



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POST-GRADO
MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO
AMBIENTE

DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS

LICDA. ESTRELLA DE LOURDES MARROQUÍN GUERRA

Guatemala, Noviembre de 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POST-GRADO
MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE**



**DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**

Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, con base en el “Normativo de Tesis para Optar al Grado de Maestro aprobado por la junta directiva de la Facultad de Ingeniería.

Asesorado por
M. Sc. Pedro Julio García Chacón

Autor
Licda. Estrella de Lourdes Marroquín Guerra

Guatemala, Noviembre de 2008



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
Secretaria: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas
Vocal I: Inga. Glenda Patricia García Soria
Vocal II: Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola
Vocal III: Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
Vocal IV: Br. Miltón de León Bran
Vocal V: Br. Isaac Sultán Mejía

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL
EXAMEN PRIVADO DE TESIS

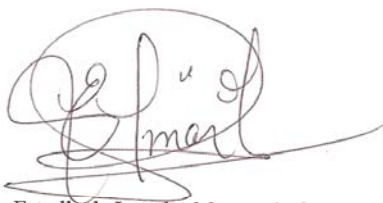
Decano: Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
Secretaria: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas
Examinador: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Examinador: Ing. César Augusto Akú Castillo
Examinador: Ing. Mario Francisco Rousselin Sandoval

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de tesis titulado

**DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado en Febrero de 2007



Licda. Estrella de Lourdes Marroquín Guerra

13 de octubre de 2008



M.Sc. Ingeniero
Carlos Pérez
DIRECTOR
Escuela de Post-grado
FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero Pérez:

Respetuosamente me dirijo a usted para informarle por medio de la presente que he revisado y aprobado el Informe Final de Tesis : **DETERMINACION DE VARIABLES FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DEL RECURSO HIDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**", realizado por la Licda. Estrella de Lourdes Marroquín Guerra.

El Informe Final cumple con los requisitos exigidos por el Reglamento de las Escuelas de Post-grado y de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular, me suscribo,

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


M. Sc. Pedro Julio García Chacón
Asesor de Tesis

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, y revisor del trabajo de tesis titulado **DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**, presentado por la Licenciada Estrella de Lourdes Marroquín Guerra, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. César Augusto Akú
Escuela de Estudios de Postgrado
César Akú Castillo
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 4,073

Guatemala, Octubre de 2008.

IZC.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis titulado **DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**, presentado por la Licenciada **Estrella de Lourdes Marroquín Guerra** apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2008.

/zc

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente del trabajo de tesis titulado **DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**, presentado por la Licenciada **Estrella de Lourdes Marroquín Guerra**, apruebo el presente trabajo de tesis y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Octubre de 2008.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 025.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de tesis de la Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente titulado: **DETERMINACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL RECURSO HÍDRICO DE LA LAGUNA DE CALDERAS**, presentado por la Licenciada **Estrella de Lourdes Marroquín Guerra** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Octubre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por guiar e iluminar mi camino.

A MIS ASESORES

Doctora Maria Dolores Galindo Riaño, Lic. Manuel Ixquiac, por dedicar tiempo, experiencia y compromiso a la realización de este trabajo.

M. Sc. Pedro Julio García Chacón por todo su apoyo incondicional desde que inicié mis estudios universitarios y motivarme para iniciar el estudio de este post grado.

A LAS INSTITUCIONES

Que contribuyeron con la asesoría, investigación y ejecución de este proyecto: Universidad de Cádiz, Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección de Investigación de la Universidad de San Carlos, Unidad de Pesca y Acuicultura del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA

Por ser mi escuela de formación universitaria y seguir guiando mis estudios profesionales.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO

Por todo el apoyo que recibí de ustedes, que alegría el poder conocer gente emprendedora como ustedes.

A todas las personas que colaboraron con la realización y presentación de este trabajo en especial a los alumnos de CEMA del curso de Recursos Naturales año 2007 y Edilberto Ruíz.

DEDICATORIA

A MI QUERIDO PAPÁ

Benedicto Marroquín Salguero, siempre apoyándome para que siguiera estudiando, que alegría compartir con vos este momento.

A MIS SERES QUERIDOS

A mí mamá Iris Esperanza Guerra Espina, a mí abuelita Tomasa Salguero, a don Nata. Siempre los recuerdo y los llevo en mí corazón.

A MI AMOR

José Estuardo Martínez Mencos por brindarme siempre un apoyo incondicional.

A MI FAMILIA

En especial a Melissa Mayarí, Robin, Ligia, Anabella, Juan Antonio, Pepe, Rachel, Tomasita, Tia Oralia, Tio Mando, Henry, Pedrito, Olga y Raisa.

A MIS AMIGOS

Normita por estar siempre a mí lado apoyándome y Pedro Julio por confiar siempre en mí.

RESUMEN

La presente investigación evaluó varios componentes ambientales de la Laguna de Calderas, ubicada entre los municipios de Amatitlán, departamento de Guatemala, y el municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, en la parte media de la cuenca mayor del río Maria Linda, sobre la vertiente del Océano Pacífico ésta es de origen volcánico y se encuentra dentro de un área protegida según el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –SIGAP-.

Se realizó un estudio de batimetría, calidad de agua monitoreando parámetros físicos y químicos, determinación de la biomasa íctica actual. Al realizar el estudio batimétrico se determinó que la laguna cuenta con una extensión de 56,7 hectáreas y una profundidad media de 12,51 metros. Los muestreos de los parámetros físicos y químicos de calidad de agua principalmente al evaluar los nutrientes fosfatos y nitratos, muestran que éstos se alteran en la época de lluvia, debido a las actividades agrícolas en la cuenca de la laguna y emplean fertilizantes en este periodo. Así mismo se determinó mayor concentración de nitritos y mayores lecturas de pH en áreas cercanas a los poblados, lo que evidencia intervención antrópica negativa en la calidad ambiental del agua del ecosistema, debido a que recibe aguas residuales de la población que se encuentra en la ribera.

En la laguna los peces predominantes y de importancia económica son la lobina y tilapia, ambas especies exóticas. La capacidad de carga del ecosistema se estima en 12.8 TM/Km², actualmente se encuentra en 2.68 TM/Km² lo que demuestra que la biomasa actual es baja.

La laguna de Calderas es un cuerpo de agua que soporta la cantidad de nutrientes aportados, estos de origen antrópico así como el uso de fertilizantes utilizados en la agricultura en la cuenca, la información del presente estudio puede ser utilizada para elaborar planes de manejo que permitan un desarrollo sostenible.

ÍNDICE GENERAL

No.	Descripción	Pág.
	Objetivos e Hipótesis	1
	Objetivo General	1
	Objetivos Específicos	1
	Introducción	2
1	Marco teórico	3
1.1	Importancia del estudio de los cuerpos de agua lacustres	3
1.2	Generalidades de la hidrografía de Guatemala	3
1.3	Descripción del ambiente sociocultural y socioeconómico	5
1.4	Descripción del área de estudio	6
1.4.1	Ubicación geográfica	7
1.4.2	Descripción del ambiente físico	8
1.4.3	Descripción del ambiente biótico	9
1.4.3.1	Zonas de vida	9
1.4.3.2	Especies de flora	9
1.4.3.3	Especies de fauna	10
1.4.3.4	Diversidad acuática	10
1.4.4	Condiciones climáticas	11
1.5	Calidad física y química del agua de la laguna de Calderas	12
2	Material y Métodos	13
2.1	Recursos Materiales	13
2.2	Metodología de trabajo	14
2.2.1	Evaluación de la batimetría	14
2.2.2	Análisis físico-químicos del agua	14
2.2.3	Estimación de la biomasa	16
3	Resultados y discusión de resultados	20
3.1	Batimetría de la laguna de Calderas	20

No.	Descripción	Pág.
3.2	Parámetros físico químicos de calidad de agua	21
3.2.1	Temperatura (°C) y Oxígeno (mg/l):	21
5.2.2	pH	26
3.2.3	Nitratos, nitritos y fosfatos	30
3.3	Estimación de la biomasa de las especies comerciales de la laguna de Calderas	38
	Conclusiones	43
	Recomendaciones	45
	Bibliografía	46

Índice de Figuras

No.	Descripción	Pág.
Figura 1	Mapa del área de la micro cuenca de la Laguna de Calderas	8
Figura 2	Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua, Estaciones 1 a la 5 (pH, nitratos, nitritos y fosfatos). Estación de monitoreo A (oxígeno y Temperatura). Laguna de Calderas.	15
Figura 3	Zonas para la estimación de la abundancia relativa de ictiofauna, Laguna de Calderas.	17
Figura 4	Batimetría de la Laguna de Calderas (profundidad m)	20
Figura 5	Perfiles de la batimetría de la Laguna de Calderas, profundidad expresada en metros	21
Figura 6	Perfil de temperatura durante los meses de mayo, julio y septiembre 2007 y enero 2008. Perfil de oxígeno durante los meses de mayo y julio del 2007.	22
Figura 7	Mapa de superficie de temperatura del agua superficial en la Laguna de Calderas durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007	24
Figura 8	Mapa de superficie de niveles de oxígeno disuelto (mg/l) del agua superficial en la Laguna de Calderas durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007	25
Figura 9	Valores de pH en superficie de la laguna de Caldera Julio a Octubre de 2007	28
Figura 10	Mapa de superficie del valor de pH del agua en la Laguna de Calderas durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007	29
Figura 11	Valores de Nitratos (mg/l) en superficie de la laguna de Caldera Julio a Octubre de 2007.	31

No.	Descripción	Pág.
Figura 12	Mapa de superficie de la concentración de nitratos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreros de julio a octubre de 2007)	33
Figura 13	Valores de Nitritos (mg/l) en superficie de la laguna de Caldera Julio a Octubre de 2007.	34
Figura 14	Mapa de superficie de la concentración de nitritos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreros de julio a octubre de 2007)	35
Figura 15	Valores de Fosfatos (mg/l) en superficie de la laguna de Caldera Julio a Octubre de 2007.	36
Figura 16	Mapa de superficie de la concentración de fosfatos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreros de julio a octubre de 2007)	37
Figura 17	Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m ²) laguna de Calderas. abril, 2007	40
Figura 18	Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m ²) laguna de Calderas. mayo, 2007	40
Figura 19	Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m ²) laguna de Calderas. junio, 2007	41
Figura 20	. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m ²) laguna de Calderas. julio, 2007	41
Figura 21	Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m ²) laguna de Calderas. octubre, 2007	42
Figura 22	Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m ²) Laguna de Calderas. enero, 2008	42

Índice de Tablas

No.	Descripción	Pág.
Tabla 1	Datos climáticos de la estación central Guatemala.	11
Tabla 2	Parámetros superficiales de componentes químicos de la laguna de Calderas, monitoreados durante los meses de julio, agosto y octubre del año 2007	27
Tabla 3	Estimación de biomasa promedio y límites de confianza para los meses evaluados.	38

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Determinar las características físicas, químicas y biológicas de la Laguna de Calderas de manera que permitan la formulación de estrategias y programas para la gestión racional del recurso de un área protegida.

Objetivos específicos

1. Elaborar un mapa de la batimetría de la Laguna de Calderas.
2. Determinar si existe diferencia en la calidad de agua de la Laguna de Calderas en época seca y época lluviosa.
3. Determinar la biomasa de los recursos pesqueros de la Laguna de Calderas.
4. Identificar las especies ícticas de importancia para la pesca artesanal en la Laguna de Calderas.
5. Determinar la capacidad de carga de la Laguna de Calderas.

Hipótesis

La biomasa de peces es menor a la capacidad de carga que puede soportar la laguna de Calderas.

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del agua de los sistemas lacustres se debe principalmente a la intervención humana, repercutiendo negativamente en los beneficios que estos ecosistemas pueden brindar a la población. Uno de ellos es la disminución del recurso pesquero, el cual es entre otros, una alternativa de alimentación a los países en vías de desarrollo. Por lo descrito anteriormente se hace necesario generar información sobre el comportamiento de los cuerpos de agua que sea punta de lanza para elaborar planes de manejo sostenibles.

La presente investigación evaluó varios componentes ambientales de la Laguna de Calderas: características físicas de la laguna (batimetría), características físico-químicas del agua de la laguna (temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitritos, nitratos y fosfatos), estudio de la biomasa íctica y estimación de la capacidad de carga.

La laguna es de origen volcánico y está clasificada como Parque Nacional por el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –SIGAP-. Está ubicada entre los municipios de Amatitlán, departamento de Guatemala, y el municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, en la parte media de la cuenca mayor del río María Linda, sobre la vertiente del Océano Pacífico.

Cuenta con una extensión de 56,7 hectáreas y una profundidad media de 12,51 metros. Los muestreos de los parámetros físicos y químicos de calidad de agua, muestran que éstos se alteran en la época de lluvia, debido a las actividades agrícolas que emplean fertilizantes en este periodo. En la laguna los peces predominantes y de importancia económica son la lobina y tilapia, ambas especies exóticas.

El estudio permitirá que todas aquellas instituciones comprometidas en el manejo sostenible y desarrollo social de los pobladores que se benefician de la laguna puedan basar sus juicios y sus programas de uso y manejo del recurso de acuerdo a información sólida y científica, lo cual constituye el ingrediente principal de una gestión racional y sostenible del recurso.

1. Marco teórico

1.1 Importancia del estudio de los cuerpos de agua lacustres

La situación crítica de la disminución de la biomasa de peces en los lagos de Guatemala requiere de una estrategia de desarrollo sostenible cuyo objetivo sea económico y social, integrando aspectos tales como la protección y mejoramiento del ambiente en sus aspectos ecológicos, biológicos y físicos, con atención a la equidad social y con consideración de las consecuencias globales. Si en los grandes lagos de Guatemala las pesquerías están siendo fuertemente explotadas, los cientos de embalses pequeños (menores de 150 ha) están bajo más presión (FAO, 2005).

Toda la información reunida durante las investigaciones pesqueras apenas es un poco más que un conjunto de indicios, no es decisiva de acuerdo con los cánones usuales de la ciencia; se necesita una gran cantidad de investigación adicional cuidadosa, pero los indicios son suficientes para determinar que se están sobre-explotando los recursos ícticos en estos importantes cuerpos de agua (FAO, 2005).

1.2 Generalidades de la hidrografía de Guatemala

Guatemala es un país montañoso, con una posición geográfica entre las regiones neoártica y neotropical, que goza de un clima cálido, con variaciones regionales y micro climas locales dependientes del relieve montañoso del lugar y de su distancia al mar según describe Arteaga (Perfil Ambiental de Guatemala, 2006).

Por su orografía, el país se divide en tres vertientes de escurrimiento superficial: Pacífico, Atlántico o Caribe y Golfo de México (Castañeda, 1995).

En el país hay aproximadamente 1151 sistemas lacustres, con siete lagos, 365 lagunas y 779 lagunetas. La distribución por rangos de altitud muestra que el 80 % (916 sistemas lacustres) se ubican de 0 a 200 msnm (metros sobre el nivel del mar), estando el resto (201 sistemas) por encima de esa altitud y hasta 3590 msnm. La vertiente del Golfo

de México tiene 682 sistemas lacustres, que representan el 59 % y que totalizan 278,49 km² de espejo de agua; la vertiente del Caribe tiene 112 sistemas que equivalen al 10 % con una superficie de 682,98 km² de espejo de agua. El análisis global de todos los sistemas lacustres por departamento, indica que el 54 % (620) esta en el departamento de El Petén (Castañeda, 1995; Dix, Margareth & Fernández, Juan F. 2001).

Los sistemas lacustres de Guatemala tienen origen geológico en cualquiera de las siguientes causas: a) volcánica o volcánica-tectónica, como los lagos Atitlán, Amatitlán, Güija, Ayarza y la mayoría de lagunas y lagunetas ubicadas arriba de 1000 msnm; b) tectónica y levantamiento de la plataforma marina, como los lagos Izabal, Petén, Itzá y la mayoría de los sistemas ubicados a menos de 200 msnm; c) cambio del curso de los ríos o inundaciones, como la laguna de San Juan Acul en río La Pasión y otras a orillas de los ríos Usumacinta, San Pedro, Chixoy, Motagua, Polochic y Dulce en el norte y Achígate y Suchiate en el sur (PREPAC, 2005).

La Laguna de Calderas se ubica en la vertiente del Pacífico. La vertiente del Pacífico en su parte alta está conformada por los valles del altiplano central del país, que drenan tanto a esta vertiente como a la del Caribe y la del Golfo de México, los cauces atraviesan la cadena volcánica para drenar finalmente en la planicie costera y llegar al océano Pacífico. En general las cuencas son angostas, con fuertes pendientes en la parte media y con una pendiente muy suave en la parte baja. Las cuencas de esta vertiente se ven caracterizadas por una rápida respuesta a la precipitación y un alto grado de sedimentación en la planicie costera (García, 2007).

La precipitación promedio anual a nivel nacional es de aproximadamente 2000 mm, con variaciones que van desde 700 mm en las regiones secas del oriente (Jalapa, Jutiapa, Chiquimula y Zacapa), hasta los 5000 mm en la zona norte y occidental (Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz y Baja Verapaz). Hay dos estaciones respecto a la distribución de las lluvias: la lluviosa y la seca. La lluvia se concentra en los meses de

junio y septiembre, con una canícula o período de menor precipitación, entre julio y agosto. En las regiones secas, la estación sin lluvias es de seis meses, de noviembre a abril, mientras que para las regiones más húmedas, se reduce a dos o tres meses, sin llegar a definirse según describe Arteaga (Perfil Ambiental Guatemala, 2006).

1.3 Descripción del ambiente sociocultural y socioeconómico

En el año 2005 el Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental (PREPAC) reporta que los usos más frecuentes en la región centroamericana de los Cuerpos de Agua Continentales (CAC) son la pesca, como la principal actividad económica, seguida por el turismo, la producción de energía y por último la utilización del agua para riego en la actividad agrícola. Se estima que alrededor de 6,1 millones de personas están relacionados con los CAC, la mitad de esta cifra corresponde al género femenino.

El ingreso promedio mensual más alto por persona es de \$135,28 que corresponde a la actividad de los pescadores que faenan en las lagunas costeras, pero el ingreso promedio en los distintos CAC es de \$77,75 (PREPAC, 2005).

Las leyes nacionales que ejercen mayor influencia en los CAC son la de Pesca, Medio Ambiente, Áreas Protegidas y Forestal, notándose que existen leyes marco que necesitan actualizarse. Sin embargo la sensación mayor es que debe fortalecerse el esquema de aplicación de todas las leyes. En cuanto a las instituciones que tienen mayor vinculación con el sector resaltan los Ministerios de Agricultura y Ganadería, los Ministerios de Ambiente y las Municipalidades (PREPAC, 2005).

Entre los problemas relevantes a nivel regional se reportan deterioros en las cuencas de los CACs, tanto por la deforestación como por el vertido de sustancias contaminantes y desechos sólidos que tienden a afectar la estructura físico-química del agua por la disminución de oxígeno que daña a los recursos hidrobiológicos (PREPAC, 2005).

Resalta la proliferación de plantas acuáticas que ha llegado en algunos casos a interrumpir la navegación y hace más difíciles las operaciones de pesca. Así también hay signos de sobre pesca en los principales cuerpos de agua y el uso de artes de pesca no autorizados (PREPAC, 2005).

El inventario realizado por PREPAC también encuentra que en los últimos quince años han desaparecido 75 cuerpos de agua. Los cuerpos de aguas continentales han sido utilizados como drenajes para usos agrícolas o ganaderos, además presentan sedimentación por deforestación de cuencas. Por último, destacar que los fenómenos naturales se ubican entre las principales causas de la ausencia de estos CAC.

Siguiendo el comportamiento de eutrofización en algunos cuerpos de agua de los países, el inventario prevé que de no tomarse medidas en estos momentos, en los próximos diez años pueden desaparecer otros 90 CAC, siendo la mayoría de ellas lagunetas, por causas antropogénicas y naturales (PREPAC, 2005).

El inventario reporta que hay casos de áreas protegidas que conviene revisar pues han entrado desde el punto de vista de la pesca en un esquema de sobreprotección, y se pueden estar perdiendo oportunidades de aprovechamiento de recursos pesqueros (PREPAC, 2005).

1.4 Descripción del área de estudio

La Laguna de Calderas se encuentra dentro de la clasificación del SIGAP (Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas) como Parque Nacional, según Acuerdo Gubernativo No. 759-90 que define a esta área protegida como: “área relativamente extensa, poco afectada por la actividad humana, que contiene ecosistemas, rasgos o especies de flora y fauna de valor científico y/o maravillas escénicas de interés nacional o internacional, en la cual los procesos ecológicos y evolutivos han podido seguir su curso espontáneo con un mínimo de interferencia”.

Los objetivos de manejo de la laguna son: protección, conservación y mantenimiento de los procesos naturales y la diversidad biológica en un estado inalterado, de tal manera que el área esté disponible para estudios e investigación científica, monitoreo del medio ambiente, educación y turismo ecológico limitado. Sin embargo a pesar de lo descrito anteriormente en la actualidad los pobladores de la ribera de la laguna utilizan el recurso para satisfacer la necesidad de agua en sus viviendas y no tratan las aguas residuales, por lo que se ha encontrado contaminación fecal en la laguna en estudios realizados por García en el año 2005.

1.4.1 Ubicación geográfica

La extensión superficial de la micro cuenca de la Laguna de Calderas (Figura 1) abarca parcialmente las aldeas de San José Calderas del municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, con un área de 4,35 kilómetros cuadrados que corresponden al 85% de la micro cuenca y la aldea San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, en un área de 0,7575 kilómetros cuadrados que corresponde al 15% restante, entre las coordenadas: Latitud: 14° 24' 40" ; Longitud: 90° 35' 25". Cuenta con una extensión de 34,5 hectáreas y una altitud de 1778 msnm (García, 2007).

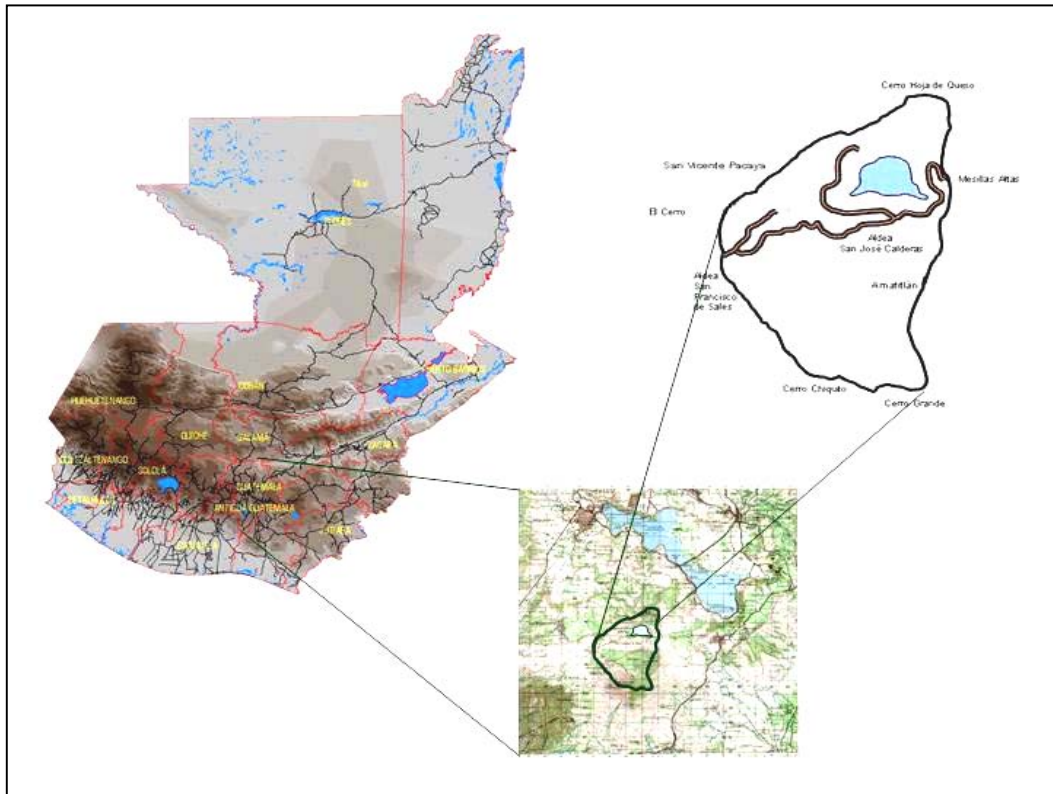


Figura 1.- Mapa del área de la micro cuenca de la Laguna de Calderas

1.4.2 Descripción del ambiente físico

Presenta rocas volcánicas (principalmente actividad volcánica relacionada con la formación de la Fosa Mesoamericana), incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos con depósitos minerales: conos volcánicos, rellenos de pómez y mesetas de ignimbrita

Cuenta con suelos desarrollados encima de ceniza volcánica a elevaciones medianas, la clasificación del suelo es franco arcilloso y con alta susceptibilidad a la erosión. Pertenece al sistema de Tierras Altas del Pacífico.

El área de la cuenca es de 5107 Km² (García, 2006), la precipitación en el área fue estimada a partir del valor promedio de los últimos cinco años de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH en la Ciudad Capital y Sabana Grande. La evapotranspiración ha sido evaluada por medio del método de Hargraves, (1986), la cual se restó de la precipitación, con lo que se obtuvo la tasa de recambio de 0,81 al año.

1.4.3 Descripción del ambiente biótico

1.4.3.1 Zonas de Vida

Según Holdridge en 1969 el área de la micro cuenca de la Laguna de Calderas se ubica en la zona de vida denominada Bosque Húmedo Subtropical (templado), con las siguientes características principales: período de lluvias con frecuencia en los meses de mayo a noviembre, biotemperatura entre 18 a 24 °C y una relación de evapotranspiración potencial alrededor de 1,0 mm.

Los terrenos correspondientes a esta zona varían desde relieve ondulado a accidentado, siendo el uso apropiado de éstos netamente forestal (García, 2007).

1.4.3.2 Especies de flora

En 1999, el Instituto Nacional de Bosques (INAB), pone de manifiesto que realmente el número de especies amenazadas es grande, las cuales están sometidas actualmente a una sobre-explotación y a un deterioro constante por las erupciones volcánicas. Las más destacadas son: cedros, *Cedrella pacayana*; *Cedrella imparipinata*; pinos *Pinus pseudostrobus*; *Pinus oocarpa*; roble, *Quercus spp*; encino del pacaya *Quercus oocarpa*; pacayas, *Camaedorea spp*; laurel, *Nectandra membranaceae*; aliso, *Alnus arguta*, *Alnus jorullensis*; anona blanca *Annona diversiflora*; *Annona purpúrea*, *Annona lutescens*; manzanote, *Olmedieella bestecheriana*; diversas especies de las familias Bromeliaceas, *Tillandsia usneoides*; *Catopsios spp.*; Araceas, *Philodendrom spp.*; *Anhtricum spp* y Orchidáceas, *Bothriochilus guatemalensis*; *Bleti purpurata*; *Lycaste cruenta*; *Odontoglossum laeve* (García, 2007).

1.4.3.3 Especies de fauna

Entre los mamíferos que se encuentran en esta región destacan el coyote *Canis latrans*, gato de monte *Urocyon cinereoargenteus*; puercoespín *Coendu mexicanus*, armadillo *Dasypus novemcinctus*, tepezcuintle *Agouti paca*; tacuazín *Didelphis marsupialis*, tacuazín ratón *Marmosa mexicana*, zorrillo *Mephitis macroura*, comadreja *Mustela frenata*. Son abundantes los roedores, *Peromyscus sp.* y *Reithrodontomys sp.* *Heteromys sp.*, *Baiomys sp.* y *Oryzomys*; los murciélagos, *Ptenorotus spp.*; *Myotis spp.*; *Phyllostomus spp.* ardillas *Sciurus sp.* y el conejo *Sylvilagus floridanus*. Estos especímenes han sido observados últimamente en las partes altas del parque (García, 2007).

Además existe el listado de especies restringidas o endémicas del parque, el cual reporta: 25 anfibios, 24 reptiles y 45 aves (García, 2007).

1.4.3.4 Diversidad Acuática

Coloma en el año 2000 reporta tres especies de peces, *Cichlasoma sp.* *Micropterus salmoides* y *Poecilistes sp.* Igualmente, describe una única especie de crustáceos, *Potamocarcinus guatemalensis* y tres géneros de moluscos: *Pomacea*, *Pleurocera* y *Gyraulus*.

En el plancton se encuentran: *Daphnia*, *Gonyaulax*, *Keratilla*, *Gammarus* *Phormidium*, *Melosita granulata*, *Diatomea*, *Nitzschia acicularis*, *Botryoccoceus braunii* y estadios naupleares.

Las macrofitas presentes son fundamentalmente *Potamogeton illioensis*, *Chara sp.*, *Nitella sp.*, *Egeria densa* e *Hydrilla verticillata*.

Según Coloma (2000) las especies *Micropterus salmoides* (lobina) un pez depredador y *Egeria densa* (macrofita de rápida propagación), ambas exóticas, han venido incrementando su población y desplazando a las especies endémicas en este ecosistema.

1.4.4 Condiciones climáticas

Los datos climatológicos de la zona de los años más recientes (desde 2001 hasta 2007) se recogen en la siguiente tabla (Tabla 1). Estos datos se tomaron en la estación central del departamento de Guatemala, por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-, siendo esta estación la más cercana al área de estudio (INSIVUMEH, 2007).

Tabla 1.- Datos climáticos de la Estación Central Guatemala durante los años 2001-2007 (INSIVUMEH, 2007)

Variable	Año						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 *
Temperatura media (°C)	19,2	19,1	20,0	19,6	20,6	20,1	20,2
Temperatura (° C) max promedio	25,6	26,1	26,3	25,5	26,4	25,6	26,6
Temperatura (° C) min prom	15,2	15,3	15,8	15,7	15,5	15,5	16,0
Humedad relativa media (%)	72	76	77	75	76	73,9	76,5
Evapotranspiración	4,2	4,5	4,6	2,9	4,5	5,0	4,7
Precipitación pluvial (mm)	2027,9	2024,8	2536,1	2121	2783,6	2824,1	2327,8
Viento	5,4	6,1	5,3	9,2	16,3	17	6,0
Insolación (horas)	214,9	216,6	210,4	218,1	204,4	200,2	215,7

* Datos del año 2007 sólo al mes de agosto

1.5 Calidad física y química del agua de la Laguna de Calderas

Esta laguna es de tipo monomítica cálida, tiene un área estimada de 0,85 km². La Laguna de Calderas, según los criterios de calidad para fuentes de agua natural de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos -EPA- y según el de las Zonas Tropicales de Toledo, es un cuerpo de agua mesotrófico debido a que contiene moderada cantidad de nutrientes y es moderadamente productiva en términos de la vida acuática de plantas y animales, además de por sus parámetros de calidad fisicoquímicos como la clorofila, profundidad, oxígeno disuelto y conteo de microorganismos, entre otros (García, 2007).

El agua de la Laguna de Calderas tiene alto contenido de coliformes totales y fecales, que derivan de las descargas domésticas y del lavado que son vertidas por las viviendas de los pobladores que viven en las riberas del sistema lacustre (García, 2007).

Al hacer un estudio comparativo entre la calidad de agua de la Laguna Calderas y los Criterios de Calidad de Agua para Fuentes Naturales de la Organización Mundial de la Salud -OMS- se puede establecer que el agua es apta para realizarle un pretratamiento como filtración y un tratamiento primario como cloración para hacerla apta para consumo humano (García, 2007).

La tendencia de este sistema lacustre va hacia la eutrofia ya que los resultados de los fosfatos establecen que el cuerpo de agua periódicamente se está contaminando por residuos de jabón que los pobladores utilizan en el lavado de la ropa dentro de la laguna, así como por el agua de escorrentía en época lluviosa que arrastra fertilizantes que son utilizados en la agricultura. Igualmente, y debido a ello se han encontrado en gran proporción microorganismos indicadoras de contaminación orgánica como cianobacterias, algas verdes y diatomeas (García, 2007).

2. Material y Métodos

2.1 Recursos Materiales

Aparatos

El listado de aparatos e instrumentos empleados es:

- Hydrolab MiniSonde 4^a: utilizada para las medidas de temperatura y oxígeno disuelto. Estaba indicando los parámetros que mide el aparato
- Colorímetro DR/890: Mediante este equipo y con el método de análisis correspondiente se pueden medir más de 90 parámetros, desde aluminio hasta zinc. Se emplea para analizar aguas naturales o industriales.
- Ecosonda Garmin gtsmap 185 sounder
- Medidor de pH TOA HM-10P. Método: Electrodo de vidrio, capacidad de almacenamiento de 300 datos, rango de pH 0 -14, con control de temperatura de 0 – 99 °C con sensor de pH 3 en 1 GST-2739C
- GPS. Garmin eTrex Vista HCx Tecnología WAAS, altímetro barométrico y brújula magnética

Equipo complementario

- Cámara fotográfica
- Cronómetro digital
- Lancha sin motor
- Frascos plásticos
- Reactivos
- Artes de pesca (trasmallo, anzuelo)
- Nevera portátil
- Formol 10%
- Cinta métrica
- Marcadores indelebles
- Bolsas plásticas
- Equipo de oficina (computadora, scanner, impresora, etc.).

Para realizar los muestreos de campo en la laguna se utilizó una lancha artesanal, con remos debido a que está prohibido utilizar embarcaciones con motor dentro de la laguna.

2.2 Metodología de trabajo

2.2.1 Evaluación de la batimetría

Para generar el valor del área de la Laguna de Calderas se realizó un recorrido en el perímetro de la laguna con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) guardando la información en unidades terrestres UTM, para posteriormente analizarla por medio de la rutina del programa Surfer V.8.

La batimetría de la Laguna de Calderas se generó por medio de los puntos muestreados en cuatro transeptos latitudinales y cinco transeptos longitudinales con un intervalo de cinco metros entre puntos, los cuales fueron georeferenciados y medidas las profundidades por medio de un ecosonda Garming con una precisión de 0,10 metros. Esta información fue analizada por medio de la rutina dentro del programa Surfer V.8.

2.2.2 Análisis físico-químicos del agua

Se hicieron mediciones in situ de oxígeno disuelto (mg/l) y temperatura (°C) en la columna de agua en una zona de las más profundas de la laguna, con la finalidad de elaborar un perfil de comportamiento de estos parámetros, indicado en el mapa como, punto A (figura 2).

Para las lecturas de oxígeno disuelto (mg/l) y temperatura (°C) se realizaron medidas con una Ecosonda Minisonde 4^a multiparamétrica Hydrolab, haciendo las lecturas de ambos parámetros a cada metro de profundidad desde la superficie hasta llegar a la profundidad máxima de la Laguna para elaborar un perfil de temperatura durante los meses de mayo, julio y septiembre 2007 y enero 2008 y un perfil de oxígeno durante los meses de mayo y septiembre del 2007.

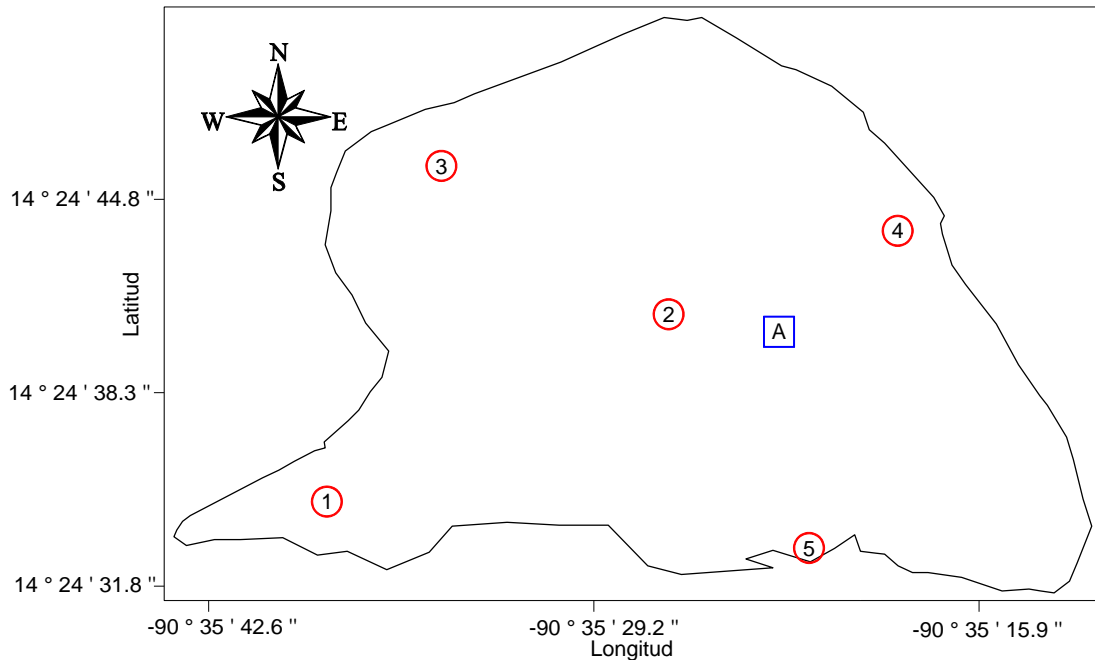


Figura 2. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua en la Laguna de Calderas: estaciones 1 a 5 para evaluación de pH, nitratos, nitritos y fosfatos y estación A para evaluación de oxígeno y temperatura

Para el estudio de pH, nitratos, nitritos y fosfatos de calidad de agua de la Laguna de Calderas se establecieron cinco puntos (figura 2) en zonas dispersas para abarcar toda el área de la laguna, considerando además la influencia antropogénica. Los puntos 1 y 5 del área sur de la laguna se situaron cerca de áreas pobladas, donde se extrae agua por medio de bombeo para consumo doméstico y en donde se observa mayor intervención de la población con el cuerpo de agua. Cabe mencionar que en estas áreas se lava ropa y se reciben aguas residuales utilizadas en el servicio doméstico. El punto 1 se diferencia del resto debido a que por su localización se encuentra en un área semicerrada de la laguna. El punto 2 corresponde al centro de la laguna. El punto 3 está ubicado cerca de una estación de bombeo de agua y el punto 4 está alejado de áreas pobladas. En la microcuenca de la Laguna de Calderas se observan cultivos agrícolas, siendo el punto 1 el que presenta menor extensión de cultivos.

En cada punto de muestreo se recolectó una muestra de agua superficial, en frascos plásticos conservados en nevera portátil a 4°C para su posterior análisis en el laboratorio de calidad de agua del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, en un plazo no mayor a 24 horas, en los meses de julio, agosto y octubre del 2007.

Para medir el pH se utilizó un medidor portátil pH TOA HM-10 P. Para los análisis de nitratos (mg/l), nitritos y fosfatos (mg/l), se utilizó un colorímetro Hatch DR/890, siguiendo las indicaciones de uso según el manual de procedimientos. Los métodos de análisis utilizados fueron los siguientes:

Para determinar los valores de fosfatos se utilizó el método del ácido ascórbico Phos Ver 3, el cual trabaja sobre el rango de (0-2,5 mg/l PO_4^{3-}); para determinar los valores de nitritos con un rango de (0-2,5 mg/l) se utilizó el método de Nitri Ver 3 y para el análisis de nitratos se realizó mediante reducción por cadmio de nitrato a nitrito con un rango (0 a 30,0 mg/l).

2.2.3 Estimación de la biomasa

Los peces observados fueron contados para estimar la biomasa mediante el empleo de la sonda Garmin gtsmap 185 sounder. Los muestreos se realizaron en los meses de abril, mayo, julio, septiembre, octubre del 2007 y enero 2008, haciendo un total de 70 transeptos ó arrastres virtuales, dividiendo la laguna en 9 zonas (figura 3). Cada transepto correspondía a 5 minutos de recorrido en lancha a una velocidad promedio de navegación de 2,4 Km/h. En este periodo se estimaba la distancia recorrida y los peces observados para luego estimar la biomasa, de acuerdo a la talla media de las dos especies de peces reportados por Chonay en el año 2005, *Micropterus salmoides* correspondiente al 60% de la población de peces y con un peso promedio de 80 gramos y *Oreochromis niloticus* que representa un 40% de los peces y tuvieron un peso promedio de 189 gramos.

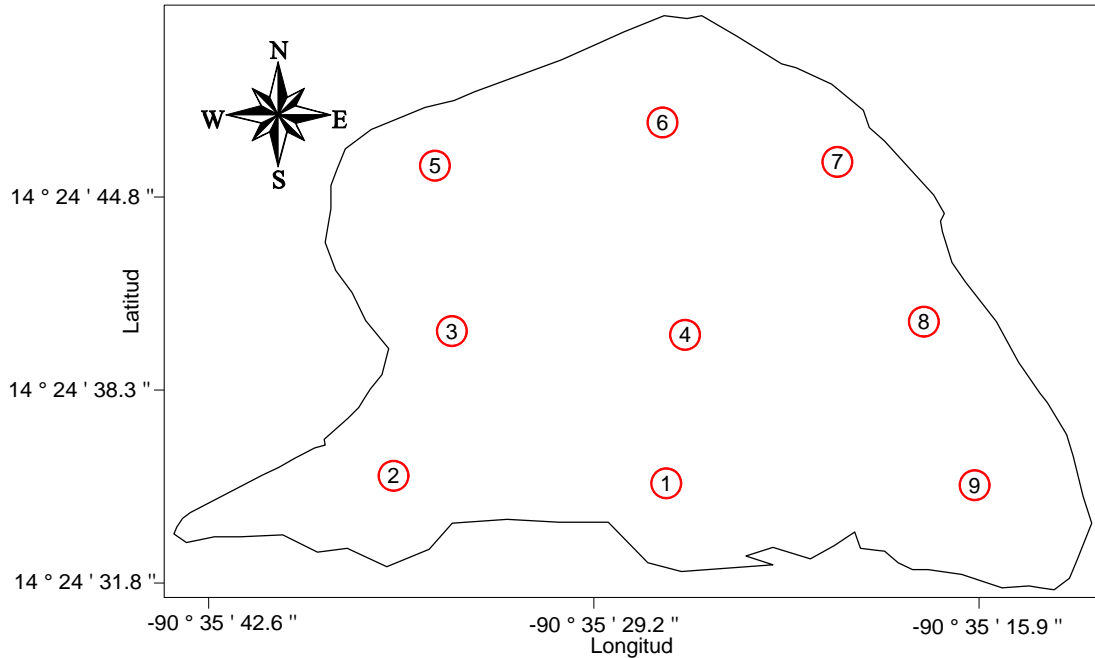


Figura 3. Zonas para la estimación de la abundancia relativa de ictiofauna en la Laguna de Calderas.

El método empleado para la estimación de la biomasa se basó en los trabajos realizados por Ixquiac & Salaverria en 2002, los cuales combinan el conteo del número de peces observados bajo el haz de una ecosonda en movimiento a velocidad constante conocida, lo cual hace el efecto de una red de arrastre en toda la columna de agua. El trabajo retoma el Método de Área Barrida para la estimación de peces “retenidos” por el arte de pesca, para las áreas evaluadas.

El área barrida (ecuación 4.1) se puede estimar modificando la fórmula propuesta en Sparre & Veneran (1995), con las siguientes fórmulas:

$$a = D * rs \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$D = V * t$$

$$rs = (h * \text{seno}(\text{Radianes}(A^\circ)))^2$$

donde D es la distancia recorrida durante el transepto, V es la velocidad de desplazamiento de la red sobre el fondo, rs es el ancho del haz del ecosonda en el fondo, el cual está asociado a la profundidad (h) y la apertura del ángulo de funcionamiento del ecosonda (A°). Durante esta investigación las especificaciones del equipo fueron utilizando un ángulo de 35° y siendo t el tiempo de duración del arrastre el cual se estandarizó en cinco minutos debido a las cortas distancias en la laguna.

La estimación de captura C (ecuación 4.2), se realiza multiplicando las observaciones del ecosonda, con la proporción en número de organismos presentes por especie y el valor de la mediana del peso de la estructura de la población de peces capturados.

$$C = \sum (n_i \mu_j \lambda_j) \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

donde n es número de organismos observados en el conteo de la ecosonda para el área evaluada i , μ_j la mediana en peso de la distribución de los pesos para cada una de las especies j y λ_j el porcentaje en número de organismos retenidos para cada especie j , durante el período de estudio.

Para estimar la biomasa se utilizó la captura virtual por unidad de área (CPUA). La CPUA se calcula, dividiendo la captura por el área barrida (kilómetros cuadrados). Así pues, esta estimación depende de la exactitud con que se calcule el área barrida.

Como en el arrastre virtual no se cuentan con valores del peso medio de los organismos, ni de las proporciones de las especies presentes, se requiere conocer la estructura de la población, los pesos para las tallas y la proporción de las especies presentes en los desembarques. Para no sobreestimar el peso medio de la población de peces se estima el valor de la mediana en peso para cada una de las especies y el porcentaje de presencia en los desembarques globales en el periodo de monitoreo.

La CPUA se estima a partir de la ecuación 4.3, donde C es la captura en peso de un arrastre virtual y a el área barrida.

$$CPUA = C/a \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Las unidades de CPUA corresponden a la captura en peso por unidad de área. A partir de la CPUA se puede realizar la estimación de la biomasa total B , en esta área A , mediante la ecuación 4.4:

$$B = \frac{(CPUA * A)}{X1} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

donde A es el área total de la laguna, $CPUA$ es la captura por unidad de área y $X1$ es la proporción retenida de peces presentes en el área barrida $X1$. Este parámetro es difícil de estimar. Las grabaciones televisivas bajo el agua muestran que la reacción de los peces frente a las artes de arrastre varía notablemente según la especie, sin embargo por ser un sonar que contabiliza los peces a su paso la eficiencia de éste dependerá de la sensibilidad del mismo y el tamaño del pez para ser detectado. Por lo general, el valor de $X1$ se sitúa entre 0,5 y el valor de 1,0. Mientras se realizaban las estimaciones preliminares del ajuste de este parámetro se utilizó un valor de 1, el cual significa la retención total de los organismos presentes susceptibles a las artes de pesca.

3. Resultados y discusión de resultados

3.1 Batimetría de la Laguna de Calderas

De los estudios realizados se obtuvo un valor estimado del área ocupada por la Laguna de Calderas que fue de 567035 m² el cual es muy superior a los descritos en la bibliografía consultada, los cuales describen a la laguna con un área de 11 Ha. Esto representa 5,1 veces más que lo descrito en la bibliografía y 1,3 veces más que los valores estimados en mapas del área.

Al realizar el estudio batimétrico se determinó que la profundidad máxima de la laguna es de 30,6 m (figura 4), siendo la estimación de la profundidad media de 12,51 m. Igualmente se evaluó que el 60% del área total de la laguna presenta una profundidad menor a los 20 m. En la figura 5 se ha recogido el perfil vertical de la laguna según latitud y longitud. Cabe destacar que las zonas norte y noreste son las áreas más profundas y poseen poca área de playa.

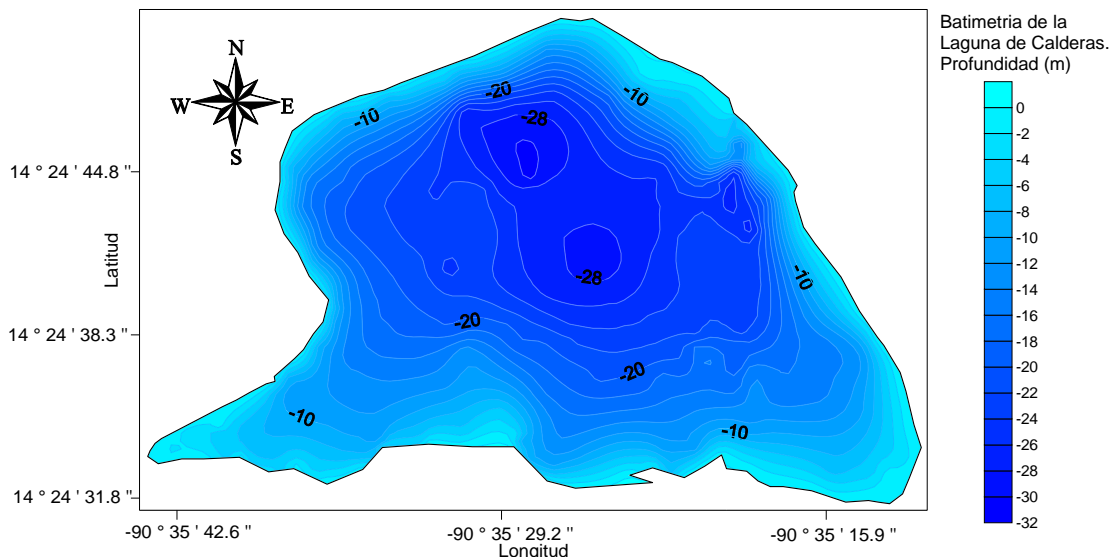


Figura 4. Batimetría de la Laguna de Calderas (profundidad en m)

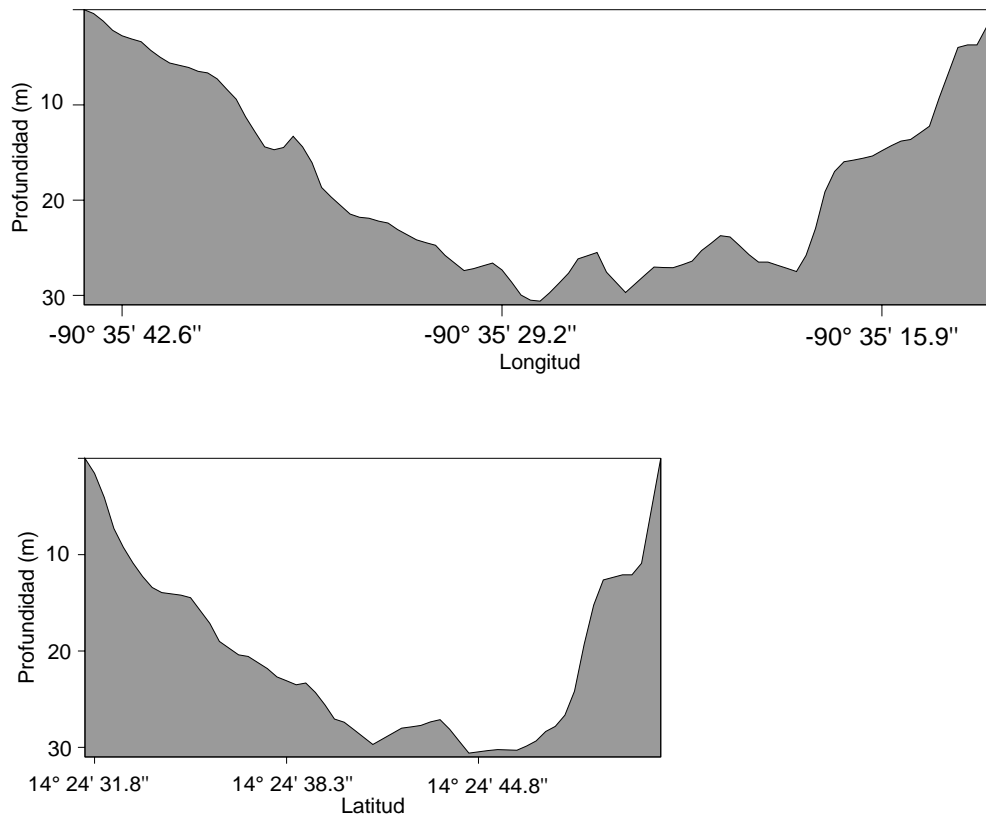


Figura 5. Perfiles de la batimetría de la Laguna de Calderas (profundidad en m)

3.2 Parámetros físico-químicos de calidad de agua

3.2.1 Temperatura (°C) y Oxígeno (mg/l)

Los perfiles de temperatura (°C) y oxígeno (mg/l) durante el período de estudio se han recogido en la figura 6 y muestran una clara estratificación en los primeros 10 metros de profundidad donde la temperatura y el oxígeno muestran valores superiores en la columna de agua. La temperatura es de 3 a 4°C más caliente que las aguas con mayor profundidad, la termoclina se presenta entre los 8 y 12 metros de profundidad y para los meses de enero se evidencia una disminución considerable en los valores de la temperatura en las aguas superficiales de hasta 4°C.

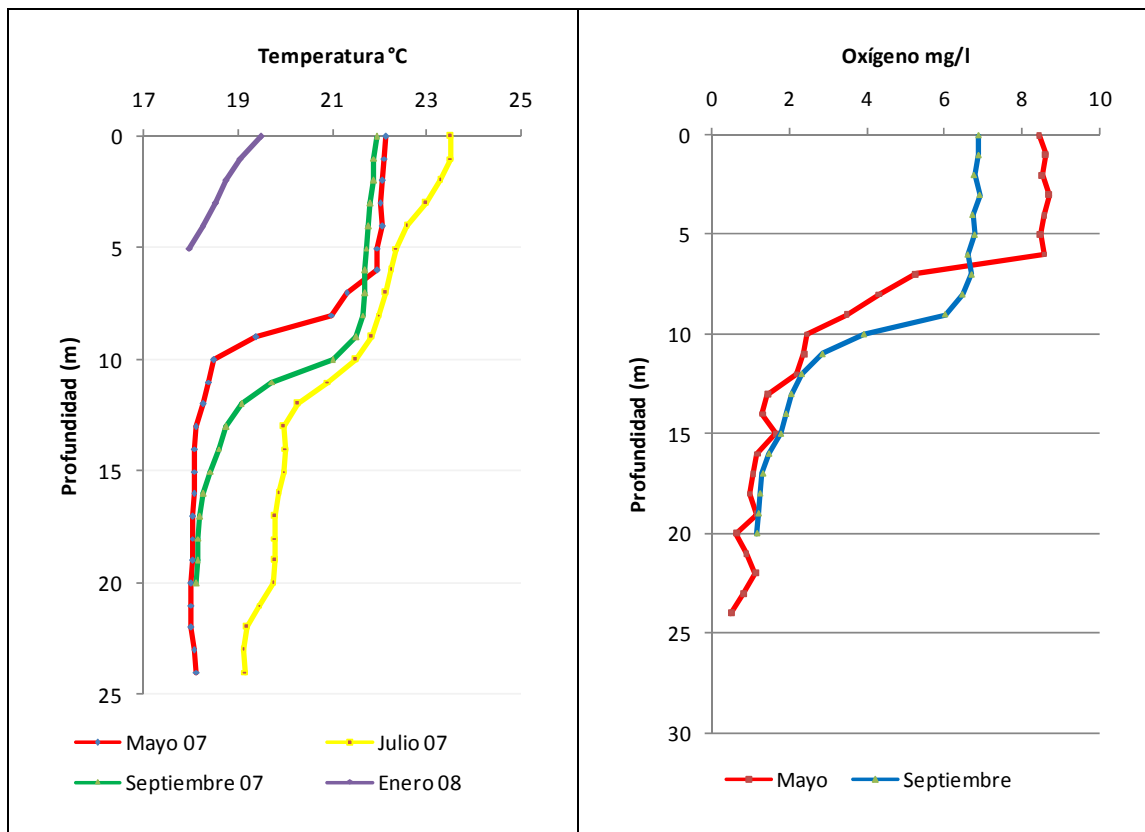


Figura 6. Perfil de temperatura registrados en los meses de mayo, julio y septiembre de 2007 y enero de 2008. Perfil de oxígeno registrado en los meses de mayo y septiembre del 2007.

En los muestreos realizados para los valores del perfil de oxígeno se observan niveles óptimos para el desarrollo de la vida acuática en toda la columna de agua. En la figura 6 se observa que no existe anoxia en las áreas de mayor profundidad, siendo los primeros 8 metros los que tienen mejores niveles de oxígeno con valores entre 6 y 9 mg/l, la oxícula se encuentra entre los 8 y 12 metros.

Igualmente se midieron los valores de T y oxígeno disuelto a nivel superficial para los diferentes puntos de muestreo (1-5) de la laguna. En las figuras 7 y 8 se ha registrado un mapa de superficie de la variación de estos parámetros.

Puede observarse como en el mes de julio la variabilidad de temperatura en la superficie de la laguna es mayor, con focos fríos en el punto 3 y zonas más calientes en la zona del punto 5. En agosto y octubre la temperatura fue más homogénea con valores medios de 22,2 °C y 21,2 °C, respectivamente.

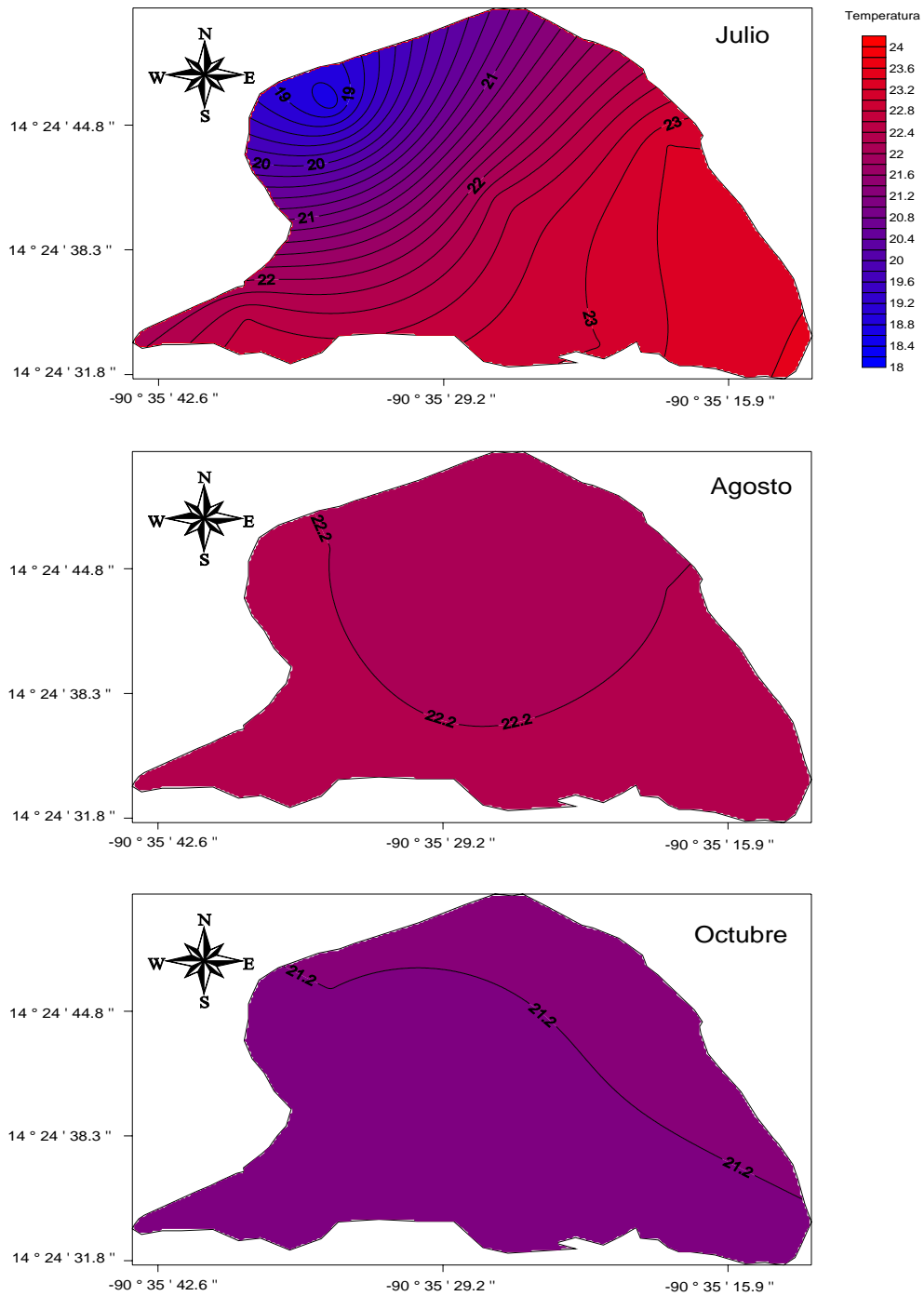


Figura 7. Mapa de superficie de temperatura del agua superficial en la Laguna de Calderas durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007

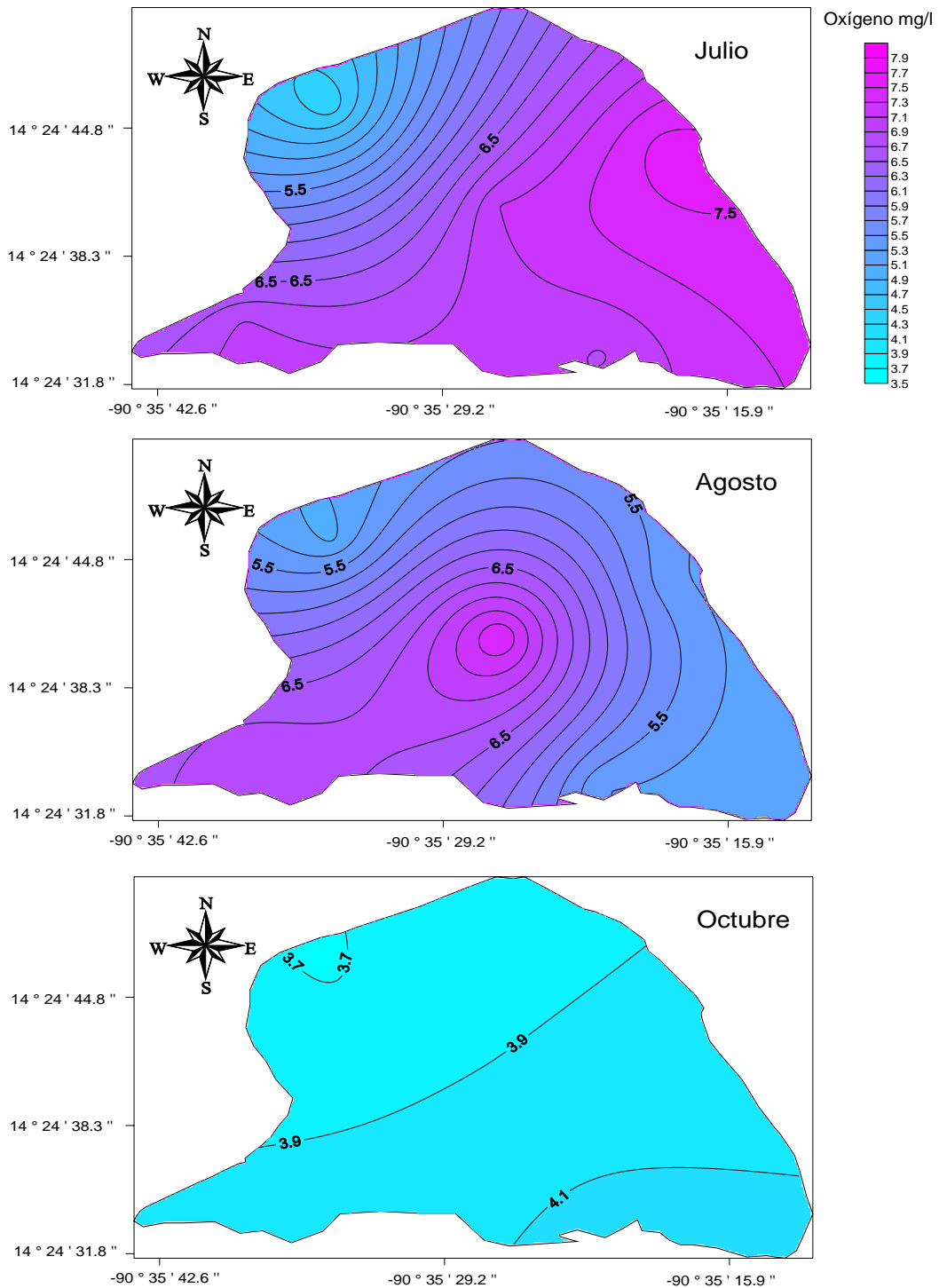


Figura 8. Mapa de superficie de niveles de oxígeno disuelto (mg/l) del agua superficial en la Laguna de Calderas durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007

En cuanto a los niveles de oxígeno disuelto, los valores son homogéneos sólo en octubre, oscilando entre 3,7 y 4,1 g/l. En los meses de julio y agosto existe mayor variabilidad, probablemente debido a la mayor actividad biológica y degradación de la materia orgánica durante estos meses que consume de forma diferente el oxígeno según las zonas. Así, se incrementa este parámetro hasta valores medios de 7-7,5 g/l en la zona central y en el este de la laguna.

3.2.2 Parámetros químicos: pH

Los resultados de los parámetros químicos de calidad de agua, se muestran en la tabla 2 y se han representado en las figuras 9, 11, 13 y 15. Igualmente se ha representado mediante el programa Surfer V.8 la variación de estos parámetros en el espacio (figuras 10, 12, 14 y 16).

Tabla 2. Parámetros químicos de las aguas superficiales de la Laguna de Calderas, monitoreados durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007

Muestra	Fecha	Hora	pH	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
Punto No. 1	09/07/2007	11:05	6,75	0,018	0,050	0,015
	29/08/2007	10:48	7,01	0,019	0,300	0,010
	18/10/2007	10:45	8,50	0,017	0,400	0,010
Punto No. 2	09/07/2007	11:28	6,72	1,400	0,024	0,080
	29/08/2007	11:00	8,05	2,400	0,017	0,140
	18/10/2007	10:55	8,56	0,700	0,018	0,050
Punto No. 3	09/07/2007	11:35	8,36	2,700	0,023	0,230
	29/08/2007	11:20	8,13	2,100	0,018	0,040
	18/10/2007	11:25	8,59	0,900	0,017	0,030
Punto No. 4	09/07/2007	12:01	6,80	1,700	0,018	0,130
	29/08/2007	11:30	8,36	1,400	0,017	0,080
	18/10/2007	11:35	8,56	1,000	0,018	0,030
Punto No. 5	09/07/2007	12:16	6,71	1,100	0,018	0,170
	29/08/2007	11:45	8,37	2,900	0,018	0,050
	18/10/2007	12:00	8,54	0,900	0,018	0,050

El pH de la Laguna de Calderas se encuentra entre los valores de 6,71 y 8,59 lo cual indica un estado que va de neutro a básico, siendo estos valores adecuados para un cuerpo de agua que se esta metabolizando correctamente. Los valores tienden a presentar cambios sucesivos a lo largo del año relacionándose con las estaciones seca y lluviosa. La estación lluviosa en Guatemala se presenta de mayo a octubre y de noviembre a abril la época seca. No obstante, estos parámetros fueron analizados en la época de lluvias únicamente.

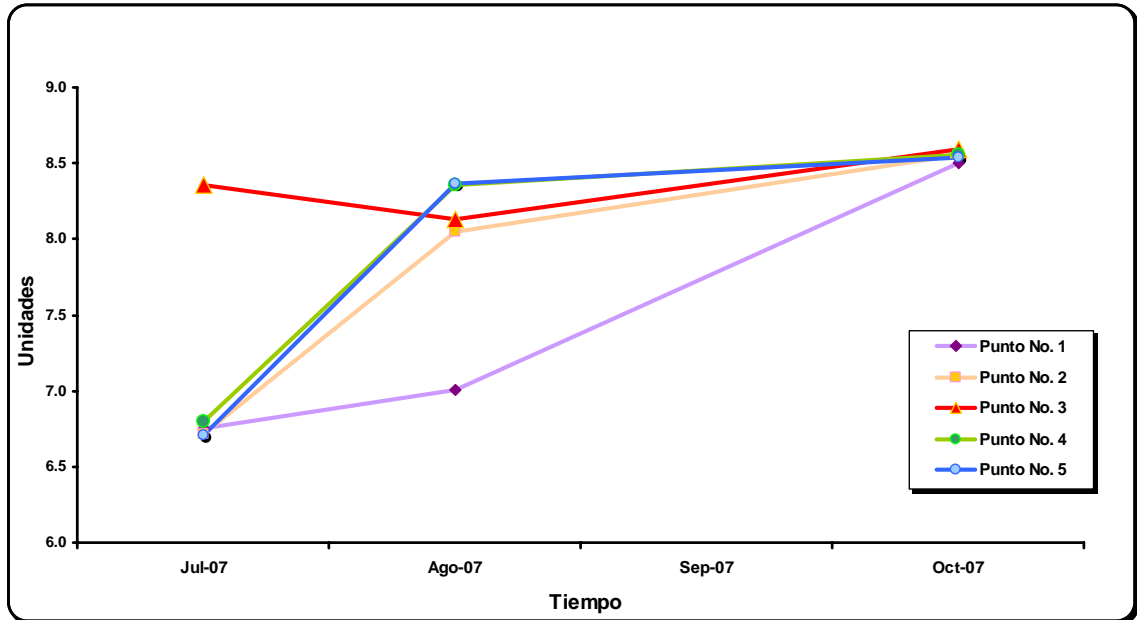


Figura 9.- Valores de pH en superficie de la laguna de Caldera Julio a Octubre de 2007

En general, los valores de pH más bajos se dieron en el primer muestreo para todos los puntos excepto el 3 y en el segundo muestreo únicamente para el punto 1. Del mapa de superficie de la variación de pH desde verano hasta otoño (figura 10) se puede observar este aumento de pH durante ese período, detectándose la ligera acidez mencionada en la zona sur y sur-oeste de la Laguna de Calderas en julio. Las restantes medidas de pH tuvieron valores próximos a 8-8,5 que son valores usuales para muestras lacustres. Esta disminución en los valores de pH puede estar ocasionada por la influencia antrópica que recibe la laguna, con aguas de descarga de la población que son vertidas en estos puntos. La materia orgánica al descomponerse produce dióxido de carbono, el cual forma ácido carbónico, teniendo como consecuencia la disminución del

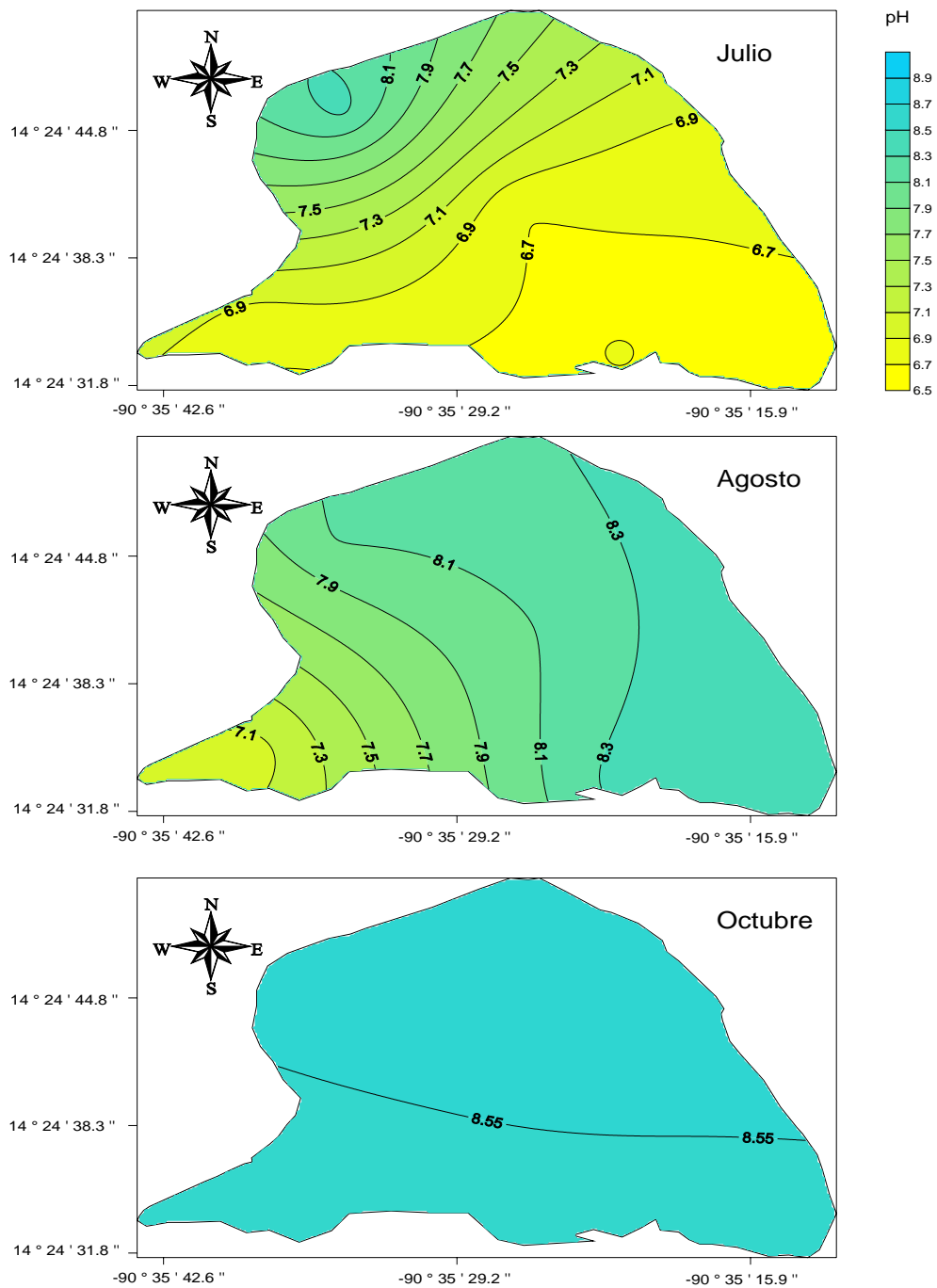


Figura 10. Mapa de superficie del valor de pH del agua en la Laguna de Calderas durante los meses de julio, agosto y octubre de 2007

El punto 1 presenta valores de pH menores que los demás puntos, esto puede ser a que el mismo tiene mayor intervención antrópica, debido a que las aguas de descarga de la población son vertidas en esa área. La materia orgánica al descomponerse produce dióxido de carbono, el cual forma ácido carbónico, teniendo como consecuencia la baja del pH. Este efecto se puede presentar con mayor intensidad en el punto 1 dado que se encuentra en una zona semicerrada. Por el contrario el punto 3 tiene una tendencia a presentar valores de pH alcalinos, demostrando con ello que la localización del mismo, al estar alejada de la influencia de la población, permite que el agua se mantenga en este pH.

Los puntos 2, 4 y 5 se comportan de forma similar entre ellos, con niveles bajos de pH en julio aumentándose a lo largo del año hasta llegar a octubre con valores ligeramente alcalinos; a pesar que estas áreas tienen influencia por parte de las poblaciones ribereñas, puede ser que el alto contacto con el volumen de agua, permita una metabolización y recuperación adecuada del ecosistema.

2.2.3 Parámetros químicos: nitratos, nitritos y fosfatos

Los organismos productores asimilan el nitrógeno en forma de nitrato. Su presencia puede ser debida a aportes de aguas agrícolas y no presentan un excesivo riesgo para la calidad del agua de la laguna. Por el contrario, la presencia de nitritos suele ser debida a contaminación por aguas residuales con mayor impacto ambiental.

La variación de los niveles de concentración del nitrato en las aguas fue de 0,017 a 2,90 mg/l (figura 11). En este caso, el punto 1 presenta valores bajos en comparación con el resto de los puntos de muestreo, pudiendo deberse a que ésta área se localiza en un sector semicerrado y no permitir a las bacterias que se encuentran en el cuerpo de agua metabolizar el nitrógeno al nitrato.

Los puntos 2, 3, 4 y 5 se localizan en áreas abiertas de la laguna, éstas áreas están más oxigenadas, con mayor capacidad de degradar la materia orgánica en descomposición y pueden transformar el nitrógeno a la forma asimilable con mayor facilidad, sin embargo el contenido más alto de nitratos en éstos puntos, se puede deber a que alrededor de éstas áreas se desarrolla con mayor intensidad la actividad agrícola, la que demanda utilización de fertilizantes con altos contenidos de nitratos. En el mes de octubre se tienen los valores más bajos, período en el que el proceso de fertilización en la agricultura ha terminado debido a la finalización de la época lluviosa.

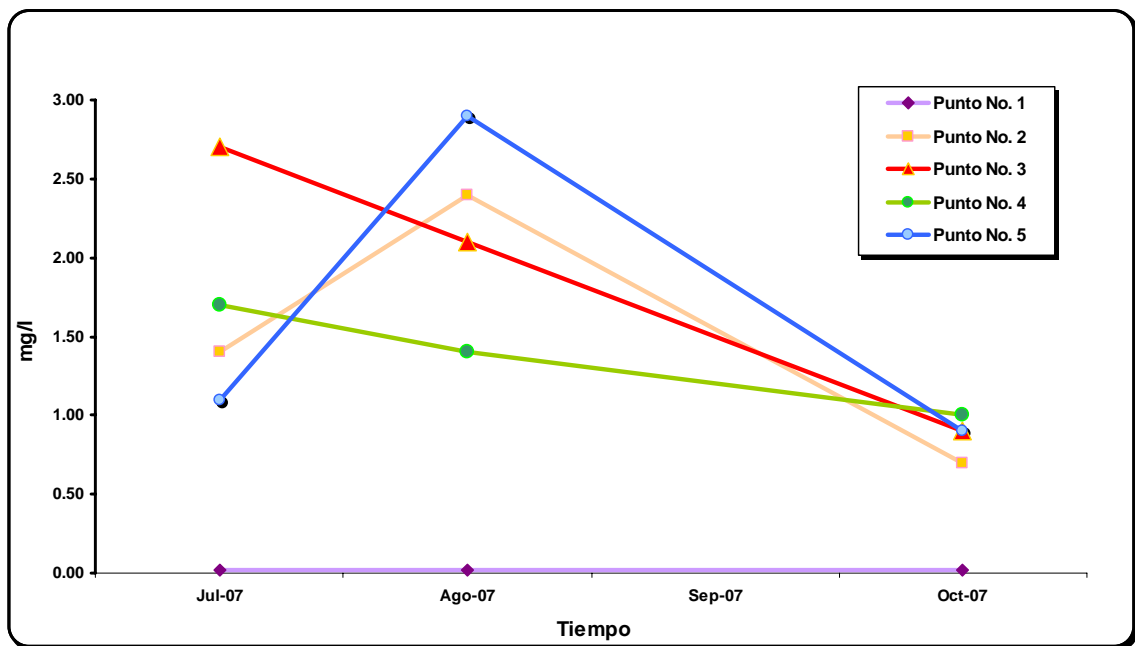


Figura 11.- Concentración de nitratos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreos de julio a octubre de 2007).

De la distribución superficial recogida en la figura 12 se puede observar fácilmente una distribución más homogénea de este parámetro en este último mes de octubre, mientras que en julio y agosto el gradiente de concentración se intensifica, con puntos de mayor valor en la zona norte para el mes de julio y en la zona sur en agosto.

Las concentraciones de nitritos encontradas en las aguas superficiales oscilaron entre valores de 0,017 y 0,024 mg/l (figura 13). Únicamente, para el punto 1 en los 3 meses muestreados se observaron niveles mucho mayores de entre 0,05 y 0,4 mg/l. Según se describe en la bibliografía (Roldán 1992), concentraciones superiores a los 0,5 mg/l suponen un problema ambiental en los cuerpos de agua naturales ya que se vuelven tóxicos para el desarrollo de la vida de los peces. Por tanto, en esta laguna comienzan a ser preocupantes los niveles de este parámetro en el punto de muestreo 1.

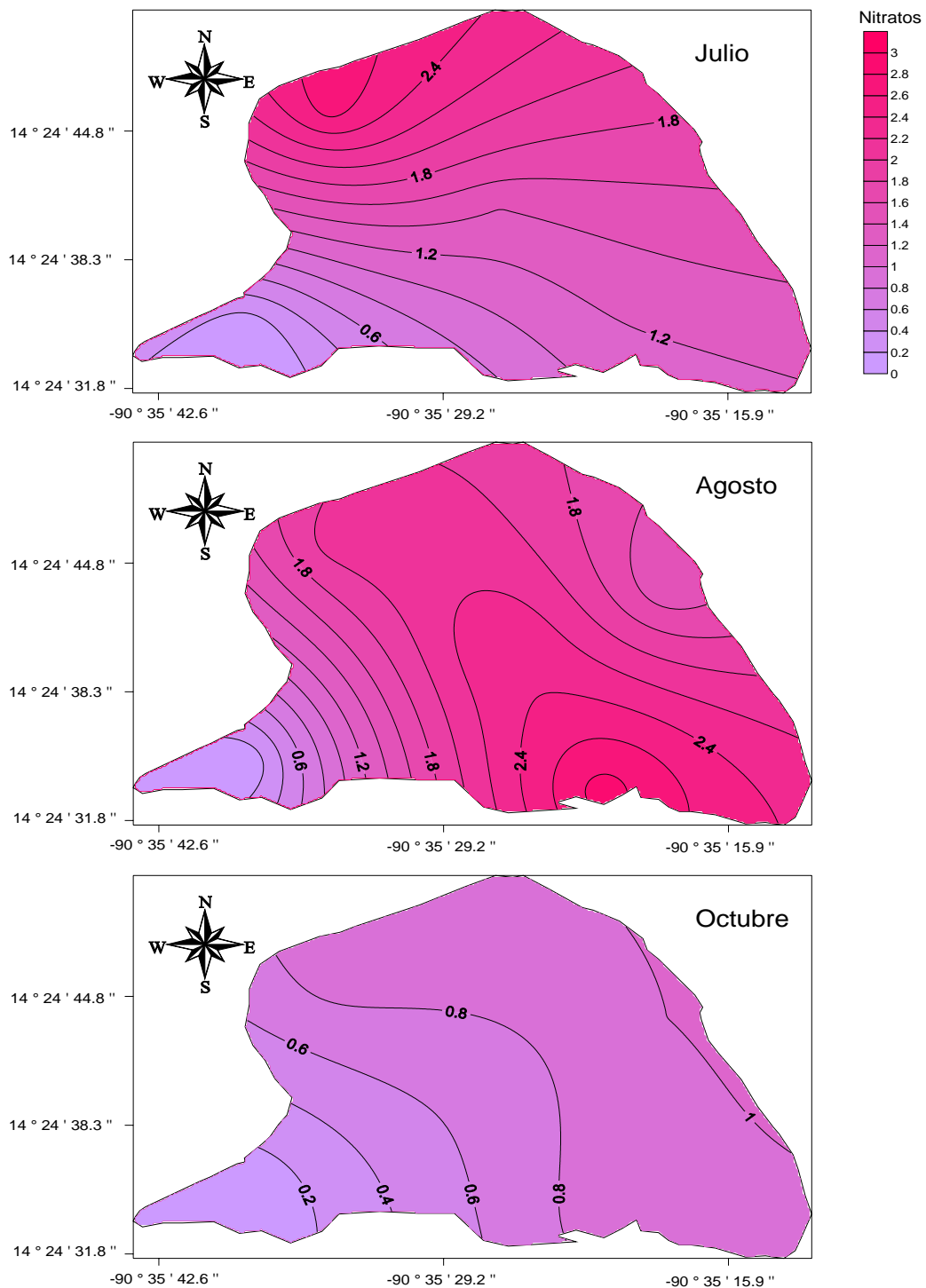


Figura 12. Mapa de superficie de la concentración de nitratos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestrs de julio a octubre de 2007)

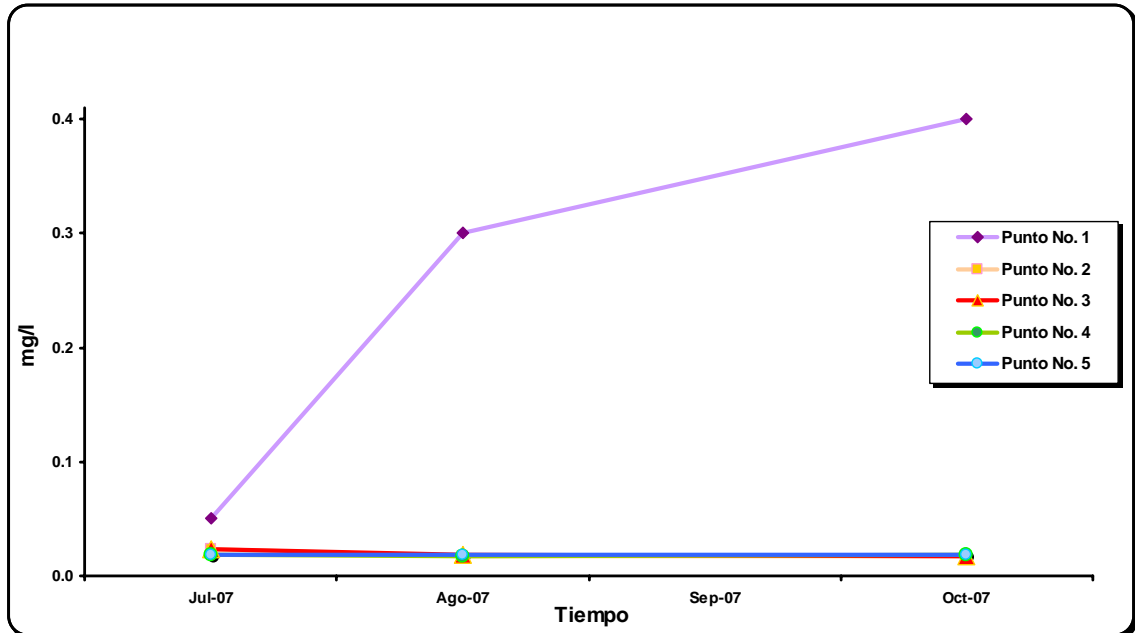


Figura 13.- Concentración de nitritos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreos de julio a octubre de 2007).

Este foco de nitritos puede observarse claramente en el mapa de superficie (figura 14) sobre todo en los meses de agosto y octubre, probablemente debido a la influencia antrópica y a la localización semicerrada del mismo. Esto puede favorecer un medio anaeróbico y permitir que las bacterias que transforman la materia orgánica produzcan directamente nitritos.

Los aportes de materia orgánica por parte de la población ribereña corresponden principalmente a aguas residuales, debido a que carecen de sistemas de saneamiento. La materia orgánica presenta grandes concentraciones de nutrientes principalmente los de origen nitrogenado, los que durante el proceso de descomposición producen nitritos. El comportamiento de los puntos 2, 3, 4 y 5 presentan valores menores al punto 1 debido a que el volumen de agua de estas áreas permite que el ecosistema se recupere del impacto ambiental negativo de las actividades antrópicas.

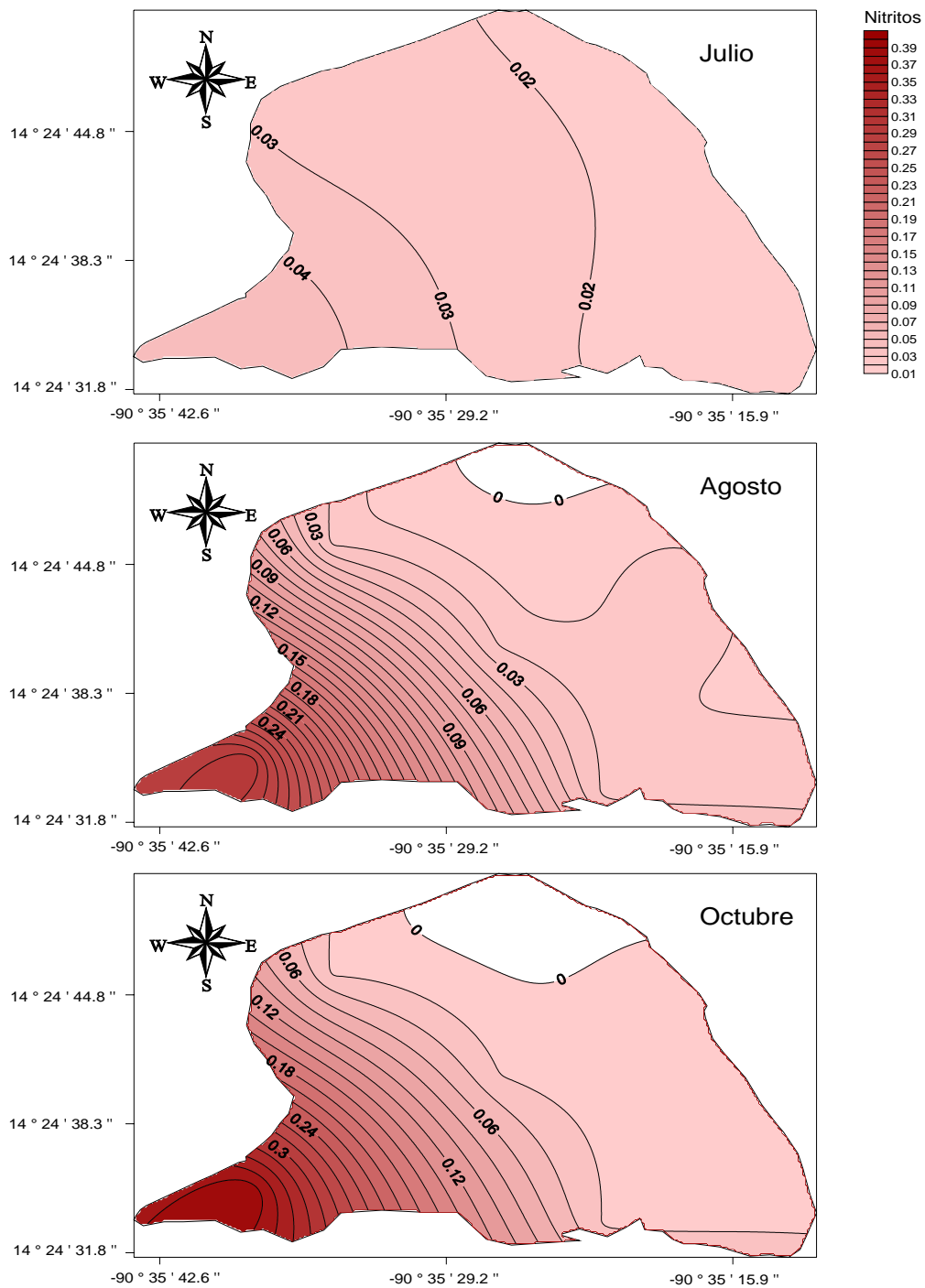


Figura 14. Mapa de superficie de la concentración de nitritos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreos de julio a octubre de 2007)

Al analizar los valores de fosfatos que se detectaron en aguas de la laguna durante la época lluviosa (figura 15 y 16), se evidencia que la concentración de este nutriente es mayor cuando comienzan la lluvias, debido a que los agricultores utilizan fertilizantes con fosfatos en la micro cuenca de la Laguna de Calderas. Este comportamiento comienza a disminuir cuando esta época está por finalizar en el mes de octubre. El punto 1 presenta valores más bajos que los puntos 2, 3, 4 y 5, al igual que ocurría con los nitratos. Esto se debe a que ésta es un área semicerrada y con menor influencia de siembras agrícolas.

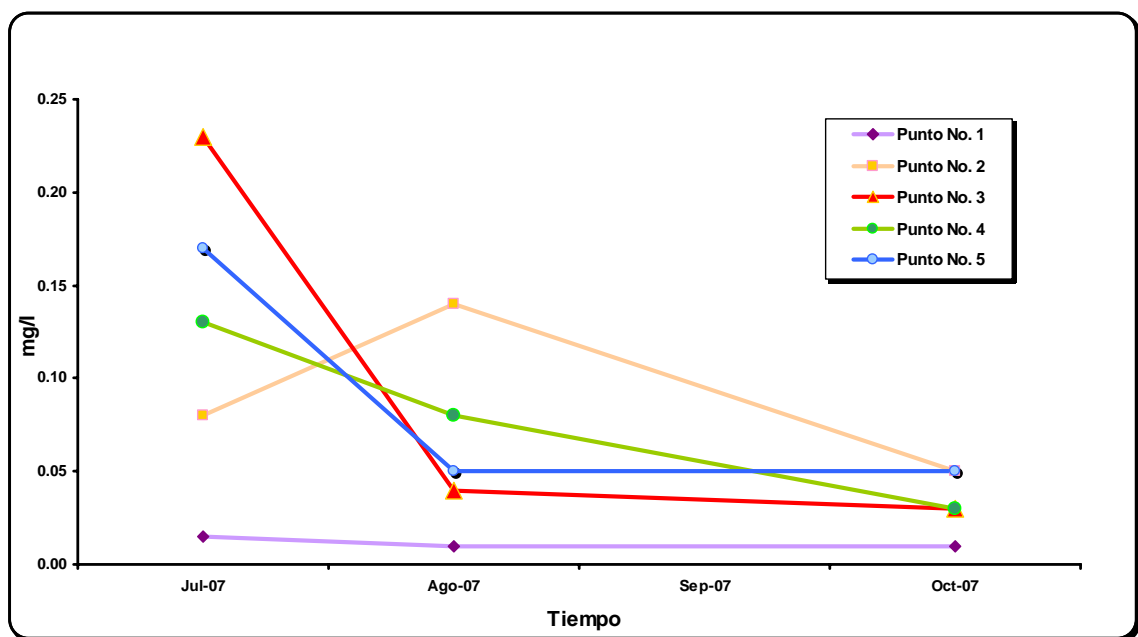


Figura 15.- Concentración de fosfatos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreos de julio a octubre de 2007).

El mapa de superficie (figura 16) de los niveles de fosfato es muy significativo, comprobándose como durante el último mes este parámetro es más homogéneo en la laguna, y detectándose los mayores valores en la zona noroeste en julio y en la zona central en agosto.

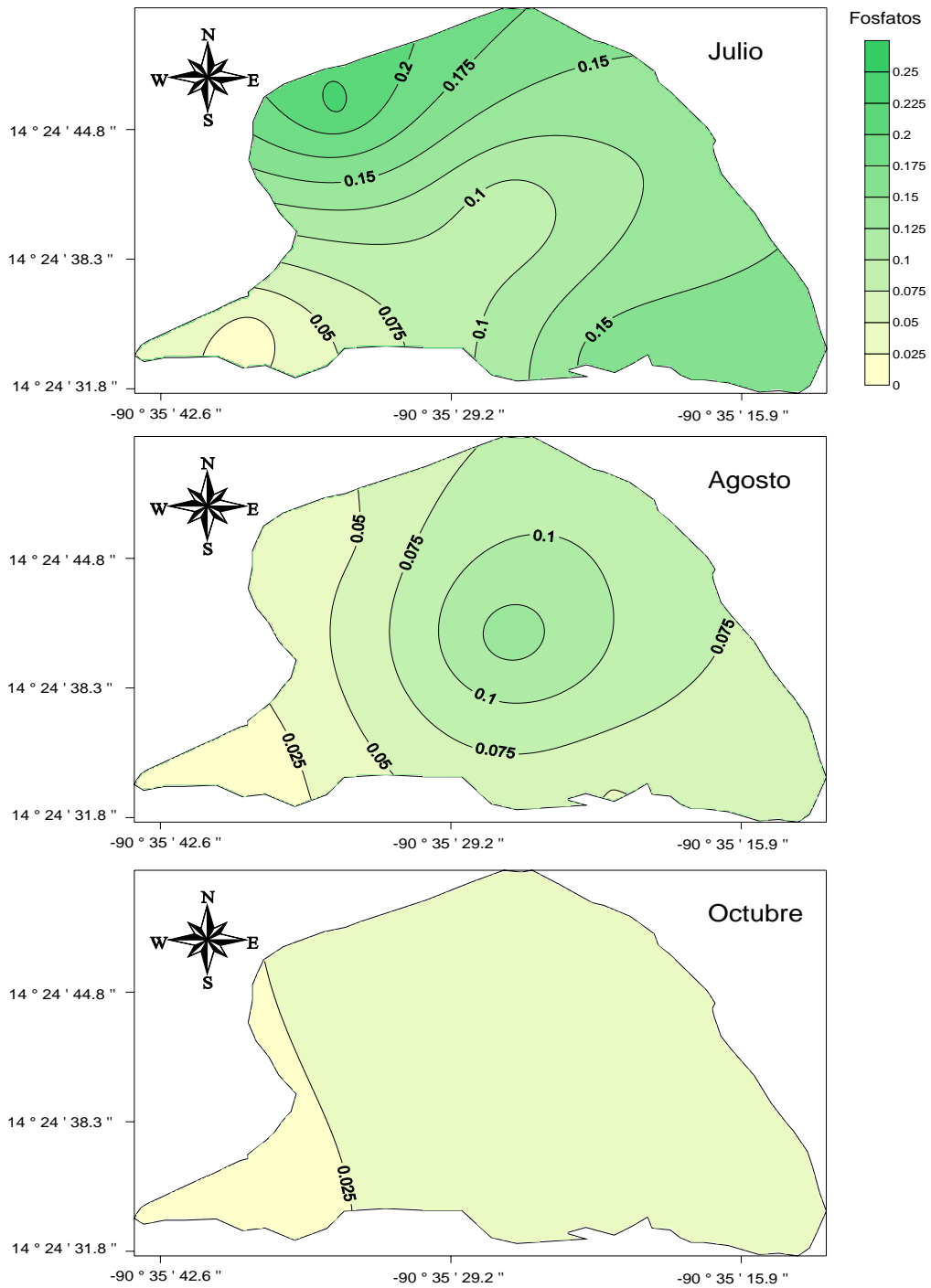


Figura 16. Mapa de superficie de la concentración de fosfatos (mg/l) en aguas superficiales de la Laguna de Calderas (muestreos de julio a octubre de 2007).

3.3 Estimación de la biomasa de las especies comerciales de la Laguna de Calderas

La estimación de la biomasa de la ictiofauna en la Laguna de Calderas para el primer muestreo utilizando la técnica de arrastre virtual (Ixquiac & Salaverria, 2002) da un primer estimado de 1554 Kg (límites de confianza 95%: 1042 y 2066 Kg), el segundo muestreo 1652 Kg (límites de confianza 95%: 783 y 2156 Kg), el tercer muestreo 1659 Kg (límites de confianza 95%: 1051 y 2268 Kg), el cuarto muestreo 1069 Kg (Límites de confianza 95%: 289 y 1850 Kg), el quinto muestreo 1486 Kg (límites de confianza 95%: 224 y 2750 Kg), el sexto muestreo 1803 Kg (límites de confianza 95%: 876 y 2162 Kg), lo cual se muestra en las figuras 17 a 22.

La biomasa promedio del laguna es de 1519 Kg (límites de confianza 95%: 876 y 2162 Kg), lo cual representa 2,68 TM/Km² (límites de confianza 95%: 1,5 y 3,8 TM/Km²), lo que confirma y acepta la hipótesis planteada que la productividad de la laguna es baja en relación a otros cuerpos de agua lacustres. En la tabla 3 se indican los valores de estimación promedio de la biomasa y los intervalos de confianza correspondientes.

Tabla 3.- Estimación de biomasa promedio y límites de confianza para los meses evaluados.

Mes	Biomasa (Kg)	Lim Conf. Inf. (95%)	Lim Conf. Sup. (95%)
Abr-07	1554,1	1042	2066
May-07	1652,1	1148	2156
Jul-07	1659,7	1051	2268
Sep-07	1069,7	289	1850
Oct-07	1486,9	224	2750
Ene-08	1803,3	1174	2432
Promedio	1519,2	876	2162

Algunos valores de referencia para evaluar esta productividad se mencionan a continuación: El lago de Amatitlán en Guatemala presenta una biomasa íctica de 5,4 TM/Km² (Ixquiac y Salaverria, 2002); el lago de Nicaragua presenta un rendimiento de 5,9 TM/Km² según describe Orellana; en Panamá el rendimiento pesquero potencial del lago Gatun es de 3,5 TM/Km² según describe Maturell; con valores parecidos se encuentran los lagos Ranco con 3,5 TM/Km² y lago Llanquihue con 3,8 TM/Km² en el sur de Chile según describe Campos; para los lagos y embalses de México, sin embargo se encontraron valores mayores de 5 TM/Km² según describe Rojas Hoya (Vila, I. & E. Fagetti, 1986). Todo ello confirma que la biomasa de esta laguna es relativamente baja.

La alta tasa de recambio de agua de 0,81 al año, aunado a la profundidad, interrumpe los procesos de eutrofización lo que permite a la laguna soportar altas biomásas de peces sin afectar significativamente sus condiciones naturales. Estas condiciones han permitido mantener un nivel oligotrófico en la laguna. La laguna podría soportar una biomasa de peces de 12,8 TM/km², la cual se alcanzaría con mayor productividad primaria, sin embargo no es recomendable llegar a estos niveles de potencial pesquero porque se pondría en peligro la capacidad de auto recuperación de la laguna. Durante los meses de muestreo de la biomasa íctica en la laguna no se evidenció un patrón de distribución de los peces en áreas específicas ni en época del año, ya que se observó una dispersión en toda el área de la laguna.

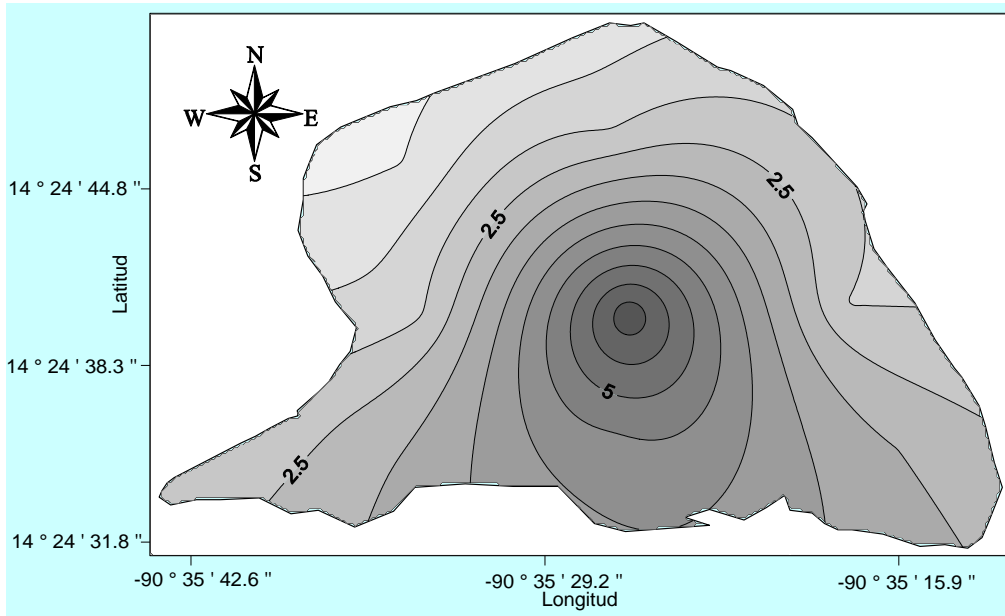


Figura 17. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m^2) de la Laguna de Calderas en abril, 2007

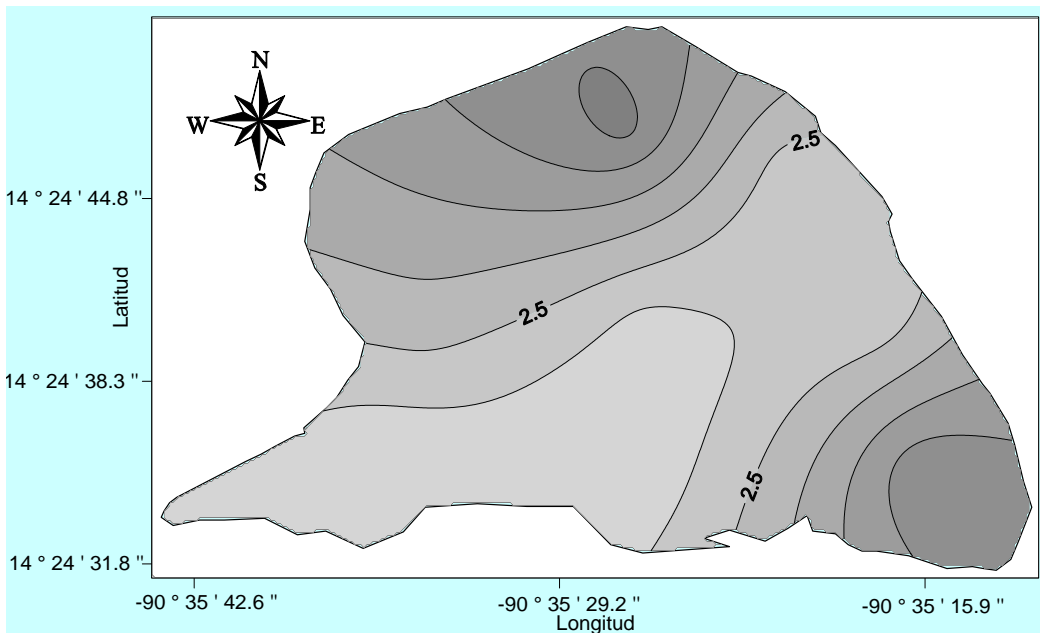


Figura 18. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m^2) de la Laguna de Calderas en mayo, 2007

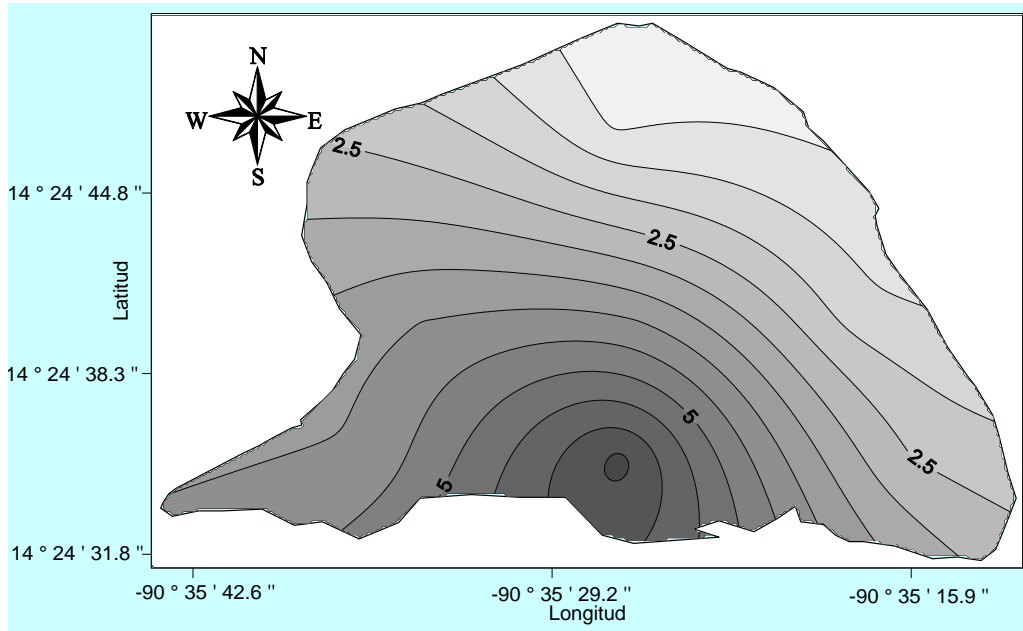


Figura 19. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m²) de la Laguna de Calderas en junio, 2007

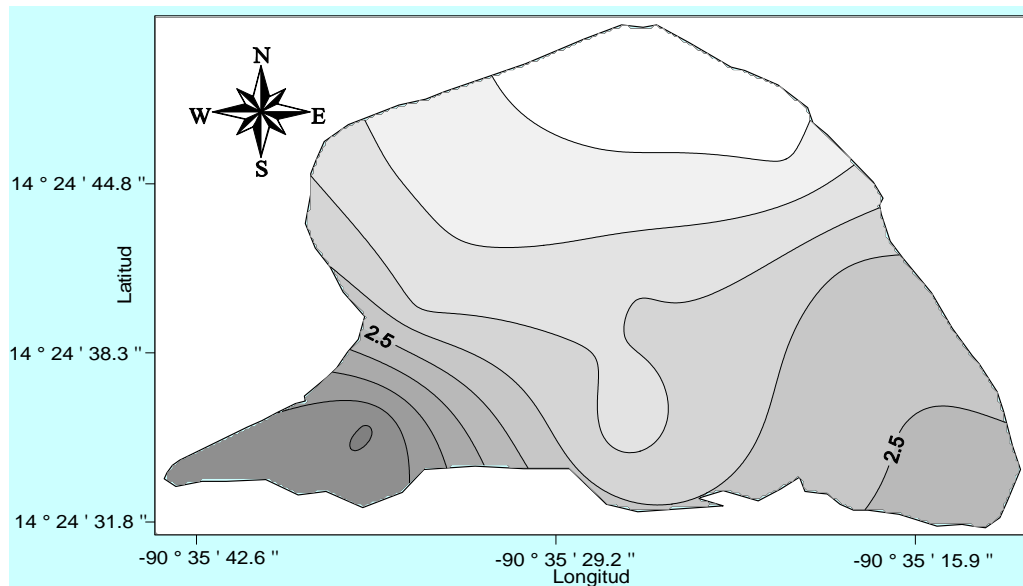


Figura 20. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m²) de la Laguna de Calderas en julio, 2007

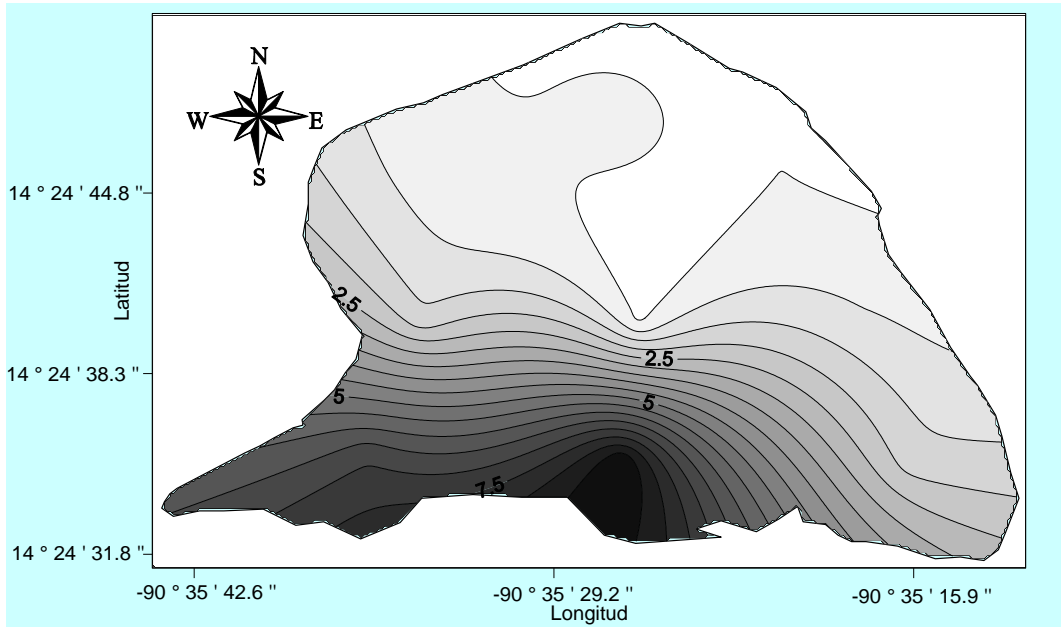


Figura 21. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m^2) de la Laguna de Calderas en octubre, 2007

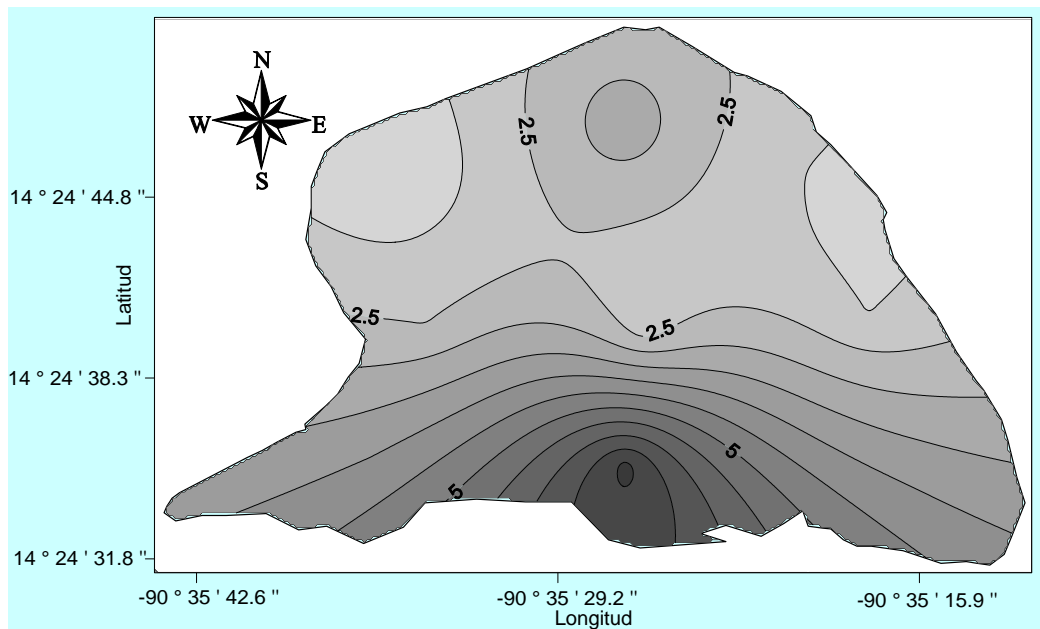


Figura 22. Abundancia relativa de ictiofauna expresada en (gr/m^2) de la Laguna de Calderas en enero, 2008

CONCLUSIONES

1. Los valores en las lecturas de parámetros físicos como lecturas bajas del pH y lecturas mayores de nitritos en puntos cercanos a la población humana, reflejan que la actividad humana contribuye al deterioro de la calidad del agua de la Laguna de Calderas, sin embargo la laguna tiene la capacidad de autodepuración, con las descargas de aguas residuales y de escorrentía que recibe actualmente.
2. La Laguna de Calderas tiene un área de 567035 m² de espejo de agua, 30,6 m de profundidad máxima, 12,51 m de profundidad media y con un 60% del área de la laguna en donde no se superan los 20 m de profundidad. Las zonas norte y noreste son las áreas más profundas y poseen poca área de playa.
3. La termoclina y oxíclina de la Laguna de Calderas se encuentran a una profundidad de 10 m. presenta niveles de oxígeno en toda la columna de agua lo que evidencia que puede sostener vida íctica en toda la columna de agua, el pH de la laguna tiende a ser ligeramente básico, con aportes algo ácidos en la zona suroeste de la laguna, los nitratos, nitritos y fosfatos no presentan niveles tóxicos para el desarrollo de los peces.
4. Durante los meses de época lluviosa se observan las mayores lecturas de nitratos y fosfatos, mes en donde se incrementa el uso de fertilizantes para la actividad agrícola, los cuales llegan al cuerpo de agua a través de la escorrentía, así como la lecturas en los niveles de nitritos.
5. La biomasa de la laguna se estimó en 2,68 TM/Km² (Límites de confianza 95%, 1,5 y 3,8 TM/Km²), aceptándose la hipótesis planteada, en la laguna no se evidencia un patrón de distribución de los peces en áreas específicas ni se caracterizan por las épocas del año.

6. Los peces de importancia para la pesca artesanal en la Laguna de Calderas son los géneros *Oreochromis sp.* y *Micropterus salmoides*.
7. La capacidad de carga de la Laguna de Calderas es de 12.8 TM/K².

RECOMENDACIONES

A la vista de los resultados obtenidos en esta investigación se concluyen las siguientes recomendaciones para el ecosistema estudiado:

1. Realizar monitoreos periódicos de calidad ambiental de la Laguna Calderas en la columna de agua, así como evaluar el efecto de las aguas termales en el fondo de la laguna.
2. Implementar programas de educación ambiental con participación municipal para mejorar las condiciones paisajísticas de la laguna y promover los servicios ambientales y turísticos que la laguna posee.
3. Eliminar la abundancia de la flora acuática presente en las orillas de la laguna, para evitar que las zonas de poca profundidad se obstruyan por los procesos de acumulación de materia orgánica.
4. Replicar este tipo de trabajo en cuerpos de agua similares, dando prioridad en los cuerpos de agua con fauna nativa para recuperar sus poblaciones.
5. Implementar sistemas de cultivo de especies ícticas como fuente de trabajo y alimento para la población de pescadores artesanales de la Laguna de Calderas.
6. Reforestar la cuenca de la Laguna de Calderas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Castañeda, C. 1995. Sistemas lacustres de Guatemala. Guatemala. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. 196 p.
2. Chonay Simón, C, G. 2005. Determinación del Estado de Explotación y parámetros de crecimiento de las especies ícticas de la Laguna de Calderas, municipio de Amatitlán. Guatemala –USAC- . 39p.
3. Coloma. S. 1998. Identificación del Nivel trófico de la Laguna de Calderas y Biodiversidad Biológica de la misma, estudio 1997-1998. Problema especial I. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. USAC. 37 p.
4. Coloma. S. 2000. Caracterización de la diversidad acuática de la Laguna de Calderas. Tesis de grado. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. USAC. 45 p.
5. Dix, Margareth & Fernández Juan F. 2001. Inventario Nacional de los Humedales de Guatemala. San José, CR.: UICN-Mesoamérica: CONAP: USAC. 176 p.
6. García, H. 2007. Componente biológico del área de Laguna Calderas. Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán. 54 p.
7. Holdridge L, W. 1969. Mapa de zonificación ecológica de Guatemala, según sus formas vegetales, Guatemala, 15 p.
8. Instituto de Incidencia Ambiental, Universidad Rafael Landívar. 2006. Perfil ambiental 2006 tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. 249 p.
9. Ixquiac, M; Salaverria, A. 2002. Estado de Explotación de los recursos pesqueros y estimación de la biomasa de las especies ícticas de importancia comercial en el lago de Amatitlán. Guatemala, UNIPESCA –MAGA p. 3 – 5.
10. PREPAC (Proyecto “Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental” GT). 2005. Caracterización del Lago de Atitlán con énfasis en la pesca y la acuicultura. Guatemala, OSPESCA; TAIWAN; OIRSA. 144 p.

11. Sparre, P. y Venema, S. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Part-1 Manual. FAO. Documento técnico de pesca. 306/1. 420 pp.
12. Vila, I. y E. Fagetti (eds), 1986 Trabajos presentados al Taller Internacional sobre ecología y manejo de peces en lagos y embalses. Santiago, Chile, 5–10 de noviembre de 1984. COPESCAL Doc.Téc., (4):237 p.
13. Wetzlar, H.J. 1979. Beiträge zur Biologie und Bewirtschaftung von forellen (Salmon gairdnerii und S. Trutta) in Chile. Freiburg, Br; Albert-Ludwigs – Universität. 264 p.
14. <http://www.fao.org/fi/fcp/es/GTM/profile.htm>. Consultado el 12 de marzo de 2008.