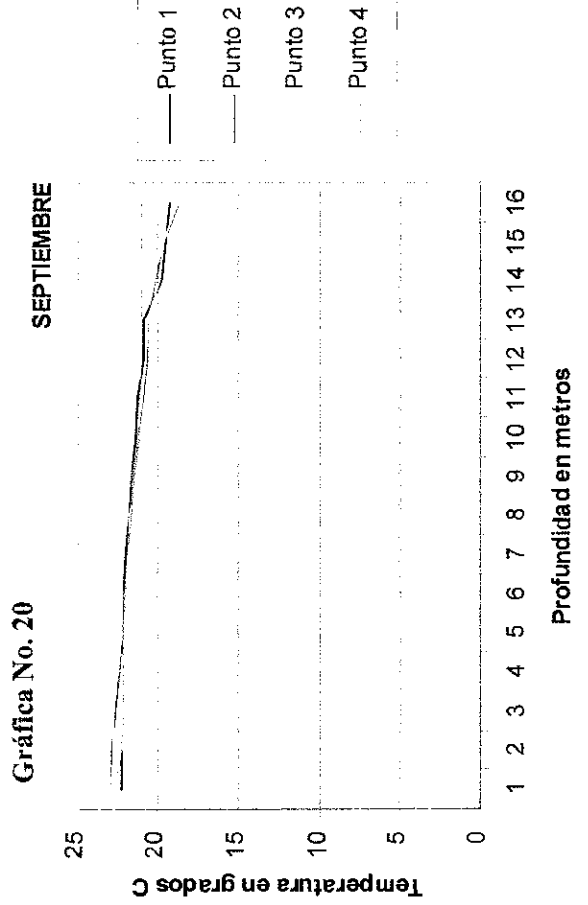
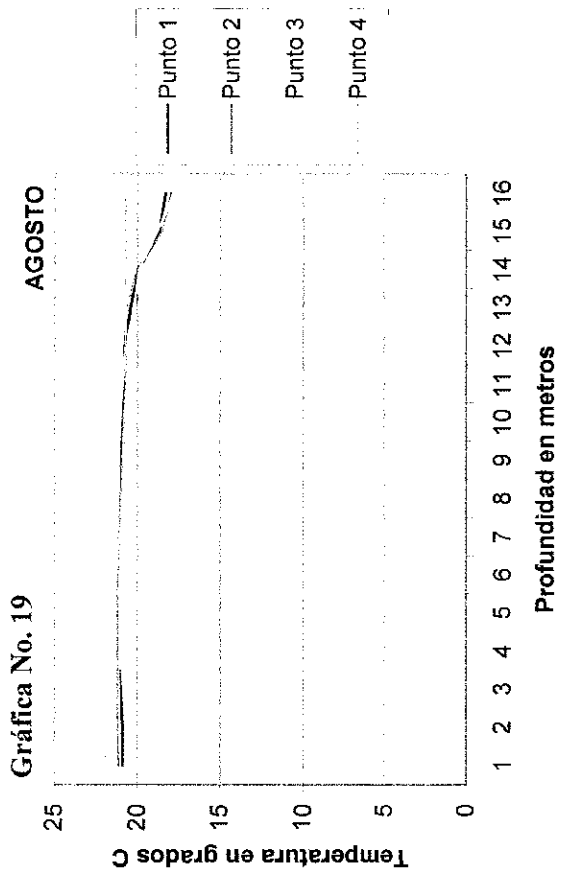
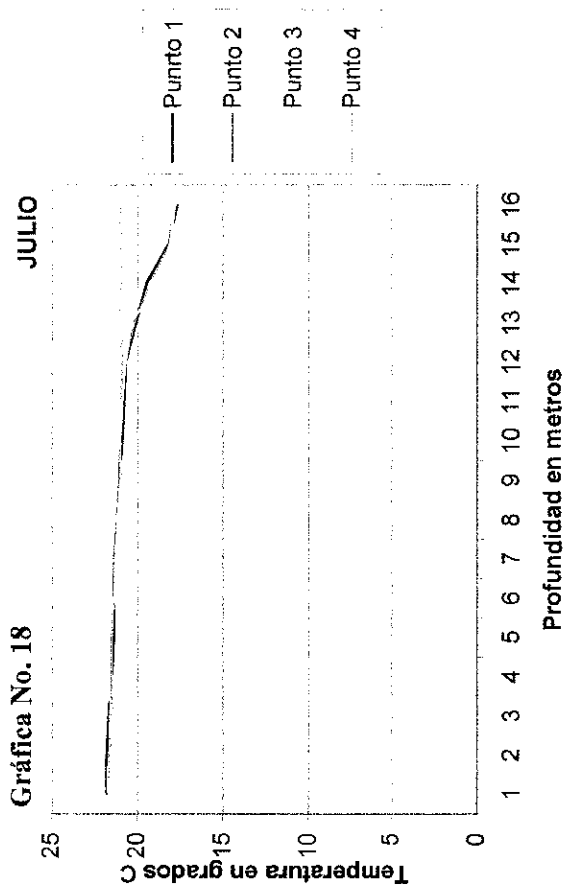
Gráfica 10-13. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en mg/l en cuatro puntos de muestreo en la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Julio-noviembre, 2000.



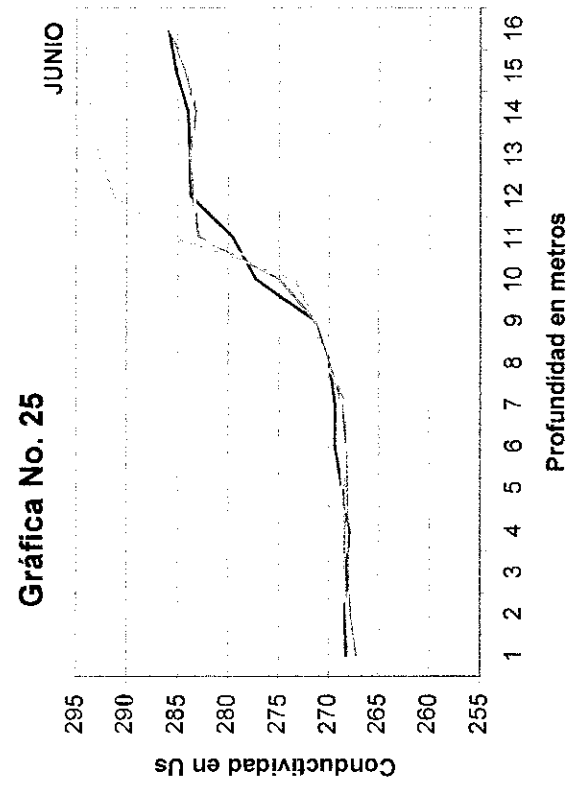
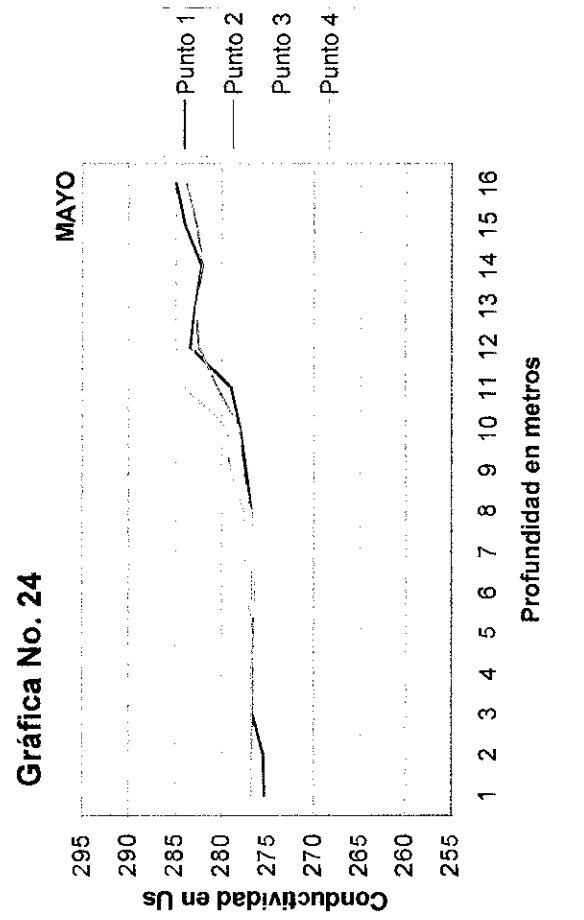
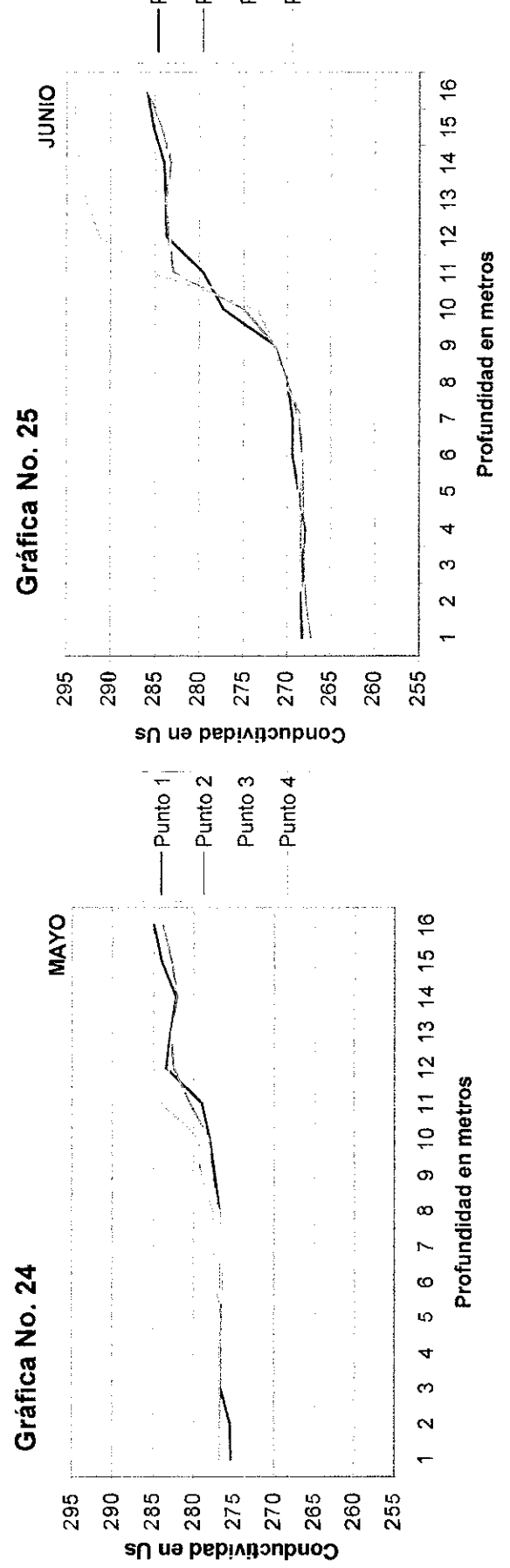
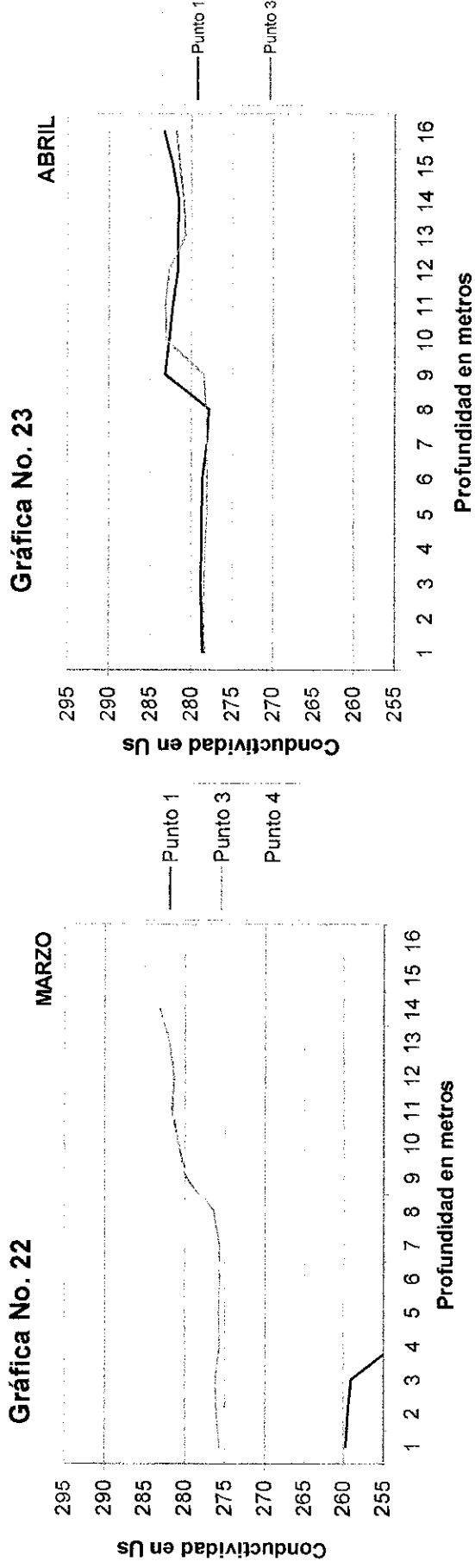
Gráfica 14-17. Perfil térmico de cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-junio, 2000.



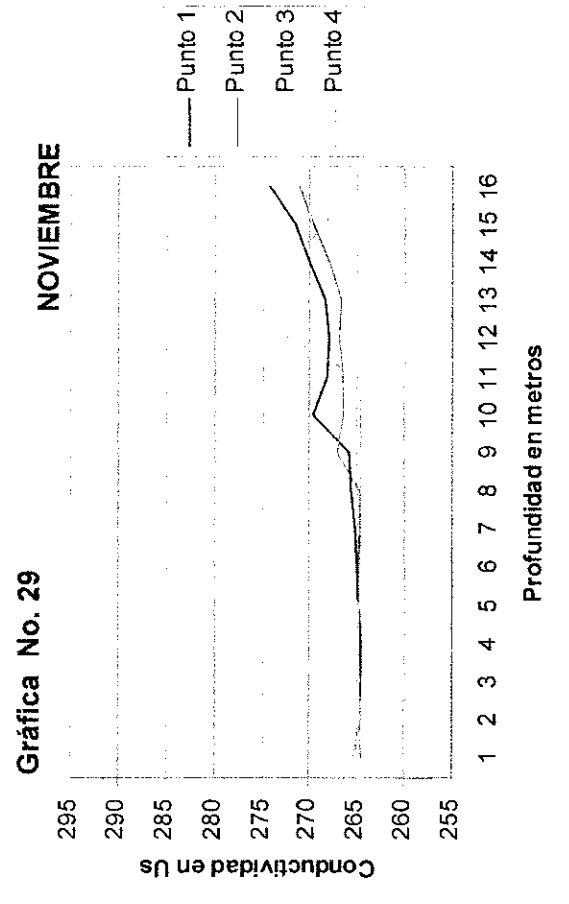
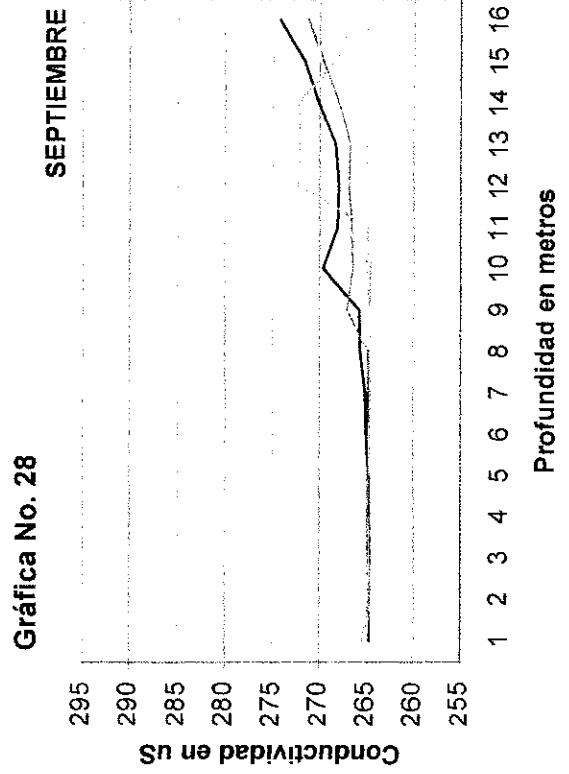
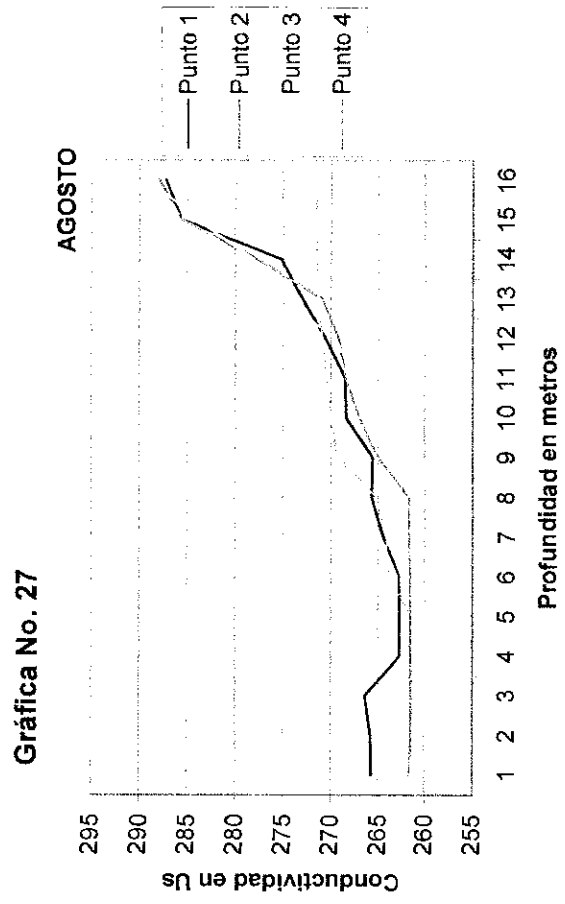
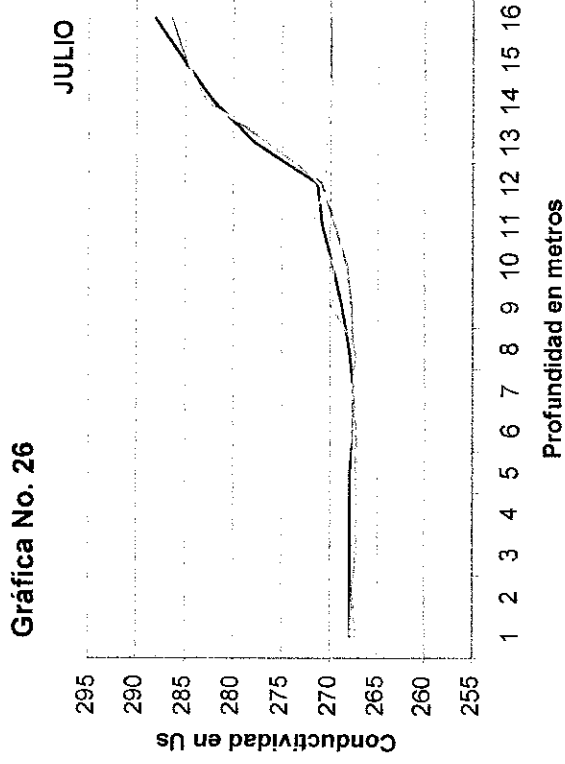
Gráfica 18-21. Perfil térmico de cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Julio-noviembre, 2000.



Gráfica 22-25. Comportamiento de la conductividad específica en μS en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-junio, 2000.



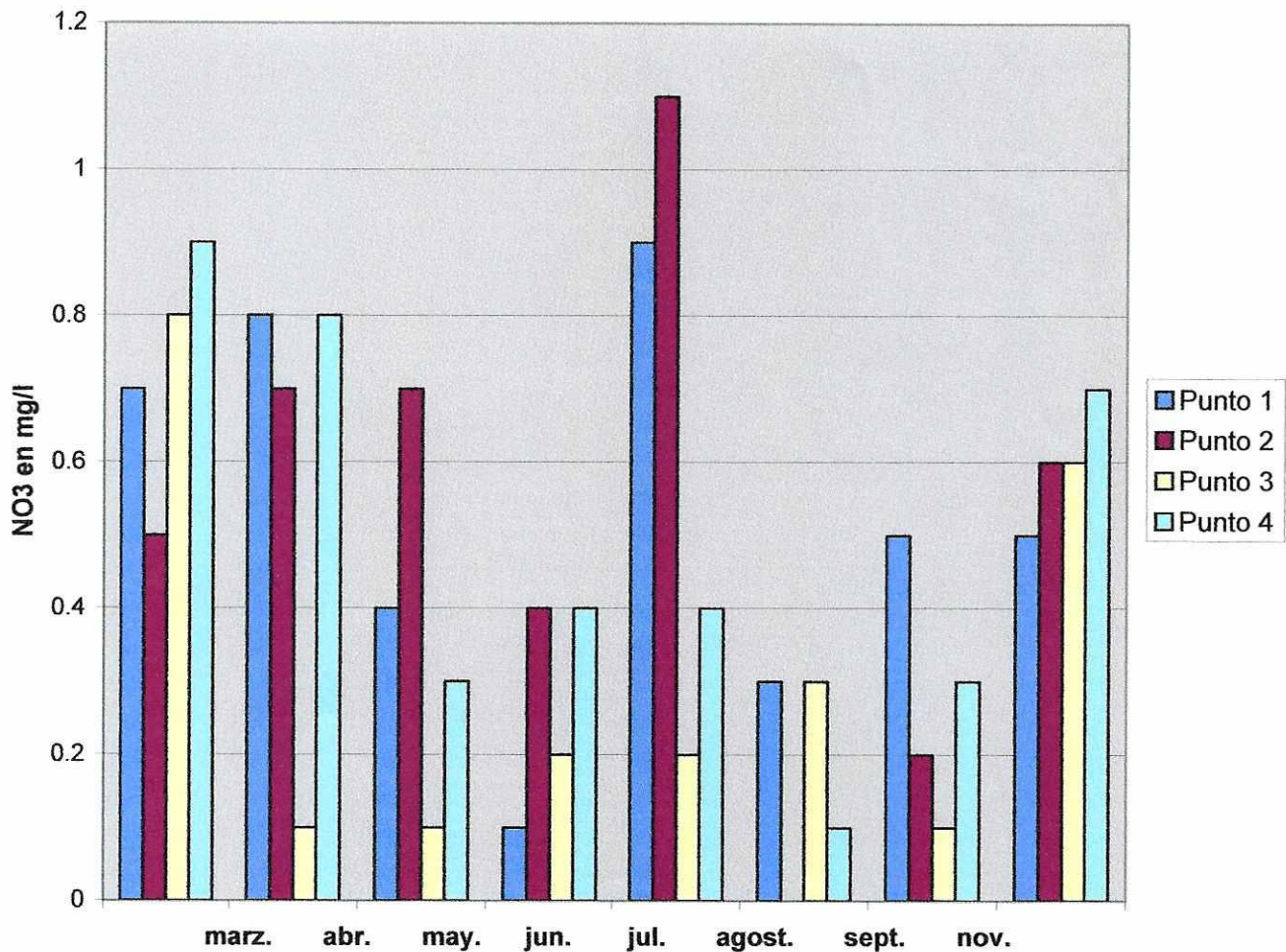
Gráfica 26-29. Comportamiento de la conductividad específica en μS en cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatián, Guatemala. Julio-noviembre, 2000.



B. Análisis químico

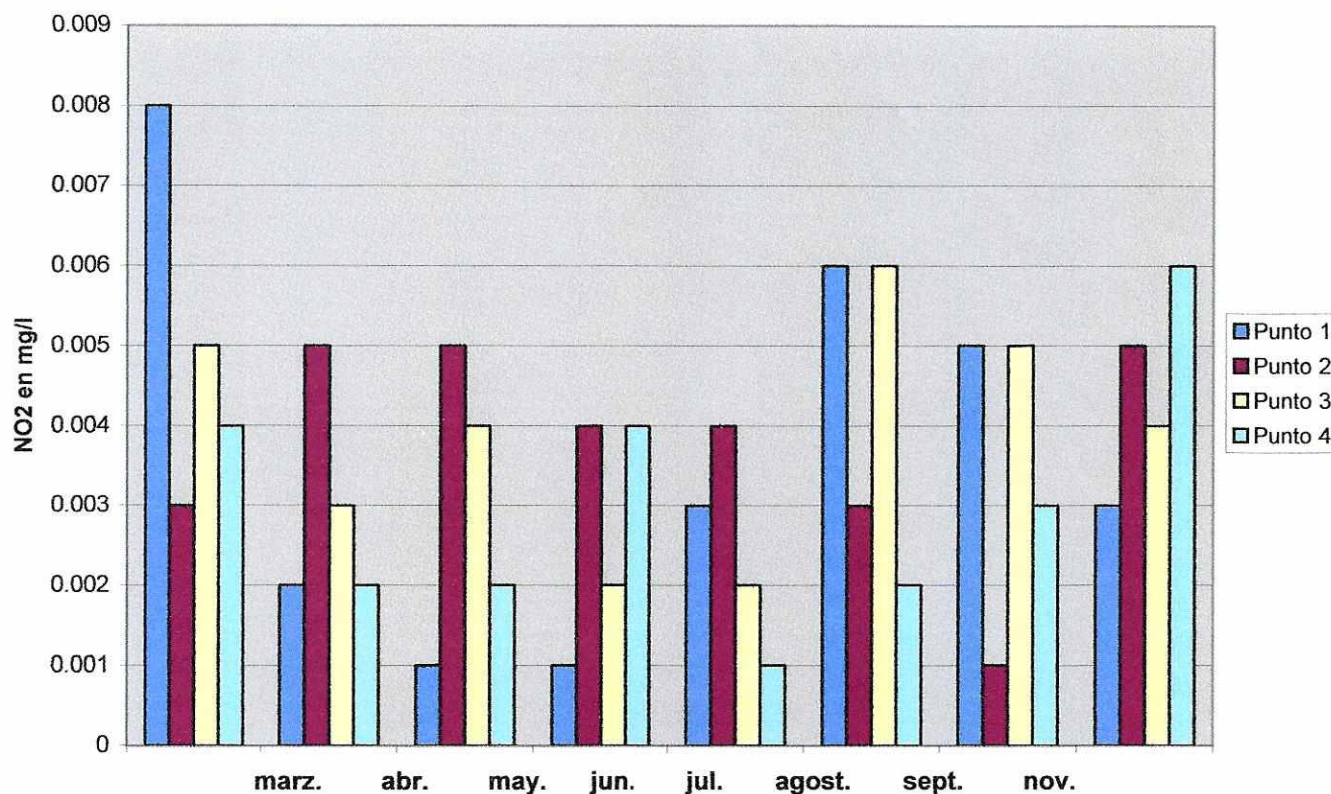
La gráfica No.30 muestra los niveles de nitratos (NO_3) presentes en la columna de agua de la Laguna Calderas. En los meses de marzo-mayo, todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones menores a los 0.9 mg/l de N- NO_3 . Los niveles más elevados se presentaron en el mes de julio en los puntos 1 y 2. Posteriormente, la concentración de nitratos disminuyó a principios del mes de agosto.

Gráfica 30. Concentración de nitratos mg/l (N- NO_3) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.



La Gráfica No.31 muestra la concentración de nitritos (NO_2) en mg/l. Se puede observar que las concentraciones de nitritos presentes en los cuatro puntos de muestreo en la laguna muestran descomposición biológica de compuestos que contengan nitrógeno orgánico. El punto 1 presentó el valor más alto en los seis meses de muestreo (0.008mg/l) y el punto 1, 4 y 2 en los meses de mayo (junio), julio y septiembre, respectivamente.

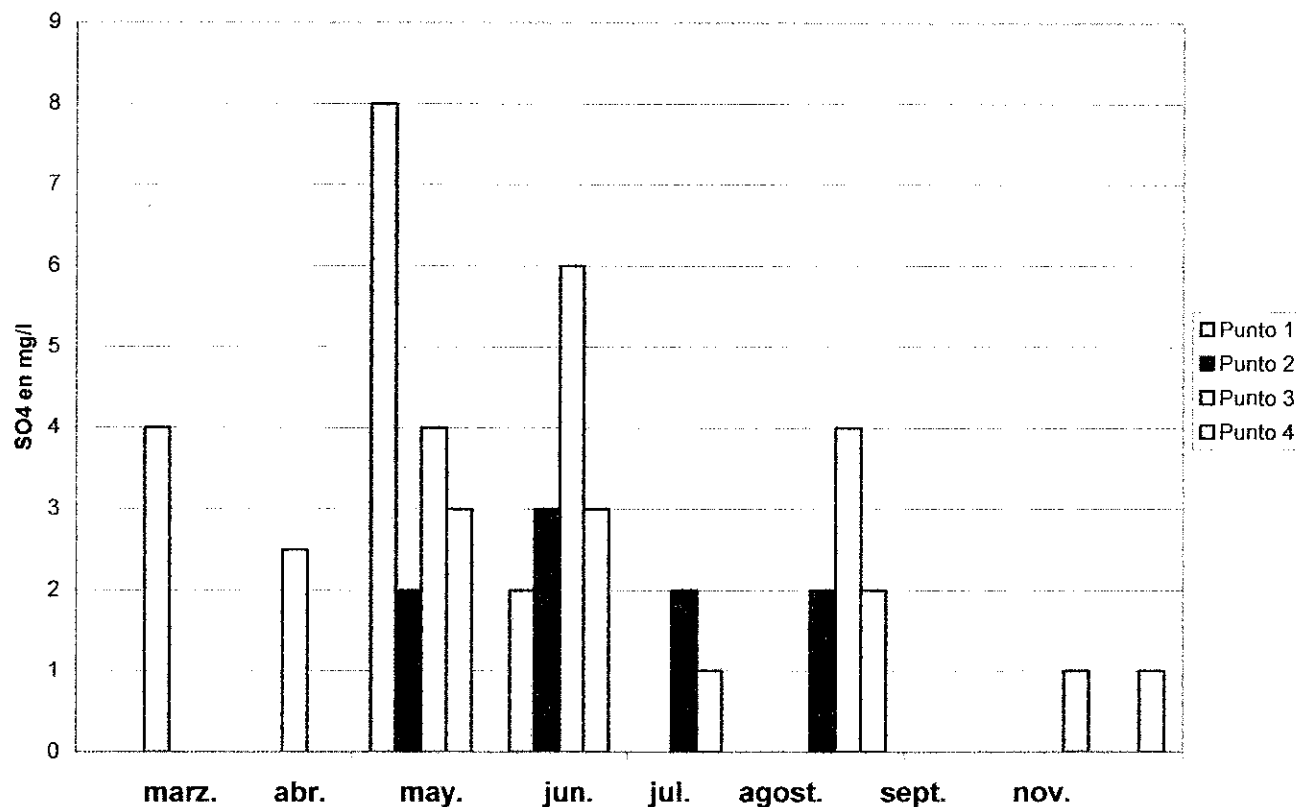
Gráfica 31. Concentración de nitritos mg/l (NO_2) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.



En la gráfica No.32 se presentan las concentraciones de sulfatos (SO_4). En los meses de marzo-abril se obtuvo lectura únicamente del punto 3. Los valores más altos en los puntos de muestreo se obtuvieron en los meses de mayo y junio. El punto 3 es el único sitio de muestreo que durante seis meses de investigación presenta

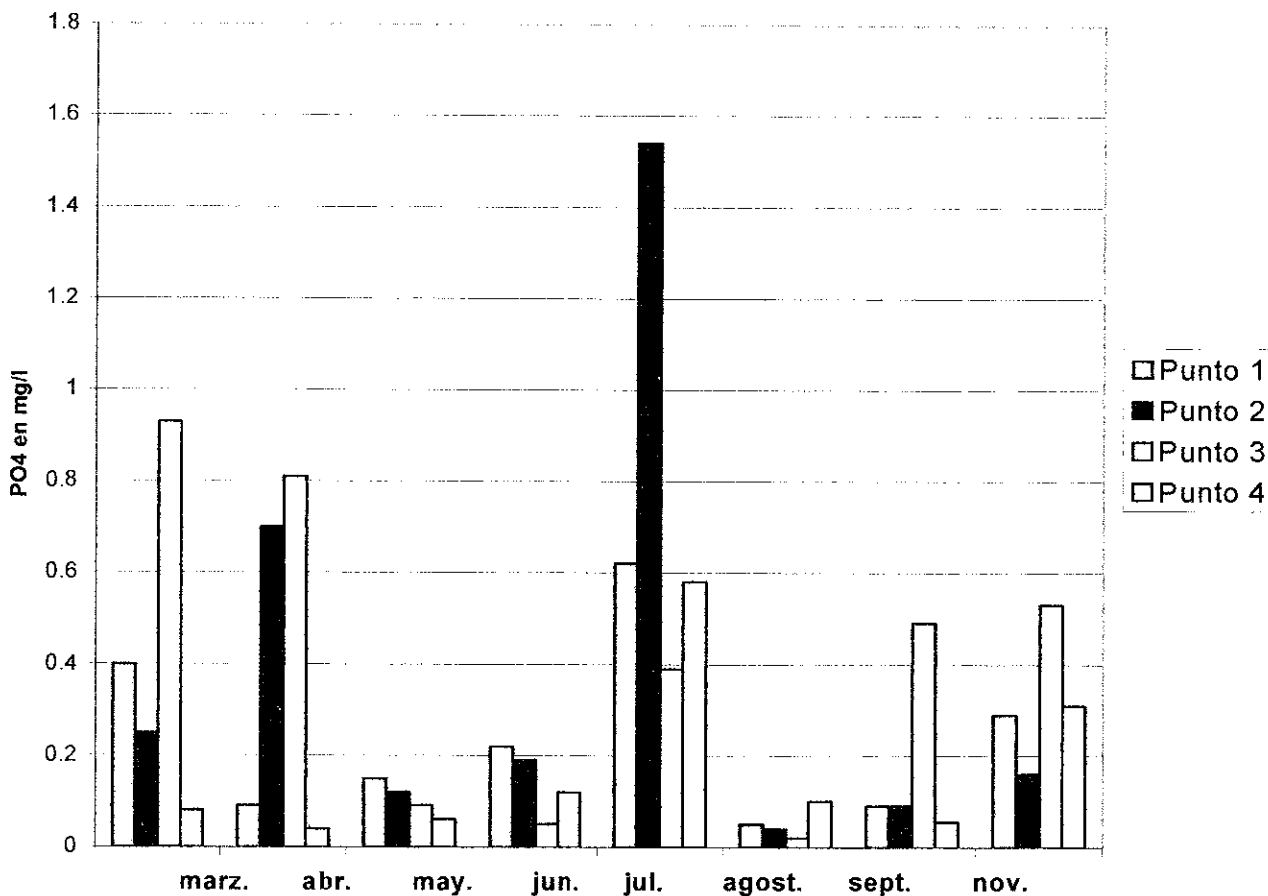
concentraciones detectables de SO_4 . En el mes de septiembre no se obtuvo lectura de sulfatos en ningún punto de muestreo.

Gráfica 32. Concentración de sulfatos mg/l (SO_4) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.



La Gráfica No.33 presenta las concentraciones de fósforo (P) a partir de ortofosfato (PO_4). En los meses de marzo-abril se observó un comportamiento similar en los cuatro puntos de muestreo. El mes de julio, en el punto 2, se observó la mayor concentración de fosfatos.

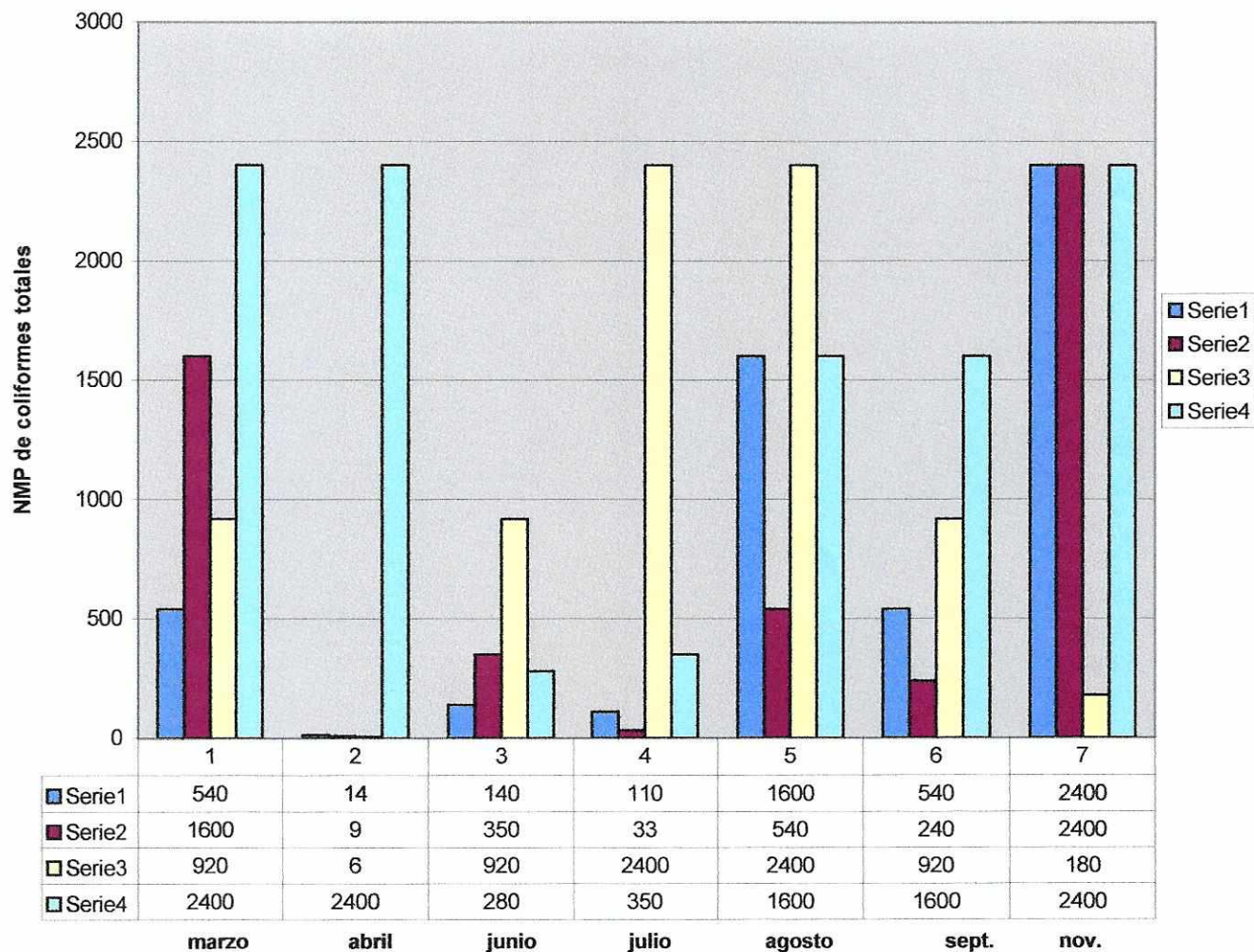
Gráfica 33. Concentración de ortofosfatos mg/l (PO₄) en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.



C. Análisis microbiológico

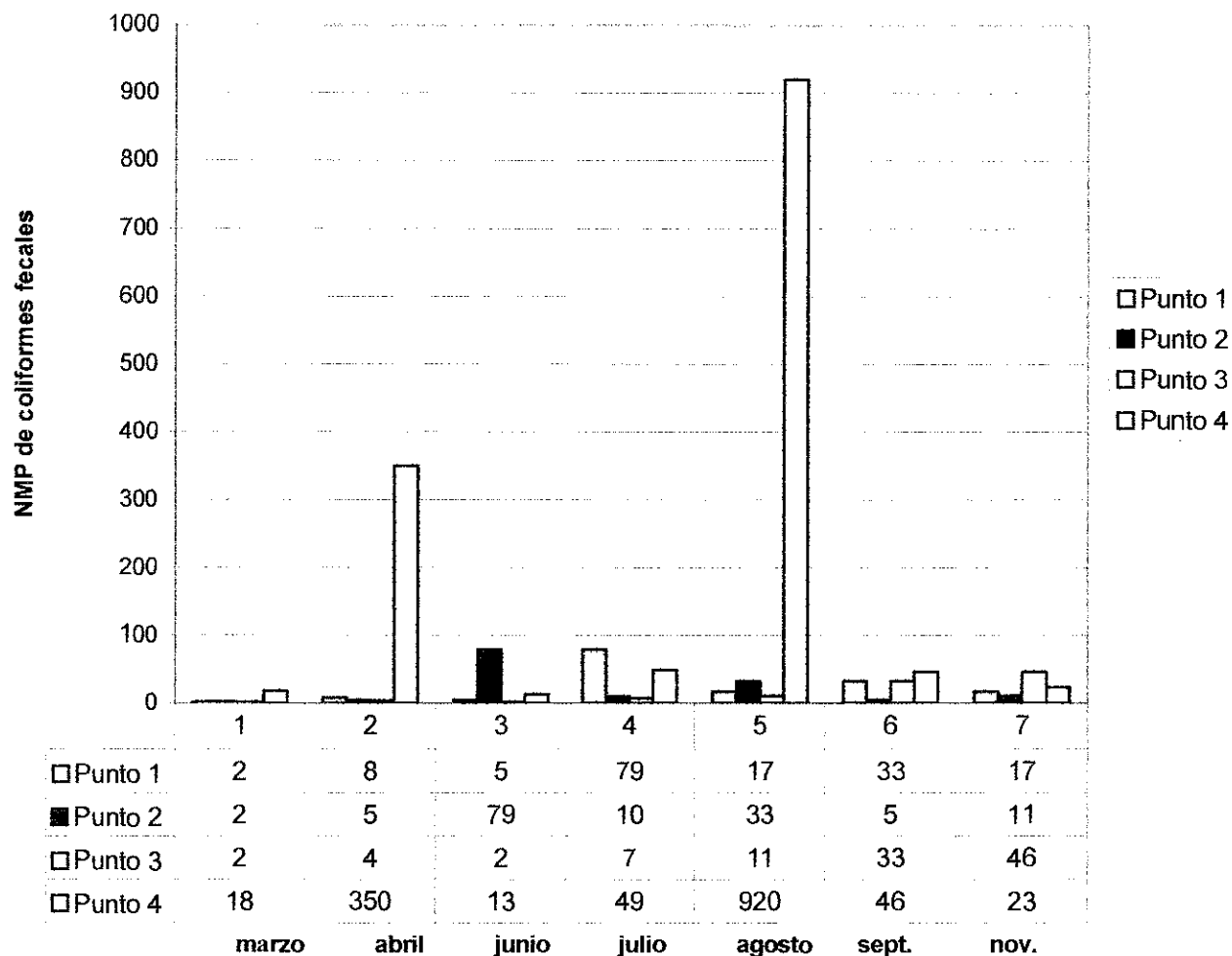
En la siguiente gráfica se presentan los resultados de coliformes totales en la Laguna Calderas. En el mes de abril se observó la menor concentración de coliformes totales. Se observa el incremento de coliformes al dar inicio las primeras lluvias en la época de invierno, este año en el mes de agosto. Los puntos 3 y 4 registraron la mayor concentración de coliformes totales.

Gráfica 34. Cuantificación de coliformes totales de NMP (Numero Mas Probable)/100ml, en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Abril-noviembre, 2000.



En la gráfica No.35 se muestran los NMP (número más probable) de coliformes fecales. En el mes de marzo, época de verano, se observó concentraciones iguales a 2 NMP/100ml. El punto 4 aumentó su concentración de coliformes fecales al dar inicio las primeras lluvias de la época de invierno. En el 60% de los muestreos, el punto 4 presentó altos niveles de contaminación por coliformes fecales. No se obtuvo resultados por debajo de los 2NMP/100ml, permitidos para el uso de agua potable.

Gráfica 35. Cuantificación de coliformes fecales, en cuatro puntos de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Abril-noviembre, 2000.



D. Índice de estado trófico

Con base en la relación propuesta por Machorro (1996), se utilizaron los parámetros de transparencia, fósforo total y *clorofila a*, con el objetivo de comparar éstos resultados y determinar el estado trófico de la Laguna Calderas. El análisis de *clorofila a* se realizó en el Laboratorio de Bioquímica del Instituto de Investigaciones de la Universidad Del Valle. Se aplicó la metodología descrita en (APHA 1980).

IET(DS) = 33.7 Estado Oligotrófico

IET(P_{tot}) = 59.44 Estado Eutrófico

IET(Chl a) = 30.44 Estado Oligotrófico

Cuadro 7. Clasificación del nivel trófico de lagos (Hakanson and Jansson 1983) comparados con el nivel trófico de la laguna Calderas.

Nivel Trófico	Disco Secchi	Fósforo total mg/l	Nitrógeno total mg/l
Oligotrófico	>5	<0.005	<0.03
Mesotrófico	3-6	0.005-0.02	0.03-0.05
Eutrófico	1-4	0.02-0.1	0.03-0.06
Hipereutrófico	0-2	>0.1	>1
Laguna Calderas	6.2	0.102	0.671

Según la comparación anterior la Laguna Calderas se encuentra en un estado Oligo-Eutrófico.

E. Resultados biológicos. Fitoplancton, zooplancton y nutrientes.

Para conocer la productividad en la columna de agua de la laguna Calderas se realizó el análisis de clorofila a. No se obtuvo lectura de clorofila utilizando el Spectronic21, a una longitud de onda visible de 663, 645 y 630nm. También se realizó el análisis de corrección de Phephytin a, pero no se obtuvo lectura de clorofila. En los cuadros No. 8-10 se presentan los datos obtenidos luego del análisis de las muestras para la cuantificación e identificación del fitoplancton. Los resultados de cuantificación se reportaron en densidades (organismo/l). Se observó que las divisiones dominantes son la Chlorophyta y Cyanophyta, seguidas en orden descendente por la Chrysophyta y Bacillariophyta. Los géneros *Closterium* sp. y *Microcystis* sp. son los más abundantes en todos los puntos de muestreo. La menor densidad de fitoplancton se encontró en el punto 2 (centro de la laguna). *Closterium* sp1. es la especie dominante en todos los puntos de muestreo.

Cuadro 8. Densidad de géneros de fitoplancton (organismo/l) en el punto 1 a un metros de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cianophyta										
<i>Microcystis</i> sp.	150	425	625	450	700	1025	725	580	585	17.90
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	25	0	0	0	0	0	5	4	0.12
Sp. N.I. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorophyta										
<i>Closterium</i> sp1	4450	1950	2075	1425	950	1325	1600	1204	1,872	57.30
<i>Closterium</i> sp2	50	0	0	0	0	0	50	10	14	0.43
<i>Oocystis</i> sp.	550	375	850	675	775	1025	900	815	746	22.83
Sp. N.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacillariophyta										
<i>Melosira</i> sp.	25	0	0	0	0	0	0	5	4	0.12
<i>Diatomea</i> N.I.	0	0	0	0	25	0	0	16	5	0.15
Chrysophyta										
<i>Botryococcus</i> sp.	100	0	0	0	50	0	0	32	23	0.70
<i>Glenodinium</i> sp.	75	0	0	0	25	0	0	19	15	0.46
TOTAL	5,400	2,775	3,550	2,550	2,525	3,375	3,275	2,686	3,267	

Cuadro 9. Densidad de géneros de fitoplancton (organismo/l) en el punto 2, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cianophyta										
<i>Microcystis</i> sp.	50	125	350	550	450	600	475	118	340	24.80
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	0	0	25	0	0	0	0	3	0.22
Sp. N.I. 1	0	0	0	0	0	75	0	32	13	0.95
Clorophyta										
<i>Closterium</i> sp1	850	650	775	875	725	825	950	619	784	57.18
<i>Closterium</i> sp2	0	0	50	0	0	100	0	25	22	1.60
<i>Oocystis</i> sp.	150	100	0	250	125	400	200	185	176	12.83
Sp. N.I.	0	0	0	0	0	0	75	0	9	0.66
Bacillariophyta										
<i>Melosira</i> sp.	0	0	0	0	0	0	25	0	3.57	0.26
<i>Diatomea</i> N.I.	0	0	0	0	0	75	0	0	10.71	0.78
Chrysophyta										
<i>Botryococcus</i> sp.	0	50	0	0	0	25	0	15	11	0.80
<i>Glenodinium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1,050	925	1,175	1,700	1,300	2,100	1,725	994	1,371	

Cuadro 10. Densidad de géneros de fitoplancton (organismo/l) en el punto 3, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cianophyta										
<i>Microcystis sp.</i>	375	650	850	1025	700	925	775	695	749	22
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sp. N.I. 1	50	0	0	0	0	50	0	0	12	0.35
Clorophyta										
<i>Closterium sp1</i>	1350	1525	2050	1900	1575	2525	2350	2100	1,922	56.56
<i>Closterium sp2</i>	75	0	100	0	0	75	0	29	35	10.30
<i>Oocystis sp.</i>	625	425	925	800	550	1425	300	114	645	18.98
Sp. N.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacillariophyta										
<i>Melosira sp.</i>	0	0	0	25	0	0	0	0	3	0.08
<i>Diatomea N.I.</i>	0	0	50	0	0	0	0	0	6	0.17
Chrysophyta										
<i>Botryococcus sp.</i>	125	0	0	0	0	0	0	0	16	0.47
<i>Glenodinium sp.</i>	75	0	0	0	0	0	0	0	9	0.26
TOTAL	2,675	2,600	3,975	3,750	2,825	5,000	3,425	2,938	3,398	

Cuadro 11. Densidad de géneros de fitoplancton (organismos/l) en el punto 4, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cianophyta										
<i>Microcystis sp.</i>	75	350	725	700	650	925	775	423	578	13.38
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	25	0	0	25	0	0	0	6	0.14
Sp. N.I. 1	175	0	0	0	0	0	0	34	26	0.60
Clorophyta										
<i>Closterium sp1</i>	12075	1375	1625	1225	1075	1450	1300	1116	2,655	61.49
<i>Closterium sp2</i>	0	25	0	0	0	25	0	0	6	0.14
<i>Oocystis sp.</i>	925	250	450	1450	775	625	475	302	656	15.19
Sp. N.I.	25	0	25	0	0	25	0	0	9	0.21
Bacillariophyta										
<i>Melosira sp.</i>	0	25	25	0	0	0	25	0	9	0.21
<i>Diatomea N.I.</i>	25	0	0	0	25	0	0	0	6	0.14
Chrysophyta										
<i>Botryococcus sp.</i>	25	0	25	0	75	0	75	0	25	0.58
<i>Glenodinium sp.</i>	0	100	0	0	150	0	25	29	38	0.88
TOTAL	13,325	2,150	2,875	3,375	2,775	3,050	2,675	1,904	4,317.86	

En el cuadro No. 12-15 se presentan el número de individuos por género de zooplancton de los cuatro puntos de muestreo de la laguna Calderas. Los resultados se expresaron en densidades (organismo/l). Las divisiones más abundantes son: *Cladocera-Copepoda-Rotifera*, excepto en el punto 3, donde Rotifera es más abundante que la división Copepoda.

Cuadro 12. Densidad de zooplancton (organismos/l), punto 1, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun	jul.	agos.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cladocera										
<i>Daphnia</i> sp.	50	25	100	75	125	50	0	38	58	37.90
Rotifera										
<i>Keratella</i> sp.	25	0	150	0	0	25	50	0	31	20.26
Copepoda										
Sp.1	50	0	25	0	0	200	0	92	46	30.06
Sp.2	25	0	75	0	0	25	0	23	18	11.76
TOTAL	150	25	350	75	125	300	50	153	153	

Cuadro 13. Densidad de zooplancton (organismo/l), punto 2, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	agos.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cladocera										
<i>Daphnia</i> sp.	0	0	75	25	0	50	25	0	22	45.83
Rotifera										
<i>Keratella</i> sp.	25	0	0	0	25	0	25	0	9	18.75
Copepoda										
Sp.1	0	50	25	0	0	0	0	36	14	29.16
Sp.2	0	25	0	0	0	0	0	0	3	6.25
TOTAL	25	75	100	25	25	50	50	36	48	

Cuadro 14. Densidad de zooplancton (organismo/l), punto 3, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	agos.	sep.	nov.	PROMEDIO	%
Cladocera										
<i>Daphnia</i> sp.	50	25	0	0	25	75	25	45	31	33.69
Rotifera										
<i>Keratella</i> sp.	25	25	75	0	25	50	0	115	39	42.39
Copepoda										
Sp.1	25	75	0	25	0	25	0	0	18	19.56
Sp.2	25	0	0	0	0	0	0	0	3	3.26
TOTAL	125	125	75	25	50	150	25	160	92	

Cuadro 15. Densidad de zooplancton (organismo/l), punto 4, a un metro de profundidad, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Marzo-noviembre, 2000.

Género	mar	abr.	may.	jun.	jul.	agos.	sept.	nov.	PROMEDIO	%
Cladocera										
<i>Daphnia</i> sp.	125	50	75	25	100	25	50	25	59	62.76
Rotifera										
<i>Keratella</i> sp.	50	0	25	0	50	0	0	0	16	17.02
Copepoda										
Sp.1	25	25	0	0	25	0	25	0	12	12.76
Sp.2	25	0	0	0	25	0	0	0	6	6.38
TOTAL	225	75	100	25	200	25	75	25	94	

En el cuadro No. 16 se presentan los valores de nutrientes para N-Total y P-Total. También se estableció la razón entre ambos nutrientes, para conocer cuál fue el limitante. El N-Total es el nutriente limitante en cuatro meses de muestreo (mayo, junio, julio, septiembre). El P-Total es el nutriente limitante en el mes de agosto.

Cuadro 16. Concentración de N-Total y P-Total en mg/l, y su razón N/P, en el punto 4, Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. Mayo-septiembre, 2000.

Parámetro	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	Promedio
<i>N-Total</i>	0.367	0.505	0.861	1.295	0.327	0.671
<i>P-Total</i>	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.102
<i>N/P</i>	3.05	5.61	7.83	10.80	3.27	6.11
<i>Nutriente limitante</i>	N	N	N	P	N	

VII. DISCUSIÓN

A. Análisis físico.

1. Color y turbidez.

El color en aguas naturales se debe a la suspensión de sales metálicas, materia orgánica y otro tipo de material suspendido. El color se expresó en color aparente, ya que la lectura espectrofotométrica incluyó el material disuelto y el material suspendido en la columna de agua. En los meses de marzo-septiembre se obtuvo un promedio de 29.7 unidades de Pt-Co, basado en las unidades de platino-cobalto y los límites establecidos por APHA (1980) (Gráfica No.3). El color del agua de la laguna Calderas fue indicador de aguas claras, dando un color negro aparente debido al fondo constituido por arena volcánica y al resultado de la reflexión de la luz sobre las partículas suspendidas. El color del agua de la laguna se obtuvo dentro de los límites establecidos por COGUANOR, 5-50 (Unidades Pt-Co) para el consumo de agua potable. Durante el mes de julio la turbidez aumentó en los cuatro puntos de muestreo, debido al inicio de la época lluviosa en el área. La turbidez indicó el grado de opacidad producido en el agua por el material suspendido, habiéndose obtenido un promedio de 4.7FTU (Formazin Turbidity Units), en los ocho meses de muestreo. Los valores obtenidos para la turbidez se encuentran dentro de los límites establecidos por COGUANOR, de 5-25 FTU para el consumo de agua potable (Gráfica No.4). Este análisis comprobó la transparencia aparente en la columna de agua, con un promedio de 6.2 metros (Gráfica No.5). Interpretando estos tres tipos de análisis (color, turbidez y transparencia), se comprobó que no existe abundancia relativa de especies de fitoplancton que cambien el color del agua por medio de la luz y densidad, aumentando de esta forma la transparencia en la columna. Debido a la irregularidad del invierno, el ingreso de material orgánico por medio de escorrentías no fue

constante, siendo un factor que no alteró el color y turbidez del agua de la laguna Calderas.

Con base en las observaciones de campo y la comunicación personal con los habitantes del área, la Laguna Calderas desde la década de 1980 ha disminuido de profundidad. Esta disminución conlleva a la concentración de los elementos disueltos en la columna de agua, acelera el proceso de eutroficación (producción) y reduce el volumen de agua disponible para diferentes usos.

2. Oxígeno disuelto.

Aproximadamente en los primeros 8 metros de profundidad de la laguna Calderas, durante los 8 meses de muestreo y en los cuatro puntos de referencia, se observó una concentración de oxígeno superior a los 5mg/l (Gráfica No.6-13), formándose una estratificación térmica. En los meses de marzo, abril, mayo y junio la concentración de oxígeno disuelto descendió a una profundidad promedio de 8-9 metros (Gráfica No.6-9). Por debajo de esa profundidad se observaron condiciones completamente anóxicas. En julio, agosto y septiembre la zona anóxica disminuyó, iniciando a los 12 metros de profundidad (Gráfica No.10-13). El comportamiento de la curva de oxígeno fue descendiendo menos drásticamente en comparación con los primeros cuatro meses. Los niveles bajos de turbidez, color y una transparencia de 6.2 metros (Gráficas No. 3, 4, 5), permitió al fitoplancton realizar el proceso de fotosíntesis, produciendo oxígeno a través de la fijación de dióxido de carbono en la columna de agua. También se atribuyó la oxigenación del agua de la laguna por difusión de la atmósfera. Las concentraciones de oxígeno disuelto en la laguna Calderas se compararon con las obtenidas por Coloma (2000). Estos resultados no tuvieron diferencias significativas, ya que Coloma midió únicamente la concentración superficial. En un período de tres años no se observó un crecimiento explosivo de fitoplancton, lo que pudiera haber generado una desoxigenación en la columna de agua y posteriormente efectos de mortandad masiva de peces. Según

las entrevistas personales con habitantes de la aldea Calderas, no existe registro de mortandad de peces en la laguna. Se observó una curva de oxígeno tipo clinograda. En este cuerpo de agua dulce, se consideró la posibilidad de una etapa de transición (únicamente interpretando el oxígeno), que indicó posiblemente un proceso de sucesión del estado mesotrófico al estado eutrófico (Estévez 1988).

Las condiciones anóxicas a partir de los 12 metros de profundidad de la Laguna Calderas limitan la productividad de la columna de agua y de ésta forma la proliferación de especies de fitoplancton, zooplancton y peces. En consecuencia retrasa el proceso de productividad del cuerpo de agua.

3. Temperatura.

De mayo a septiembre la temperatura se mantuvo con una ligera estratificación de 2 grados en todos los puntos de muestreo, ésta estratificación desapareció en el mes de noviembre. Por lo que existe diferencia significativa entre la superficie y los 15 metros de profundidad. El promedio de temperatura superficial osciló entre los 21-22°C de marzo-septiembre (Gráfica No.14-21). La laguna Calderas en base a su condición térmica se clasifica como una laguna monomíctica cálida, ya que es una laguna tropical con pequeñas variaciones de temperatura anual, siempre superiores a los 4°C.

Esta laguna se encuentra a 1,778 m.s.n.m. y es geográficamente parte de una cadena montañosa que se estrecha y ocasiona fuertes corrientes de viento en la microcuenca. Por lo tanto, el viento y la formación de corrientes de agua, hacen poco probable la formación de una termoclina.

4. Conductividad.

La conductividad se midió analizando la cantidad de sustancias disueltas ionizadas. El comportamiento de las gráficas mensuales mostró una similitud en la mayor parte de los cuatro puntos muestreados (Gráfica No. 22-29). El punto 4 no presentó cambios después de los 11-12 metros de profundidad. No se observaron cambios en conductividad a través de las dos épocas del año. Los valores máximos y mínimos se mantuvieron dentro del promedio obtenido por punto y durante los ocho meses de muestreo. A diferencia del Lago de Izabal (Dix y Dix 1999), en el cual no existió variación de conductividad, en la Laguna Calderas se diferenció en la superficie y a 15 metros de profundidad, en todos los puntos de muestreo (Gráfica No.22-29).

B. Análisis químico.

En la época del huracán Mitch, Coloma (1998) reportó valores superficiales de NO_3 en la laguna Calderas con un promedio de 2.18 mg/l, en cinco puntos de muestreo. En el presente estudio se obtuvo un promedio de 0.44 mg/l de N- NO_3 (Gráfica No.30) en los cuatro puntos de muestreo (Ver Mapa No.1). Esta concentración no sobrepasó el límite permitido para el consumo de agua potable, el cual es de 45 mg/l (APHA, 1980). Como se observa en la Gráfica No. 30, en el mes de marzo, el punto 4 presentó más de 0.8mg/l de nitratos. Se asume que este punto es el receptor de viento y además el área con mayor uso antropogénico, ya que se encuentra ubicada la playa pública de la aldea (ver Mapa No.3, Apéndice C). En el mes de julio, en el punto 2 se detectó la mayor concentración de nitratos de todos los puntos de muestreo, esto presumiblemente debido al inicio de la época lluviosa y las corrientes de viento causadas por el estrechamiento del Cañón de Palín, las cuales en más del 70% del tiempo se dirigen del punto 1 al punto 3 y 4, respectivamente.

Según las observaciones de campo, los habitantes de la región utilizan cantidades reducidas de plaguicidas, fungicidas y fertilizantes dentro la microcuenca de la laguna. En este proyecto no se midieron las concentraciones de esos productos en la columna de agua de la Laguna. Una pequeña área en la parte norte (ver Mapa No. 1, Apéndice A) de la microcuenca se encuentra cultivada de café bajo sombra y macadamia. La parte sur tiene pequeños cultivos de tomate a orillas de la laguna y en la zona más alta de la montaña los cultivos de maíz y frijol. Debido a la situación económica de la población, no existe un uso específico y continuo de fertilizantes y plaguicidas en los cultivos.

En el mes de agosto no se observó concentración de nitratos (Gráfica No. 30). Estas fluctuaciones se deben a la corriente originada por los vientos del noroeste, que transportan el material orgánico en descomposición de los puntos críticos a zonas limnéticas donde no existe contaminación.

Durante este estudio se observó una diferencia significativa de concentraciones de N-NO₃ en la transición de la época de verano a invierno. En el mes de agosto se obtuvo una disminución de NO₃ en comparación con los meses anteriores (Gráfica No.30). Este resultado se relaciona con el factor de dilución que se observa en la época de invierno. En los 8 meses de muestreo el N-NO₃ no sobrepasó la concentración máxima permitida por APHA de 45 mg/l, para el consumo de agua potable.

Los NO₂ se encontraron en bajas concentraciones en los cuatro puntos de muestreo. La presencia de cualquier concentración detectable es indicador de material orgánico en descomposición. Para el uso de agua potable, los nitritos siempre se encontraron por debajo de la concentración máxima permitida de 0.1 mg/l (APHA 1980). El promedio de N-NO₂ en este estudio fue de 0.003 mg/l (Gráfica No. 31).

Debido a problemas técnicos y financieros, el N-Total se midió únicamente en el punto 4, ya que es el punto con mayor influencia humana. El promedio de la concentración durante 5 meses de muestreo fue de 0.671 mg/l (ver Cuadro 16). Según las concentraciones analizadas se obtuvo la razón N/P y el nutriente limitante (valores mayores que 10, de la razón N/P el nutriente limitante es el fósforo, y para los menores el nutriente limitante es el nitrógeno). El nitrógeno fue el nutriente limitante en cuatro meses de muestreo (mayo, junio, julio y septiembre) (ver Cuadro 16). El fósforo fue el nutriente limitante en el mes de agosto. Esto implica una mayor dominancia de las especies de fitoplancton y macrofitas presentes en la columna de agua de la laguna.

Los sulfatos (SO_4) se encuentran en aguas naturales en amplias concentraciones. En la laguna Calderas se obtuvo una concentración mínima de 1mg/l SO_4 y una concentración máxima de 8 mg/l SO_4 (Gráfica No.32). En los meses de marzo y abril se obtuvo concentraciones de sulfato únicamente en el punto 3 (Gráfica No.32). Estas concentraciones a lo largo de las dos épocas del año, no presentaron cambios significativos y esperados, en un complejo vulcanológico en constante actividad. Además no se comprobó ninguna influencia de ácido sulfhídrico proveniente de la planta geotérmica del INDE-ICA. La concentración de sulfatos en la laguna Calderas no excede el máximo permitido para el consumo de agua potable, de 250 mg/l establecido por APHA (1980).

Los ortofosfatos (PO_4) al igual que los compuestos nitrogenados, son los elementos biogénicos más importantes para el metabolismo biológico. En los cuatro puntos de muestro, se observó un comportamiento irregular en las concentraciones de fosfatos (Gráfica No.33). Debido a la irregularidad de las bombas extractoras de agua,

existe un incremento en la demanda del recurso hídrico directamente en las orillas de la laguna, para aseo personal, utilizando material fuente de PO_4 , como jabones y detergentes. La mayor concentración de fosfato se observó en el mes de julio, en el punto 2 (centro de la laguna) (ver Mapa No.3, Apéndice C) (Gráfica No.33). Debido al pequeño tamaño de la laguna, en este muestreo, el viento (noroeste) y consecuentemente la corriente, transportó el material orgánico de las zonas de lavado en la parte sur hacia los puntos de menor influencia en la parte norte (ver Mapa No.4, Apéndice D). Con base en las observaciones de campo, los puntos con mayor concentración de ortofosfatos, son áreas en donde el lavado de ropa por parte de los habitantes de las aldeas Calderas, San Francisco de Sales, El Cedro, El Bejucal, El Pepinal y Mesilla Altas, se realiza cuando existen problemas con el funcionamiento de las bombas extractoras.

En los mismos meses de muestreo del presente proyecto, Coloma (1998) presentó datos superficiales en cinco puntos de la laguna Calderas, obteniendo un promedio de 0.21 mg/l PO_4 . En este estudio los resultados promediaron 0.29 mg/l PO_4 (Gráfica No.33). No se asume un cambio en la concentración del mismo entre los dos estudios, ya que la variación es decimal y poco significativa. El P-Total, al igual que el N-Total, se analizó únicamente en el punto 4. El promedio de los cinco meses de muestreo fue de 0.102 mg/l. El P-Total se encontró en mayor concentración que el nitrógeno, siendo el nutriente más abundante para el crecimiento y desarrollo de algas y macrofitas en el punto muestreado.

C. Análisis microbiológico. Coliformes totales y fecales.

Estos microorganismos se utilizaron como indicadores biológicos de residuos orgánicos, específicamente de heces fecales. La mayor contaminación por coliformes totales en la laguna se registró en los puntos 3 y 4 (Gráfica No.34). El punto 3 es un

área no urbanizada y es utilizada como un lugar de recreación. Se asume que la concentración de coliformes totales detectadas en este punto estuvo influenciada por la dirección del viento. Ésta provocó corrientes superficiales en dirección suroeste-noreste, que pudieron haber distribuido a los microorganismos del área de lavado hacia el punto 3 (ver Mapa No.4, Apéndice 4).

El punto 4 también presentó altos NMP (Número Más Probable) de coliformes totales, influenciado por las 12 casas que se encuentran en la orilla de la laguna (Gráfica No.34). El drenaje de cada una de ellas es directo a la laguna, sin ningún tipo de tratamiento residual. A cincuenta metros del punto 4 se encuentra la playa pública, en donde la mayor parte de las personas de las aldeas El Cedro y San Francisco de Sales (ver Mapa No.3, Apéndice C) lavan ropa. En este mismo punto, en la época de verano, el ganado bovino y equino es bañado y curado, debido a las heridas causadas por picaduras de insectos y murciélagos. También se observó escorrentías en la época de invierno, originadas por la pendiente e influenciadas por los caminos peatonales dentro de la aldea. El lavado de ropa a orillas de la laguna Calderas, se lleva a cabo debido a que no existe un flujo de agua constante en el servicio municipal. Las cuatro bombas de extracción no trabajan regularmente, por lo que al descomponerse en los meses observados de marzo y agosto, aumentó el número de personas lavando su ropa a orillas de la laguna. Las aldeas de El Cedro, San Francisco de Sales, Mesillas Altas, Mesillas Bajas, Bejucaí, Pepinal y Calderas, tienen un elevado número de niños recién nacidos. Según el Centro de Salud de la aldea Calderas, existen enfermedades diarreicas en infantes (Com. Pers Enfermera Aldea Calderas). Con base en estos datos, se presume que puedan existir focos de parásitos intestinales en la región. Durante este proyecto no se obtuvo los datos del Centro de Salud de la aldea.

El punto 1 presentó valores altos de coliformes totales en los meses de marzo y agosto (Gráfica No.34). En estos meses aumentó el número de personas lavando ropa, debido al mal funcionamiento de las bombas extractoras para la aldea de Mesillas Altas. También, existe influencia directa de doce casas que se ubican a orillas de la laguna. El lavado de ropa no es frecuente y el mayor aporte orgánico proviene de los desechos de aguas negras. El punto 2 se encuentra en el centro de la laguna y se registraron valores mayores a los 2NMP/100ml (aceptables por COGUANOR para el consumo de agua potable) (Gráfica No. 34). El tipo de corriente superficial, causado por los vientos suroeste-noreste, transporta a estos organismos de focos puntuales de contaminación, en este caso de las áreas de lavado de ropa que se encuentran cercanos al punto 1.

A partir de las primeras lluvias (julio) en la época de invierno se registraron aumentos significativos en la contaminación fecal, especialmente en los puntos con mayor descarga de material orgánico (1 y 4) (Gráfica 35). El mes de agosto presentó los valores promedios más altos de contaminación. Durante las lluvias en este mes, se observó la influencia directa de las escorrentías en la zona sur de la microcuenca de la laguna y su relación con la descarga de material fecal proveniente de la inundación de fosas sépticas. En esta zona se encuentra más del 90% de la población, lo cual explica la disminución de cobertura boscosa y el aumento de escorrentías en el invierno. En contraparte, la zona norte de la microcuenca tiene un bosque de sucesión secundario que retiene el flujo de material orgánico y además no posee ningún tipo de urbanización.

Los coliformes fecales son utilizados como indicadores de contaminación de origen fecal tanto humano como animal, en ecosistemas acuáticos (Herrera 1999). Los puntos de muestreo que presentaron mayor contaminación fecal fueron el 1 y 4 (Gráfica No.35). En todos los análisis se aisló *Escherichia coli*. En abril el punto cuatro presentó un aumento de coliformes fecales/*E.coli* (Gráfica No.35). En ese mes, también aumentó el número de personas lavando ropa en la orilla de la laguna, debido al mal funcionamiento de la bomba extractora de agua para las aldeas de El Cedro y San Francisco de Sales (ver Mapa 3, Apéndice C).

La contaminación microbiológica de la laguna es por material fecal de origen humano y animal. La población de Calderas utiliza el pasto y las macrofitas de la laguna para alimentar al ganado bovino y equino. Además se utiliza el agua para limpiar las sillas de montaje e incluso a los animales, esto principalmente en la época de verano. En la época de invierno se observó un incremento de coliformes fecales en el punto 4, principalmente en el mes de agosto donde se registraron las primeras lluvias fuertes (Gráfica No.35). De hecho este punto es el más afectado por contaminación fecal en comparación con los demás puntos muestreados.

En la época seca se observó el NMP máximo permitido para coliformes fecales (2NMP/100ml) en los puntos 1, 2 y 3 (Gráfica No.35). Esto indica que se encontraron resultados temporales aceptables dentro de los límites permitidos por COGUANOR, para el consumo de agua potable. En la época de invierno se observó un cambio drástico por arriba de los NMP tomados en los tres meses de verano. El principal problema de la aldea Caderas y de las 12 comunidades que se abastecen del agua potable por medio de la laguna, son las enfermedades trasmisibles por parásitos y

bacterias, ya que el agua no recibe tratamiento antes de utilizarse (cloración/ebullición).

Los cuatro puntos de muestreo en la laguna no presentaron ausencia de contaminación por coliformes fecales, por lo tanto el agua de la laguna no es óptima para el consumo humano directo. Esto se debe al fuerte impacto que genera la alea Calderas y las poblaciones dentro y fuera de la microcuenca, sobre la laguna, ya que no existen sistemas de tratamiento de aguas residuales o alguna alternativa para mitigar la contaminación de aguas negras. Según la Organización Mundial de la Salud (1980), la calidad bacteriológica del agua de la laguna requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como cloración y punto de ebullición, ya que el NMP (Número Más Probable) oscila entre 2-500.

D. Análisis biológico. Fitoplancton, zooplancton y nutrientes.

En la laguna Calderas se obtuvieron las concentraciones de nutrientes siguientes (N-Total: 0.671 mg/l; P-Total: 0.102 mg/l), y se compararon con las obtenidas en el Lago de Izabal (N-Total: 0.959 mg/l; P-Total: 0.049 mg/l) por (Dix y Dix 1999). El fitoplancton requiere para su crecimiento elementos como C (carbono), O (oxígeno), H (hidrógeno), N (nitrógeno) y P (fósforo). En este estudio y en el punto muestreado (No.4), se determinó que el N fue el elemento limitante en los meses de mayo, junio, julio y septiembre, ya que las relaciones N/P fueron menores de 10 (Cuadro No.16). El nutriente limitante en el mes de agosto fue el fósforo. Este cambio, se asume, estuvo influenciado por el factor de dilución causado por la época lluviosa en el área. La diversidad de fitoplancton fue baja (273.86 organismo/l), habiéndose identificado 9 géneros en cuatro puntos de muestreo, cubriendo un área de 0.35Km² (Cuadro No.8-11). Durante los siete meses de muestreo se observó que los géneros más abundantes fueron *Closterium* sp1., *Microcystis* sp. y

contaminación, principalmente en el punto 4, que es donde existe la mayor influencia humana.

La densidad del zooplancton es baja (24.06 organismo/l), debido a que está relacionado con la densidad de fitoplancton en la columna de agua de la laguna. El género dominante fue *Daphnia sp.* y está presente en una mayor densidad que los demás géneros identificados (ver Cuadro No.12-15). Por ser una cadena trófica, los depredadores se encuentran en menor cantidad, ya que no existe una alta concentración de presa para alimentarse.

El nivel trófico de la laguna Calderas con base al Índice de Estado Trófico (IET) de Machorro (1996), es oligotrófico. Este IET utilizó el N-Total, P-Total y el disco Secchi para establecer el nivel trófico de la laguna (Cuadro No.16). Se observó que el género *Closterium spp.* es indicador de cuerpos lénticos en estado mesotrófico. *Melosira* y *Microcystis* son indicadores de cuerpos de agua eutróficos (Cuadro No.6). Por lo tanto, se deduce que la laguna Calderas es oligo-mesotrófica, ya que la concentración de nutrientes, limitantes del crecimiento de algas, es muy baja. Además todos los parámetros físicos y químicos tienen tendencias oligo-mesotróficas. Los parámetros biológicos y microbiológicos confirman el ingreso de material orgánico, acelerando la productividad de la Laguna Calderas.

VIII. CONCLUSIONES

- Los parámetros de contaminación química en los cuatro puntos de la laguna Caldeas, comparados con los resultados en el Lago de Izabal (Dix y Dix 1999), Lago de Amatitlán (Basterrechea 1997) y los límites establecidos por la OMS para el consumo de agua potable, no presentan un alto grado de concentración que pueda afectar al ser humano.
- El material fecal que ingresa en la laguna Calderas en la época de verano está relacionado con el número de casas en la orilla, la alimentación de ganado bovino y equino con macrofitas, el lavado de ropa y aseo personal. En la época de invierno las fuentes contaminantes de material fecal son las constantes inundaciones de las fosas sépticas, creando escorrentías directas en la zona sur de la microcuenca de la laguna.
- El punto 4, playa pública de la Laguna Calderas, es el área con mayor contaminación química y microbiológica. En relación con los resultados biológicos, profundidad y utilización del área, ésta zona de la laguna se azolvará y formará una ciénaga en aproximadamente 15 años.
- Debido al bombeo irregular de las bombas extractoras de agua potable, algunas personas de aldeas de El Cedro, San Francisco de Sales, El Bejucal, El Pepinal y Mesillas Altas, llegan a la laguna para lavar su ropa y bañarse, siendo fuente puntual de contaminación.

- Los cuatro puntos de muestreo de la laguna Calderas presentaron contaminación fecal, por lo que el agua de la laguna, sin un tratamiento previo, no es apta para el consumo directo del ser humano.
- La extracción de agua en la laguna Calderas es una actividad permanente, donde se desconoce la relación entre el volumen extraído y el nivel de agua. El efecto de dicha actividad, es retardar el proceso de autopurificación del cuerpo de agua y concentrar los elementos orgánicos e inorgánicos dañinos al ser humano.
- En la época de invierno, se observó poca retención del agua en la zona sur de la microcuenca, debido a la deforestación y las altas pendientes, lo que provocó un ingreso de material orgánico por escorrentillas en el punto 1 y 4. La zona norte de la microcuenca tiene un bosque de regeneración que retiene el material orgánico erosionado.
- Basándose en los parámetros químicos, físicos, biológicos y microbiológicos, la Laguna Calderas se encuentra en un estado de transición oligo-eutrófico. Esta laguna es muy poco diversa, como se observa en el número de especies de fitoplancton, zooplancton, moluscos y crustáceos presentes. Consecuentemente, las poblaciones de peces no son abundantes.
- La relación del volumen de agua (directamente relacionado con la profundidad, punto más profundo No.2, 23m.), concentración de nutrientes y efecto de dilución, permiten a la laguna procesar el material orgánico biodegradable y disminuir residuos contaminantes.

IX. RECOMENDACIONES

- A través del Comité de Conservación de la laguna, establecer proyectos concretos y viables, para mitigar la contaminación fecal en los puntos de mayor ingreso. Las medidas de mitigación recomendadas son: a) construcción de lavaderos comunales; b) reglamento para el control de actividades contaminantes en la orilla de la laguna; c) organización comunal para realizar actividades de limpieza; d) implementación de sistema de control de los desechos líquidos y sólidos de las aldeas con influencia directa.
- Sectorizar los puntos de lavado de ropa en toda la orilla de la laguna Calderas, conociendo las zonas más profundas para que pueda intervenir el factor de dilución. Esto es para evitar el aumento de fosfatos en el agua y disminuir el crecimiento de macrofitas, las cuales son problema en las áreas de anclado. Con base a los resultados del presente proyecto se recomienda utilizar los puntos 1 y 3 para el lavado temporal de ropa, posteriormente se recomienda construir infraestructura adecuada para ésta actividad. Para el turismo nacional y extranjero así como para los habitantes del área se recomienda utilizar como área de baño la zona norte de la Laguna Calderas, ya que las concentraciones de material fecal en los demás puntos muestreados exceden el límite permisible para esta actividad.
- Utilizar cloro o hervir el agua de la laguna que se consume para uso doméstico, ya que se detectaron concentraciones de coliformes fecales y *E.coli*, mayores que las permitidas por la Organización Mundial de la Salud y COGUANOR.

- Construir canales de desviación de escorrentías que lleguen directamente a las fosas sépticas, para evitar el ingreso de material fecal en la laguna por inundaciones.
- Realizar un estudio parasitológico de heces fecales, identificando los medios de dispersión en la microcuenca y su relación con la salud de las poblaciones que consumen el agua de la laguna. Además realizar un análisis bacteriológico de los caracoles extraídos de la Laguna, ya que éstos son mercadeados en la capital sin ningún control de sanidad, lo cual puede tener repercusiones económicas, en disminución de demanda del producto.
- Realizar un ordenamiento territorial, enfocándose en las formas y tipos de cultivo, para utilizar técnicas que eviten el deterioro del suelo y el proceso de erosión. Este proceso afecta directamente los parámetros físicos, microbiológicos, químicos y biológicos de la laguna Calderas.
- Se recomienda hacer un análisis del volumen aproximado de agua que ingresa por recarga del manto freático. También del volumen de agua extraído por cada bomba en laguna Calderas, ya que esto podría causar un conflicto directo entre comunidades a mediano y largo plazo.
- Organizar grupos de personas voluntarias, para apoyar las capacitaciones que beneficien directamente las actividades sociales, ambientales y económicas de la aldea Calderas.

- Realizar actividades de educación ambiental con los niños de la escuela San José Calderas, para transmitirles de forma dinámica la importancia del agua y su entorno.

X. LITERATURA CITADA

- Andrews, W.A. 1972. **A Guide to the study of freshwater ecology**. Prentice Hall, Inc., New Jersey. 182 pp.
- APHA, AWWAA, WPCF. 1980. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, Washington, D.C. 1193 pp.
- Archibald, R. 1971. **Diatoms from the Vaal Dam Catchment Area Transvaal, South Africa**. *Botánica Marina* (14): 1-70.
- Basterrechea, M. 1993. **Los Humedales del Biotopo Río Escondido-Laguna del Tigre Petén, Guatemala: poblaciones humanas y recursos naturales**. FUNDARY, Guatemala. 96 pp.
- Basterrechea, M. 1997. **El Lago de Amatitlán-década de estudios limnológicos 1985-1995**. Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala. 41 pp.
- Bittner, E. 1972. **Blaualg**. Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart. 88 pp.
- Carballo, M. 1993. **Estudio de evaluación del impacto ambiental del proyecto: Fase de perforación y pruebas de los pozos exploratorios profundos y pozos de reinserción someros, del proyecto geotérmico de Amatitlán, Departamento de Escuintla y Guatemala, Guatemala**. Guatemala, 137 pp.

- Castañeda, C. 1995. **Sistemas lacustres de Guatemala**. Editorial Universitaria, Guatemala. 196 pp.
- Castro, F. 1998. **Diagnóstico del Parque Nacional Volcán de Pacaya y propuesta de plan de manejo**. Instituto Nacional de Bosques. 66 pp.
- Coloma, S. 1998. **Identificación del nivel trófico de la Laguna de Calderas y caracterización de las familias de flora y fauna recolectadas durante los muestreos en los años 1997-1998**. Problema Especial 1 y 2. Centro de Estudios Marinos y Acuicultura (CEMA). 37 pp.
- Coloma, S. 2000. **Caracterización de la Diversidad Acuática de la Laguna Calderas, ubicada en el Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala**. Tesis de Licenciatura en Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 41 pp.
- Dix, M.A. 1999. **Zonas de Vida de Guatemala, basado en Holdrige**. 7 pp.
- Dix, A. y M. Dix. 1999. **El Impacto de la Cuenca del Río Polochic sobre la Integridad Biológica del Lago Izabal**. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT). 140 pp.
- Edmondson, W. 1959. **Fresh Water Biology**. 2nd. Edition. John Wiley & Sons, Inc., United States of America. 1248 pp.
- Estevez, F. 1988. **Aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais**. Acta. Limnol. Bras. 2.

- González, A. 1988. **Plancton de las aguas continentales**. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C. 130 pp.
- Herrera, K. 1999. **Indicadores de la calidad del agua del río Polochic y de la integridad biológica del lago de Izabal**. Tesis Maestría UVG. Guatemala. 98 pp.
- Hurst, V. 1997. **Biological monitoring of water and effluent quality**. American Society for Testing and Materials, Baltimore, USA. 246 pp.
- INSIVUMEH. **Datos climatológicos de la estación No. 06-24, Laguna Calderas Amatitlán**. Guatemala 1997.
- Klotter, H. 1975. **Graüalgen**. Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart, Deutschland. 75 pp.
- Kuznetsov, S. 1975. **The Microflora of lakes and its geochemical activity**. University of Texas Press. 503 pp.
- Machorro, A. 1996. **Water quality at lago de Izabal, Guatemala: geochemical characterization and assessment of trophic status**. (Ph.D. Thesis). Department of Geological Sciences, The University of Texas, El Paso. 240 pp.
- Merck. 2,000. **The Monotube –test for coliforms**. 2 pp.

Muñoz, y J. López. 1978. **Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala**. INSIVUMEH, IGN, ONU. 303 pp.

OMS. 1995. **Guías para la calidad del agua potable**. 2ª.ed. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 195 pp.

Pereira, Luis Fernando. 1990. **Plan Preliminar para el manejo de la microcuenca de la laguna Calderas, Guatemala**. Tesis Facultad de Agronomía, USAC. 98 pp.

Prescott, G. 1978. **How To know the freshwater algae**. 3rd. edition. Brown Company Publishers, United States of America. 293 pp.

Whitton, R. 1975. **Nitrogen fixation in eutrophic lakes**. John Wiley & Sons, New York. 442 pp.

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD4626/htmls/05.html>

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB6/PCD0013/htmls/74.html>

http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Galleries/USA1999/Species/Closterium_2.html

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB6/PCD0026/htmls/65.html>

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD1794/htmls/76.html>

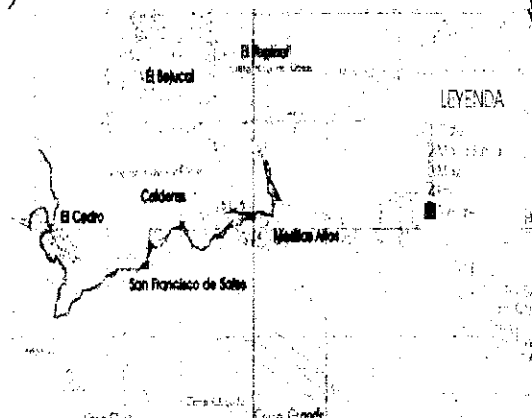
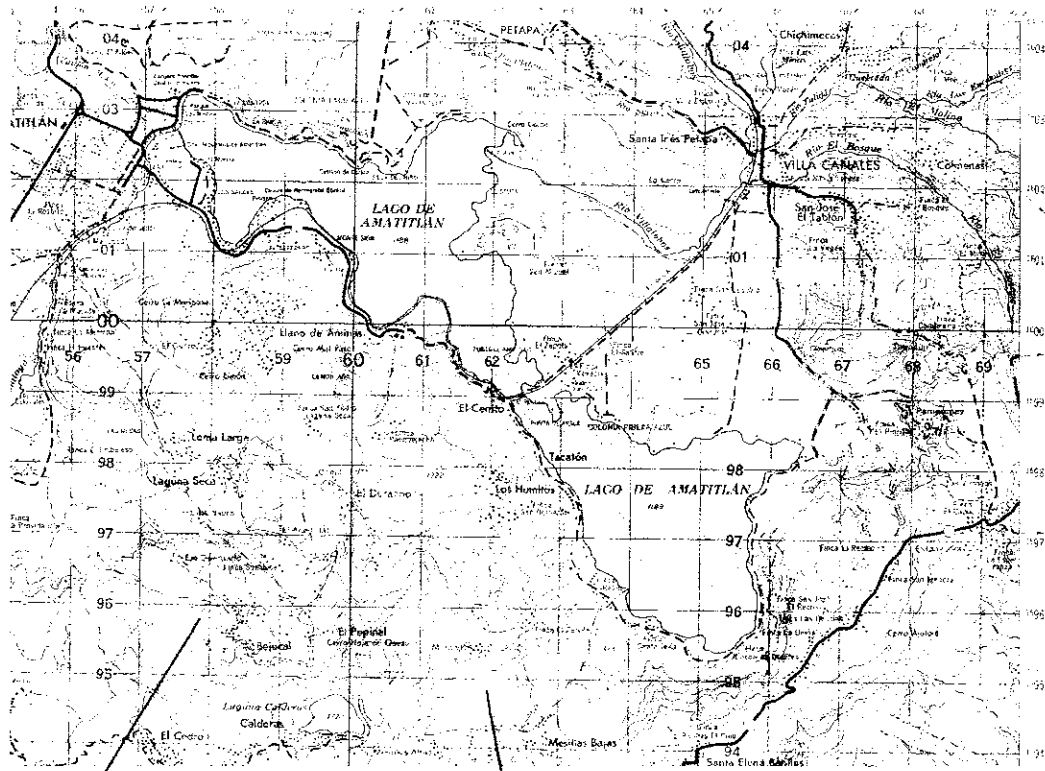
<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB3/PCD2953/htmls/81.html>

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD3272/htmls/52.html>

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD4705/htmls/06.html>

XI. APÉNDICE

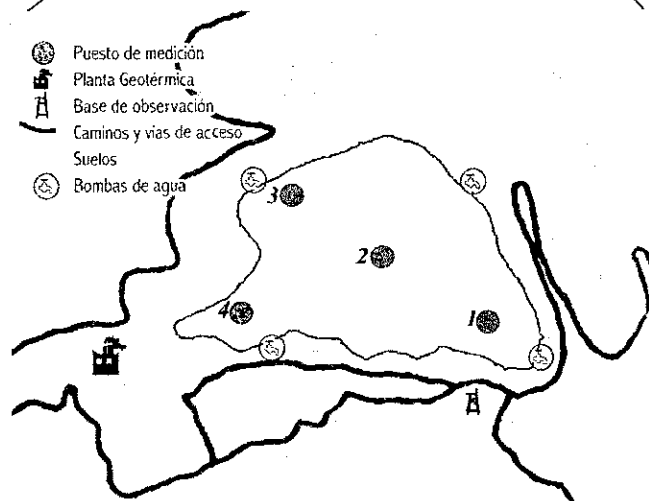
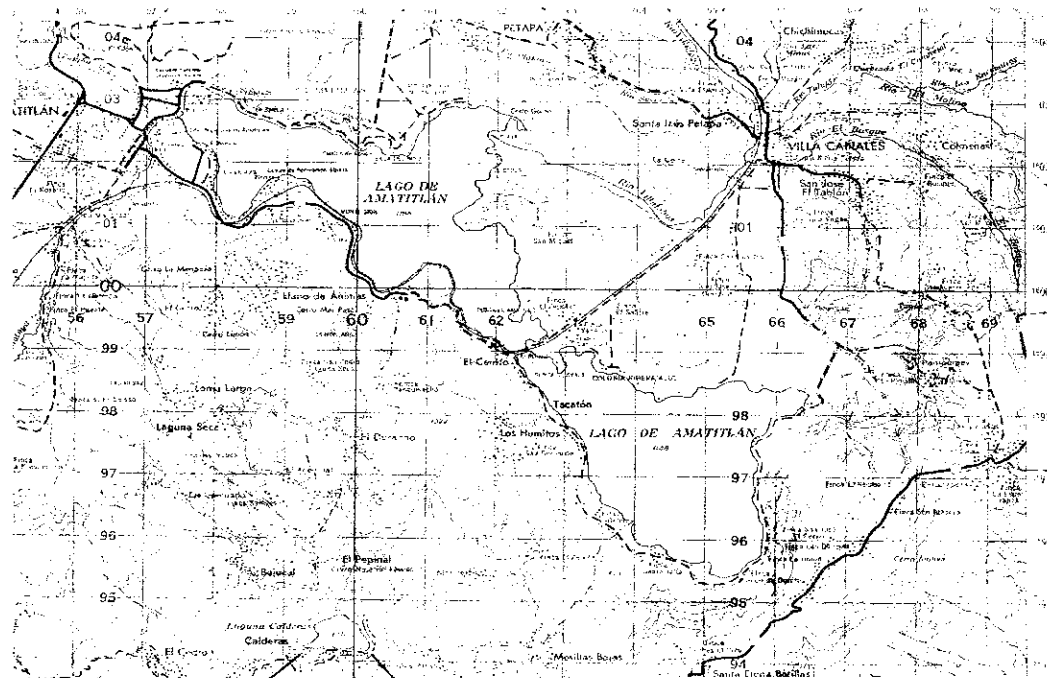
Apéndice A. Mapa No.1. Acceso y ubicación de las aldeas con influencia directa en la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. 2000.



Alejandro Del Valle Moreno
 Universidad Del Valle de Guatemala
 Departamento de Biología
 Guatemala, noviembre 2000.



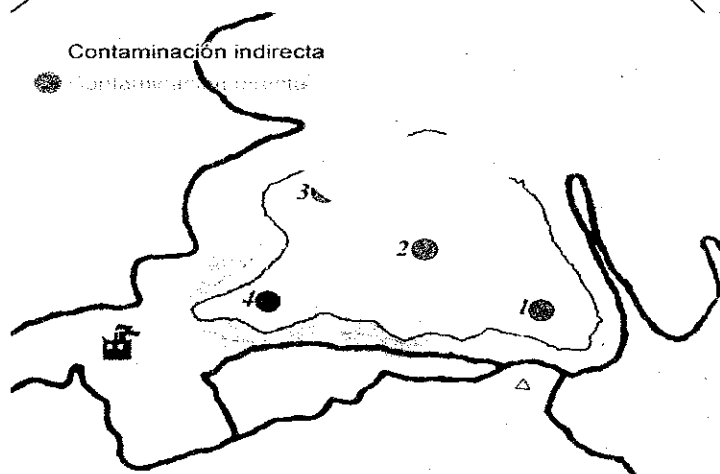
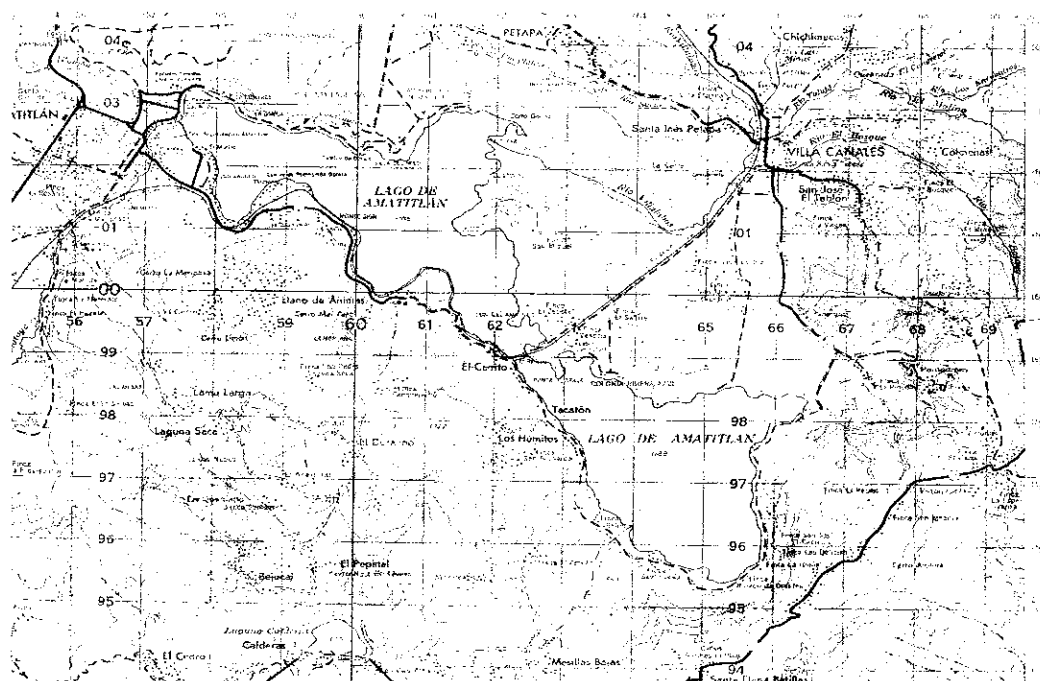
Apéndice B. Mapa No.2. Ubicación de las cuatro bombas de extracción de agua de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. 2000.



Alejandro Del Valle Moreno
 Universidad Del Valle de Guatemala
 Departamento de Biología
 Guatemala, noviembre 2000.



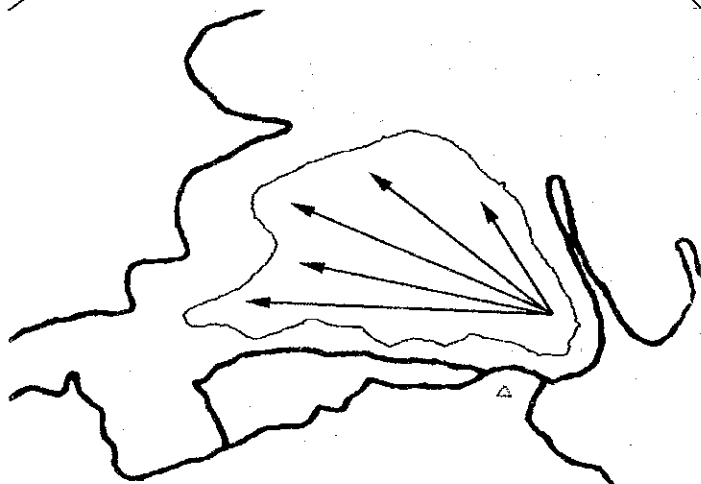
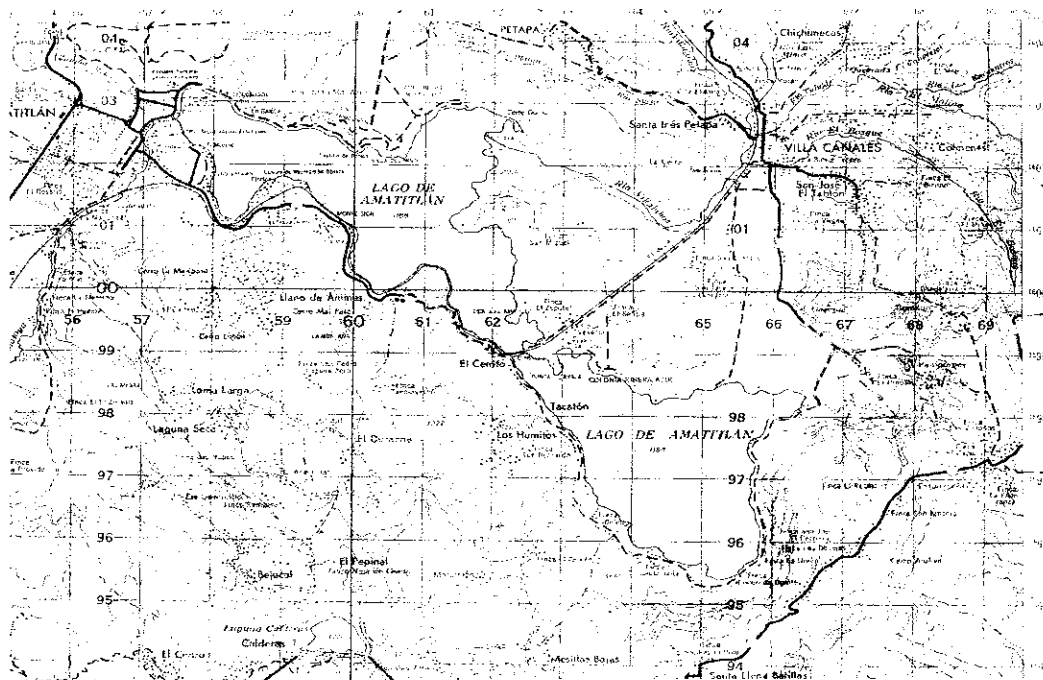
Apéndice C. Mapa No.3. Ubicación de áreas de contaminación directa e indirecta de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. 2000.



Alejandro Del Valle Moreno
 Universidad Del Valle de Guatemala
 Departamento de Biología
 Guatemala, noviembre 2000.



Apéndice D. Mapa No.4. Dirección del viento en la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala. 2000.



Norte

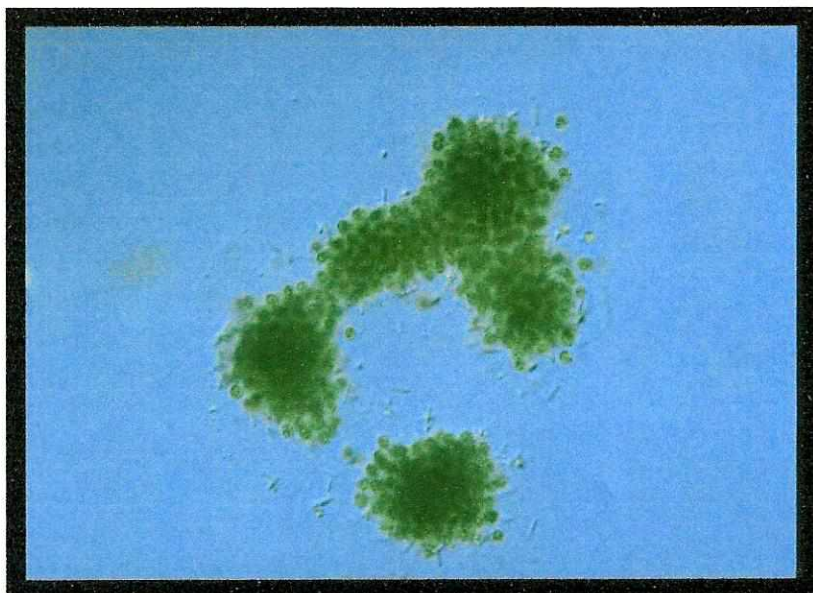
Alejandro Del Valle Moreno
 Universidad Del Valle de Guatemala
 Departamento de Biología
 Guatemala, noviembre 2000.



1966
 UNIVERSIDAD
UG
 GUATEMALA
 DEL VALLE DE

Apéndice E. Figuras de fitoplancton y zooplancton analizadas para cada uno de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna Calderas, Amatitlán, Guatemala.

Figura No.1 *Microsystis* sp.



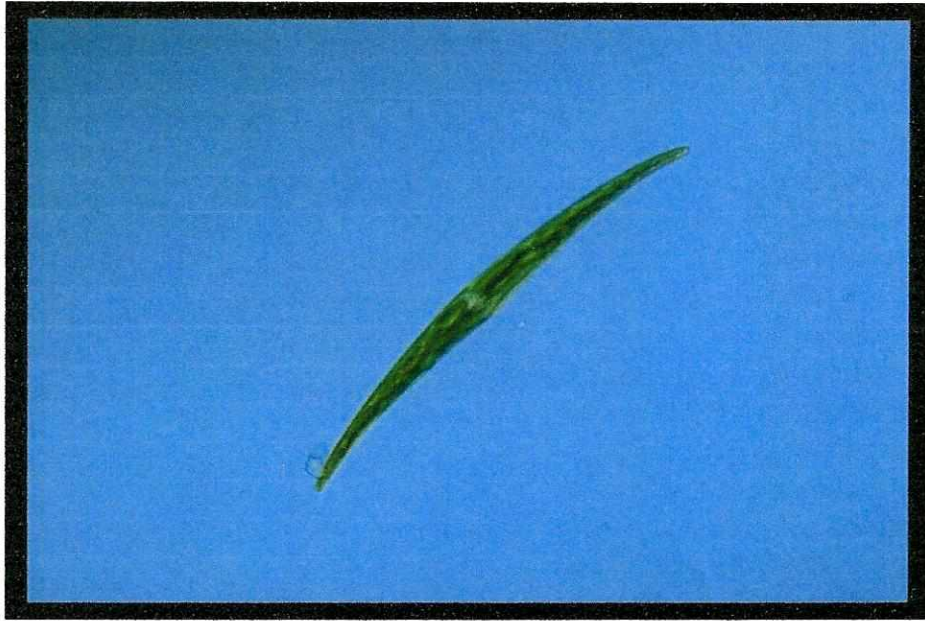
<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD4626/htmls/05.html>

Figura No.2 *Oscillatoria* sp.



<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB6/PCD0013/htmls/74.html>

Figura No.3 *Closterium* sp.



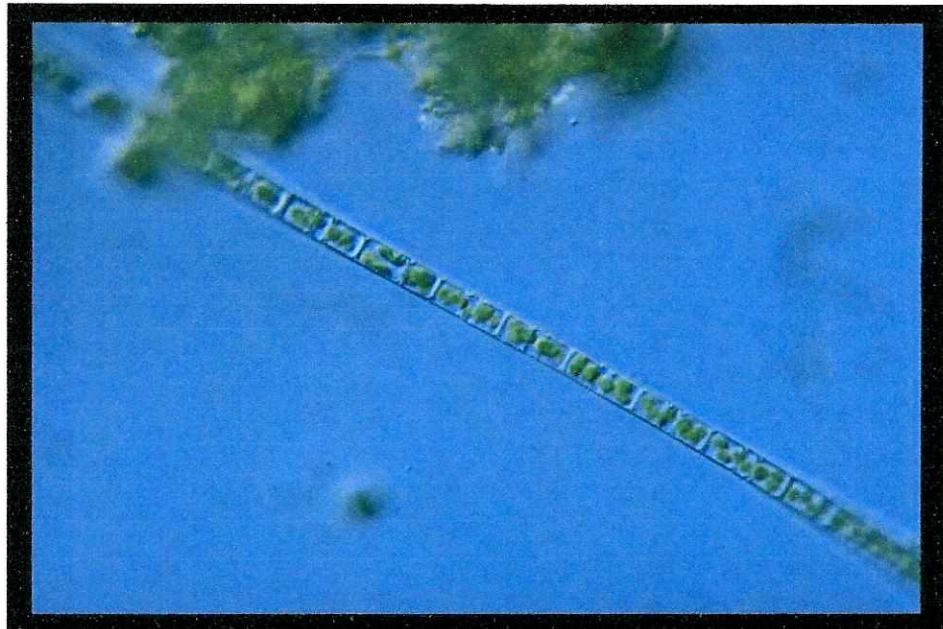
http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Galleries/USA1999/Species/Closterium_2.html

Figura No.4 *Oocystis* sp.



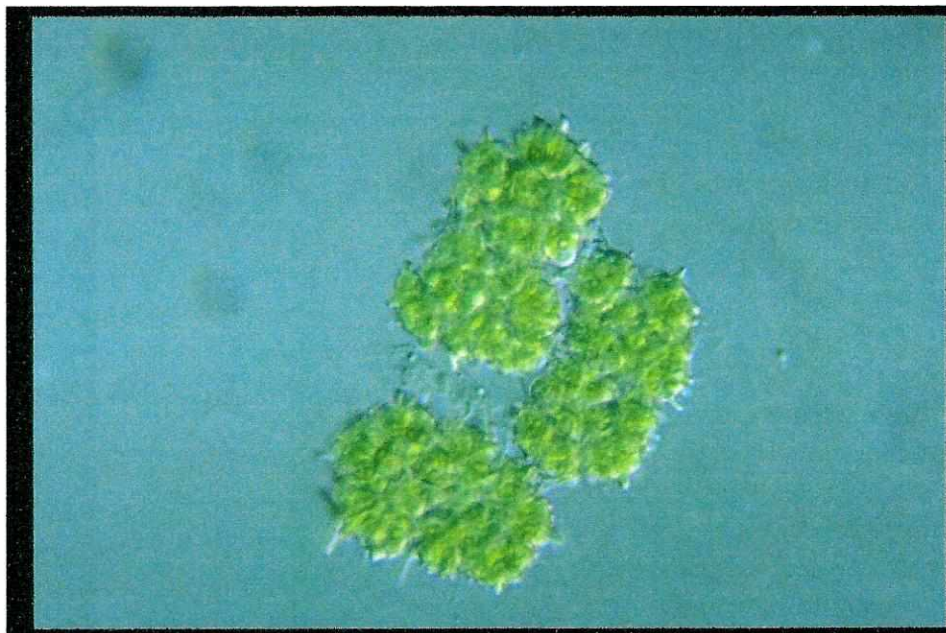
<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB6/PCD0026/htmls/65.html>

Figura No.5 *Melosira* sp.



<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD1794/htmls/76.html>

Figura No.6 *Botryococcus* sp.



<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB3/PCD2953/htmls/81.html>

Figura No.7 *Glenodinium* sp.



<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD3272/htmls/52.html>

Figura No.8 *Keratella* sp.



<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB2/PCD4705/htmls/06.html>