



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE NICARAGUA UNAN-Managua**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BARCELONA**



Maestría en Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tema:

**Características Físicas, Químicas y del
Fitoplancton de la Laguna Costera “Laguna
de Perlas” (RAAS), con énfasis en la Calidad
del Agua.**

Autora: Ing. Junette Auxiliadora Molina Marcia

**Como requisito para optar al grado de Master en Ciencias en
Medio Ambiente y Recursos Naturales.**

Tutor: MSc. Rigel Cisneros.

Asesor Metodológico: MSc. Thelma Corea Sánchez.

Febrero del año 2001

Dedicatoria.

A mis grandes amores:

A mi Madre, **María Auxiliadora Marcia Solís**, a quien le agradezco, por todo lo que soy, por toda su energía transmitida, por su apoyo, su comprensión y su amor.
Por ser la Mejor Madre.

A mi mayorcito, **Cristhian Alberto** y a mi nenito **Jorge Carlos**, por ser ellos, el motor que le da la fuerza a mi vida.

A mi esposo, **Jorge Cuadra Leal**, por todo el apoyo y el amor demostrado a lo largo de todos estos años.

A todos mis hermanos, a quienes quiero mucho.

Agradecimientos.

Ante todo, agradezco a Dios por toda la fortaleza brindada: antes, durante y después.

A todo el cuerpo docente español, en especial a Joan Franch i Battle, coordinador de la maestría y a Jordi To Figueras.

Al Rector de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) Dr. Francisco Guzmán Pasos, por todo el apoyo brindado a lo largo de la maestría.

Al Maestro. Salvador Montenegro Guillén, Director del Centro para la Investigación para los Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA - UNAN), por todo el apoyo proporcionado.

A mi tutor de Tesis Maestro Rigel Cisneros por su colaboración y orientación en el desarrollo de mi trabajo, por todas sus aportaciones.

A la Maestra Thelma Corea, por la asesoría estructurar metodológicamente el manuscrito, por el aporte de sus conocimientos.

A la Lic. Ileana Mairena, por haberme permitido participar en este estudio.

Un agradecimiento especial al MSc. Jorge Cuadra Leal, por la revisión de todo el manuscrito, por todas sus aportaciones.

Al Ing. Oscar Cruz Meléndez por todos sus aportes.

A todas y todos mis colegas del Dpto. de Hidroquímica, por todo el apoyo brindado, a Sandra Calero, a Edwin Mejía, a Ivette López, a Selvia Flores, y a Sylvia Fuentes, en especial al Ing. Víctor Martínez por la revisión del manuscrito.

A la MSc. Ninoska Chow, por la revisión y contribución aportada en el área de fitoplancton.

A la Maestra María Helena Vargas, por todos sus comentarios.

A la Lic. Reyna Palma, "por aguantarme" y facilitarme la bibliografía solicitada.

Al Proyecto del Desarrollo Integral de la Pesca Artesanal de Laguna de Perlas (DIPAL), por todo el apoyo logístico ofrecido en el campo para la toma de las muestras.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron para la realización de este estudio y que no han sido mencionadas, les estoy muy agradecidos.

Indice

	Pagina
Titulo	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Indice	iv
Indice de tablas	vii
Indice de figuras	ix
Indice de anexos	xi
Resumen	xii
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivos generales	3
2.2. Objetivos específicos	3

3. MARCO TEORICO	4
3.1. Caracterización general de los estuarios y sistemas lagunares estuarinos	4
3.2. Caracterización general de la Laguna de Perlas	6
3.3. Antecedentes	8
3.4. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas	9
3.4.1. Características físicas	10
3.4.2. Características químicas	13
3.4.3. Indicadores de contaminación orgánica	16
3.4.4. Características biológicas: Fitoplancton	19
4. PREGUNTAS DIRECTRICES	24
5. METODOLOGÍA	25
5.1. Tipo de estudio	25
5.2. Universo de estudio	25
5.3. Muestra del estudio	25
5.4. Aspectos considerados en el estudio	27
5.5. Procedimientos técnicos para la recolección de la información	28

5.6.	Técnicas para el análisis de la información	32
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
6.1.	Caracterización estacional y espacial de aspectos físicos y químicos de la Laguna de Perlas	36
6.1.1.	Análisis de las características físicas	36
6.1.2.	Análisis de las características química	50
6.1.3.	Análisis de los indicadores de contaminación orgánica	60
6.2.	Caracterización estacional y espacial de aspectos biológicos	64
6.2.1.	Análisis de la composición y abundancia del fitoplancton	64
6.3.	Relación de parámetros físico-químicos y biológicos	70
6.3.1.	Índice de la calidad del agua	70
6.3.2.	Índice trófico de Carlson	71
7.	CONCLUSIONES	72
8.	RECOMENDACIONES	73
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	75
10.	ANEXOS	81

INDICE DE TABLAS

No.	NOMBRE	PAGINA
Tabla N°1	Valores de Temperatura, expresados en °C	36
Tabla N°2	Valores de Salinidad, expresados en partes por mil (‰)	38
Tabla N°3	Valores de Color Verdadero, expresados en mg.l ⁻¹	41
Tabla N°4	Valores de Turbidez (UNT), encontrados en los cuatro meses de muestreo	43
Tabla N°5	Valores de Transparencia del Disco Secchi (cm), encontrados en los cuatro periodos de muestreo	46
Tabla N°6	Valores de Alcalinidad, expresados en meq.l ⁻¹	47
Tabla N°7	Valores de pH, expresados en unidades de pH	47
Tabla N°8	Relación de Iones Cloruro-Bicarbonato (rCl / rHCO ₃)	50
Tabla N°9	Valores Iónicos, expresados en meq.l ⁻¹ , correspondientes al mes de marzo de 1999	50
Tabla N°10	Valores Iónicos, expresados en meq.l ⁻¹ , correspondientes al mes de septiembre de 1999	51
Tabla N°11	Valores Iónicos, expresados en meq.l ⁻¹ , correspondientes al mes de noviembre de 1999	53

Tabla N°12	Valores Iónicos, expresados en meq.l ⁻¹ , correspondientes al mes de febrero del 2000	54
Tabla N°13	Valores de Hierro Total, expresados en mg.l ⁻¹56
Tabla N°14	Valores de Silice, expresados en mg.l ⁻¹	57
Tabla N°15	Valores de Saturación de Oxígeno Disuelto, expresados en %	60
Tabla N°16	Valores de Coliformes Fecales, expresados en CF/100ml	61
Tabla N°17	Abundancia del Fitoplancton, expresada en células por mililitro, correspondiente a los cuatro meses de muestreo	65
Tabla N°18	Valores calculados para el Índice de Calidad de Agua (ICA)	70
Tabla N°19	Valores Medios Calculados para el Índice del Estado Trófico (IEF) de Carlson	71

INDICE DE FIGURAS

No.	NOMBRE	PAGINA
Figura N°1	Cambios estacionales y espaciales de la temperatura en la Laguna de Perlas	37
Figura N°2	Cambios estacionales y espaciales de la salinidad en la Laguna de Perlas	40
Figura N°3	Distribución temporal y espacial del color verdadero en la Laguna de Perlas	42
Figura N°4	Distribución estacional y espacial de la turbidez en la Laguna de Perlas	45
Figura N°5	Regresión lineal entre la transparencia del disco Secchi (cm) y la turbidez (UNT) en la Laguna de Perlas	46
Figura N°6	Distribución estacional y espacial de la alcalinidad (meq.l ⁻¹) en la Laguna de Perlas	48
Figura N°7	Tipos hidroquímicos de la Laguna de Perlas	55
Figura N°8	Correlación lineal entre el hierro total (mg.l ⁻¹) y la turbidez (UNT)	57
Figura N°9	Distribución estacional y espacial del sílice (mg.l ⁻¹)	59
Figura N°10	Distribución estacional y espacial del % de saturación de oxígeno disuelto para Laguna de Perlas	61

Figura N°11	Distribución estacional y espacial de bacterias coliformes fecales/100 ml	63
Figura N°12	Distribución de los principales grupos de fitoplancton (%), de la Laguna de Perlas	64
Figura N°13	Distribución y abundancia de los principales grupos de fitoplancton (células por mililitro), de la Laguna de Perlas	69
Figura N°11	Distribución estacional del índice de calidad del agua (ICA) .	70

INDICE DE ANEXOS.

No.	NOMBRE	PAGINA
ANEXO N°1	Mapa de Ubicación Geográfica de la Laguna de Perlas	82
ANEXO N°2	Ubicación Geográfica de los 8 puntos de muestreo .	83
ANEXO N°3	Descripción de los procedimientos Analíticos . .	84
ANEXO N°4	Lista de los grupos, géneros y especies del fitoplancton Identificados en la Laguna de Perlas . . .	96
ANEXO N°5	Cálculo del Índice de Calidad del Agua por mes y punto de muestreo	98

RESUMEN

El presente estudio fue realizado en la Laguna de Perlas, ubicada en la parte central de la Costa Atlántica Nicaragüense, en los meses de marzo, septiembre y noviembre de 1999 y en el mes de febrero del año 2000. Se caracterizó la zona fótica de la laguna desde el punto de vista físico-químico y biológico, haciendo énfasis en la calidad del agua. El gradiente salino superficial se refleja entre el volumen de agua dulce proveniente de las descargas de los ríos y la dinámica de la entrada del agua de mar. En los meses secos la laguna se caracterizó por ser salobre oligohalina (0,5-3,0 ‰) en su parte mas interna hasta alcanzar el grado de agua de mar oligohalina (17-30 ‰). En la época lluviosa la laguna se comportó en su zona mas interna con un sistema léntico de agua dulce (< 1‰) y en la zona mas externa como agua salobre mesohalina (3-10 ‰). El color verdadero fue bajo en los meses secos y alto en la zona interna del mes mas lluvioso aducido al aporte de materia orgánica que transportan los ríos que drenan a la laguna. Los valores de turbidez mostraron un comportamiento heterogéneo en los meses secos asociados a los vientos alisios del norte, los que provocan que el sedimento de la laguna debido a la poca profundidad de la misma se suspendan en toda la columna de agua. Para el mes lluvioso la turbidez se relaciona con el proceso de remoción de los sedimentos al recibir grandes volúmenes de agua. Se logró evidenciar la correlación lineal positiva de los valores de hierro total con los de turbidez, destacando que los valores de hierro están en dependencia de los materiales en suspensión. El tipo hidroquímico predominante fue el Clorurado-Sódico, a excepción del mes de septiembre que en la zona mas interna mostró el tipo Bicarbonatado-Clorurado-Sódico. En ninguno de los meses de muestreo se observó sobresaturación de oxígeno disuelto, así como tampoco se observaron características anóxicas en la laguna. Las bacterias coliformes fecales no mostraron indicios de contaminación. Se identificaron un total de 72 taxa de algas, 7 taxa corresponden a las cianophyta, 15 a las chlorophyta, 45 a las bacillariophyta, 3 a las euglenophyta y 2 a las dynophyta. El grupo predominante fue la bacillariophyta con el 58 % de la densidad total. De acuerdo al Índice de Calidad del Agua, se clasificó el agua de la laguna como Agua de buena calidad. Por el Índice de Estado Trófico utilizado se clasificó a la laguna como mesotrófica con tendencia a la eutrofización.

1 INTRODUCCION

Las lagunas costeras, como ecosistemas, son hábitats de gran importancia por sus características ambientales fisicoquímicas y por su alto potencial de recursos bióticos.

La zona costera de la RAAS (Región Autónoma del Atlántico Sur) es un área de gran importancia económica, ecológica y cultural para Nicaragua y Centroamérica, esta región posee la mayoría de los recursos naturales del país. Dentro de dichos recursos se encuentra un sistema de lagunas, las que están ubicadas en la parte central del Caribe Nicaragüense. Este sistema lagunar tiene una extensión de 625 km² y lo conforman tres lagunas con una única salida al mar, al sur del mismo: Laguna de Perlas, Laguna de Top Lock y Laguna Sunni.

La Laguna de Perlas, objeto del presente estudio, es la más grande de toda la región costera del Atlántico de Nicaragua, su extensión es de 520 km², su importancia se enmarca en el valor ecológico y económico que representa para la población que habita en la ribera como medio de transporte, así como para la economía nacional ya que de ella se obtiene una parte importante del rubro de las exportaciones por la actividad de la pesca que realizan las comunidades que la rodean. La misma se caracteriza por la influencia del mar Caribe y de grandes ríos como el Wawashang, Patch, Ñari y otros de menor tamaño. El aporte de estos ríos puede presentar como consecuencia: sedimentación, arrastre de nutrientes, materia orgánica y agentes contaminantes que pueden incidir en la calidad del agua de la laguna.

Las actividades antropogénicas también pueden influir en la calidad del agua en muy diversas formas, ya que ésta, es también receptora de los desperdicios de las actividades que se desarrollan en las comunidades aledañas, así como de los residuos orgánicos de las plantas procesadoras de pescado y mariscos ubicadas en

las subcuencas tributarias. El aumento de la población, incide en la deforestación de la región cercana a la laguna, la pesca, el turismo y cualquier otra actividad, provocando desequilibrios en el ecosistema expresados en alteraciones de las condiciones físicas, químicas y biológicas, principales indicadores de la calidad del agua, por lo que el presente estudio tiene como propósito generar información, relacionada con la calidad del agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas, debido a que en ella se producen los procesos físico-químicos y biológicos más relevantes.

Estudios de esta naturaleza son importantes, dado que sientan antecedentes sobre las condiciones de los ecosistemas. La presente investigación servirá de base para realizar acciones de manejo integrado y sostenible en la Laguna de Perlas, las que vendrían a garantizar la protección y conservación de uno de los principales recursos hídricos del Atlántico de Nicaragua que puede ser aprovechado adecuadamente para mejorar la calidad de vida de los pobladores de las comunidades aledañas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar la calidad del agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas, a partir de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos (fitoplancton).

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar desde el punto de vista físico el agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas.
- Caracterizar desde el punto de vista químico el agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas.
- Caracterizar la composición y la abundancia del fitoplancton en la zona fótica de la Laguna de Perlas.
- Evaluar algunos indicadores de contaminación relacionados con la calidad del agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas.
- Relacionar la composición y la abundancia del fitoplancton con las condiciones físico-químicas caracterizadas en el área de estudio.

3 MARCO TEORICO

3.1 Caracterización General de los Estuarios y Sistemas Lagunares Estuarinos.

Histórica y tradicionalmente el término estuario es aplicado para indicar la región interior de un ambiente costero, donde es observada la entrada de agua del mar y la mezcla con el agua dulce proveniente del drenaje de las aguas de origen continental. Un estuario es conceptualmente definido por Pritchard, 1955; Cameron & Pritchard, 1963:

“Es un cuerpo costero de agua semi-cerrado, con libre conexión con el océano, en el interior del cual el agua de mar es diluida por el agua dulce de drenaje continental”

Es evidente que esta definición tradicional de estuario podría ser generalizada para albergar una mayor variedad de ambientes costeros (bahías, lagunas costeras, canales, deltas, etc.), afectados por diferentes regímenes de descarga de agua dulce (Bruner, 1990), clasificándose Laguna de Perlas como una laguna costera estuarina.

Con base en la información científica generada a lo largo de muchos años por numerosos especialistas, es posible afirmar que los ecosistemas costeros en general y las lagunas costeras en particular, constituyen recursos naturales de un gran valor ecológico, productivo, económico y social (<http://www.lztapalapa.uam.mx>).

Las lagunas costeras son cuerpos acuáticos litorales que tienen, en su mayoría, comunicación permanente o efímera con el mar y son el resultado del encuentro de masas de agua de diferentes características. Lo anterior causa fenómenos peculiares en su comportamiento físico, químico y biológico, con las consecuentes pautas ecológicas. La característica de comunicación efímera o aislamiento relativo con el mar resulta en una ventaja para los organismos marinos, ya que representa para

ellos una zona de resguardo y abrigo, pero también de abundante alimento y refugio. Generalmente, las lagunas están rodeadas de una exuberante vegetación y las raíces de plantas, como los manglares y sus áreas adjuntas, brindan inmejorables zonas de alevinaje, (Idem). En su estado natural, las lagunas costeras son ecosistemas complejos altamente adaptables a los variados cambios de su entorno y son también sumamente susceptibles a los impactos y alteraciones humanas.

Según Brenes & Castillo, 1999, estos sistemas lagunares estuarinos poseen las siguientes características físicas:

- Son sistemas casi cerrados por barreras que los aíslan parcialmente del océano.
- En estos sistemas se mezcla el agua dulce de los ríos con el agua salada del océano.
- Este aporte de agua dulce acarrea materiales disueltos y suspendidos, el cual representa para las lagunas el principal subsidio de energía. La mayoría de los nutrientes y sedimentos generalmente vienen de los ríos.
- Son sistemas someros, de manera que el sustrato es afectado por la turbulencia superficial, por lo que el patrón de estratificación normal rígido del mar, generalmente no existe.
- El patrón de circulación del agua es complejo y fuertemente afectado por la geomorfología, vientos, descarga de ríos y efecto de las mareas.

Las lagunas costeras generalmente se diferencian de los estuarios sobre bases geomorfológicas. Sin embargo, desde el punto de vista ecológico, las lagunas costeras y estuarios constituyen un ecosistema de tipo similar y se puede hablar de un ambiente lagunar estuarino (Brenes & Castillo, 1999). Cada laguna costera difiere de las otras. Estas diferencias fundamentalmente incluyen forma y tamaño, rango de mareas, escurrimiento o arroyos tributarios, clima, número y tamaño de las bocas y tipo de aporte sedimentario (Bruner, 1990).

3.2 Caracterización General de la Laguna de Perlas

La Laguna de Perlas se encuentra ubicada en el centro de la Costa Atlántica de Nicaragua (Anexo N°1). Sus coordenadas geográficas comprenden los 12°18' y 12°48' de latitud Norte y 83°33' y 83°48' de longitud Oeste (Coordenada Norte 1357.5 y 1418.75 y coordenada Este 196 y 224.5). Su extensión es de aproximadamente 520 km², su longitud y ancho máximo corresponde a los 48 y 11 km. respectivamente. Los principales afluentes que desembocan a la laguna son los ríos Wawashang, Ñari y Patch (Ziesler, 1979).

La Laguna de Perlas se comunica con el mar Caribe de manera natural en su extremo sureste, a través de un punto conocido como La Barra. Este punto localizado frente a la comunidad de Laguna de Perlas, mide en su parte más estrecha 450 m y en su parte más ancha 850 m, por la ribera Oeste desembocan tres ríos principales y 19 de menor tamaño. Al Sur, la laguna se une con el río Kukra por el canal artificial Moncada, a través del cual se puede navegar hasta Bluefields atravesando Big Lagoon y Río Escondido. Por la parte norte es irrigada por el río Kurinwás, que drena hacia la laguna a través de tres lagunas, Sunni, Little Sunni y la Laguna de Top Lock. El río Grande de Matagalpa se une a esta última laguna artificialmente a través del canal de Top Lock (Sánchez et al. 1997). Al costado Este de la laguna una delgada península de tierra llamada península Caribal la separa del mar Caribe.

La Laguna de Perlas se caracteriza por ser somera, su profundidad oscila entre los 0.5 y 3 m con promedio en toda su extensión de 2.5 m (Brenes et al. 2000). Debido a que es una laguna costera alimentada por ríos de agua dulce sus aguas son salobres. La salinidad en las lagunas someras es muy variable. La salinidad de la laguna de Perlas varía, tanto por la descarga de sus afluentes como por la alta pluviosidad de la zona.

bancos de ostiones del género *Crassostrea*. El fondo es fangoso y en algunas áreas fangoso-arenoso, se localizan colonias de bivalvos (Sánchez et al. 1997).

3.3 Antecedentes

En el Informe Bienal (1995-1996) del Centro de Investigaciones de Recursos Hidrobiológicos del Ministerio de Economía y Desarrollo de la Pesca (MEDEPESCA) se reportó un estudio en la cuenca de la Laguna de Perlas, donde se realizaron tomas de muestras de cinco parámetros físico-químicos en 1995, los cuales fueron temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, acidez y turbidez. En este estudio, los promedios de temperatura de todo el año variaron en el rango entre 25.4 °C en Diciembre y 32.6 °C en Septiembre. El análisis de salinidad muestra los valores más altos durante la época seca alrededor de los 34 ‰ y los más bajos durante los meses lluviosos hasta llegar a cero, asociado con el aporte de agua dulce proveniente de la descarga de los ríos. Los datos analizados en dicho estudio se consideran que están dentro del rango de las condiciones del típico estuario y los valores obedecen a los cambios climáticos observados temporal y espacialmente. El resultado obtenido permite inferir que este ambiente lagunar es sumamente dinámico, en donde los parámetros físicos de sus aguas están en constante respuesta a condiciones de naturaleza básicamente meteorológica. Por estas características naturales es considerada una zona de reproducción de hábitat temporal o permanente de muchas especies y por lo tanto una de las más importantes de todas las lagunas existentes en toda el área del caribe centroamericano.

Estudios realizados por Pérez (1999) con el auspicio del Proyecto para el Desarrollo Integral de la Pesca Artesanal de la Región Autónoma del Atlántico Sur (DIPAL), sobre la fauna íctica en la Laguna de Perlas, en cruceros de pesca exploratoria llevados a cabo en el período de 1995 a 1998, reportan un total de 57 especies de peces, entre las más importantes se destacan: bagre, róbalo, jureles, corvinas,

mojarras, tiburones, sábalo real, macarela, etc. caracterizando a la laguna como un ecosistema de baja diversidad de especies y alta tasa de crecimiento y abundancia. Brenes & Castillo (1999) bajo la coordinación de DIPAL, realizaron un estudio entre abril de 1995 y diciembre de 1997, que consistió en un levantamiento hidrográfico de la Laguna de Perlas. En este estudio, los parámetros analizados fueron temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y transparencia del disco de Secchi. Los resultados obtenidos de las propiedades termohalinas concluyen que, el máximo de temperatura se ubica en el mes de mayo (32.0 °C) y el mínimo en diciembre (25.6 °C), las mayores salinidades en abril (34 ‰) y las menores salinidades entre julio y agosto (2 ‰), cuando los índices de precipitación anual sobre el área estudiada alcanzan también sus máximos estacionales. Los valores más altos de oxígeno disuelto se observaron entre marzo y mayo (90 %), cuando la transparencia del disco de Secchi, en la laguna alcanza los niveles más altos y el aporte proveniente de las escorrentías es mínimo.

Los valores más bajos de transparencia del disco de Secchi (< 1 pie de profundidad) se observaron en los meses lluviosos, en aquellas zonas bajo la influencia directa de la descarga de los ríos. En época seca la transparencia del disco de Secchi aumenta sustancialmente en toda la laguna, encontrándose áreas en las cuales supera los 5 pies de profundidad.

3.4 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas

La calidad del agua se determina sobre la base de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas y es modificada por el acceso de materiales extraños a la misma, ya sea por acción de la naturaleza misma o como consecuencia de la actividad humana.

3.4.1 Características físicas

Son características físicas aquellas propiedades causadas por sustancias que sólo modifican su estado o su movimiento, pero no su naturaleza. Dentro de las características físicas del agua están la temperatura, salinidad, color verdadero, turbidez, sólidos totales, pH y alcalinidad.

3.4.1.1 Temperatura

La temperatura es una característica física de las aguas, siendo una medida de la energía calórica. El agua en el medio natural puede encontrarse entre cero y su punto de ebullición, aunque normalmente está comprendida entre 0 y 30 °C. El valor de la temperatura del agua depende de muchos factores, como por ejemplo la radiación solar, el clima, la latitud, la estación del año, el flujo, la profundidad, las descargas al medio, etc. (Derisio, 1992; Doménech, 1995).

3.4.1.2 Salinidad

La salinidad de las aguas se caracteriza por la presencia de sales disueltas a concentración elevada, es lo que distingue el agua de mar o salobre del agua "dulce" continental. Normalmente se expresa en gramos de sales por Kg. de muestra, que corresponde a partes por mil (‰).

Clasificación de los diferentes tipos de agua, de acuerdo a su contenido de salinidad. (De Valikangas (1933), citado por McConnaughey, 1974):

Tipo de agua	Contenido de salinidad, partes por mil (‰)
Agua dulce	0 – 0.5
Agua salobre oligohalina	0.5 – 3.0
Agua salobre mesohalina	3.0 – 10.0
Agua salobre polihalina	10.0 – 17.0
Agua de mar oligohalina	17.0 – 30.0
Agua de mar mesohalina	30.0 – 34.0
Agua de mar polihalina	34.0 – 38.0
Salmuera	>38.0

3.4.1.3 Color Verdadero

El color de las aguas naturales se debe, tanto a la presencia de sustancias solubles como a partículas en suspensión. Se denomina *color verdadero*, al color que imprimen las sustancias disueltas y las partículas coloidales (APHA, 1995).

Las sustancias orgánicas pueden impartir color al agua natural. Estos compuestos orgánicos de gran peso molecular, constituyen las fracciones más solubles del humus natural de los suelos, con propiedades coloidales y con intensidad de color que puede variar con la acidez del suelo (Branco, 1969). Por ejemplo los taninos y el humus producidos por la descomposición de la materia orgánica (Doménech, 1995).

3.4.1.4 Turbidez

La turbidez es el resultado de sólidos suspendidos en el agua que reducen la transmisión de luz. Se debe entender claramente que la turbidez es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que hace que los rayos luminosos se dispersen y absorban, en lugar de que se transmitan en línea recta a través de ella. La turbidez se puede comprender como la claridad relativa del agua. Los sólidos suspendidos son variados, entre ellos están las arcillas, los limos, materia orgánica finamente dividida, los sedimentos, el plancton, los desechos industriales y de drenaje. Las fuentes de turbidez pueden ser el resultado de la erosión, descargas de desechos, mezcla de los sedimentos del fondo o la presencia de plancton excesivo que resulta por la abundancia de nutrientes. La turbidez puede afectar el color del agua, desde casi blanco hasta rojizo-café, al igual que verde claro por el florecimiento de las algas. (APHA, 1995; Mitchell et al. 1991).

3.4.1.5 Sólidos Totales

Los sólidos incluyen los materiales de todos los tamaños que hay en el agua. La materia extraña al agua se puede clasificar según su tamaño en moléculas y partículas en suspensión.

Se aplica el término de sólidos totales al material que queda en el recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su secado subsecuente en un horno a una temperatura definida (103 - 105 °C). Los sólidos totales incluyen los sólidos totales disueltos, es decir aquella proporción de los sólidos totales que pasan a través de un filtro y son secados en un horno a una temperatura definida (180°C ± 2°C), así como los sólidos totales suspendidos, esto es, aquella porción de sólidos que se retienen por un filtro (APHA, 1995). Los principales factores que se involucran en estos aspectos son la naturaleza química y física del material en suspensión, el tamaño o diámetro del poro del filtro, el área y espesor de la capa filtrante y la cantidad y estado físico de los materiales que se depositan sobre tal capa.

3.4.1.5 Potencial de Hidrógeno - pH

Este indicador, mas conocido como pH, nada mas es una relación numérica que expresa el equilibrio entre los iones (H⁺) y los iones (OH⁻). El pH es el logaritmo recíproco de la concentración del ion hidrógeno, o más precisamente de la actividad del ion hidrógeno, en moles por litro (Derisio, 1992). El pH de un agua natural es comúnmente de 6.5 y 8.5 pese a que pueden existir algunas variaciones. Los cambios en el valor de pH en el agua son importantes para muchos organismos. La mayoría de organismos se han adaptado a la vida en el agua con un pH específico, en valores de pH extremadamente altos ó bajos (9.6 ó 4.5) el agua es inadecuada para la mayoría de los organismos.

3.4.1.6 Alcalinidad

La alcalinidad refleja, la capacidad que un ecosistema acuático presenta para neutralizar (tamponar) ácidos fuertes que a los mismos son adicionados (Esteves, 1988). En las aguas naturales, esta capacidad se puede atribuir a las bases como HCO₃⁻, CO₃⁻ y OH⁻ lo mismo que a las especies presentes con frecuencia en pequeñas concentraciones como silicatos, boratos, amoníaco, fosfatos y ciertos compuestos orgánicos, pero su influencia es en general, muy pequeña.

3.4.2 Características químicas de las aguas:

Estas características se pueden separar de acuerdo a su contenido en las aguas naturales en macroconstituyentes (cationes y aniones) y micro constituyentes (nitrógeno, fósforo, sílice disuelta y hierro total).

3.4.2.1 Macro-constituyentes de las aguas: Cationes y Aniones

Los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y los aniones HCO_3^- , SO_4^{2-} , y Cl^- son los llamados macro constituyentes de la salinidad contenida en las aguas naturales (Weltzel, 1970). Los factores climáticos tales como precipitación, evapotranspiración, variaciones de la temperatura, etc. influyen considerablemente sobre el quimismo de las aguas superficiales mediante procesos de dilución, concentración o aumento de la solubilidad. Por lo tanto, el quimismo de las aguas naturales se refleja de cierta manera en las condiciones climáticas de una región (Fenzl, 1988).

En regiones tropicales húmedas, la intensidad de las precipitaciones lleva a una lixiviación rápida de los suelos y a una dilución constante de las aguas naturales. Los tipos hidroquímicos de las aguas dependen en gran medida de los macro constituyentes. Por lo general las aguas dulces y/o aguas continentales se caracterizan por tener tipos hidroquímicos $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ (bicarbonatados cálcicos magnésicos) o $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg}$ (bicarbonatados sódicos magnésicos), los factores que influyen en los tipos hidroquímicos son las precipitaciones y el substrato con el cual el agua tiene contacto. Muy raramente se observan aguas dulces con tipos Hidroquímicos $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ (sulfatadas cálcicas magnésicas) (Margalef, 1983).

Las características hidroquímicas de las aguas de las lagunas costeras cercanas al mar, dependerán en gran medida de las sales producto de la evaporación del mar (agua hipersalina) y llega un momento en que se alteran las relaciones iónicas por precipitación parcial de una serie de sales (Margalef, 1983).

En teoría debería precipitar sucesivamente yeso, anhídrita+halita, glauberita+halita, bloedita+halita, etc. Por lo tanto, las características hidroquímicas que tienen mayor predominio es el Cl-Na (Clorurado Sódico).

La relación $rCl/rHCO_3$ (donde $r=meq.l^{-1}$) es especialmente útil en la caracterización de la intrusión marina, ya que en aguas continentales tiene un valor entre 0.1 y 5; en aguas salobres la relación oscila entre 6 y 20; en el agua del mar varía entre 20 y 300 (Custodio & Llamas, 1996).

Según Doménech (1995), los alcalinotérreos más comúnmente encontrados en las aguas naturales son el calcio y el magnesio, siendo la concentración de calcio mayor que la del magnesio en una relación Ca:Mg comprendida entre 4:1 y 2:1, sin embargo, en el agua de estuarios y de mar, las que se caracterizan como aguas muy mineralizadas esta relación puede invertirse.

3.4.2.3 Micro-constituyentes de las aguas: Nutrientes

Los compuestos inorgánicos de nitrógeno y fósforo, por encontrarse en bajas concentraciones son llamados los microconstituyentes de las aguas, su presencia es relevante puesto que el nitrógeno y el fósforo son nutrientes esenciales para los organismos vivos (Doménech, 1995). Los flujos de retorno de sistemas de riego, las aguas residuales domésticas y algunos desechos de procesamiento de alimentos son ricos en nitrógeno y fósforo. La presencia de ambos en excesiva cantidad en el agua provoca un rápido crecimiento de las algas y otras plantas verdes que recubren la superficie de las aguas e impiden el paso de la luz solar a las capas inferiores.

El fósforo total incluye el orgánico e inorgánico, el fósforo orgánico es parte de las plantas y animales (Mitchell et al 1991). El ortofosfato es la única fuente importante de fósforo inorgánico para las algas. Además del carbono, hidrógeno y oxígeno, las algas requieren de 13 a 15 elementos adicionales para crecer y reproducirse.

La mayoría de estos nutrientes suelen encontrarse en cantidades suficientes relativas a las necesidades del alga, sin que sean factores limitantes potenciales para el crecimiento. Sin embargo, las concentraciones de nitrógeno y fósforo suelen ser lo suficientemente bajas como para permitir que el fitoplancton crezca en las aguas de superficie. Por lo general, en los lagos el factor limitante es el fósforo en cambio para las aguas del mar y aguas de lagunas costeras es el nitrógeno. Las concentraciones de los nutrientes, van a influir en la calidad del agua de los lagos y lagunas, debido a que ellos actúan como factor limitante (Ley del Mínimo) (Odum, 1986).

3.4.2.4 Hierro Total

Bajo condiciones reductoras, el hierro es relativamente soluble en aguas naturales y existe en el estado ferroso; por la exposición al aire, o por la adición de cloro, el hierro se oxida al estado férrico y se puede hidrolizar para formar el óxido férrico hidratado insoluble. El hierro se puede encontrar en las aguas, bien sea en verdadera solución, en un estado coloidal, posiblemente peptizado con materia orgánica o en la forma granulada; por otro lado también se puede encontrar en los estados ferroso ó férrico, o ambos a la vez. Los limos o arcillas en suspensión pueden contener hierro soluble en ácido (APHA, 1995).

3.4.2.5 Sílice

En aguas naturales, la sílice se presenta en las formas soluble y coloidal. Las aguas de origen volcánico contienen con frecuencia, una cierta abundancia de sílice. Se presenta un ciclo de sílice en muchas masas de agua que contienen organismos, como diatomeas, que utilizan la sílice en la estructura de sus esqueletos; la sílice que se extrae del agua puede volver lentamente a la misma, por la redisolución de los organismos muertos (Darley, 1987). Las concentraciones de silicio pueden ser lo suficientemente bajas como para limitar el crecimiento de diatomeas.

3.4.3 Indicadores de contaminación orgánica:

3.4.3.1 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es esencial para la vida de los peces y demás organismos aeróbicos que participan en la auto purificación del agua de un lago o laguna. La disminución de oxígeno disuelto y su ausencia pueden dar origen a cambios indeseables en la calidad del agua de la laguna. La mayor parte de oxígeno disuelto en el agua proviene de la atmósfera. Las olas en los lagos o lagunas provocadas por los vientos mezclan el oxígeno atmosférico con el agua. Las algas y plantas acuáticas también despiden oxígeno al agua por medio de la fotosíntesis (Cubillos, 1996). Disminuciones repentinas y graduales en el oxígeno disuelto pueden ocasionar cambios bruscos en el tipo de organismos acuáticos – desde especies no tolerantes a la polución hasta especies tolerantes. Con una baja en los niveles de oxígeno disuelto, muchos tipos diferentes de insectos acuáticos sensibles a un nivel bajo de oxígeno disuelto, pueden ser reducidos a unos pocos tipos diferentes de lombrices acuáticas y larvas de moscas que son tolerantes a estos niveles. Algas pesadas y organismos anaerobios (que viven sin oxígeno) pueden ser abundantes en aguas de bajo oxígeno disuelto (Mitchell, M et al 1991).

El nivel de oxígeno disuelto en el agua se asocia a la temperatura de la misma expresando a través de estos dos parámetros el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto. Los ríos, lagos y lagunas con un porcentaje de saturación de oxígeno disuelto constante de 90 % o mayor se consideran como saludables, en cambio las aguas afectadas por un proceso de eutroficación, el porcentaje de saturación de oxígeno es bajo (menor que 90 %) y pueden asociarse grandes cantidades de materiales con demanda de oxígeno (desperdicios orgánicos).

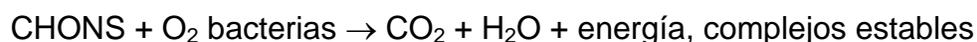
3.4.3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica, a través de la acción de las bacterias,

(Custodio & Llamas, 1996; Derisio, 1992), a 20°C durante un período de incubación de 5 días. La DBO₅ es una prueba biológica y química. Para comprender mejor la manera como se ejerce la demanda de oxígeno es útil discutir las reacciones bioquímicas generales y el papel de los microorganismos en la prueba (Cubillos, 1996).

Reacciones Bioquímicas: En la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos se distinguen tres fases o etapas durante las cuales suceden reacciones bioquímicas que se describen a continuación:

Oxidación: Los compuestos orgánicos son oxidados por los microorganismos utilizando oxígeno disuelto para producir energía que es utilizada en la etapa de síntesis celular. La reacción de la materia orgánica y la reacción general se puede representar por la siguiente ecuación:



Síntesis: Durante la síntesis los microorganismos utilizan energía de la oxidación de la materia orgánica en la formación de nueva materia celular, esta etapa se representa con la siguiente ecuación:



Respiración endógena o autooxidación: Una vez que la materia orgánica disponible se reduce a una concentración limitante del crecimiento, mueren algunos microorganismos y proveen la materia orgánica a otros microorganismos vivos para su metabolismo. Esta fase está representada por la siguiente ecuación:



La prueba de la DBO₅ está sujeta a numerosas limitaciones, tales como la temperatura de incubación, los microorganismos y el inóculo en las botellas. De esta

manera, la DBO_5 se utiliza para medir el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica, dimensionar plantas de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de procesos de tratamiento biológico y el grado de polución de los cuerpos de agua. Según Custodio (1984), un cuerpo de agua con un valor de DBO_5 , que sobrepase los 6 mg.l^{-1} , la hace sospechosa de contaminación.

3.4.3.3 Coliformes Fecales como indicadores biológicos de contaminación

Los organismos coliformes fecales son los indicadores por excelencia de contaminación, así como los más comúnmente utilizados en estudios de calidad del agua.

Los organismos Coliformes Totales se definen como bacterias gram-negativas que fermentan lactosa a una temperatura de 35 ó 37 °C, con producción de ácido, gas y aldehído dentro de 24 a 48 horas. Las bacterias coliformes fecales son un sub-grupo de las bacterias coliformes totales y tienen las mismas propiedades, excepto que toleran y crecen a una mayor temperatura, 44 - 44.5 °C y producen indol. La bacteria coliforme fecal se encuentra en el excremento humano y de otros animales de sangre caliente. Esta bacteria por sí misma no es patógena, los organismos patógenos contienen bacterias, virus y parásitos que causan enfermedades. La bacteria coliforme fecal naturalmente se encuentra en el aparato digestivo humano y ayuda a la digestión de los alimentos. En personas infectadas, la bacteria coliforme fecal ocurre junto con organismos patógenos.

Si la cantidad de coliformes fecales es mayor (más de 200 colonias/100 ml^{-1} en una muestra de agua) en ríos o lagunas, hay una posibilidad muy grande de que también existan organismos patógenos. La posibilidad de que una persona contraiga una enfermedad es mayor y por consiguiente debe evitar ponerse en contacto con el agua. Enfermedades tales como fiebre tifoidea, hepatitis, gastroenteritis, disentería e infecciones del oído se pueden contraer en aguas con un alto grado de coliforme fecal.

Estándares Coliformes (en colonias) OPS, (1995).

Agua potable.	1 coliforme total*/100ml ⁻¹
Contacto total del cuerpo (natación).	200 CF /100ml ⁻¹
Contacto parcial del cuerpo (navegación).	1000 CF /100ml ⁻¹
Efluente de aguas de alcantarillado Tratadas.	Que no exceda 200 CF/100ml ⁻¹

*El coliforme total incluye bacterias de animales de sangre fría y varios organismos de tierra y de acuerdo a literatura reciente, son aproximadamente 10 veces más altos que la cuenta de la colonia de coliforme fecal.

3.4.4 Características biológicas: fitoplancton

Las algas o fitoplancton que se encuentran en cursos de agua pertenecen a numerosas especies y son característicos de cada curso de agua y de la calidad del agua en cada segmento del cuerpo de agua. De esta manera, el fitoplancton constituye una característica de las aguas naturales y poluídas. Como regla general, la presencia de muchas especies y pocos individuos de cada especie son indicadores de aguas naturales sin alteración por actividad del hombre.

Según Margalef (1983) "la concentración de las poblaciones de fitoplancton varía enormemente de unas aguas a otras. El límite inferior raramente baja de 20 células por mililitro, que es la concentración media del fitoplancton en el Mediterráneo y en otras áreas marinas relativamente pobres. En el mar, en aguas fértiles oscila alrededor de las 300 células por mililitro".

3.4.4.1 Características de los principales grupos del fitoplancton.

Cyanophyta

De acuerdo a Darley (1987), las Cyanophyta o algas verdiazules como comúnmente se les llaman, son el único grupo de algas que poseen el tipo procariótico de organización celular y en consecuencia en algunas ocasiones se les llama cianobacterias. Sin embargo, la presencia de clorofila-a y la fotosíntesis que libera oxígeno separa a estas algas de otros procariotes fotoautótrofos y se cita como justificación para que se les siga considerando como algas.

La diversidad de la forma corporal de las algas verdiazules está limitada a unicélulas, colonias y filamentos ramificados y no ramificados. Aunque estas algas carecen de flagelos, muchas de ellas muestran un movimiento de deslizamiento que de algún modo implica ondas contráctiles en una de las capas de la pared celular.

La distribución de las Cianophyta en los hábitats acuáticos es amplia, estas algas son capaces de vivir en ambientes extremos, debido a que pueden reproducirse por esporas y acinetos (células especializadas grandes, de pared gruesa y pigmentación oscura) que se originan en células vegetativas, las cuales aumentan de volumen, engrosando su membrana celular, éstas acumulan sustancias de reservas, y son capaces de sobrevivir bajo condiciones desfavorables en esta forma, cuando las condiciones vuelven a ser propicias, los acinetos producen un nuevo filamento (González, 1988).

Chlorophyta

Las Chlorophyta o algas verdes es uno de los grandes grupos más abundantes en términos del número de especies y están casi tan ampliamente distribuidas y bien adaptadas a los hábitats extremos como las algas verdiazules. Las formas unicelulares y coloniales tanto móviles como no móviles están representadas en las

algas verdes. Las formas ramificadas y no ramificadas son comunes; algunas Chlorophyta son desnudas, pero la mayoría posee una pared celular formada por dos o más capas, la interna es celulósica y la externa es pectínica (Darley, 1987).

Según González, 1988, la reproducción asexual ocurre por división celular, así como por zoosporas móviles y no móviles y por fragmentación de las colonias o filamentos; es frecuente con gametos de dos o cuatro flagelos y puede ser por isogamia o por anisogamia.

Los órdenes con mayor número de representantes en el plancton son: Volvocales, Tetrasporales, Chlorococcales y la familia de la Desmidiaceae, esta última pertenece a la clase Conjugatophyceae.

Los volvocales son formas unicelulares y de vida colonial que tienen dos o cuatro flagelos. A este orden pertenecen los géneros *Chlamydomonas*, *Phacotus*, *Eudorina*, *Pandorina* y *Volvox*. Las chlorococcales son algas verdes de vida libre o colonial, no flageladas o con flagelos temporales. Las colonias a veces están rodeadas de mucilagos y la modalidad de agregación de las células es características de las especies, por lo que facilita su identificación. Los géneros más comunes son, entre otros, *Golenkinia*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Monoraphidium*, *Chlorella*, *Botryococcus*, *Crucigenia* y *Coelastrum* (González, 1988).

Bacillariophyta

Según Darley 1987, las Bacillariophyta o diatomeas como comúnmente se les conoce, están entre las algas microscópicas que más fácilmente se encuentran y se reconocen. La característica más distintiva de estos organismos unicelulares o coloniales de color pardo dorado es la pared celular silíceo que está decorada con hileras de poros, hendiduras, engrosamientos, divisiones internas y en ocasiones tiene varias prominencias o espinas.

Las diatomeas se dividen convenientemente en dos grupos, con base en la simetría de las valvas. En ambos grupos, el ciclo sexual es del tipo de la meiosis gamética. En las diatomeas céntricas, la pared celular o frústula consta de dos mitades (o valvas) que se sobreponen y que se adaptan entre sí, en forma muy semejante a como se adaptan la tapa y la base de una caja de Petri, la valva exhibe por lo común una simetría radial; las células contienen en general numerosos cloroplastos pequeños y una gran vacuola. Las diatomeas céntricas son por lo común planctónicas y abundan más en aguas marinas y salobres que en aguas dulces. Muchas diatomeas de este tipo forman cadenas largas filamentosas en las que la valva de una célula es adherida, por varios mecanismos, a la valva de la célula adyacente después del proceso celular.

De acuerdo a González (1988), la simetría de las frústulas en las diatomeas pennadas es bilateral; cada valva se asemeja un poco a una canoa mas que a una caja circular. Las pennales están más comúnmente representadas tanto en hábitats marino como de aguas dulces y suelen estar asociadas a algún tipo de sustrato, destacando, entre otros, los géneros *Nitzschia*, *Navicula*, *Fragilaria*, *Asterionella*, *Synedra*, *Tabellaria* y *Diatoma*.

Euglenophyta

Según Darley (1987), los euglenoides son principalmente unicélulas móviles que no son raras en hábitats tanto de agua dulce como de aguas salobres. Aunque existe un número bastante grande de diferentes tipos y formas celulares, no ha habido un avance evolutivo superior al de la célula.

Todas las especies fotosintéticas que se han estudiado requieren por los menos una vitamina y complementan su nutrición autótrofa con alcoholes o ácidos orgánicos simples. Muchas especies son incapaces de utilizar el NO_3^- como fuente de nitrógeno. Así, no es de sorprender el saber que los euglenoides se encuentran con mayor frecuencia en ambientes ricos en materia orgánica en descomposición y con

menos frecuencia en los grandes cuerpos de agua. Se desconoce la reproducción sexual de este grupo de algas. González (1988), afirma que la reproducción de este tipo de algas es asexuada, por división longitudinal que comienza en la parte anterior de la célula y puede ocurrir durante el desplazamiento.

Dinophyta

Los dinoflagelados como se les llama a este grupo se asemejan por cierto a organismos animales en varios aspectos; la mayoría de estas especies que se han cultivado requieren una o más vitaminas para crecer; se conocen muchas formas heterótrofas, tanto de vida libre como parásitas; las actividad fagotrófica no es rara en las especies tanto heterótrofas como autótrofas. La mayoría de los dinoflagelados son unicélulas móviles comunes en el fitoplancton de aguas dulces, salobres y marinas.

Una de las características de este grupo (en especial de las especies marinas) y que los hace únicos, es que se destacan por su virtud de bioluminiscencia. Se desconoce la importancia ecológica de la producción de diminutos destellos de luz azul, pero la intensidad de la bioluminiscencia está controlada por un ritmo circadiano. Además forman parte de varios tópicos de interés en el que se incluyen los florecimientos de algas de las costa llamados mareas rojas. Algunas especies marinas liberan potentes toxinas que se acumulan en los mariscos y que pueden causar parálisis por envenenamiento en personas que han consumido mariscos contaminados (Darley, 1987; González, 1988).

4 PREGUNTAS DIRECTRICES

Como ejes estratégicos del presente estudio, se han planteado las siguientes preguntas directrices:

¿Qué características físicas presenta el agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas?

¿Qué características químicas presenta el agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas?

¿Cuál es la composición y abundancia del fitoplancton en la zona fótica de la Laguna de Perlas?

¿Qué índices e indicadores reflejan la calidad del agua?

¿Qué relación existe entre la composición y abundancia del fitoplancton con las variables físico químicas analizadas?

Las que serán desarrolladas en los respectivos capítulos.

5 METODOLOGIA

5.1 Tipo de estudio

El presente estudio es de carácter descriptivo, con el que se pretende conocer las variaciones espaciales y temporales de las características físico-químicas y biológicas y el efecto de estos parámetros en la calidad del agua de la zona fótica de la Laguna de Perlas.

5.2 Universo del estudio

El universo del estudio lo constituye la extensión total de la Laguna de Perlas, que consiste en aproximadamente de 520 km².

5.3 Muestra del estudio

La muestra del estudio la constituye el agua de 8 puntos que fueron seleccionados intencionadamente, tomando en cuenta la influencia de los afluentes que drenan a la laguna y la intrusión marina. A continuación se presenta la ubicación y justificación de los diferentes puntos de muestreo.

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo y su justificación.

N° del punto de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Coordenadas		Justificación del punto de muestreo
		Norte	Este	
		Latitud Norte	Longitud Oeste	
Pto. N° 1	Entrada a la Laguna de Top Lock	1414.25	214.25	Se observa la influencia de la laguna de Top Lock a Laguna de Perlas, desembocan los ríos Kurinwás y río grande de Matagalpa.
		12°47'	83°38'	
Pto. N° 2	Entrada a la laguna Tasbapauni	1430.0	219.5	La laguna Tasbapauni se encuentra ubicada en la península caribal, ejerce influencia sobre la Laguna de Perlas
		12°41'	83°35'	
Pto. N° 3	Punta Ebo	1390.5	213.0	Este punto geográfico llamado punta Ebo, es la parte mas angosta de la Laguna de Perlas.
		12°34'	83°37'	
Pto. N° 4	La Fe	1382.5	203.5	Este punto es el área de influencia de los ríos Patch, Nari y Wawashang que drenan a la laguna.
		12°28'	83°44'	
Pto. N° 5	Frente a Kakabila	1371.5	205	Actividades de la comunidad de Kakabila en la laguna.
		12°24'	83°35'	
Pto. N° 6	Awas Raitipura	1364.5	205	Influencia de diferentes ríos pequeños.
		12°20'	83°43'	
Pto. N° 7	Cayo del Puerco	1369.25	209.25	Influencia del cayo en la Laguna de Perlas.
		12°23'	83°40'	
Pto. N° 8	Salida de Punta Barra	1367.5	215.25	Se pretende conocer las características del agua del mar y su influencia en la Laguna de Perlas.
		12°20'	83°36'	

En el Anexo N° 2 se presenta la posición geográfica de los puntos muestreados.

Se realizaron **cuatro campañas de muestreos**: En los meses de Marzo de 1999, Septiembre de 1999, Noviembre de 1999 y Febrero del año 2000.

Diseño de las campañas de muestreo.

Puntos de muestreo	Meses muestreos			
	Marzo 1999	Septiembre 1999	Noviembre 1999	Febrero 2000
Pto. N° 1	X	X	X	X
Pto. N° 2	X*	X	X	X
Pto. N° 3	X	X	X	X
Pto. N° 4	X	X	X	X
Pto. N° 5	X	X	X	X
Pto. N° 6	X	X	X	X
Pto. N° 7	XX	X	X	X
Pto. N° 8	XX	X	X	X

Claves: X*

No se tomo muestra para fitoplancton

XX

No se tomó muestra para oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales y fitoplancton.

5.4 Aspectos considerados en el estudio

En las campañas de muestreo se colectaron muestras de agua de la laguna en cada uno de los puntos antes descritos, para su posterior análisis en el laboratorio. Los parámetros analizados fueron físicos, químicos y biológicos.

Parámetros físicos: temperatura, salinidad, color verdadero, turbidez en UNT, transparencia del disco de Secchi, sólidos totales, pH y alcalinidad.

Parámetros químicos: calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, nitrato, nitrito, amonio, fósforo total, ortofosfato disuelto, hierro total y SiO₂.

Indicadores de contaminación orgánica: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes fecales.

Parámetros biológicos: se determinó la composición y abundancia del fitoplancton en número de células por mililitro y la estimación de la biomasa algal como clorofila-a.

5.5 Procedimientos técnicos para la recolección de la información

5.5.1 Colecta y preservación de las muestras en el campo

Las muestras se tomaron manualmente a unos 15-20 cm debajo de la superficie, de acuerdo a los procedimientos descritos por Agudo, 1988.

5.5.1.1 Variables físicas medidas In Situ

La temperatura y la transparencia del disco de Secchi se midieron en el campo.

La medición de temperatura se determinó con un termómetro digital marca Fisher Scientific con una precisión de ± 0.1 °C.

El disco de Secchi es un disco de 8" blanco adjunto a una cadena o cuerda marcado en cm. El método consistió en sumergir el disco en el agua, hasta que desapareció a la vista, se anotó los cm; y se obtuvo el valor de transparencia del disco de Secchi, en cm.

5.5.1.2 Variables físico-químicas

La muestra para el análisis de pH, sólidos totales, color verdadero, turbidez, hierro total, SiO₂, calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato, cloruro, carbonato, bicarbonato, alcalinidad, fósforo total, ortofosfato disuelto, nitrato y nitrito, se colectaron en frascos plásticos de polietileno de cuatro litros de capacidad, sin preservación química, manteniendo la muestra en un termo con hielo.

Para el análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y para coliformes fecales, se tomaron en frascos esterilizados de polietileno de 500 ml y 1000 ml de capacidad respectivamente, sin preservación química, manteniendo la muestra en un termo con hielo.

Las muestras para el análisis de oxígeno disuelto se colectaron en frascos de vidrio de 300 ml con tapón esmerilado, y se preservaron con 1 ml de sulfato de manganeso (MnSO₄) y 1 ml de azida de sodio (NaOH+NaI+NaN₃).

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos fueron analizados en los laboratorios de hidroquímica y de microbiología respectivamente del CIRA/UNAN-Managua.

5.5.1.3 Variables biológicas

Para la determinación de la biomasa algal como clorofila-a, las muestras se tomaron en frascos plásticos a nivel superficial, protegiéndose de la luz y se mantuvieron en termos con hielo.

Los parámetros biológicos fueron realizados en el laboratorio de hidrobiología del CIRA/UNAN-Managua.

5.5.2 Procedimientos analíticos en el laboratorio

Las muestras fueron preservadas y trasladadas al laboratorio, siguiendo los procedimientos descritos anteriormente para llevar a cabo su determinación analítica.

En el anexo N° 3 se describe el procedimiento analítico para cada parámetro físico, químico y biológico, realizados de acuerdo al APHA, (1995).

Referencia de los métodos de análisis, para determinar los parámetros físico-químicos y biológicos incluidos en el presente estudio.

Parametro	Método Utilizado	Referencia
PH	Potenciométrico 4500.H.B	(1)
Turbidez	Nefelométrico 2130. B	(1)
Color	Comparación visual 2120.B	(1)
Sólidos Totales	Gravimétrico a 103-105°C 2540.B	(1)
Calcio	Titrimétrico EDTA 3500.Ca.D	(1)
Magnesio	Por cálculo 3500.Mg.E	(1)
Sodio	Fotometría de llama 3500. Na.D	(1)
Potasio	Fotometría de llama 3500.K.D	(1)
Cloruros	Cromatografía iónica 4110	(1)
Sulfatos	Cromatografía iónica 4110	(1)
Nitratos	Cromatografía iónica 4110	(1)
Carbonatos	Titrimétrico 2320.B	(1)
Bicarbonatos	Titrimétrico 2320.B	(1)
Alcalinidad	Titrimétrico 2320.B	(1)
Nitritos	Colorimétrico 4500.NO ₂ .B	(1)
Hierro Total	Fenantrolina 4500.Fe.D	(1)
Sílice disuelta	Silicomolibdato 4500.Si.D	(1)
DBO ₅	Modificación de la azida 20°C a 5 días 5210	(1)
Oxígeno Disuelto	Modificación de la azida 4500.O.C	(1)
Fósforo Total	Acido ascórbico 4500.P.B-E	(1)
Ortofosfato disuelto	Acido ascórbico 4500.P.E	(1)
Fitoplancton	Método de Uthermoehl	(2)
Clorofila-a	Método Nush & Palme	(3)
Coliformes Fecales	Número Más Probable (NMP)	(1)

Referencia:

- 1) APHA. (1995). Standard Methods for the examination for water and wastewater. 18 ed. Washington.
- 2) Uthermoel, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplanktonmethodil. Mitt. Internat. Verein. Limnol.,):1-38.
- 3) Nusch, E. & G. Palme. (1975). Biologische Methoden fur diepraxis der Gewaesseeruntersuchung, Bestimmung des clorophylla-a und Phaeopigmentgehaltenes in oberflaechenwasser. Wasser/Abwasser 116: 562-565.

5.6 Técnicas para el análisis de la información

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se elaboraron tablas de datos resúmenes para cada parámetro. Se describieron los resultados obtenidos, auxiliándose de los principios de la estadística descriptiva, procediéndose a la discusión e interpretación de los resultados. En algunos casos, se aplicó el análisis de correlación entre dos variables para destacar el grado de asociación o de dependencia, acompañados de sus gráficos de barra o de correlación.

Para el caso de los macroiones, se elaboró una tabla resumen por mes acompañados de sus resultados y discusión. Para la clasificación de los tipos hidroquímicos, se utilizó la técnica de los iones dominantes. Se nombró el agua por el anión y catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas, si ninguno supera al 50% se nombró los 2 más abundantes. Para ilustrar los tipos hidroquímicos se utilizó un pequeño mapa de Laguna de Perlas ubicando cada tipo hidroquímico en los diferentes puntos de muestreo. Se aplicó el análisis de variables cuantitativas para caracterizar el nivel de intrusión marina, empleando la siguiente fórmula:

$$rCl / rHCO_3, \quad \text{dónde } r = \text{meq.l}^{-1}.$$

Para el análisis de la composición y abundancia del fitoplancton, se elaboró una tabla resumen de la composición y abundancia expresados en número de células por mililitro, especificando cada mes de muestreo. Se calcularon las células del grupo más numeroso representando el 50% o más del valor de la densidad total, tanto a nivel de cada punto de muestreo, así como de un mismo grupo fitoplanctónico en todos los puntos de muestreo. Para ilustrar la distribución mensual de los grupos del fitoplancton en porcentajes, se auxilió de gráficos de pastel y para ilustrar para la distribución y la abundancia de las células del fitoplancton se realizó un gráfico de áreas de los diferentes grupos fitoplanctónicos destacando los meses de muestreo.

Con el objetivo de relacionar las variables físicas, químicas y biológicas, se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA), diseñado por la Fundación Nacional de Sanidad USA, 1970 y que consistió en registrar cada valor de cada uno de los parámetros involucrados y transferirlos a una curva de peso, donde se interpola el valor verdadero, para encontrar el valor numérico o valor de Q. El valor numérico o valor de Q se registró en la columna B del modelo de la hoja de trabajo abajo descrito. Luego se multiplicó para cada una de las pruebas por un "factor de revisión" anotado en la columna C de la hoja de trabajo para esa prueba en particular. Se anotó este producto en la Columna D de la hoja de trabajo. Se sumaron los nueve valores nuevos para llegar al índice de calidad del agua (ICA).

Modelo de la Hoja de trabajo para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA).

Parámetro	A	B	C	D
	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)			0.17	
Coliforme Fecal (col/100ml)			0.16	
PH (unidades)			0.11	
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)			0.11	
Temperatura (cambio °C)			0.10	
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)			0.10	
Nitratos (mg.l ⁻¹)			0.10	
Turbidez (UNT)			0.08	
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)			0.07	
Índice de Calidad del Agua:				

El factor de revisión para cada prueba de calidad proporciona una medida relativa de la importancia de la prueba a la calidad del agua. A continuación se presenta los rangos del Índice de Calidad del Agua.

Rangos del ICA.

Rangos del Índice de Calidad del Agua	
100 – 90	Excelente
90 – 70	Buena
70 – 50	Mediana
50 – 25	Mala
25 – 0	Muy Mala

Para destacar el estado trófico de la laguna, se empleó el Índice del Estado Trófico de Carlson (I.E.T).

A través de las siguientes fórmulas, utilizando los siguientes indicadores: Clorofila-a (Cl-a), Fósforo Total (F.T) y Transparencia del disco de Secchi (D.S).

$$\text{I.E.T (D.S)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \text{D.S}}{\ln 2} \right)$$

$$\text{I.E.T (Cl-a)} = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln \text{Cl-a}}{\ln 2} \right)$$

$$\text{I.E.T (F.T)} = 10 \left(6 - \frac{\frac{48}{\ln \text{F.T}}}{\ln 2} \right)$$

El rango para los valores calculados son los siguientes:

Valores obtenidos	Clasificación
10 – 40	Lagos oligotróficos
40 – 60	Lagos Mesotróficos
60 - 100	Lagos Eutróficos

Las fórmulas anteriores se calcularon para cada punto en cada mes de muestreo.

6.0 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Caracterización estacional y espacial de aspectos físicos y químicos de la Laguna de Perlas.

6.1.1) Análisis de las características físicas:

6.1.1.1) Temperatura

En la tabla N° 1 se presentan los valores encontrados de temperatura correspondientes a los meses de marzo, septiembre y noviembre del año 99 y febrero en el año 2000. Como puede observarse en la tabla el rango de temperaturas para los cuatros meses muestreados osciló entre los 22.9°C en el mes de noviembre 99 y 28.0°C en el mes de septiembre 99.

Tabla N° 1 Valores de temperatura, expresados en °C.

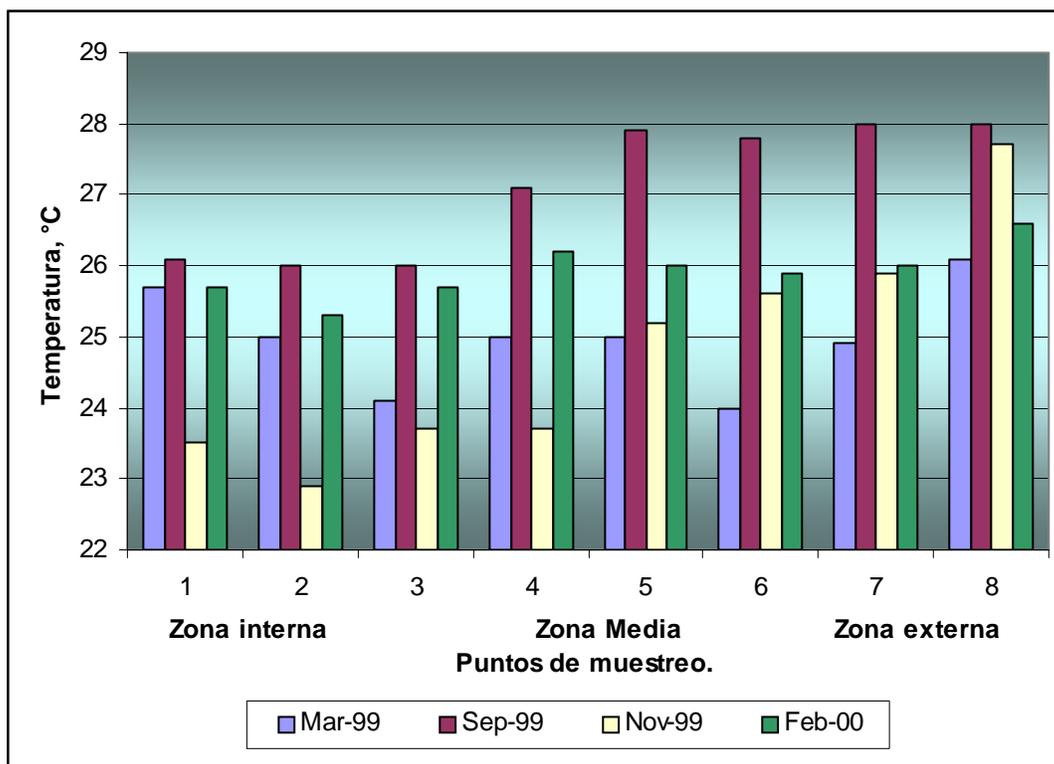
Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	25.7	25.0	24.1	25.0	25.0	24.0	24.9	26.1	26.1	24.0	25.0
Septiembre 99	26.1	26.0	26.0	27.1	27.9	27.8	28.0	28.0	28.0	26.0	27.1
Noviembre 99	23.5	22.9	23.9	23.7	25.2	25.6	25.9	27.7	27.7	22.9	24.8
Febrero 2000	25.7	25.3	25.7	26.2	26.0	25.9	26.0	26.8	26.6	25.3	25.9

Los valores mas bajos de temperatura se presentaron en los meses entre noviembre 99 media 24.8 °C ± 1.6 (rango 22.9 °C - 27.7 °C) y marzo 99 con una de media 25.0 °C ± 0.7 (rango 24.0°C y 26.1°C), a que en ésta época (entre nov - mar), los vientos alisios del noreste se intensifican en toda la región caribeña, y probablemente inducen a fuertes fenómenos de afloramiento en el extremo norte de la plataforma nicaragüense (Brenes y Hernández, 1999), en cambio para el mes de septiembre 99 el valor medio fue de 27.1 °C ± 0.9 (rango 26.0°C y 28.0°C), coincidiendo con el ciclo anual caracterizado por un máximo de temperaturas en los meses de julio -

septiembre para área del Caribe Centroamericano, tal y como lo menciona Brenes et al (1998).

Un estudio llevado a cabo por PROARCA/Costas (1997), en las lagunas costeras de Karatá y Wouhnta, ubicadas al norte de la Costa Atlántica de Nicaragua, entre los meses de enero a julio, reportan temperaturas altas (> 28°C) para ambas lagunas, siendo estos valores superiores a los reportados en el presente estudio para los meses de febrero y marzo.

Fig. N° 1. Cambios estacionales y espaciales de la temperatura en la Laguna de Perlas.



En la figura N° 1, se distingue que, los valores más altos de temperatura se encontraron en el mes de septiembre 99 en todos los puntos de muestreo, en cambio para los meses de marzo 99, noviembre 99 y febrero 2000, el rango de temperatura fue bajo, alcanzando valores inferiores a los 26.0°C, a excepción del punto N°8, que en el mes de noviembre 99 se eleva a 27.7°C. Puede observarse también que las

3.2.1 Clima

El clima de la zona es del tipo tropical húmedo. El régimen de precipitación anual varía desde los 2000 hasta los 6000 mm (INETER, 1999). La mayor evaporación se registra entre marzo y abril correspondiendo al rango promedio de 152-156 mm, registrándose 1322 mm/anuales (INDER, 1993). Los vientos dominantes en esta región son los alisios, con velocidades promedio de 3–5 m/seg. (INETER, 1999).

Para el Atlántico de Nicaragua, Brenes & Hernández (1999) reportan que "las altas temperaturas de sus aguas superficiales (> 27 °C) prevalecen la mayor parte del año presentando un ciclo anual caracterizado por los meses de Julio-Septiembre, y afirman que "El mínimo en el ciclo anual de temperaturas se localiza entre enero y marzo, cuando los vientos alisios del noreste se intensifican en toda la región caribeña".

3.2.2 Comunidades aledañas

Las costas de la laguna están pobladas por 11 comunidades étnicas descendientes de Miskitos, Zumos, Garífonas, Negros y Criollos que viven principalmente de la pesca y de la agricultura de subsistencia (Sánchez et al. 1997). Entre las principales comunidades se encuentran: Laguna de Perlas, Kakabila, Marshall Point, Brown Bank y Orinoco.

3.2.3 Vegetación circundante

El ambiente ecológico se caracteriza por presentar variados ecosistemas, como son los manglares, los bosques pantanosos, las sabanas de pino, entre otros, que resaltan la diversidad natural de esta parte del territorio nicaragüense. En la parte sudeste, existen formaciones artificiales de islotes (producto del dragado en 1978) cubiertos de abundante flora, que sirven de refugio y anidación a diferentes especies de aves marinas. También en el fondo de éstas áreas se encuentran los principales

temperaturas mas bajas se encontraron en la parte interna de la laguna (puntos N° 1-4), incrementándose en los puntos 5-8, los cuales se encuentran cerca de la barra o entrada del mar. Hay una tendencia de la temperatura hacia el incremento en la parte externa, posiblemente asociada a las horas en que se realizó el muestreo, ya que siempre se midió la temperatura en horas de mayor radiación solar.

6.1.1.2) Salinidad

Tabla N° 2. Valores de salinidad, expresados en partes por mil (‰).

Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	3.2	4.1	3.1	7.1	11.1	15.9	NR	NR	15.9	3.1	7.4
Septiembre 99	0.0	0.1	0.2	0.4	2.4	3.4	3.0	6.4	6.4	0.0	2.0
Noviembre 99	1.9	1.3	1.3	4.2	5.9	7.0	6.3	16.4	16.4	1.3	5.55
Febrero 2000	12.8	11.2	9.8	1.9	12.5	14.8	15.1	19.7	19.7	1.9	12.2

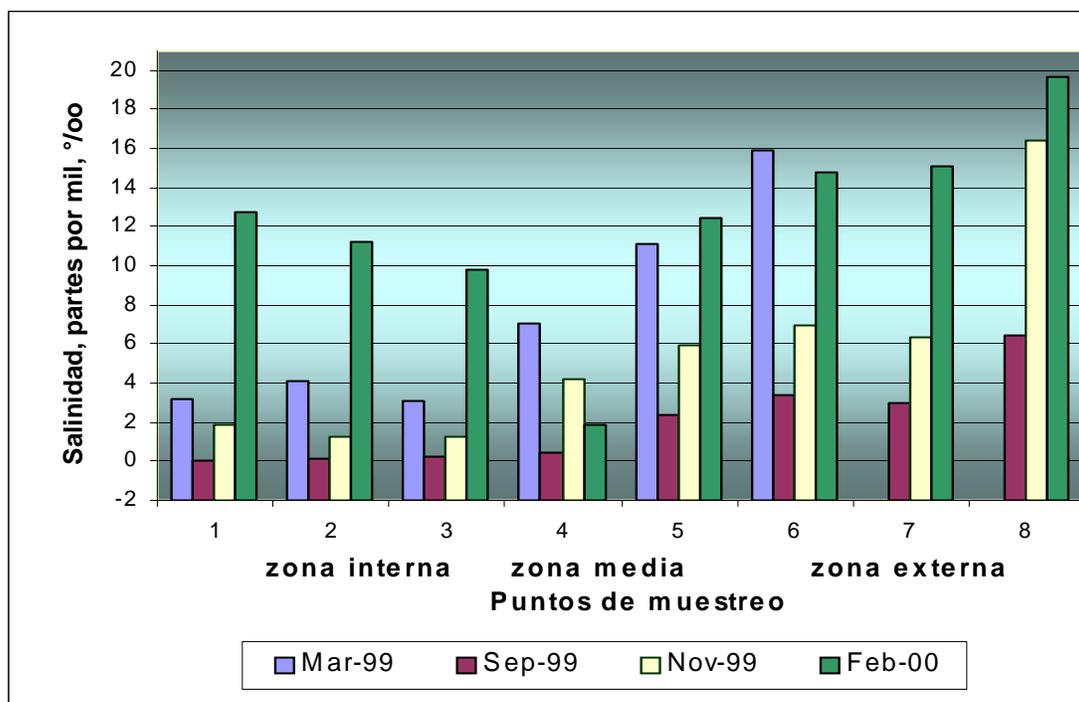
NR- No se realizó este análisis.

El valor medio de la salinidad en el mes de marzo 99 fue de $7.4 \text{ ‰} \pm 5.1 \text{ ‰}$ (rango $3.1 \text{ ‰} - 15.9 \text{ ‰}$) y para el mes de febrero 2000 fue de $12.2 \text{ ‰} \pm 5.1 \text{ ‰}$ (rango $1.9 \text{ ‰} - 19.7 \text{ ‰}$). Estos meses se caracterizan por ser de la estación seca, la salinidad se ve influenciada por la evaporación, la cual para esta zona se registran valores de 1322 mm anuales (INDER, 1993), así como también por la dinámica de las mareas, las que poseen suficiente energía para redistribuir el agua de mar prácticamente en toda la laguna. No se observa, el carácter dulceacuícola, sino que pasa de agua salobre oligohalina (0.5 - 3.0 partes por mil ‰) a aguas salobres mesohalinas (3 - 10.0 partes por mil ‰) hasta alcanzar el carácter de agua de mar oligohalina (17 - 30 partes por mil ‰), encontrándose un valor máximo de 19.7 ‰ cerca de la barra o entrada del mar.

El mes de septiembre de 1999 se caracteriza por su baja salinidad, el campo salino osciló entre los 0.0 y 6.4 partes por mil (‰) con un valor medio de $2 \text{ ‰} \pm 2.3 \text{ ‰}$, debido al influjo de agua dulce proveniente de los ríos, al escurrimiento de toda la cuenca y a la gran cantidad de agua que cae directamente sobre la laguna en forma de precipitación, la cual oscila entre 2000 y 6000 mm anuales (INETER, 1999). Debido a su baja salinidad, la laguna se comporta como un sistema léntico de agua dulce en su parte mas interior y en el área de influencia del río Wawashang, pasando de aguas dulces (0-0.5 partes por mil ‰) a aguas salobres oligohalinas (0.5-3 partes por mil ‰) y de aquí a aguas salobres mesohalinas (3-10 partes por mil ‰) hasta alcanzar su máxima salinidad de 6.4 partes por mil (‰) en su parte más externa cerca de la barra o entrada del mar.

En el mes de noviembre 99, el gradiente salino osciló entre 1.3 ‰ y 16.4 ‰ con un valor medio de $5.5 \text{ ‰} \pm 5.1 \text{ ‰}$, a pesar de que este mes se caracteriza por ser del período lluvioso, no se observó el carácter dulceacuícola, probablemente porque la laguna solamente tuvo influencia del agua dulce de los ríos que desembocan a ella y del escurrimiento de la cuenca. Para este mes el registro de pluviosidad fue bajo (2mm.) (INETER, 1999).

Fig. N° 2. Cambios estacionales y espaciales de la salinidad en la Laguna de Perlas.



En la figura N° 2 se observan las diferencias estacionales y espaciales de la salinidad que generalmente se debe al efecto de la precipitación, la que influye directamente en el poder de dilución del volumen de agua que cambia sustancialmente de la época seca a la lluviosa.

En el mes de marzo 99 (a pesar de caracterizarse por ser un mes seco), se observa una disminución sustancial de la salinidad, sobre todo en los primeros puntos de la laguna (zona interna), debido probablemente a que en este período se registró un fenómeno natural conocido como "norte", el cual se observa con frecuencia en las zonas costeras caribeñas y se caracteriza por presentar fuertes vientos y lluvias extemporáneas.

En el mes de septiembre 99 caracterizado por ser de la época lluviosa, en los puntos N° 1 al 4 que conforman la parte más interna de la laguna y la influenciada por los ríos, se observa el predominio de las aguas dulces (salinidad < 1‰) aumentado la salinidad hacia la zona mas externa, cercano a la barra o entrada al mar. En el mes de noviembre, mes de transición de la época lluviosa a la seca no se observó el carácter dulceacuícola en el eje horizontal de la laguna.

6.1.1.3) Color Verdadero

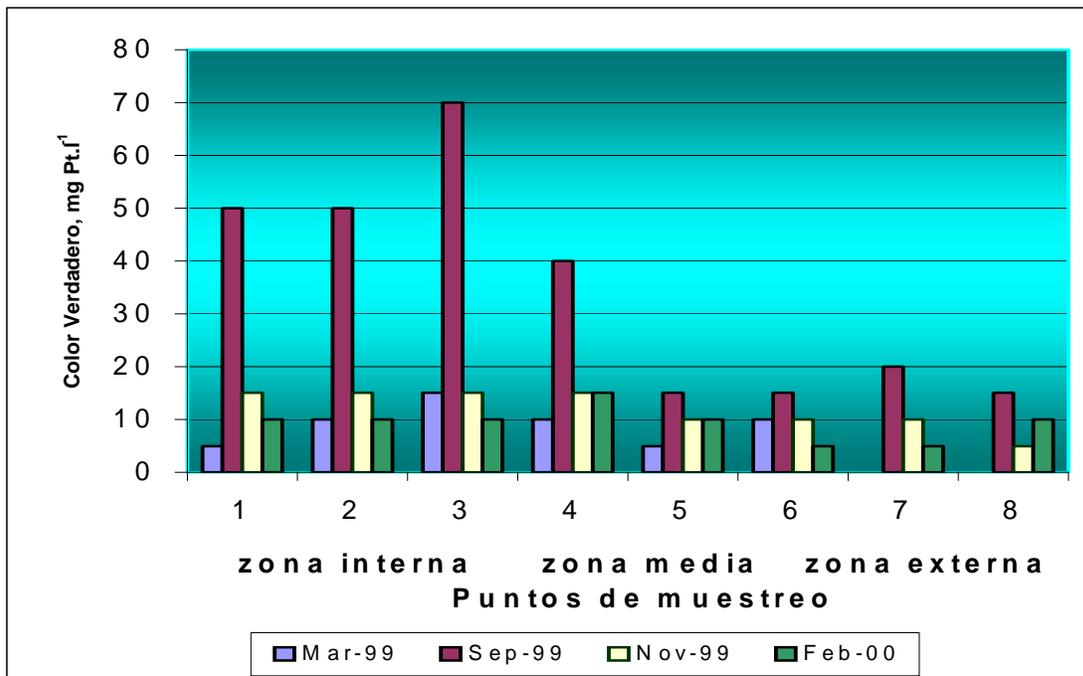
Tabla N° 3. Valores de color verdadero, expresados en mg.l⁻¹.

Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	5.0	10.0	15.0	10.0	5.0	10.0	NR	NR	15.0	5.0	9.2
Septiembre 99	50.0	50.0	70.0	40.0	15.0	15.0	20.0	15.0	70.0	15.0	34.4
Noviembre 99	15.0	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	10.0	5.0	10.0	5.0	11.9
Febrero 2000	10.0	10.0	10.0	15.0	10.0	5.0	5.0	10.0	15.0	5.0	9.4

NR- No se realizó este análisis.

Los valores más bajos de color verdadero se encontraron en los meses de marzo 99 con un valor medio de $9.2 \text{ mg.l}^{-1} \pm 3.8 \text{ mg.l}^{-1}$ (rango de 5.0 mg.l^{-1} - 15.0 mg.l^{-1}), de noviembre 99 con un valor medio de $11.9 \text{ mg.l}^{-1} \pm 3.8 \text{ mg.l}^{-1}$ (rango 5.0 mg.l^{-1} – 10.0 mg.l^{-1}) y para febrero 2000 en un rango de 5.0 a 15.0 mg.l^{-1} y un valor medio de $9.4 \text{ mg.l}^{-1} \pm 3.2 \text{ mg.l}^{-1}$, los máximos valores de color verdadero se reportaron en el mes de septiembre de 1999 con un valor medio de $34.4 \text{ mg.l}^{-1} \pm 3.8 \text{ mg.l}^{-1}$, producto del influjo de los ríos y de las escorrentías, las cuales arrastran humus y materia orgánica disuelta derivada de la descomposición del detritus de las plantas y animales en su paso hacia la laguna.

Fig. N° 3. Distribución temporal y espacial del Color Verdadero en la Laguna de Perlas



En la figura N° 3, se observa que para el mes de septiembre 99, el que se caracteriza por ser de la época lluviosa, se destaca un diferenciado gradiente espacial, reportándose los valores más altos en los puntos del 1 al 4, los mismos que se caracterizan por ser áreas de influencia de los ríos Grande de Matagalpa y Kurinwás (puntos 1 al 3) que drenan hacia la laguna a través de la laguna de Top Lock y por los ríos Patch y Ñari (punto 4). Los puntos del 5 y 6 es área de influencia de ríos pequeños parece ser que los mismos no ejercen influencia en la laguna, observándose un decremento del color verdadero hasta la barra o entrada del mar. En los meses de Marzo 99, Noviembre 99 y Febrero 2000, los valores fueron bajos (< 15 mg Pt.l⁻¹) en todos los puntos de muestreo.

6.1.1.4) Turbidez y Transparencia del Disco de Secchi.

Tabla N° 4. Valores de Turbidez (UNT) encontrados en los cuatro meses de muestreo.

Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	4.8	26.0	25.0	4.7	6.9	27.0	NR	NR	27.0	4.7	15.7
Septiembre 99	27.0	20.0	26.0	8.8	5.9	4.0	5.6	15.0	27.0	4.0	14.0
Noviembre 99	6.4	5.7	10.1	3.0	4.4	3.1	7.0	4.1	10.1	3.0	5.5
Febrero 2000	4.5	31.1	9.8	3.7	15.9	9.8	37.2	8.2	37.2	3.7	15.0

NR- No se realizó este análisis.

Como puede observarse en la tabla N° 4 en el mes de noviembre 99 se reportaron bajos valores de turbidez en todos los puntos de muestreo obteniéndose un valor medio de 5.5 UNT \pm 2.5 UNT (rango 3.0.1 UNT - 10.1 UNT).

Para el mes de marzo 99 el valor medio fue de 15.7 UNT \pm 11.3 UNT (rango 4.7 UNT – 27.0 UNT), para el mes de septiembre 99 la media de los valores obtenidos fue de 14.0 UNT \pm 9.4 (rango 4.0 UNT- 27.0 UNT) y para febrero 2000 de 15.0 UNT \pm 12.5 (rango 3.7 UNT –37.2 UNT), indicando un comportamiento heterogéneo tanto para el mes lluvioso (septiembre) como para los meses secos (marzo 99 y febrero 2000). Para estos meses, este comportamiento podría atribuirse a la acción de los vientos alisios del norte y noreste que predominan en el período muestreado (marzo y febrero), con velocidades que oscilan desde los 3 hasta los 8 m.seg⁻¹., provocando que el sedimento de la laguna debido a su poca profundidad, se suspenda en toda la columna de agua, elevando de esta manera el nivel de turbidez.

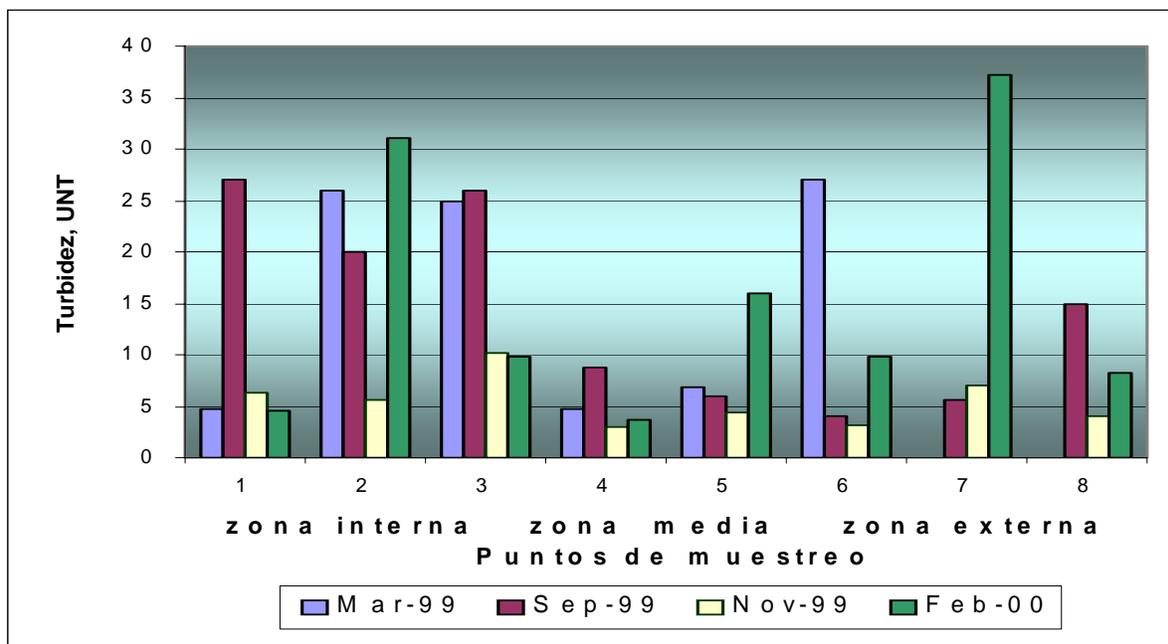
Aunque se considera que el patrón predominante, se relacione con una turbidez alta en invierno y baja en verano, como lo menciona Brenes & Castillo, (1999). , diversos estudios (Martínez & López, 1989; Lacayo & López 1992.; López & Flores, 1991;

Lacayo, 1991), caracterizan a los meses entre enero y marzo, como los periodos de mezcla para diversos ecosistemas del pacífico de Nicaragua, como consecuencia de los fuertes vientos que azotan a la región.

Para el mes de septiembre 99, la alta turbidez en ciertos puntos de muestreo, podría relacionarse con el influjo de agua dulce, producto de grandes volúmenes de agua que recibe la laguna provenientes de la cuenca sobre todo en la parte más interna de la laguna, contribuyendo al proceso de remoción de los sedimentos del fondo, debido a la poca profundidad de la laguna. Es muy probable que la alta turbidez para este mes, se deba al arrastre de material terrígeno (sedimentos) por los ríos, como consecuencia de la erosión de la parte alta de la cuenca. Según Cisneros, R. (comunicación personal, 2000), uno de los problemas que enfrenta la laguna es la sedimentación y la pérdida de profundidad. Lo anteriormente descrito se corrobora si se toma en cuenta que el rango de valores de color verdadero fue **bajo** en los meses secos (marzo 99 y febrero 2000 e inclusive en noviembre 99 que es el periodo de transición de la época lluviosa a la seca) y **alto** en el mes de septiembre 99. Esto hace suponer que la turbidez probablemente esté asociada a material inorgánico de origen autóctono debido a la remoción de los sedimentos y alóctono por las escorrentías que drenan a la laguna.

Por otro lado, se descarta que los altos valores de turbidez (en ciertos puntos de la laguna) se deban a consecuencia de material de origen orgánico, ya que las densidades encontradas del fitoplancton, no superan las 1000 células por mililitro, siendo solamente en algunos puntos que superan las unidades mencionadas. Comín 1984, reporta valores bajos de transparencia del disco de Secchi de hasta 7 cm, aducidos a las altas densidades del fitoplancton que supera el millón de células por mililitro.

Fig. N° 4. Distribución estacional y espacial de la Turbidez en la Laguna de Perlas.



En la figura N° 4, puede observarse que en el mes de septiembre 99, los valores más altos de turbidez corresponden a la zona interna de la laguna (puntos N° 1-3), debido probablemente a la influencia del Río Grande de Matagalpa y del río Kurinwás que drenan hacia la laguna a través de la Laguna Top Lock, para este mismo mes se observa un decremento de la turbidez en la zona media y más externa de la laguna. En el mes de marzo se observan tres puntos con altos valores de turbidez: puntos N° 2, 3 y 6 (los que corresponden al área de influencia de la Laguna Tasbapauni, Punta Ebo y a la influencia del río Awás Raitipura).

Puede también observarse que, para el mes de febrero 2000 se evidencian dos puntos altos que corresponden al punto N° 2 (área de influencia de la Laguna Tasbapauni) y al punto N° 7 (en el cayo del chancho), estos puntos son áreas expuestas a los fuertes vientos y a la falta de protección de la laguna que influye en los altos valores de turbidez, en ciertos puntos de la misma.

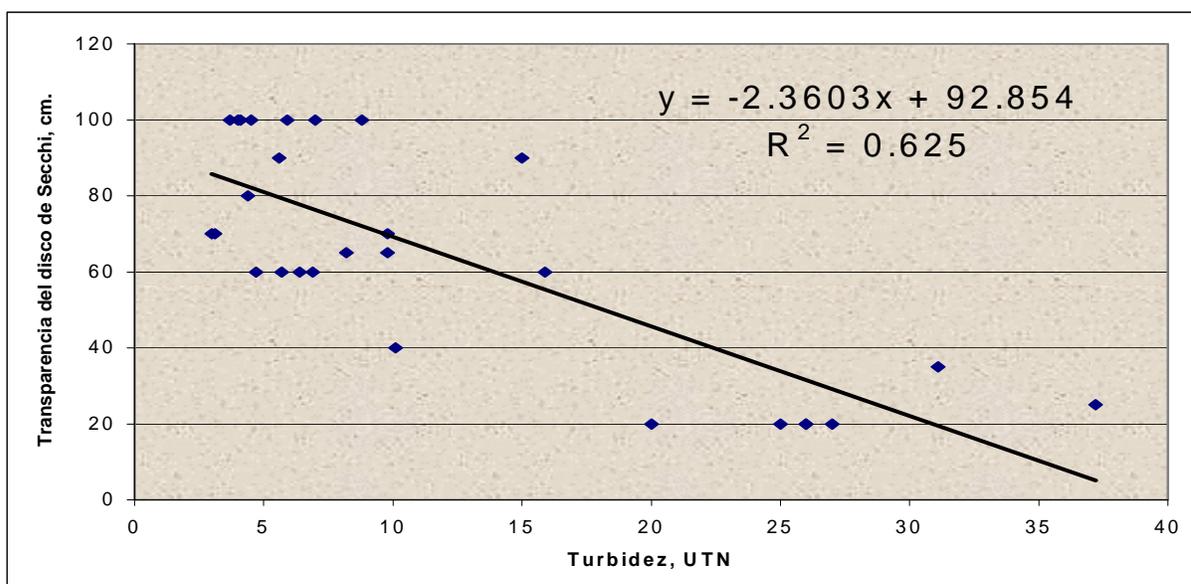
Tabla N° 5. Valores de Transparencia del disco Secchi (cm) encontrados en los cuatro periodos de muestreo.

Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	60	20	20	60	60	30	40	30	60	20	40
Septiembre 99	20	20	20	100	100	100	90	90	100	20	68
Noviembre 99	60	60	40	70	80	70	100	100	100	40	73
Febrero 2000	100	35	70	100	60	65	25	65	100	25	65

NR- No se midió en este punto.

Los valores de transparencia del disco de Secchi, para los cuatro meses muestreados oscilaron en un rango entre los 20 cm y 100 cm. De acuerdo a los resultados obtenidos de transparencia de disco Secchi y turbidez puede establecerse una alta correlación entre ellos ($r = -0.79$) y se puede concluir que la transparencia, integra el efecto de la turbidez en sus mediciones.

Fig. N° 5 Regresión lineal entre la Transparencia del disco de Secchi (cm) Y la Turbidez UNT, en la Laguna de Perlas.



Puede observarse que a medida que aumenta la turbidez en UNT, disminuye la transparencia, se presume que ambos parámetros, dependan más de material inorgánico de origen alóctono, que de material orgánico por la baja densidad de células del fitoplancton, las que en muchos casos no superan las 1000 células por mililitro.

6.1.1.6) Alcalinidad y pH.

Tabla N° 6. Valores de alcalinidad, expresados en meq.l⁻¹.

Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	1.49	1.35	1.31	1.04	1.31	1.56	NR	NR	1.56	1.04	1.34
Septiembre 99	0.77	0.75	0.79	0.62	0.66	0.70	0.77	0.93	0.93	0.62	0.75
Noviembre 99	0.94	0.96	0.84	0.88	0.97	1.06	1.06	1.26	1.26	0.84	0.99
Febrero 2000	1.45	1.20	1.12	0.60	1.26	1.16	0.77	1.47	1.47	0.60	1.13

NR- No se realizó este análisis.

Tabla N° 7. Valores de pH, expresados en unidades de pH.

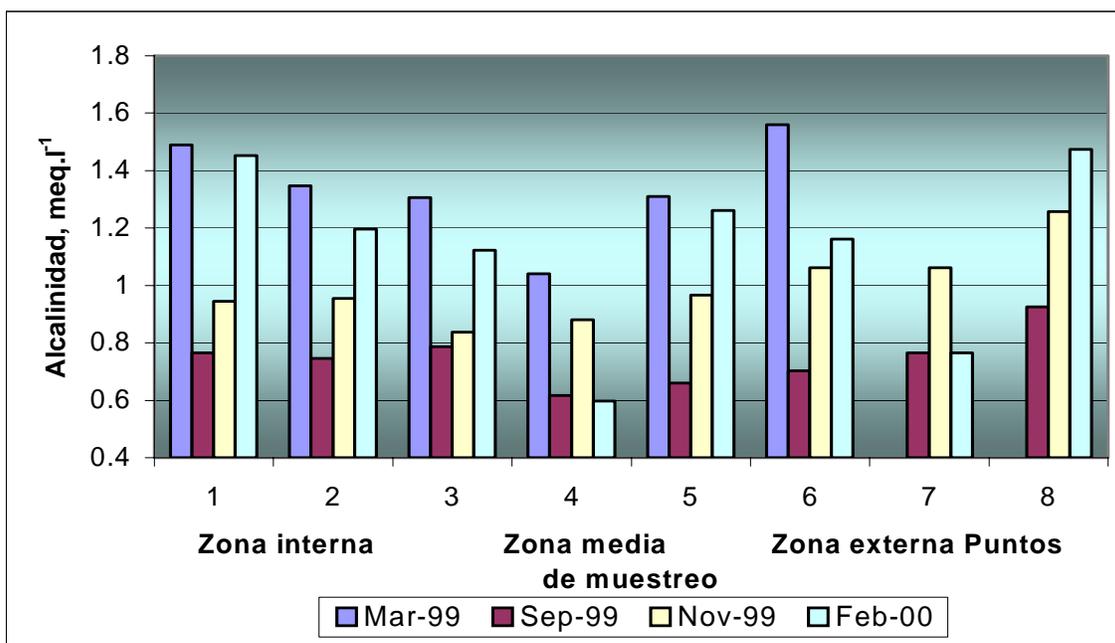
Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	7.15	7.32	7.59	7.38	7.54	7.55	NR	NR	7.59	7.15	7.42
Septiembre 99	6.79	7.22	7.28	7.16	7.15	7.35	7.55	7.55	7.55	6.79	7.26
Noviembre 99	7.50	7.70	7.64	7.50	7.35	7.51	7.62	7.92	7.92	7.35	7.59
Febrero 2000	7.31	7.58	7.71	7.55	7.62	7.81	8.08	8.05	8.08	7.31	7.71

NR- No se realizó este análisis.

En el mes de septiembre 99, el valor medio para la alcalinidad fue de 0.75 meq.l⁻¹ ± 0.09 meq.l⁻¹ (rango 0.62 meq.l⁻¹ - 0.93 meq.l⁻¹) y para el pH fue de 7.26 unidades de pH ± 0.25 unidades de pH (rango 6.79 - 7.55 unidades de pH), pasando de

ligeramente ácido a neutro, este comportamiento probablemente esté asociado al aporte pluvial y a la descarga de los ríos, debido a las altas concentraciones de ácidos orgánicos disueltos de origen alóctono (Esteves, 1988). Para los meses de marzo 99, noviembre 99 y febrero 2000 el rango de valores para la alcalinidad osciló entre 0.60 meq.l⁻¹ y 1.56 meq.l⁻¹ y los valores de pH, oscilaron entre 7.15 unidades de pH y 8.08 unidades de pH. Para estos meses secos (marzo 99, noviembre 99 y febrero 2000), hubo un ligero incremento tanto para la alcalinidad como para el pH, probablemente a consecuencia de los fuertes vientos del Norte y Noreste, que rompen con la estabilidad de la columna de agua, y la mezclan, facilitando la difusión del CO₂ atmosférico. La alcalinidad es debida a los iones bicarbonatos, los que asociados a los iones de calcio, le atribuyen a la laguna, esta característica levemente alcalina, no obstante se considera que la alcalinidad de la laguna es baja en comparación con otros ecosistemas similares (Comín, F, 1984), (Muñoz, I., 1998), lo que la vuelve vulnerable a cualquier cambio ambiental brusco.

Fig. N°6. Distribución estacional y espacial de alcalinidad en meq.l⁻¹.



En la figura N° 6, se ilustran los bajos valores de alcalinidad para el mes de septiembre 99 en todos los puntos muestreados, tal y como para el pH, en el mes de marzo 99 los valores fueron relativamente altos. Para el mes de febrero 2000 se observa una disminución de la alcalinidad en el punto N° 4 (zona media) y en el punto N° 7 (zona externa).

6.1.2) Análisis de las características químicas.

6.1.2.1) Relación Cl/ HCO₃ y tipos hidroquímicos.

En la tabla N° 8 se indican los valores calculados de la relación cloruro/ bicarbonato y en las tablas N°. 9, 10, 11 y 12 los valores obtenidos de los cationes y aniones principales en los ocho puntos de muestreo.

La distribución de los cuatros cationes principales por su abundancia de mayor a menor, sigue, salvo escasas excepciones, el orden típico de las aguas marinas: Na >Mg >Ca >K y su ciclo muestra las características de la mineralización explicadas en la salinidad.

Tabla N° 8. Relación de iones cloruro-bicarbonato (rCl/rHCO₃, valor adimensional).

Meses muestreados	Punto de muestreo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Marzo 99	33.5	47.9	37.6	106.4	132.6	158.9	NR	NR
Septiembre 99	0.52	1.58	4.49	10.0	57	74.8	60.2	107.8
Noviembre 99	30.7	21.5	25.0	74.0	95.4	103.0	93.2	204.1
Febrero 2000	137.1	145.5	136.7	48.7	154.7	198.9	307.07	208.9

r= meq.l⁻¹ ; NR-No Realizado.

Tabla N° 9. Valores iónicos expresados en meq.l⁻¹ correspondientes al mes de Marzo 99.

Puntos de muestreo	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃
1	2.617	9.194	41.02	1.16	1.490	49.22	5.22	Nd
2	3.290	11.36	54.16	1.47	1.347	64.47	6.792	Nd
3	2.654	9.082	41.11	1.10	1.306	49.14	5.086	Nd
4	4.388	21.20	95.57	2.48	1.040	110.63	11.77	Nd
5	6.633	33.67	146.16	3.43	1.310	173.65	20.29	Nd
6	9.082	46.32	212.28	7.26	1.560	247.82	24.30	Nd
7	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
8	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Nd- No detectado; NR-No realizado.

Para el mes de marzo 99, el rango de valores para el calcio osciló entre los 2.617 meq.l⁻¹ y 9.082 meq.l⁻¹ ; para el magnesio entre los 9.082 meq.l⁻¹ y 46.32 meq.l⁻¹ ; para el sodio entre los 41.02 meq.l⁻¹ y 212.28 meq.l⁻¹ ; para el potasio estos valores se encontraron en un rango entre 1.10 meq.l⁻¹ y 7.26 meq.l⁻¹ ; para el anión bicarbonato los valores oscilaron entre los 1.040 meq.l⁻¹ y 1.560 meq.l⁻¹ ; para el cloruro estos valores oscilaron entre los 49.14 meq.l⁻¹ y 247.82 meq.l⁻¹ ; para el sulfato entre los 5.22 meq.l⁻¹ y 24.30 meq.l⁻¹ ; y el anión carbonato no fue detectado. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que los iones predominantes en todo el eje horizontal de la laguna fueron el sodio y el cloruro con altas concentraciones, predominando el tipo hidroquímico Clorurado- Sódico. El rango de valores para la relación cloruro/bicarbonato varió entre 33.5 y 158.9 valores adimensionales. Estos valores son característicos para las aguas de mar (Custodio & Llamas, 1996).

Tabla N° 10. Valores iónicos expresados en meq.l⁻¹ correspondientes al mes de Septiembre de 1999.

Puntos de muestreo	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃
1	0.388	0.193	0.670	0.044	0.766	0.401	0.051	Nd
2	0.425	0.290	1.305	0.070	0.745	1.174	0.095	Nd
3	0.680	0.253	3.959	0.130	0.787	3.536	0.283	Nd
4	0.582	1.067	6.264	0.146	0.617	6.170	0.581	Nd
5	1.747	6.970	34.80	1.037	0.660	37.679	3.325	Nd
6	2.175	9.960	46.98	1.079	0.702	52.489	4.945	Nd
7	1.949	8.756	39.15	0.939	0.766	46.132	4.294	Nd
8	3.690	7.611	87.00	1.885	0.926	99.828	8.701	Nd

Nd- No detectado.

Para el mes de septiembre 99, el rango de valores para el calcio osciló entre los 0.388 meq.l⁻¹ y 3.690 meq.l⁻¹ ; para el magnesio entre los 0.193 meq.l⁻¹ y 9.960 meq.l⁻¹ ; para el sodio entre los 0.670 meq.l⁻¹ y 87.00 meq.l⁻¹ ; para el potasio entre 0.044 meq.l⁻¹ y 1.885 meq.l⁻¹ ; para el anión bicarbonato los valores encontrados estuvieron

entre los 0.617 meq.l^{-1} y 0.926 meq.l^{-1} ; para el cloruro los valores se encuentran en el rango entre los 0.401 meq.l^{-1} y $99.828 \text{ meq.l}^{-1}$ para el sulfato entre los 0.051 meq.l^{-1} y 8.701 meq.l^{-1} ; y el anión carbonato no fue detectado. El rango de valores para la relación cloruro/bicarbonato osciló entre los 0.52 y 10.78 valores adimensionales.

El tipo hidroquímico de la Laguna de perlas en el punto N° 1 (área de influencia de la Laguna de Top Lock y parte más interna de Laguna de Perlas), es el $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ (Bicarbonatado-Clorurado-Sódico) donde la relación $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ es igual a 0.52 (valor adimensional) característico de las aguas dulces, el que pasa a $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ (Clorurado-Bicarbonatado-Sódico) en las estaciones 2 y 3 (área de influencia de la Laguna de Tasbapauni y Punta Ebo) la relación $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ para estos puntos es de 1.58 y 4.49 respectivamente, lo cual indica que el agua tiene características dulces con tendencia a la salinización.

En el punto N° 4 (área de influencia del río Wawashang) el tipo hidroquímico predominante es el Cl-Na (Clorurado Sódico), la relación $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ es 10, indicando que el agua tiene características salobres hasta alcanzar el tipo hidroquímico predominante Cl-Na (Clorurado Sódico) en los puntos 5-8 ubicados cerca y en la barra o entrada del mar. La relación $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ obtenida para estos puntos de muestreo fue 57.0; 74.8; 60.2 y 107.8 respectivamente, estos valores son característicos para las aguas de mar.

A pesar del poder de dilución que presenta la laguna por la alta pluviosidad y por la entrada de agua dulce del escurrimiento superficial de los ríos, solamente en la parte más interna de la misma, se observa el carácter dulceacuícola, en la parte sur, el poder de concentración del agua del mar hace que prevalezcan las características salobres en el área de influencia del río Wawashang y las características de agua de mar en la parte externa de la laguna.

Tabla N° 11. Valores iónicos expresados en meq.l⁻¹ correspondientes al mes de Noviembre de 1999.

Puntos de muestreo	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃
1	1.471	5.881	26.10	0.62	0.944	28.996	2.921	Nd
2	1.177	4.142	18.10	0.45	0.955	20.521	2.033	Nd
3	1.177	4.142	19.23	0.45	0.837	20.952	2.071	Nd
4	2.402	12.21	59.60	1.25	0.880	65.160	6.518	Nd
5	3.407	17.62	82.22	1.73	0.966	92.112	10.59	Nd
6	4.334	21.38	96.14	2.15	1.062	109.44	11.16	Nd
7	4.137	20.09	96.14	1.96	1.062	99.01	10.15	Nd
8	9.417	47.42	234.03	4.67	1.257	256.66	26.20	Nd

Nd- No detectado.

El mes de noviembre 99, el rango de concentraciones para el calcio osciló entre los 1.177 meq.l⁻¹ y 9.417 meq.l⁻¹; para el magnesio entre 4.142 meq.l⁻¹ y 47.42 meq.l⁻¹; para el sodio entre los 20.521 meq.l⁻¹ y 256.66 meq.l⁻¹; para el potasio entre 0.45 meq.l⁻¹ y 4.67 meq.l⁻¹; para el anión bicarbonato los valores encontrados variaron desde 0.837 meq.l⁻¹ y hasta 1.257 meq.l⁻¹; para el cloruro desde 28.996 meq.l⁻¹ hasta 256.66 meq.l⁻¹; para el sulfato las concentraciones oscilaron entre 2.033 meq.l⁻¹ y 26.20 meq.l⁻¹; los valores de nitrato fueron bajos en todos los puntos, por debajo del límite de detección del método y el anión carbonato no fue detectado.

Puede observarse de que a pesar de que el mes de noviembre 99 se caracteriza por ser de la época lluviosa, las concentraciones de los iones sodio y cloruro son altas prevaleciendo el tipo hidroquímico Clorurado-Sódico. El rango de valores de la relación cloruro / bicarbonato, osciló entre 21.5 y 204.1, estos valores son característicos de las aguas de mar.

Tabla N° 12. Valores iónicos expresados en meq.l⁻¹ correspondientes al mes de Febrero 2000.

Puntos de muestreo	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃
1	8.396	38.23	178.35	3.75	1.453	199.25	19.50	Nd
2	7.524	35.24	153.99	3.75	1.197	174.13	17.22	Nd
3	6.772	32.03	131.37	3.09	1.122	153.41	15.10	Nd
4	1.426	6.494	27.41	0.64	0.598	29.165	2.90	Nd
5	7.921	40.59	179.22	4.59	1.261	195.07	19.34	Nd
6	8.237	46.80	210.54	0.96	1.161	230.90	22.58	Nd
7	9.345	48.07	222.72	5.09	0.766	235.22	46.29	Nd
8	11.80	66.80	289.28	6.86	1.473	307.64	30.87	Nd

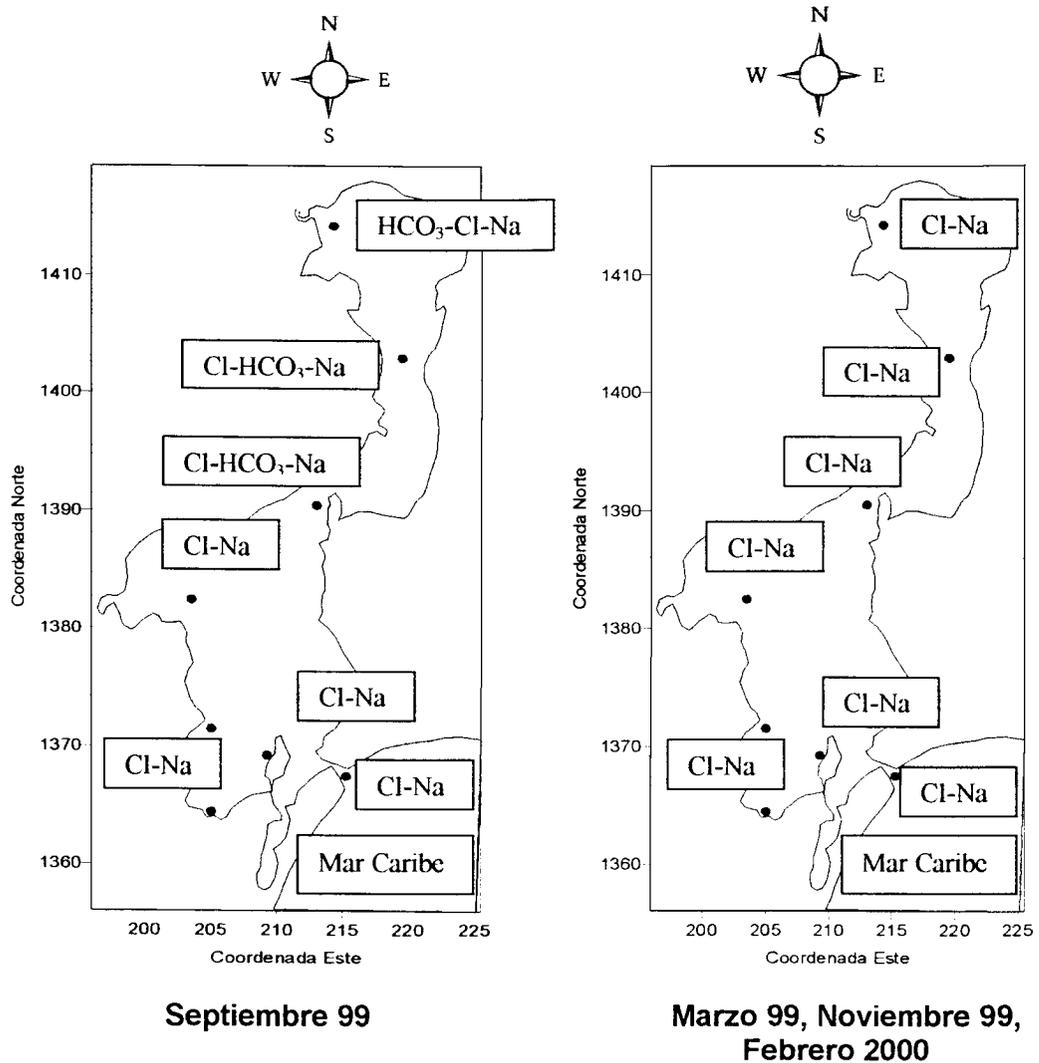
Nd- No detectado.

En el mes de febrero 2000, el rango de valores para el calcio osciló entre los 1.426 meq.l⁻¹ y 11.80 meq.l⁻¹ ; para el magnesio entre los 6.494 meq.l⁻¹ y 66.80 meq.l⁻¹ ; para el sodio entre los 27.41 meq.l⁻¹ y 289.28 meq.l⁻¹; para el potasio entre 0.64 meq.l⁻¹ y 6.86 meq.l⁻¹; para el anión bicarbonato los valores oscilaron entre los 0.598 meq.l⁻¹ y 1.473 meq.l⁻¹, para el cloruro los valores se encuentran en el rango entre los 29.165 meq.l⁻¹ y 307.64 meq.l⁻¹ ; para el sulfato entre los 2.90 meq.l⁻¹ y 30.87 meq.l⁻¹ ; y el anión carbonato no fue detectado. El anión y catión predominante en la Laguna de perlas para el mes de febrero fue el cloruro y el sodio presentando el tipo hidroquímico Clorurado-Sódico en todos los puntos de muestreo. El rango de valores para la relación rCl/rHCO₃ osciló entre los 68.5 y los 206.7 siendo estos valores característicos de las aguas de mar. Esto es debido a la alta evaporación de la zona para este período y probablemente al bajo flujo de los ríos.

Los tipos hidroquímicos que predominan en la laguna de Perlas, están altamente influenciados por el poder de concentración de las aguas del mar, la influencia de la dilución por los ríos que drenan a la laguna es **baja**, ya que prevalece el tipo hidroquímico Cl-Na, el predominio de las aguas continentales no se observa, las mismas se caracterizan por ser del tipo hidroquímico HCO₃-Ca-Mg (Margalef, 1983),

aún si no se toma en cuenta la cuña salina, debido a que el agua dulce por razones de densidad queda en la superficie.

Fig N° 7. Tipos hidroquímicos de la Laguna de Perlas.



En la figura N° 7, se puede observar que, solamente para el mes de septiembre 99, predominó el agua dulce en los puntos más internos de la laguna (Ptos. No. 1-3), en el punto 4 (área de influencia del río Wawashang) predomina el agua dulce con cierta tendencia a la salinización; en la parte más externa predomina el poder de concentración del agua de mar. Para los meses de marzo 99, noviembre 99 y febrero

6.1.2.2) Hierro Total

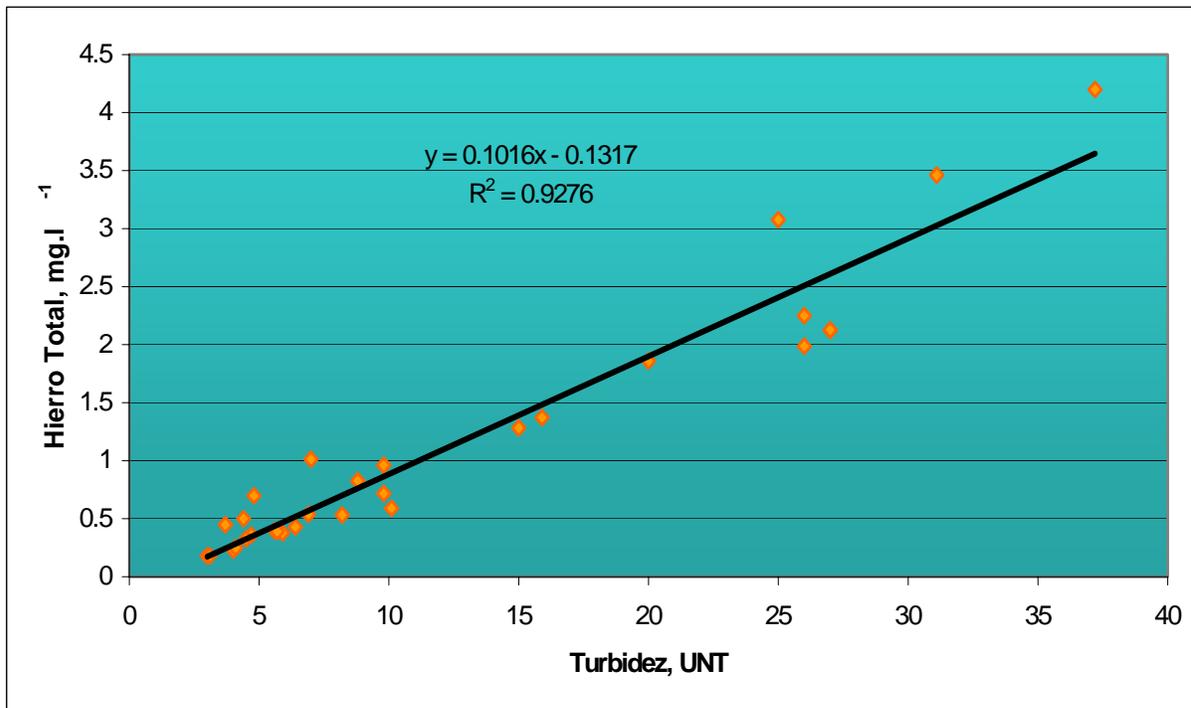
Tabla N° 13. Valores de Hierro Total, expresados en mg.l⁻¹

Meses muestreados	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	0.70	2.25	3.08	0.36	0.54	2.12	NR	NR	3.08	0.36	1.51
Septiembre 99	2.13	1.86	1.99	0.83	0.38	0.23	0.40	1.28	2.13	0.23	1.14
Noviembre 99	0.43	0.39	0.59	0.18	0.50	0.18	1.01	0.25	0.59	0.18	0.44
Febrero 2000	0.33	3.46	0.72	0.45	1.37	0.96	4.20	0.53	4.20	0.33	1.50

NR- No se realizó este análisis.

El rango de valores reportados para el mes de marzo 99 osciló entre 0.36 mg.l⁻¹ y 3.08 mg.l⁻¹; para el mes de Septiembre 99 osciló entre 0.23 mg.l⁻¹ y 2.13 mg.l⁻¹; para el mes de noviembre 99 se encontraron entre 0.59 mg.l⁻¹ y 0.18 mg.l⁻¹ finalmente para el mes de febrero del 2000 el rango de valores osciló entre 4.20 mg.l⁻¹ y 0.33 mg.l⁻¹. Los valores más bajos se reportaron para el mes de noviembre 99 tal y como para la turbidez. Para los meses de marzo 99, septiembre 99 y febrero 2000 el comportamiento de este parámetro fue heterogéneo. Estos valores se relacionaron positivamente con los valores de turbidez (el coeficiente de correlación lineal fue alto y $r=0.963$), por lo que se presume que la causa de los altos valores de hierro total en ciertos puntos de muestreo, esté asociada a la resuspensión de los sedimentos influenciada por los vientos. Así como también, por los procesos erosivos fluviales causados por los ríos que a la misma desembocan.

Fig. N° 8. Correlación lineal entre el hierro total, en mg.l⁻¹ y la turbidez, en UNT



En la figura N° 8 se observa la correlación lineal alta y positiva, evidenciando que los valores de hierro total van a depender del material en suspensión, en este caso expresado en términos de turbidez.

6.1.2.3) Sílice disuelta.

Tabla N° 14. Valores de sílice, expresados en mg.l⁻¹

Meses de muestreo	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	18.0	15.9	15.4	11.2	9.1	9.0	NR	NR	18.0	9.0	13.1
Septiembre 99	26.9	22.6	16.9	8.4	9.3	8.1	12.8	8.6	26.9	8.1	14.2
Noviembre 99	22.8	22.7	21.2	14.9	14.1	14.4	16.3	10.4	22.8	10.4	17.1
Febrero 2000	13.2	9.8	11.0	21.2	6.4	4.9	12.8	5.3	21.2	4.9	10.5

NR- No se realizó este análisis.

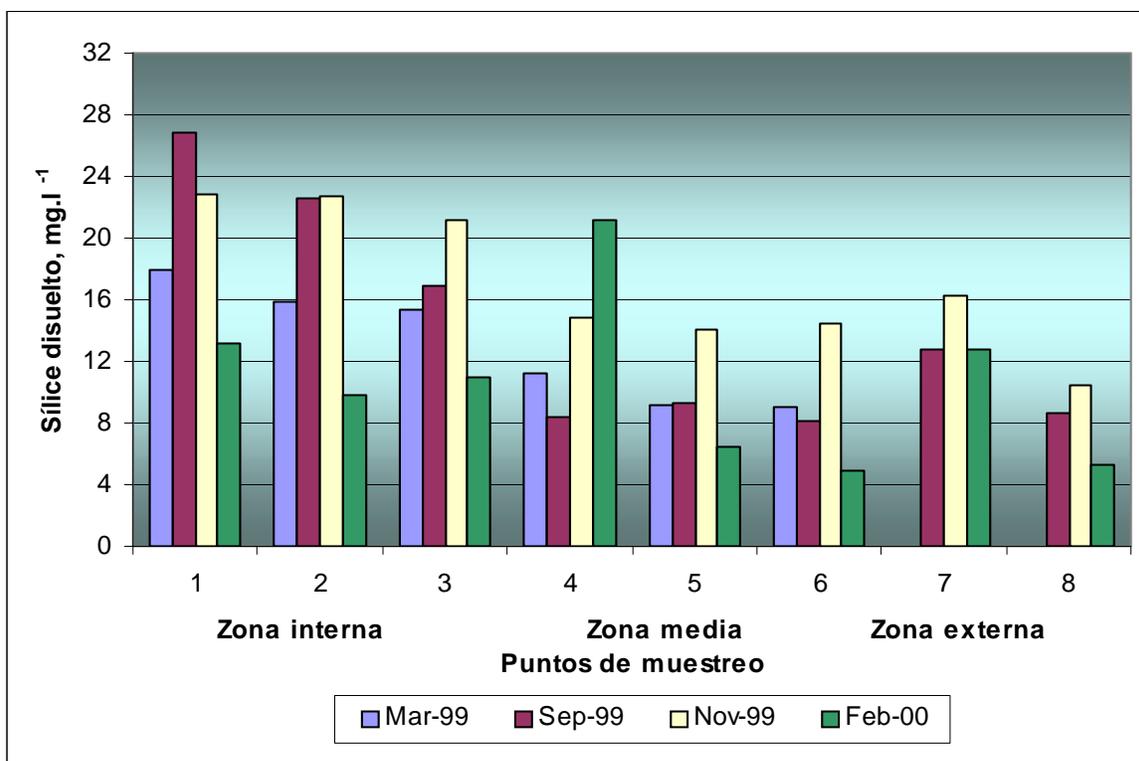
El valor medio de la sílice disuelta en el mes de marzo fue de $13.1 \text{ mg.l}^{-1} \pm 3.8 \text{ mg.l}^{-1}$ (rango $9.0 \text{ mg.l}^{-1} - 18 \text{ mg.l}^{-1}$); para septiembre 99 fue $14.2 \text{ mg.l}^{-1} \pm 7.2 \text{ mg.l}^{-1}$ (rango $8.1 \text{ mg.l}^{-1} - 26.9 \text{ mg.l}^{-1}$); para el mes de noviembre 99 el valor medio fue $17.1 \text{ mg.l}^{-1} \pm 4.3 \text{ mg.l}^{-1}$ (rango $10.4 \text{ mg.l}^{-1} - 22.8 \text{ mg.l}^{-1}$) y para el mes de febrero 2000 de $10.5 \text{ mg.l}^{-1} \pm 5.4 \text{ mg.l}^{-1}$ (rango $4.9 \text{ mg.l}^{-1} - 21.2 \text{ mg.l}^{-1}$). Como puede observarse la distribución estacional y espacial fue heterogénea. La misma podría deberse a varios factores, por un lado, por la intrusión de agua marina, la que se caracteriza por presentar bajas concentraciones de Sílice y por el otro, por las descargas de agua dulce que por lo general tienen elevadas concentraciones de Sílice (Wetzel, R., 1970).

Para los meses de septiembre 99 y noviembre 99 en los puntos N°1 y N°2 estas altas concentraciones probablemente estén relacionadas con la descarga de agua dulce proveniente del río Kurinwás. Adicionalmente, para el mes de noviembre 99, las mismas coinciden con el máximo de proliferación de algas de la familia de las bacilliarofitas (diatomeas), con más de 2000 células por mililitro, las cuales están compuestas por un caparazón silicio, sin embargo esta asociación no se observa para el mes de septiembre 99, el que presenta 214.7 células por mililitros.

Para los meses de marzo 99 y febrero 2000, esta variación no guarda relación alguna con los datos obtenidos con la abundancia de las diatomeas, a pesar de que las mismas, predominaron en número de células por mililitros con más del 50% del valor total, el coeficiente de correlación fue bajo para todos los casos, por lo que se podría aseverar que la concentración de Sílice está poco asociada por la actividad del grupo de algas antes mencionado.

Cabe destacar que algunos autores han demostrado que, el paso del Silicio al agua libre es a partir del sedimento, especialmente si éste, es compuesto principalmente por arcilla (Margalef, 1983).

Fig. N° 9. Distribución estacional y espacial de la sílice disuelta en mg.l^{-1}



En la fig. N° 9 se observa la heterogénea distribución de las concentraciones de Sílice. Los valores mas altos se encuentran en la zona interna para los cuatro periodos muestreados, influenciada por el agua dulce de los ríos que en general tienen una concentración más alta que el agua salobre o de mar. En la zona externa se observan menores concentraciones. Estas concentraciones guardan poca asociación con la abundancia de las diatomeas, parecer ser que existe otra fuente que está aportando sílice a la laguna.

6.1.3) Análisis de los Indicadores de contaminación orgánica.

6.1.3.1) Oxígeno Disuelto.

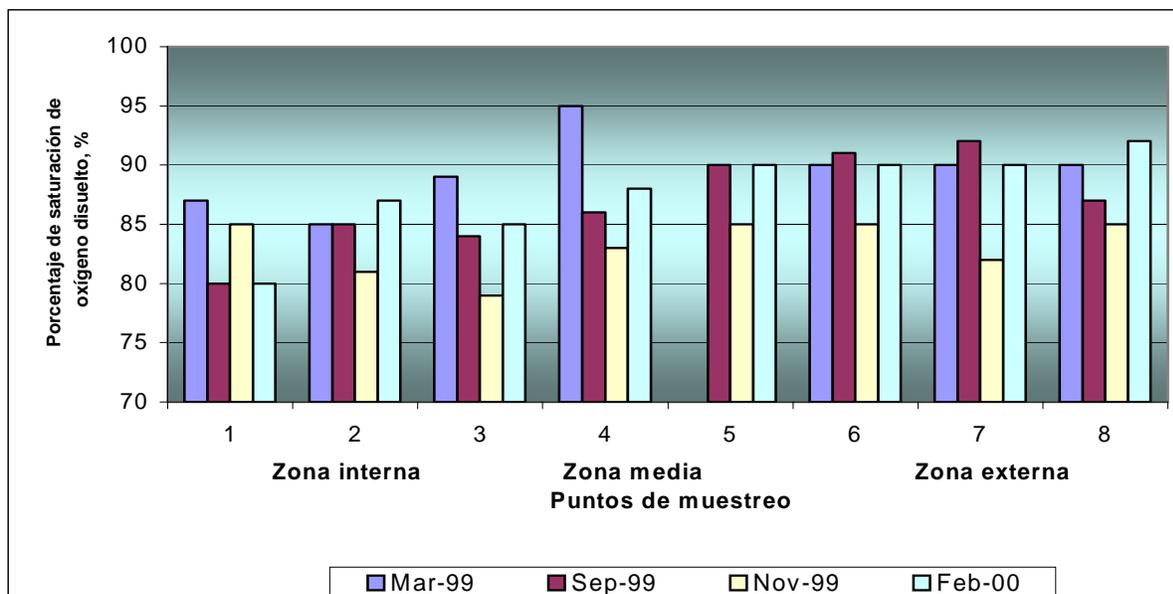
Tabla N° 15. Valores de saturación de oxígeno disuelto, expresados en %

Meses de muestreo	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	87.0	85.0	89.0	95.0	NR	90.0	90.0	90.0	95.0	85.0	88.0
Septiembre 99	80.0	85.0	84.0	86.0	90.0	91.0	92.0	87.0	92.0	80.0	87.0
Noviembre 99	85.0	81.0	79.0	83.0	85.0	85.0	82.0	85.0	85.0	79.0	83.0
Febrero 2000	80.0	87.0	85.0	88.0	90.0	90.0	90.0	92.0	92.0	80.0	88.0

La concentración de oxígeno disuelto en las aguas superficiales de la Laguna de Perlas fue relativamente homogénea. Para el mes de marzo 99 el rango de valores osciló entre 85% y 95%; para el mes de septiembre 99, entre 80% y 92%; para el mes de noviembre 99 el rango osciló entre los 79% y 85% y para febrero 2000 entre 80% y 92%. En ninguno de los meses de muestreo se observó sobresaturación de oxígeno disuelto, así como también no se observaron características anóxicas en la laguna. Los valores máximos de saturación corresponden a los meses de marzo 99, septiembre 99 y febrero 2000 (con 95%, 92% y 92% respectivamente) es probable que los relativamente altos valores de % de saturación de oxígeno disuelto se deba a los procesos fotosintéticos de las comunidades del fitoplancton en la laguna (liberación de oxígeno), adicionalmente, los mismos se incrementan con la agitación turbulenta provocada por el viento, la que eleva el nivel de difusión de oxígeno en el agua, independientemente de la presión parcial del oxígeno y del coeficiente de solubilidad. Para el mes de noviembre 99, se observan los valores más bajos de saturación de oxígeno, debido probablemente a la poca turbulencia de la laguna, evidenciado por los bajos valores de turbidez, y por lo tanto baja difusión del oxígeno atmosférico, para este mes, la única fuente de oxígeno, se presume fue la actividad fotosintética.

Es importante mencionar que los valores reportados se encuentran dentro de los límites adecuados para el desarrollo normal de la vida acuática tal como lo menciona McKentchum (1969) como límite para aguas tropicales.

Fig. N°10. Distribución estacional y espacial del % de saturación de Oxígeno disuelto para Laguna de Perlas.



En la figura N°10 se observa la distribución espacial y estacional de la laguna de Perlas. Como puede apreciarse los valores más bajos de saturación de oxígeno fueron en el mes de noviembre.

6.1.3.2) Coliformes Fecales: Indicador biológico de contaminación.

Tabla N° 16. Valores de bacterias coliformes fecales, expresados en (CF/100 ml).

Meses de muestreo	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Media
Marzo 99	20	40	80	20	20	23	4	2	80	2	30
Septiembre 99	80	2	4	8	70	2	9	17	80	2	26
Noviembre 99	49	30	8	33	17	4	80	30	80	4	31
Febrero 2000	120	40	40	50	60	30	90	10	120	10	55

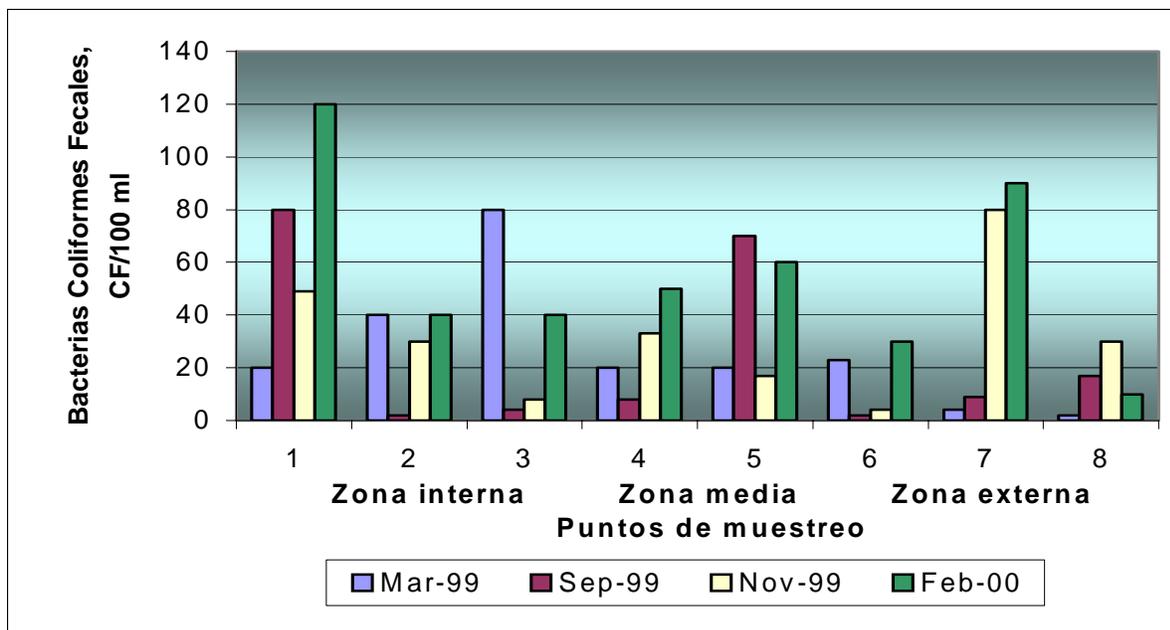
En el mes de septiembre 99, el rango de valores de coliformes fecales osciló entre los 80 CF/100 ml y 2 CF/100 ml, para el mes de marzo 99 entre los 80 CF/100 ml y 2 CF/100 ml; para el mes de noviembre 99, varió en un rango entre 80 CF/100 ml y 4 CF/100 ml; para el mes de febrero 2000 el rango de valores osciló entre los 120 CF/100 ml y 10 CF/100 ml. Se esperaba que los valores más altos de bacterias coliformes fecales se produjeran en el mes de septiembre 99 y noviembre 99, como consecuencia de la escorrentía superficial que arrastra materia orgánica de la parte alta de la cuenca.

En el mes septiembre en los puntos N°1 (que es la parte mas interna de la laguna irrigada por los ríos Grande de Matagalpa y Kurinwás) y N°5 (frente a la comunidad de Kakabila) se obtuvieron los máximos valores (80 y 70 CF/100 ml respectivamente) Orozco-Borbón et al 1994, en la bahía de Todos Santos en Baja California reportaron valores de hasta 350 CF/100 ml, como consecuencia del arrastre de las lluvias, las que ocasionaron un incremento en el flujo de los arroyos San. Carlos y Ensenada.

En noviembre 99, los valores de coliformes fecales fueron bajos, a excepción del punto N° 7 con 80 CF/100 ml). Por otro lado en la época seca los valores fueron relativamente más altos, se presume que el factor que pudo haber causado el incremento de bacterias coliformes fecales, se deba a la presencia de aves acuáticas, el National Shellfish Sanitation program (U.S. Public Health Service 1986) considera que las zonas donde viven aves acuáticas presentan contaminación fecal, existiendo una relación directa entre la presencia de ellas y las bacterias coliformes fecales.

Los valores encontrados en los cuatro períodos muestreados no reflejan indicios de contaminación fecal, debido a que no sobrepasan los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud para aguas de recreación con un contacto total del cuerpo (200 CF /100 ml).

Fig. N°11. Distribución estacional y espacial de bacterias coliformes fecales/100 ml.



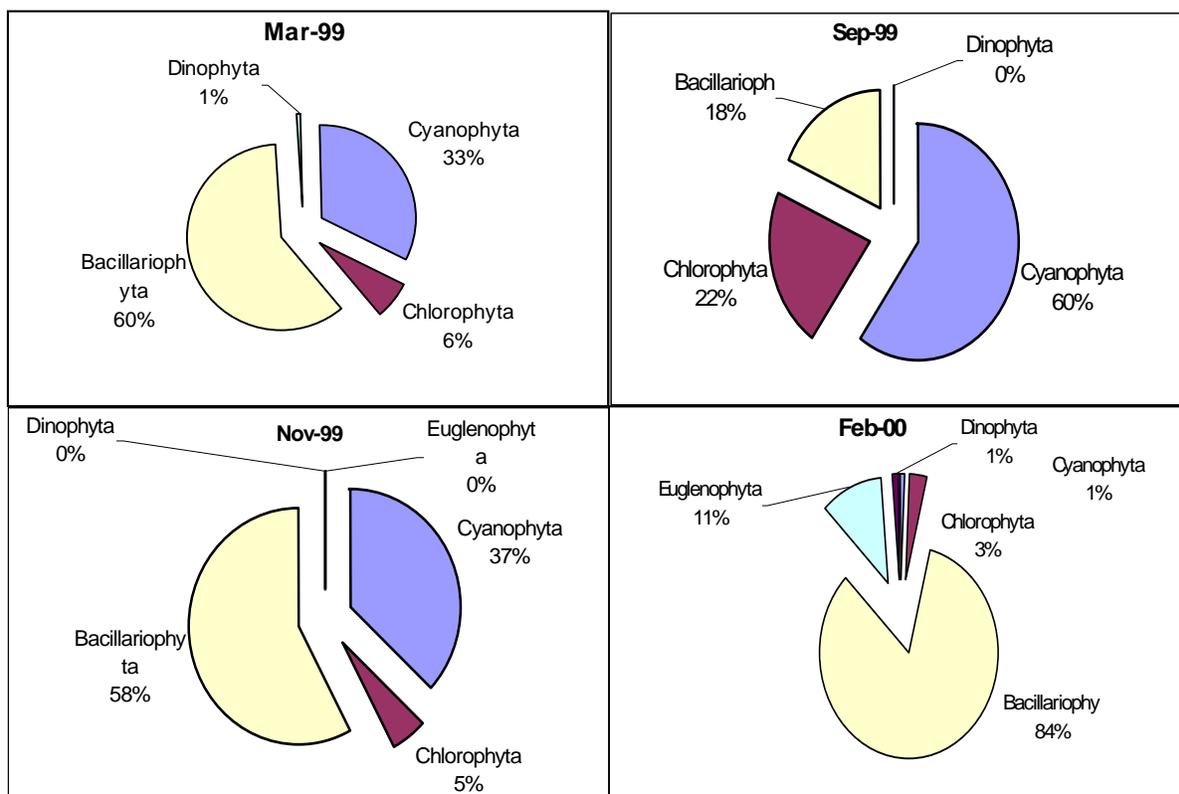
En la figura N° 11 se observa que para el mes de septiembre 99 los valores fueron bajos, solamente en dos puntos que corresponden al pto. N° 1 y N° 5, los que se caracterizan por ser el área de influencia de la laguna de Top Lock y el área de influencia de la comunidad Kakabila respectivamente, muestran valores entre 60 y 80 CF/100 ml. Para noviembre 99, solamente en los puntos N° 1 y N° 7 se observan en valores entre 40 CF/100 ml y 80 CF/100 ml. Para el mes de febrero los valores fueron relativamente altos en todos los puntos de muestreo.

6.2. Caracterización estacional y espacial de aspectos biológicos.

6.2.1 Análisis de la composición y abundancia del fitoplancton.

Se identificaron un total de 72 taxa de algas en la Laguna de Perlas (Ver Anexo N°4) durante los cuatro muestreos realizados: 7 taxa corresponden al grupo de las Cyanophyta, 14 a las Chlorophyta, 45 a las Bacillariophyta, 3 al grupo de las Euglenophyta y 2 a las Dinophyta.

Fig. N° 12. Distribución de los principales grupos del fitoplancton de la Laguna de Perlas, expresado en %.



Existe una marcada diferencia en el comportamiento horizontal y estacional de la abundancia numérica del fitoplancton (fig. N°12). Se consideró como grupo taxonómico dominante, el grupo que aporta más del 50 % a la densidad total.

La abundancia numérica de los diferentes grupos taxonómicos en los diferentes puntos y meses de muestreo se resumen en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17. Abundancia del fitoplancton, expresado en células por ml correspondiente a los cuatros meses muestreados.

Mes de marzo de 1999											
Grupos	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Media	%
Cyanophyta	791.0	NR	1,468	188.5	0	225.6	345.1	0	3018.2	431.2	32.6
Chlorophyta	345	NR	18.6	53.1	98.2	79.6	0	0	594.5	118.9	6.4
Bacillariophyta	297.3	NR	467.2	809.6	536.2	637.1	1,035	1,805	5587.4	798.0	60.4
Dinophyta	0	NR	5.3	2.7	5.3	0	39.8	0	53.1	13.3	0.6
Total	1,433	NR	1,959	1,054	640	942	1420	1,805	9,253	1,321	100
NR- No se realizó este punto											
Mes de septiembre de 1999											
Grupos	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Media	%
Cyanophyta	10.6	21.2	10.6	37.1	10.6	111.5	3,435	37.1	3,673.7	459.2	60
Chlorophyta	45.1	347.7	103.5	103.5	143.5	153.9	292.0	127.4	1,316.6	163.6	21.5
Bacillariophyta	214.7	116.8	64.6	220.3	82.2	98.2	215.0	119.5	1,131.3	141.4	18.5
Dinophyta	0	2.6	0	0	0	0	0	0	2.6	0.33	0.03
Total	270.4	488.3	178.7	360.9	236.3	363.6	3942	284	6,124.2	765.5	100
Mes de noviembre de 1999											
Grupos	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Media	%
Cyanophyta	1,744	1,176	737.9	61.1	79.6	29.2	47.8	84.9	3,960.5	495.1	35.8
Chlorophyta	270.7	246.9	140.7	111.5	7.9	31.9	45.1	53.1	907.8	113.5	5.2
Bacillariophyta	2,641	2,400	846.8	61.1	23.9	0	87.6	135.4	195.8	885.1	55.9
Euglenophyta	0	2.7	0	0	0	0	0	0	2.7	0.34	0.02
Dinophyta	0	10.6	0	0	0	0	0	0	10.6	1.325	0.1
Total	4,656	3,836	1,725	233.7	111.4	61.1	180.5	273.4	5,077.4	1.385	100
Mes de febrero del 2000											
Grupos	Puntos de muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Media	%
Cyanophyta	0	0	0	63.7	0	0	0	0	63.7	7.96	0.7
Chlorophyta	29.2	0	0	236.3	0	37.2	2.7	15.9	321.3	64.3	3.4
Bacillariophyta	1,412	45.1	5,038	793.7	111.5	361.0	92.9	116.7	7,970.9	996.4	83.6
Euglenophyta	5.3	15.9	15.9	1,027	0	2.7	0	2.7	1065.5	178.3	11.2
Dinophyta	13.3	2.7	15.9	0	10.6	26.5	0	45.1	114.1	19.0	1.2
Total	1,460	63.7	5,070	2,121	122.1	427.4	95.6	180.4	9540.2	1,192.5	100

En el mes de marzo 99 el número de cel.ml⁻¹ osciló entre el rango de 640 cel.ml⁻¹ y 1,959 cel.ml⁻¹; para septiembre entre el rango de 178.7 cel.ml⁻¹ y 3,942 cel.ml⁻¹; para noviembre 99 entre el rango de 61.1 cel.ml⁻¹ y 4,656 cel.ml⁻¹ y para el mes de febrero 2000, el rango osciló entre valores de 63.4 cel.ml⁻¹ y 5,070 cel.ml⁻¹.

Cyanophyta.

El grupo de las Cyanophyta para el mes de marzo 99 soportó una marcada diferencia espacial. El valor medio fue de 431.2 cel.ml⁻¹ (rango 189 - 1467.0 cel.ml⁻¹) representando el 32.6 % del total de células. La mayor concentración de algas se registró en el punto N° 3, dominado por el género **Anabaena sp.** con 1,457 cel.ml⁻¹, coincidiendo a su vez con el máximo valor para este mes de Clorofila -a (17.2 µg.l⁻¹).

Durante el mes de Septiembre 99, este grupo tuvo presencia en todos los puntos de muestreo con un valor medio de 459.2 cel.ml⁻¹ (rango 10.6 - 3,435 cel.ml⁻¹) equivalente al 60 % del total. Analizando los resultados de abundancia numérica por punto de muestreo, se observa que los valores fueron bajos (menores de 120 cel.ml⁻¹) a excepción del punto N° 7, donde se detecta un aumento sustancial (3,435 cel.ml⁻¹), sobresaliendo el género **Microcystis sp.** (con 72% de la densidad total) coincidiendo a su vez con el máximo valor de clorofila-a (11.25 µg.l⁻¹) y de saturación de oxígeno (92 %). Este aumento probablemente se explique, por los bajos niveles de fósforo y ortofosfato disuelto, los cuales estuvieron por debajo del límite de detección del método (< 5 µg.l⁻¹), lo cual puede suponer un alto consumo de los mismos.

El grupo de las **Cyanophyta** para el mes de noviembre 99 reporta una media de 495 cel.ml⁻¹, que corresponde al 35.8 % del total. En los puntos 1 y 2 (zona interna de la laguna), se registran la mayor densidad poblacional, destacándose en ambos puntos la especie **Anabaena planctonica**, especie que se caracteriza por ser de agua dulce (González, 1988). Su presencia probablemente esté influenciada por el escurrimiento

del río Kurinwás, a través de la Laguna de Top Lock. En febrero 2000, este grupo fue identificado únicamente en el punto N° 4, representado por el 0.7 % del total de células, probablemente como consecuencia de la influencia del río Wawashang.

Bacillariophyta.

El grupo de las **Bacillariophyta o diatomeas** presentó una mayor riqueza de especies y una mayor abundancia numérica en comparación con los otros grupos taxonómicos, en casi todos los puntos y los meses de muestreo. El valor medio de abundancia de las **diatomeas** para el mes de marzo fue de 798.0 células por mililitro (rango 297.3 - 1,805 cel.ml⁻¹) representando el 60.4% del total de células contadas; para el mes de noviembre fue de 885 células por mililitro (55.9%) (rango 23.9 - 2,641 cel.ml⁻¹) y para febrero fue de 996 células por mililitro representando el 80% del total de células identificadas para este mes (rango 45.1 - 5,038 cel.ml⁻¹). La predominancia de este grupo de algas en estos meses, podría deberse a la tolerancia a altas salinidades, ya que las diatomeas se caracterizan por ser eurihalinas. Por otro lado, la alta disponibilidad de sílice en el medio (13.6 mg.l⁻¹) y la acción de los vientos que azotan a la laguna en los meses de febrero y marzo (estación seca), favorecen la resuspensión y la multiplicación de sus células. Cabe destacar también que, en este último muestreo, la riqueza de especies fue más alta (26 taxa identificadas) que en los otros meses, probablemente como consecuencia del aumento de la salinidad para este mes (valor medio de 12.2‰). Los valores de salinidad para los meses de marzo y noviembre fueron de 7.4‰ y 5.5‰ respectivamente.

Las **diatomeas** *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus sp.*, *Nitzschia sp.* y *Navicula sp.* fueron los taxa más frecuentemente encontradas en los diferentes puntos de muestreos.

Chlorophyta.

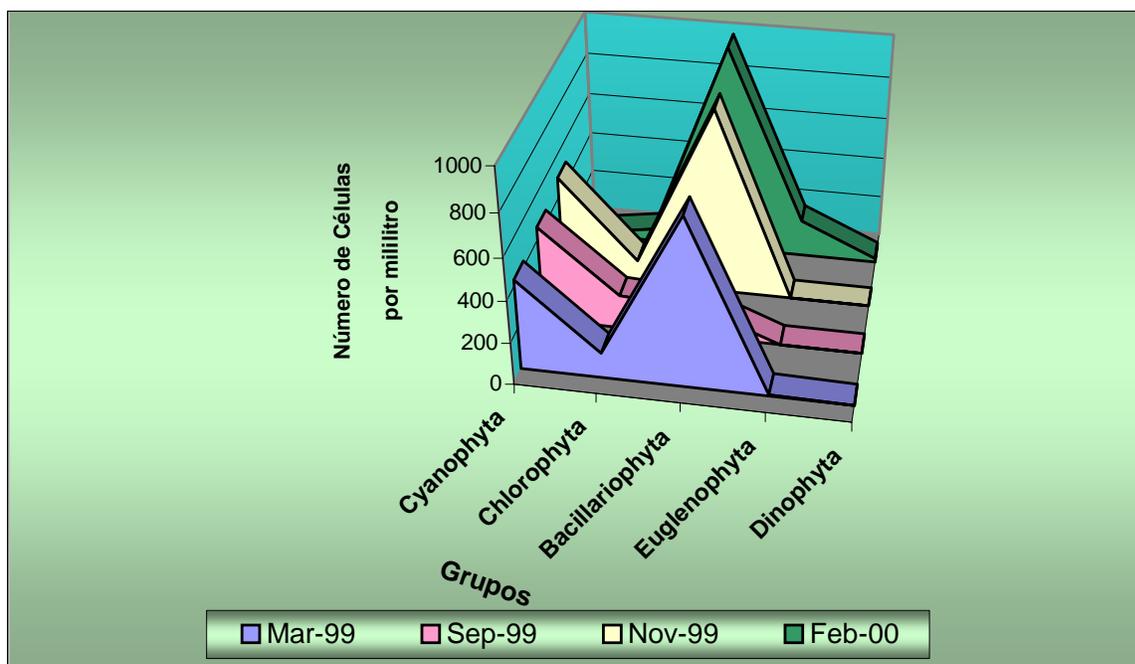
Para este mes de septiembre el grupo **Chlorophyta**, fue el grupo más diverso (12 taxa identificadas), la media de la densidad poblacional fue de 163.6 células por mililitro representando el 18.5% del total de células identificadas (rango 18.6 – 345.1 cel.ml⁻¹), el valor medio de la salinidad para este mes fue de 2 ‰, Lewis (1978) afirma que la diversidad de este grupo de algas es alta en cuerpos de aguas tropicales con baja o moderada salinidad. Para los meses de marzo, noviembre y febrero las **Chlorophyta** estuvieron presentes en bajas densidades poblacionales, el valor medio fue de 163.6 cel.ml⁻¹, 5.2 cel.ml⁻¹ y 3.4 cel.ml⁻¹ respectivamente. González (1988), afirma que este grupo de algas al igual que las **Cyanophyta** se caracterizan por vivir en ambientes extremos.

Euglenophyta y Dinophyta.

Las algas del grupo de las **Euglenophyta** y de las **Dinophyta** se identificaron en varios puntos de muestreos, su abundancia en todo momento representa menos del 1% del total de células por ml⁻¹, solamente en el mes de febrero se observó un máximo de **Euglenophyta** en el punto N° 4 área de influencia del río Wawashang con una concentración de 1,027 cel.ml⁻¹.

En general, se podría concluir a partir de este indicador biológico, que las condiciones ambientales de la Laguna de Perlas, están influenciada en ciertas áreas por los ríos que drenan a la misma, caracterizándola como un ambiente que se encuentra con bajos niveles de contaminación, con una alta de diversidad de especies y baja abundancia en el número de células por mililitro.

Fig. N° 13. Distribución y abundancia de los principales grupos del fitoplancton de la Laguna de Perlas, expresado en células por mililitro.



En la figura N° 13 puede observarse que las **Bacillariophyta**, son el grupo mayormente representado y con alto número de células por mililitro, las Cyanophyta, tuvo presencia, aunque con densidades poblacionales relativamente baja, en todos los meses de muestreo (a excepción del mes de febrero, donde no fue identificada). Las Chlorophyta presentaron menores concentraciones de algas en células por mililitro. Euglenophyta y Dinophyta fueron escasas, su presencia se observa solamente en el mes de febrero 2000, como producto de las condiciones caracterizadas como agua salobre mesohalinas y agua de mar oligohalina.

6.3 Relación entre parámetros físico-químicos y biológicos.

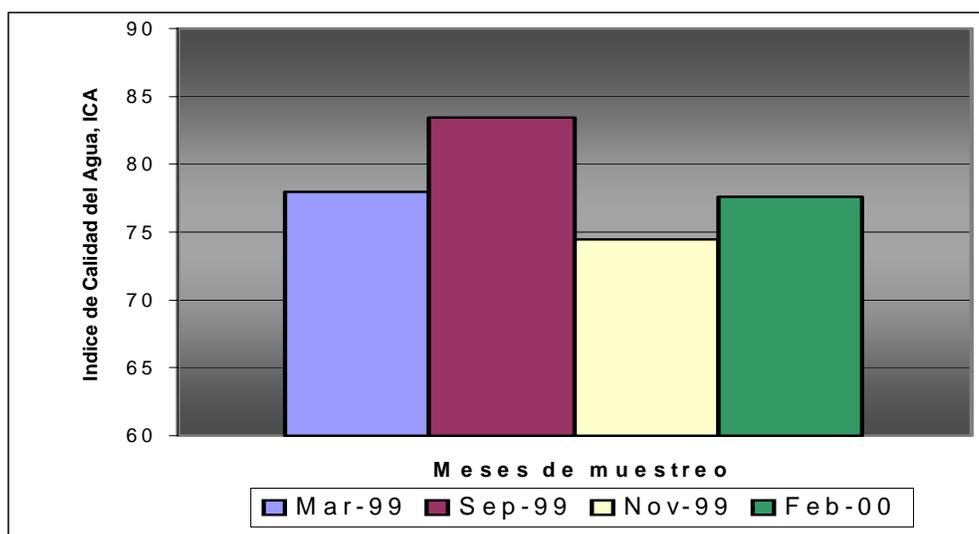
6.3.1 Índice de Calidad del Agua.

Tabla N° 18. Valores calculados para el Índice de Calidad de Agua (ICA), valores adimensionales.

Meses de muestreo	Puntos de Muestreo								Rango		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max	Min	Med
Marzo 99	78.1	75.4	73.6	85.2	NR	77.9	NR	NR	85.2	73.6	78.0
Septiembre 99	77.6	88.0	85.4	85.3	77.8	87.0	84.0	82.4	88.0	77.6	83.4
Noviembre 99	72.4	72.3	73.8	73.8	78.2	79.4	72.0	74.4	79.4	72	74.5
Febrero 2000	73.4	74.6	80.0	78.9	77.9	78.6	75.7	81.4	81.4	73.4	77.6

El valor medio del índice de calidad del agua (ICA) en el mes de Marzo 99 fue de 78.0 (rango 73.6 - 85.2), para el mes de septiembre de 83.4 (rango 77.6 – 88.0), para los meses de Noviembre 99 y Febrero 2000 de 74.5 (rango 72 –79.4) y de 77.6 (rango 73.4 – 81.4) respectivamente (Ver cálculos en el Anexo N° 5). De acuerdo a los valores medios y los rangos calculados el Índice de Calidad del Agua de la Laguna de Perlas resultó ser de Buena Calidad, para recreación, pesca comercial y acuicultura.

Fig. N° 14 Distribución estacional del Índice de Calidad del Agua.



6.3.2. Índice del Estado Trófico de Carlson.

Tabla N° 19. Valores medios calculados para el Índice del Estado Trófico (IET) de Carlson.

Meses de muestreo	IET (DS)	IET (FT)	IET (Cl-a)
Marzo 99	73	66	52
Septiembre 99	66	48	49
Noviembre 99	73	40	36
Febrero 2000	80	27	47

De acuerdo a los resultados del cálculo el Índice del Estado Trófico (IET) para el Disco de Secchi, la Laguna se clasifica como eutrófica, sin embargo de acuerdo al Índice del Estado Trófico para el fósforo total y la clorofila-a, Laguna de Perlas se clasifica como mesotrófica.

Según estos resultados se podría concluir que la laguna es mesotrófica (es decir de mediana productividad) con tendencia a la eutrofización (alta productividad).

(ver el cálculo de los resultados en el Anexo N° 6).

7. CONCLUSIONES

1. Las variaciones estacionales y espaciales de la temperatura obedecen a los cambios climáticos de la región caribeña.
2. Los bajos valores de salinidad del agua en la parte interna de la laguna se deben fundamentalmente al aporte de agua dulce de los ríos y a la alta precipitación de la zona.
3. Los altos valores de color verdadero están relacionados al arrastre del material de origen orgánico debido a la escorrentia superficial.
4. El comportamiento heterogéneo de la turbidez del agua esta asociado fundamentalmente al aporte de material inorgánico.
5. La baja alcalinidad de la laguna, la vuelve vulnerable a cualquier cambio ambiental brusco.
6. La Laguna de Perlas se caracterizó por ser del tipo hidroquímico Clorurado Sódico (Cl - Na). Solamente para el mes lluvioso (septiembre) en la zona interna de la laguna se presentó el tipo hidroquímico Bicarbonatado Clorurado Sódico ($\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$).
7. La heterogeneidad de las concentraciones de hierro total está relacionada a la resuspensión de los sedimentos de la laguna, evidenciados por los valores de turbidez.
8. Las variaciones en las concentraciones de sílice disuelta están relacionadas al tipo de agua que alimenta a la laguna.

9. La saturación de oxígeno disuelto se encuentra dentro de los límites adecuados para el desarrollo normal de la vida acuática, para cuerpos de aguas tropicales.
10. Las concentraciones de coliformes fecales no reflejan indicios de contaminación, debido a que no superan los valores guías establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas de recreación con contacto total con el cuerpo.
11. La composición y abundancia del fitoplancton, utilizado como indicador biológico de contaminación, caracteriza a la laguna como un ambiente con bajo nivel de contaminación.
12. Los valores del Índice de Calidad del Agua (ICA), caracterizan a las aguas de la Laguna de Perlas como " Aguas de buena calidad ".
13. De acuerdo al Índice del Estado Trófico de Carlson (IET) para el disco de Secchi, fósforo total y clorofila-a, clasifican a la Laguna de Perlas como mesotrófica (mediana productividad) con tendencia a la eutrofización (alta productividad).

8. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, a pesar de que la Laguna de Perlas se encuentra en buenas condiciones, la misma es frágil y vulnerable a cambios ambientales bruscos, por lo que se recomienda en la medida de lo posible, lo siguiente:

1. Elaborar estrategias que vayan dirigidas a un plan de manejo del uso de los suelos para evitar la erosión y la consecuente sedimentación en la Laguna de Perlas.
2. Sobre la base de este estudio realizar monitoreos de los parámetros físicos (como pH y alcalinidad) y químicos (hierro total, sílice disuelta y oxígeno disuelto) que mostraron mas variabilidad por las condiciones climatológicas y régimen de mareas de la laguna, desde una perspectiva mas profunda.
3. Llevar a cabo investigaciones en el sedimento para conocer su composición y contenido de materia orgánica, ya que al parecer es uno de los problemas que enfrenta la Laguna de Perlas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agudo, E. G. (1988). **Guía Técnico de Coleta y Preservação de Amostras de Água**. São Paulo, Brasil, CETESB.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), (1995). **Standard Methods for the examination for the water and wastewater**. 19ed. Washington D.C.
3. Brenes C., A Gallegos & E. Coen (1998). **Variación Anual de la Temperatura Superficial en el Golfo de Honduras**. Biol. Trop.: 46 Supl (4). 45-56 pag.
4. Brenes C. & A. Hernández (1999). **Condiciones Oceanográficas del Caribe Nicaraguense**. Laguna de Perlas, Nicaragua: DIPAL.
5. Brenes, C. & H. Castillo, (1999). **Hidrografía de la Laguna de Perlas**. Laguna de Perlas, Nicaragua: DIPAL.
6. Cameron, W. M. & Pritchard, D.; W. (1963). **Estuaries**. En The Sea. Nueva York, Interscience Publishers, 306-324 pag.
7. Carlson, R. (1977). **A trophic state index for lakes**. Limnol. Oceanogr.: v: 22(2): . 361-369 pag.
8. Centro de Investigaciones de Recursos Hidrobiológicos. (1997). **Informe Bienal 1995-1996**. Managua: CIRH, MEDEPESCA.

9. Comín, F. (1984). **Características físicas, químicas y de fitoplancton de las lagunas costeras, Encañizada, Tancada y Buda (Delta del Ebro)**. Oecologia aquatica: 7: 79-162 pag.
10. Cubillos, A. (1996). **Calidad del agua y control de la polución**. Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (C.D.I.A.T.). 145 pag.
11. Cupp, E. E. 1977. **Marine plankton diatoms of the west coast of North America**. 237 pag.
12. Custodio, E. & M. Llamas. (1996). **Hidrología subterránea**. Barcelona, España: Ediciones Omega, 2t.
13. Custodio, E & M. Llamas (1984). **Hidrología Subterránea**. Barcelona, España: Ediciones Omega, . 2t.
14. Darley, M W., (1987). **Biología de las algas: Enfoque ecológico**. México: Limusa. 235pag.
15. Derisio, J.C., (1992). **Introdução ao controle de la poluição ambiental**. São Paulo, Brasil: CETESB. 201 pag.
16. Doménech, X. (1995). **Química de la hidrosfera: Origen y destino de los contaminantes**. España: Miraguano Ediciones. 174 pag.
17. Esteves, Francisco de Asis, (1988). **Fundamentos de limnología**. Río de Janeiro : Interciencia. 575 pag.

18. Fenzl, N. (1986). **Introdução à hidrogeoquímica**. Belem, Brasil: Universidad Federal do Pará. 189 pag.
19. Geitler, L & A. Pascher, 1925. Die Süsswasser – **Flora. Cyanochloridinae Cyanobacteria. Helft Cyanophyceae**. 463 pag.
20. González, A. (1988). **El plancton de las aguas continentales**. Washington, D.C.: Organización de los Estados Americanos. 130 pag.
21. Hendeby, N. I. 1964. **An introductory account of the smaller algae of British coastal waters**. 317 pag.
22. <http://www.iztapalapa.uam.mx/iztapalapa.www/cdelm/inzoco/lagunas.htm>.
23. Huber – Pestalozzi, G. 1968. **Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 3 Teil. Cryptophyceae, Chloromonadophyceae, Dinophyceae**. 322 pag.
24. Huber – Pestalozzi, G. 1955. **Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 4 Teil. Euglenophyceae**. 986 pag.
25. Huber – Pestalozzi, G. 1983. **Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 7 Teil. Chlorophyceae (Grunalgen)**. 1044 pag.. 986 pag.
26. Husted, F. 1930. **Die Kieselagen 1, Teil**, 917 pag.
27. INDERA. (1993). **Diagnóstico de las comunidades pesqueras del sub-municipio de Laguna de Perlas**. Vol. IX RAAS, Bluefields.

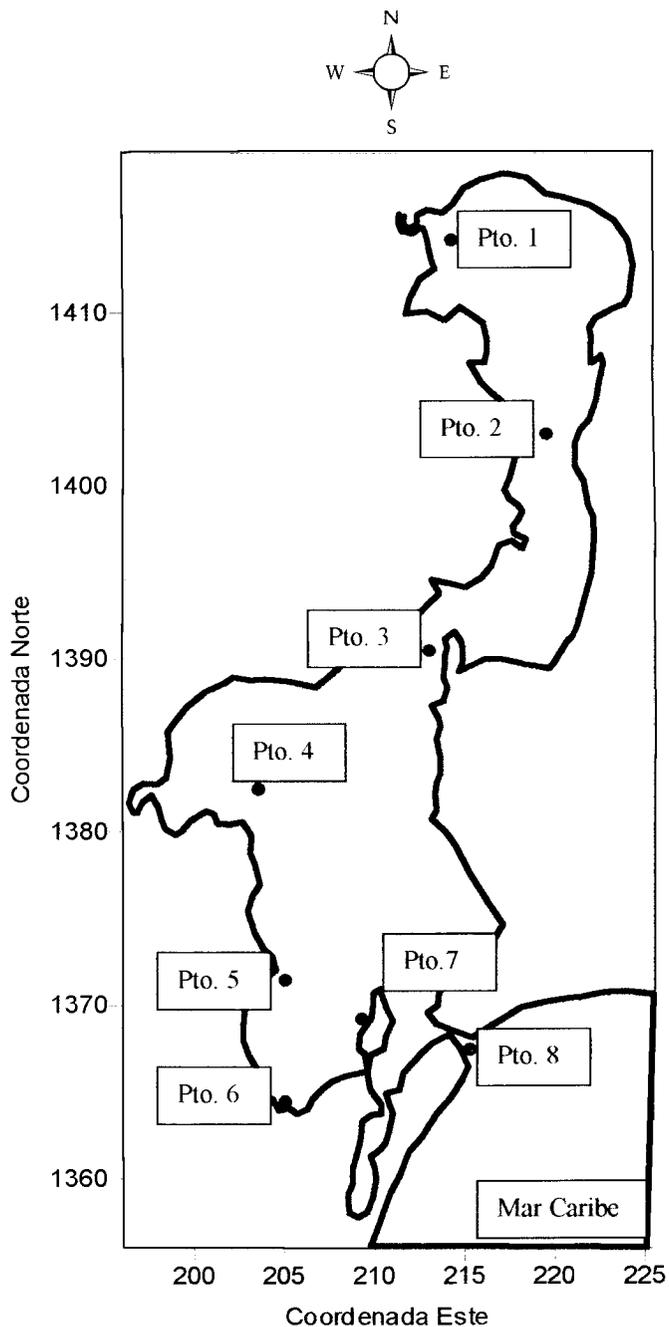
28. INETER, (1999). ***Estadística meteorológica para la estación de Bluefields.*** Dirección de Planificación Física y Geografía. Managua, Nicaragua
29. Lacayo, M. (1991). ***Caracterización Físico Química del Lago Xolotlán de Nicaragua.*** Memorias del 1er. Taller del Lago de Managua. Managua: CIRA UNAN.
30. Lacayo, M. & I. López. (1992). ***Caracterización Físico Química de las Aguas del Embalse Las Canoas.*** Informe Técnico. Managua: CIRA UNAN.
31. Lewis, W. Jr. (1978). ***A compositional, phytogeographical and elementary structural analysis of the phytoplankton in a tropical lake: Lake Lanao, Philippines.*** J. Ecol., 66: 213 – 226 pag.
32. López I. & S. Flores. (1991). ***Caracterización Físico Química de las aguas del lago cratérico Tiscapa.*** Informe Técnico. Managua: CIRA UNAN.
33. Margalef, R. (1983). ***Limnología.*** Barcelona, España: Ediciones Omega. 1010 pag.
34. Martínez, V. & A. López. (1991). ***Caracterización físico-química del lago cratérico de Masaya.*** Informe Técnico. Managua: CIRA UNAN.
35. McConnaughey., B. (1974). ***Introducción a la biología marina.*** España: Acribia. 455 pag.
36. McKentchum, K. (1969). ***The practice of water pollution biology.*** U.S. Dept. Int. Fed. Water Control Adm., Div. Tech support, 281 pag.

37. Mitchell, M., W. Stapp & K. Bixby. (1991). **Manual de Campo de Proyecto del Río: Una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo**. México: Universidad del Estado de Nuevo México.
38. Muñoz, I. (1998). **Carbono, nitrógeno y fósforo en la parte baja del río Ebro y en los canales de riego del Delta**. *Oecologia aquatica*: 11: 23-53 pag.
39. Nusch, E. & G. Palme. (1975). **Biologische Methoden für die Praxis der Gewässeruntersuchung, Bestimmung des Chlorophyll-a und Phaeopigmentgehaltes in Oberflächenwasser**. *Wasser/Abwasser* 116: 562-565 pag.
40. Odum, E. (1986). **Fundamentos de la Ecología**. México: Interamericana. 422 pag.
41. Orozco-Borbon, M. et al. (1994). **Estudio bacteriológico de agua de mar para el cultivo de moluscos bivalvos en Baja California**. *Ciencias Marinas*: 20(3):183-286 pag.
42. Pérez, M. (1999). **Biología pesquera y aspectos ecológicos de la ictiofauna más importante de la cuenca de la Laguna de Perlas en la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS) de Nicaragua**. Laguna de Perlas: DIPAL II
43. PROARCA/COSTAS: PROYECTO AMBIENTAL REGIONAL PARA CENTROAMERICA. **Perfil de los Asuntos de Manejo de las Lagunas de Karatá y Woutha en la Zona Costera de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua**. Bilwi, RAAN-Nicaragua. 13-40 pag.

44. Rodier, J. (1981). **Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar.** Barcelona: Omega.
45. Sánchez, R., F. Roest & H Bowsma. (1997). **Laguna de Perlas, Caribe de Nicaragua: Características morfológicas, hidrológicas, recursos pesqueros y explotación.** Documento interno. Laguna de Perlas, Proyecto DIPAL Convenio Holanda/Nicaragua MEDEPESCA RAAS.
46. U. S. Public Health Service. (1986). **Shellfish Sanitation Program. Manual of operation.** Washington, D.C. Part I and II. Pub. N° 33, USPHS.
47. Uthermoel, H. (1958). **Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplanktonmethodil** (Mitt. Internat. Verein. Limnol.,):1-38.
48. Wetzel, R. (1970) **Limnología.** México: Ediciones Omega. 679p.
49. Ziesler, R. (1979). **Las aguas continentales de América Latina.** Roma, FAO.

ANEXOS

ANEXO N°2: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS 8 PUNTOS DE MUESTREO.



ANEXO N°3: DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS ANALITICOS.

Parámetros físicos.

- pH

Principio: El pH es medido operacionalmente sobre una escala potenciométrica. El instrumento para medir el pH es calibrado potenciométricamente con un electrodo indicador de vidrio y un electrodo de referencia usando soluciones amortiguadoras del Instituto de Estándar y Tecnología (NIST). Sobre la base de este principio se procedió de la siguiente manera: Se encendió el pH-metro y se calibró con las soluciones amortiguadoras de pH 4 y 10. Calibrado el equipo, se colocó la muestra en el electrodo de vidrio y se leyó el valor directamente en pantalla.

- Salinidad

La salinidad se calculó en el laboratorio a través de la relación empírica Salinidad y Clorinidad del agua (Doménech, 1995; Rodier, 1981), aplicando la fórmula proporcionada y que se define como:

$$\text{Salinidad (partes por mil, ‰)} = 1.80655 * \text{CI}$$

Donde CI es la Clorinidad. La clorinidad (CI), se define como la masa en gramos de cloruros equivalentes a la masa de halógenos contenida en un Kg. de agua.

- Turbidez

Principio: El método Nefelométrico está basado en la comparación de la luz dispersada por la muestra, bajo condiciones definidas con respecto a la intensidad de la luz, que es dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones. La turbidez se determinó con un turbidímetro marca Sargent-Welch 51-

8053, calibrado con soluciones patrones en diferentes rangos o escalas de medición de 1-10, 10-100, 100-1000 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

Se encendió el turbidímetro y se calibró en el rango (1-10; 10-100; 100-1000) conveniente para la muestra. Calibrado el equipo se vertió una cantidad de muestra en la celda turbidimétrica asegurando que la misma estuviera libre de burbujas. Se leyó el valor de turbidez.

- Color Verdadero

Principio: El color verdadero se determina por comparación visual de la muestra filtrada con soluciones estándares coloridas de concentraciones conocidas previamente preparadas a partir de K_2PtCl_6 (cloroplatinato potásico) y $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (cloruro de cobalto), expresándose los resultados en $mg \cdot l^{-1}$ Pt.-Co (Unidades de Hazen). Se procedió sobre la base de este principio, filtrando la muestra con filtros de fibra de vidrio de $0,45 \mu m$ de tamaño de poro. Seguidamente se colocó la muestra en un tubo de Nessler y se comparó con las soluciones estándares, determinando los $mg \cdot l^{-1}$ Pt-Co contenidos en la muestra.

- Alcalinidad.

Principio: Los iones hidróxilos presentes en una muestra son el resultado de la disolución o hidrólisis de solutos que reaccionan con la adición de ácido estándar. La alcalinidad depende del punto final del pH usado. Se midió con una pipeta un volumen de muestra en un erlenmeyer. Se le agregaron unas gotas de indicador de fenolftaleína. Posteriormente se adicionó gota a gota ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02N con una bureta graduada, hasta el primer cambio de color que pasó de rosa a incoloro (en este momento el valor del pH es de aproximadamente 8.3). Se anotó los ml adicionados, con los mismos se calculó la concentración de carbonatos y de alcalinidad fenolftaleína. A la misma muestra se le agregó indicador mixto (Verde de bromocresol y rojo de metilo) y se continuo adicionando gota a gota ácido sulfúrico

(H₂SO₄) 0.02 N con la bureta graduada, hasta el primer cambio de color que pasó de azul verde a rosa pálida (el pH de la muestra en este momento fue de aproximadamente 4.3) se anotó este valor para calcular los mg.l⁻¹ de bicarbonatos y los mg.l⁻¹ de alcalinidad total. El cálculo de la concentración de carbonatos, bicarbonatos y de alcalinidad total y fenolftaleína se llevo a cabo con las siguientes fórmulas:

$$\text{CO}_3 = \frac{(V(\text{gast.hasta pH } 8.3) * 2) \text{ H}_2\text{SO}_4 * 30 * N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

$$\text{HCO}_3 = \frac{V(\text{gast.Total}) - (V(\text{gast.pH } 8.3) * 2) \text{ H}_2\text{SO}_4 * N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 61.02 * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

$$\text{Alcalinidad Total} = \frac{V_{\text{gast.Total}} \text{ H}_2\text{SO}_4 * N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 50 * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

$$\text{Alcalinidad Fenolft.} = \frac{V_{\text{gast.hasta pH } 8.3} \text{ H}_2\text{SO}_4 * N_{\text{H}_2\text{SO}_4} * 50 * 1000}{V_{\text{muestra}}}$$

- Sólidos Totales

Principio: Una muestra bien agitada es calentada en un plato de porcelana hasta evaporación y secada a peso constante en un horno a 103 – 105 °C de temperatura. El incremento en peso del plato secado con respecto al peso del plato vacío, representa el valor de los sólidos totales. Se procedió colocando un volumen de muestra sin filtrar en una cápsula de porcelana previamente pesada. La cápsula se colocó en el horno a una temperatura de 103 – 105 °C durante una hora. Transcurrido ese tiempo se retiró la cápsula del horno con ayuda de pinzas e inmediatamente se colocó en un desecador hasta que alcanzó temperatura ambiente, se pesó varias veces, hasta que se obtuvo el peso constante. Esta diferencia de pesos equivale a los mg.l⁻¹ de Sólidos Totales.

Parámetros químicos.

- Calcio

Principio: Cuando el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético o sus sales) se agrega a un agua que contenga tanto calcio como magnesio, se combina en primer lugar con el calcio que se tiene presente. El calcio se puede cuantificar directamente con el EDTA, cuando el pH se hace suficientemente alto para que la mayor parte del magnesio se precipite como hidróxido, usando indicador que solo se combine con el calcio. Basándose en el principio anterior se midió con una pipeta un volumen de muestra en un erlenmeyer. Se le agregó 2 ml de NaOH (hidróxido de sodio) 1N y unas gotas de indicador de Calcio, en este caso, Murexida. Posteriormente se adicionó gota a gota la sal disódica de EDTA con una bureta graduada, hasta el primer cambio de color que pasó de rosa a púrpura. Los ml adicionados se anotaron y se calcularon en la siguiente fórmula:

$$\text{Ca (mg.l}^{-1}\text{)} = \frac{\text{A*B*400.8}}{\text{V muestra}}$$

donde:

A- ml gastados de EDTA en la determinación.

B- mg CaCO₃ equivalente a 1.00 ml del titulador EDTA en el punto final de la titulación.

10mg de solución CaCO₃ ----- Y ml EDTA gastados en la estandarización

B = X mg de solución CaCO₃ -----1 ml EDTA

- Magnesio

El magnesio se determinó con el método por cálculo, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Mg (mg.l}^{-1}\text{)} = (\text{Dureza Total} - \text{Dureza Cálctica}) * 0.243$$

- Sodio y Potasio

Principio: La muestra es atomizada dentro de una llama y la excitación es hecha sobre condiciones controladas y reproducibles. Se usa un dispositivo monocromático para aislar la línea espectral deseada (589 μm para sodio y 768 μm para potasio), y asimismo, se usa un circuito potenciométrico de fotocelda para medir la intensidad de la luz, siendo la luz emitida aproximadamente proporcional a la concentración del elemento. El análisis fue determinado en un fotómetro de llama Corning 410.

Sobre la base de este principio, se preparó soluciones patrones de sodio y/o potasio en un rango de 0-30 mg.l^{-1} de Na y 0-10 mg.l^{-1} de potasio. Se calibró el equipo con el mayor estándar, seguidamente se midió la señal para cada estándar, luego se midió la señal de cada muestra en el fotómetro de llama a la longitud de onda deseada, se utilizó agua destilada como solución de referencia. Se construyó una curva de calibración, señal vs. concentración, con la que se interpoló la señal de la muestra y se encontró la concentración del sodio o potasio según fuera el caso.

- Cloruro, Sulfato y Nitrato

Principio: Esta basado en la cantidad de iones que pueden ser separados de una solución acuosa por intercambio ionico. La muestra de agua es inyectada dentro de una corriente de eluente de carbonato-bicarbonato y al llegar a la columna separadora de especies ionicas, es separada por una serie de intercambiadores ionicos. La solución del eluente entra en la columna supresora donde es neutralizada. Los aniones de interés son separados y dirigidos a través de una membrana de fibra catiónica intercambiadora (fibra supresora) o micromembrana supresora sumergida continuamente en una solución fuertemente ácida de flujo continuo (solución regenerante). En el supresor los aniones separados son convertidos en sus formas ácidas altamente conductivas y el eluente carbonato–bicarbonato es convertido en ácido carbónico débilmente conductivo. Los aniones separados en sus formas ácidas son medidos por conductividad. Ellos son identificados sobre la base de sus tiempos de retención y comparados con

estándares. La cuantificación es por la medición del área de pico o altura de pico. El análisis fue determinado en un cromatógrafo de iones DIONEX IC 100.

Se procedió estableciendo el equilibrio del sistema del cromatógrafo de iones. Bajo este principio se calibró el equipo y se procedió a inyectar las muestras. Se removió las partículas de la muestra, por filtración a través de un filtro de membrana de 0.2 μm de diámetro de poro. En este caso se utilizó la altura del pico. Las concentraciones de los aniones Cl , SO_4 y NO_3 de la muestra inyectada se expresaron en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

- Hierro Total

Principio: El hierro se disuelve y se reduce al estado ferroso por ebullición con ácido e hidroxilamina, haciéndose reaccionar posteriormente con 1,10 fenantrolina, a valores de pH de 3.2–3.3. Tres moléculas de fenantrolina forman un quelato con cada átomo de hierro ferroso para dar lugar a un complejo rojo anaranjado. La solución obedece a la Ley de Beer; la intensidad del color es independiente del pH, en el ámbito de 3 a 9, y es estable por lo menos 6 meses.

Con base en este principio, se midió con pipeta 50 ml de muestra en un beaker de 100 ml y se adicionó 2 ml de HCl (ácido clorhídrico) y 1 ml de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ (hidroxilamina) se calentó a ebullición. Para tener la seguridad de la disolución de todo el hierro, se continuo la ebullición hasta que el volumen se redujo a 15-20 ml. Se enfrió a temperatura ambiente y se le agregó 10 ml de una solución amortiguadora de acetato de amonio y ácido acético glacial y 4 ml de fenantrolina ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$). Seguidamente se transfirió cuantitativamente a un tubo de Nessler de forma alta de 50 ml, se aforó hasta la marca. Se mezcló bien y se dejó reposar durante 10-15 minutos para el máximo desarrollo de color. Se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro VARIAN DMS 80 a una longitud de onda de 510 nm, usando agua destilada como solución de referencia. Se construyó una curva de calibración absorbancia vs. concentración con la que se interpoló la absorbancia corregida de la muestra y se encontró la concentración de hierro total.

- Sílice

Principio: A un pH aproximado de 1.2, el molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) reacciona con la sílice y también con cualquier fosfato presente para formar heteropoliácidos. Se agrega ácido oxálico que no afecta el ácido silicomolíbido, para destruir el ácido fosfomolíbido. La intensidad del color amarillo es proporcional a la cantidad de sílice que reacciona con el molibdato. La solución obedece a la Ley de Beer. Se procedió filtrando la muestra con un filtro de fibra de vidrio de $0,45\mu\text{m}$. Se vertió en un tubo de Nessler de forma alta una cantidad de la muestra hasta el aforo. Seguidamente se le agregó 1 ml de ácido clorhídrico (HCl) 1+1 y 2 ml de la solución de molibdato de amonio, se mezcló por inversión cuando menos seis veces. Se dejó reposar por un tiempo de 5-10 minutos. Se le agregó 2 ml de ácido oxálico y se mezcló de nuevo por lo menos dos veces. Se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro VARIAN DMS 80 a una longitud de onda de 410 nm, usando agua destilada como solución de referencia. Se construyó una curva de calibración absorbancia vs. concentración a través de la cual se interpoló la absorbancia corregida de la muestra y se encontró la concentración de Sílice.

- Fósforo total

Principio: El molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con el ortofosfato para formar un heteropoliácido-ácido fosfomolíbido que es reducido a un azul intensamente coloreado por el ácido ascórbico. Se procedió bajo la base del principio citado. Se digirió 50 ml de muestra con 5 ml de ácido nítrico (HNO_3) y 1 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) ambos concentrados en un erlenmeyer de 125 ml hasta un volumen de 1 ml y se continuó hasta que la solución se descoloró por la remoción de HNO_3 (producción de vapores blancos). Se enfrió y se agregó aproximadamente 5 ml de agua destilada con una pizeta lavando las paredes del frasco, se agregó 0.05 ml de fenolftaleína, y se agregó NaOH 1N hasta la aparición de un color rosado débil.

Se transfirió la solución en frascos volumétricos de 100 ml, se filtró cuando fue necesario para eliminar material particulado, así como también turbidez. Se lavó varias veces el filtro y se ajustó el volumen a 100 ml con agua destilada.

Después del procedimiento anteriormente descrito se transfirió 50 ml de la muestra a un tubo de Nessler de 50 ml y se le agregó 8 ml de reactivo combinado y se mezcló completamente. Después de 10 minutos, pero no más de 30 se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro VARIAN DMS 80 a 880 nm, usando agua destilada como solución de referencia. Se construyó una curva de calibración absorbancia vs. concentración a través de la cual se interpoló la absorbancia corregida de la muestra y se encontró la concentración de fósforo total.

- Ortofosfato Disuelto

Principio: El molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con el ortofosfato para formar un heteropoliácido-ácido fosfomolibdico que es reducido a un azul intensamente coloreado por el ácido ascórbico. Se transfirió 50 ml de la muestra previamente filtrada con una filtro de 0.45 μm , a un tubo de Nessler de 50 ml. Se le agregó 8 ml de reactivo combinado y se mezcló completamente. Después de 10 minutos, pero no más de 30 se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro VARIAN DMS 80 a 880 nm, usando agua destilada como solución de referencia. Se construyó una curva de calibración absorbancia vs. concentración. Se interpoló la absorbancia corregida de la muestra y se encontró la concentración de ortofosfato disuelto.

- Oxígeno disuelto

Principio: Se añade sal manganosa al medio alcalino. La cantidad de manganeso que pasa de di a trivalente es proporcional a la concentración de oxígeno. Con ácido sulfúrico (H_2SO_4) se pasa el óxido mangánico a sulfato mangánico que se valora por la cantidad de yodo necesario para retomarlo a manganoso. El yodo es equivalente

al contenido original de oxígeno disuelto. El yodo es entonces titulado con una solución normalizada de tiosulfato de sodio. El punto final de la valoración puede ser detectado visualmente con un indicador de almidón.

El % de Saturación de oxígeno disuelto se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Saturación de oxígeno disuelto} = 100 * (\text{OD (a T}^\circ\text{C)} / \text{OD sat (a T}^\circ\text{C)})$$

donde:

OD (a T°C) – es el valor de la concentración de oxígeno disuelto medido en el laboratorio y la temperatura tomada en el campo.

OD sat. (a T°C) – es el valor de oxígeno disuelto en función de la altitud (presión) y temperatura del agua.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ a 20°C)

Principio: El método consiste en el llenado con muestra hasta un sobre flujo en botellas de tamaño específico para ser incubadas a la temperatura de 20 °C durante 5 días. Con una pipeta volumétrica punta ancha, se adicionó un volumen de muestra en botellas de Winkler de 300 ml, seguidamente se le agregó agua de dilución que fue previamente preparada con cuatro tipos de sales (nutrientes). Se preparó dos botellas para cada dilución. Se determinó el OD inicial en una botella. Se tapó la segunda botella herméticamente con un sello de agua y se incubó por 5 días a 20° C. Transcurridos los 5 días se tituló la muestra como si fuera de oxígeno disuelto. Con la siguiente formula se calculó la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

$$\text{DBO}_5 \text{ a } 20^\circ \text{ C} = \frac{\text{OD}_{\text{inicial}} - \text{OD}_{\text{final}}}{\text{Factor de dilución}}$$

- Coliformes Fecales

Principio: El método de los tubos múltiples (TM), se siembran o inoculan volúmenes parciales de una muestra de agua en una serie de tubos de ensayo que contienen un medio de caldo de cultivo adecuado. Después de un período de incubación específico a una temperatura dada, cada tubo que muestra formación de gas, es considerado como presuntivamente positivo, ya que esto indica la posible presencia de bacterias coliformes; sin embargo, como también otros organismos pueden producir gas, es aconsejable una subsecuente prueba de confirmación. A las dos pruebas se les conoce como prueba presuntiva y prueba confirmativa.

Para la prueba confirmativa, se siembra material tomado de los tubos con reacción positiva en un medio de cultivo más selectivo. Después de un intervalo de tiempo apropiado, se examinan los tubos para detectar la formación de gas, como en la prueba anterior. Entonces, a partir del número de tubos inoculados y del número de tubos con resultado positivo obtenidos en la prueba confirmativa, se puede estimar la concentración de bacterias en la muestra. El número más probable (NMP) de bacterias presentes se puede calcular utilizando tablas estadísticas especialmente diseñadas. A esta técnica se le conoce como el método NMP.

Determinación de los parámetros biológicos

- Determinación de fitoplancton cualitativo

El análisis cualitativo del fitoplancton se llevó a cabo con muestras frescas recolectadas con una red de arrastre de 25 micras de luz de malla. Las mismas fueron identificadas con ayuda de claves taxonómicas (Hustedt, 1930; Hendey, 1964; Cupp, 1977; Geither & Pascher, 1925 y Huber-Peztalozzi, 1968, 1955,1983) y bajo un microscopio compuesto Leitz Laborlux D (40x y 100x).

- Determinación del fitoplancton cuantitativo: Densidad poblacional.

El fitoplancton cuantitativo se determinó por el procedimiento descrito en el método de Uthermoehl, 1958. Procedimiento: La muestra preservada con solución lugol, se homogenizó cuidadosamente antes de ser vertida (50 ml) a la cámara seleccionada según la densidad del plancton en la muestra. La cámara se llenó desde arriba y se cubrió dejando sedimentar el plancton durante un tiempo medido en horas, que corresponde aproximadamente a la altura de la cámara en centímetros, multiplicada por 3. Una vez cumplido el tiempo de sedimentación, se procedió a la identificación y conteo de las células con ayuda de un microscopio invertido (Zeiss IM 35).

- Biomasa algal como clorofila-a

La Clorofila-a se determinó por el procedimiento descrito en el método de Nush & Palme, 1975. Procedimiento: Se filtró un volumen de agua (250-1000 según su contenido de fitoplancton) con un filtro de fibra de vidrio de 0,45 µm. Se extrajo con etanol a 75° o 80°. Se centrifugó a 3000 rpm durante 15-20 minutos y se decantó. Con una pipeta se extrajo cuidadosamente el sobrenadante. Todo este procedimiento se realizó manteniendo el extracto en frío y en oscuras. Se procedió a medir el extracto en un espectrofotómetro Varian DMS 80, a dos diferentes longitudes de onda: 665 nm que correspondió al máximo de absorción del pigmento y a 750 nm para corregir la turbidez de la muestra. Posterior a la primera lectura, las muestras fueron acidificadas con 0.01 ml de ácido clorhídrico (HCl) 0.04 N por ml de extracto, hasta alcanzar un pH de 2.6 y 2.8, se mezcló y se volvió a medir transcurridos 5 minutos a 665 y a 750. Se cálculo la concentración de clorofila-a con la siguiente fórmula:

$$\text{Clorofila-a } (\mu\text{g/L ó mg/m}^3) = 29.6 \frac{(E_{665b} - E_{665a}) v}{(V)(z)}$$

donde:

E_{665b} – es la absorción corregida para la turbidez a 665 nm antes de la acidificación.

Es igual a la diferencia del valor de absorción a 665 nm y a 750 nm= ($A_{665b} - A_{750b}$);

E_{665a} – es la absorción corregida para la turbidez a 665 nm después de la acidificación =($A_{665a} - A_{750a}$);

V - es el volumen de agua filtrado en ml

z - es la longitud del paso de luz a través de la cubeta (en cm)

v – volumen del solvente utilizado en ml.

ANEXO N° 4: LISTA DE LOS GRUPOS, GENEROS Y ESPECIES IDENTIFICADOS EN LA LAGUNA DE PERLAS.

Cyanophyta

Anabaena planctónica

Anabaena sp.

Chroococcus sp.

Lyngbya sp.

Merismopedia sp.

Microcystis sp.

Oscillatoria sp.

Chlorophyta

Ankistrodesmus sp.

Chlamydomonas sp.

Chlorella sp.

Coelastrum microporum

Crucigenia sp.

Crucigenia tetrapedia

Dicloster sp.

Kirchneriella lunaris

Monoraphidium sp.

Oocystis sp.

Scenedesmus quadricauda

Scenedesmus sp.

Schroederia sp.

Tetraedron regulare

Tetraedron sp.

Bacillariophyta

Amphiprora alata.

Amphiprora angustata

Amphiprora sp.

Amphora sp.

Asterionella kariana

Aulacoseira distans

Aulacoseira granulata

Bacteriastrum delicatulum

Biddulphia dubia

Caloneis westii

Cerataulina sp.

Chaetoceros dicipiens
Chaetoceros gracilis
Corethron sp.
Coscinodiscus centralis
Coscinodiscus radiatus
Coscinodiscus sp.
Cyclotella meneghiniana
Cyclotella pseudostelligera
Cymbella sp.
Diploneis ovalis
Gyrosigma sp.
Hemiaulus hauckii
Hemiaulus sinensis
Melosira granulata
Melosira islandica
Melosira moniliformis
Melosira nummuloides
Navicula sp.
Nitzschia acicularis
Nitzschia closterium
Nitzschia delicatissima
Nitzschia granulata
Nitzschia longissima
Nitzschia pacifica
Nitzschia sp.
Nitzschia tryblionella
Rhizosolenia cylindrus
Rhizosolenia sp.
Rhopalodia sp.
Skeletonema costatum
Surirella fastuosa
Synedra ulna
Terpsinoe musica
Thalassiothrix frauenfeldii

Euglenophyta

Euglena sp.
Phacus sp.
Trachelomonas sp.

Dinophyta

Ceratium hirundinella
Peridinium sp.

ANEXO N° 5. CÁLCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA POR MES Y PUNTO DE MUESTREO.

Ver gráficas de Curvas de Peso para obtener el Valor de Q, al final del presente anexo.

Mes de Marzo 99

Punto N° 1

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	87.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	20.0	62.0	0.16	9.92
PH (unidades)	7.15	90.0	0.11	9.90
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	5.53	53.0	0.11	5.83
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.047	94.5	0.10	9.45
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	4.8	84.0	0.08	6.72
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	3556.0	20.0	0.07	1.40
Indice de Calidad del Agua:				78.13

Mes de Marzo 99

Punto N° 2

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	40.0	59.0	0.16	9.92
PH (unidades)	7.32	92.0	0.11	9.90
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	4.40	59.0	0.11	5.83
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.088	91.0	0.10	9.45
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	26.0	55.0	0.08	6.72
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	4417.0	20.	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				75.39

Mes de Marzo 99

Punto N° 3

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	89.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	80.0	48.0	0.16	7.68
PH (unidades)	7.59	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	5.50	53.0	0.11	8.83
Temperatura (cambio °C)	0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.087	91.0	0.10	9.10
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	26	55.0	0.08	4.40
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	4551.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				73.59

Mes de Marzo 99

Punto N° 4

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	95.0	97.0	0.17	16.49
Coliforme Fecal (col/100ml)	20.0	62.0	0.16	9.92
PH (unidades)	7.38	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	1.01	95.0	0.11	10.45
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.058	93.0	0.10	9.30
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	4.7	82.0	0.08	8.56
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	7182.0	20.0	0.07	1.40
Indice de Calidad del Agua:				85.15

Nota: Los puntos N° 5, 7 y 8 no fueron tomados en cuenta en la media de los resultados del ICA del mes de marzo, porque no se realizó el análisis de Oxígeno Disuelto.

Mes de Marzo 99

Punto N° 6

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	90.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	23.0	61.0	0.16	9.76
PH (unidades)	7.55	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.66	83.0	0.11	9.13
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.118	80.0	0.10	8.00
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	27.0	55.0	0.08	4.40
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	16294.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				77.87

Mes de Septiembre 99

Punto N° 1

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	80.0	87.0	0.17	14.79
Coliforme Fecal (col/100ml)	80.0	48.0	0.16	7.68
PH (unidades)	6.79	83.0	0.11	9.13
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	3.24	69.0	0.11	7.59
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.025	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	27.0	55.0	0.08	4.40
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	148.5	80.0	0.07	5.60
Índice de Calidad del Agua:				77.59

Mes de Septiembre 99

Punto N° 2

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	15.64
Coliforme Fecal (col/100ml)	2.0	88.0	0.16	14.08
PH (unidades)	7.22	91.0	0.11	10.01
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.29	88.0	0.11	9.68
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.026	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	20	63.0	0.08	5.04
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	182.5	74.0	0.07	5.18
Índice de Calidad del Agua:				88.03

Mes de Septiembre 99

Punto N° 3

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	84.0	91.0	0.17	15.47
Coliforme Fecal (col/100ml)	4.0	78.0	0.16	12.48
PH (unidades)	7.28	92.0	0.11	10.12
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	1.23	96.0	0.11	10.56
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.023	95.0	0.10	9.50
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	26.0	56.0	0.08	4.48
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	328.0	57.0	0.07	3.99
Índice de Calidad del Agua:				85.40

Mes de Septiembre 99

Punto N° 4

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	86.0	93.0	0.17	15.81
Coliforme Fecal (col/100ml)	8.0	72.0	0.16	11.52
PH (unidades)	7.16	91.0	0.11	10.01
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.04	95.0	0.11	10.45
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.005	97.0	0.10	9.70
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	8.8	80.0	0.08	6.40
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	473.0	37.0	0.07	2.59
Índice de Calidad del Agua:				85.28

Mes de Septiembre 99

Punto N° 5

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	90.0	95.5	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	70.0	48.0	0.16	7.68
PH (unidades)	7.15	90.0	0.11	9.90
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	1.79	88.0	0.11	9.68
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.011	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	5.9	82.0	0.08	6.56
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	2675.50	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				77.77

Mes de Septiembre 99

Punto N° 6

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	91.0	95.5	0.17	16.24
Coliforme Fecal (col/100ml)	2.0	88.0	0.16	14.08
PH (unidades)	7.35	92.0	0.11	10.12
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	1.78	88.0	0.11	9.68
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.005	97.0	0.10	9.70
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	4.0	87.0	0.08	6.96
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	3931.5	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				86.98

Mes de Septiembre 99

Punto N° 7

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	92.0	96.0	0.17	16.32
Coliforme Fecal (col/100ml)	9.0	71.0	0.16	11.36
PH (unidades)	7.55	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.29	88.0	0.11	9.68
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.005	97.0	0.10	9.70
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	5.6	81.0	0.08	6.48
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	3240.5	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				83.97

Mes de Septiembre 99

Punto N° 8

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	87.0	94.0	0.17	15.98
Coliforme Fecal (col/100ml)	17.0	65.0	0.16	10.40
PH (unidades)	7.55	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	1.02	95.0	0.11	10.45
Temperatura (cambio °C)	0.0	92.0	0.10	9.20
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.005	97.0	0.10	9.70
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	15.0	68.0	0.08	5.44
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	6805.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				82.40

Mes de Noviembre 99

Punto N° 1

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	15.64
Coliforme Fecal (col/100ml)	49.0	53.0	0.16	8.48
PH (unidades)	7.50	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	14.70	28.0	0.11	3.08
Temperatura (cambio °C)	2.6	81.0	0.10	8.10
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.052	94.0	0.10	9.4
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.6
Turbidez (UNT)	6.4	81.0	0.08	6.48
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	2143.5	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				72.41

Mes de Noviembre 99

Punto N° 2

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	81.0	87.0	0.17	14.79
Coliforme Fecal (col/100ml)	30.0	61.0	0.16	9.76
PH (unidades)	7.7	91.0	0.11	10.01
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	12.80	22.0	0.11	2.42
Temperatura (cambio °C)	3.1	83.0	0.10	8.30
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.045	94.5	0.10	9.45
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.6
Turbidez (UNT)	5.7	82.0	0.08	6.56
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	1538.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				72.29

Mes de Noviembre 99

Punto N° 3

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	79.0	87.0	0.17	14.79
Coliforme Fecal (col/100ml)	8.0	71.0	0.16	11.36
PH (unidades)	7.64	91.0	0.11	10.01
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	12.8	22.0	0.11	2.42
Temperatura (cambio °C)	1.8	88.0	0.10	8.80
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.041	94.5	0.10	9.45
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.6
Turbidez (UNT)	10.1	75.0	0.08	6.0
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	1536.5	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				73.83

Mes de Noviembre 99

Punto N° 4

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	83.0	91.0	0.17	15.47
Coliforme Fecal (col/100ml)	33.0	58.0	0.16	9.28
PH (unidades)	7.50	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	13.1	25.0	0.11	2.75
Temperatura (cambio °C)	2.5	84.0	0.10	8.40
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.028	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	3.0	88.0	0.08	7.04
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	4756.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				73.77

Mes de Noviembre 99

Punto N° 5

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	17.0	75.0	0.16	12.00
PH (unidades)	7.35	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	11.8	29.0	0.11	3.19
Temperatura (cambio °C)	0.8	90.0	0.10	9.00
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.025	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	4.4	87.5	0.08	7.00
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	6400.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				78.17

Mes de Noviembre 99

Punto N° 6

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	4.0	78.0	0.16	12.48
PH (unidades)	7.51	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	11.80	29.0	0.11	3.19
Temperatura (cambio °C)	0.3	91.0	0.10	9.10
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.012	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	3.1	96.0	0.08	7.68
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	7980.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				79.43

Mes de Noviembre 99

Punto N° 7

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	82.0	87.0	0.17	14.79
Coliforme Fecal (col/100ml)	80.0	48.0	0.16	7.68
PH (unidades)	7.51	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	11.80	29.0	0.11	3.19
Temperatura (cambio °C)	0.90	90.0	0.10	9.00
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.030	95.0	0.10	9.50
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	7.0	82.0	0.08	6.56
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	7357.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				71.95

Mes de Noviembre 99

Punto N° 8

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	15.64
Coliforme Fecal (col/100ml)	30.0	60.0	0.16	9.6
PH (unidades)	7.92	87.0	0.11	9.57
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	13.40	26.0	0.11	2.86
Temperatura (cambio °C)	1.10	91.0	0.10	9.10
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.023	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	996.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	4.1	88.0	0.08	7.04
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	17564.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				74.41

Mes de Febrero 2000

Punto N° 1

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	80.0	87.0	0.17	14.79
Coliforme Fecal (col/100ml)	120.0	43.0	0.16	6.88
PH (unidades)	7.31	92.0	0.11	10.12
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	7.73	46.0	0.11	5.06
Temperatura (cambio °C)	0.4	91.5	0.10	9.15
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.016	96.0	0.10	9.60
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	4.5	85.0	0.08	6.80
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	13210.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				73.40

Mes de Febrero 2000

Punto N° 2

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	87.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	40.0	59.0	0.16	9.44
PH (unidades)	7.58	93.5	0.11	10.29
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	7.73	46.0	0.11	5.06
Temperatura (cambio °C)	0.7	91.0	0.10	9.10
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.054	94.0	0.10	9.40
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	31.1	52.0	0.08	4.16
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	12073.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				74.60

Mes de Febrero 2000

Punto N° 3

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	85.0	92.0	0.17	15.64
Coliforme Fecal (col/100ml)	40.0	59.0	0.16	9.44
PH (unidades)	7.71	92.0	0.11	10.12
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.05	82.0	0.11	9.02
Temperatura (cambio °C)	0.3	91.6	0.10	9.16
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.056	94.0	0.10	9.40
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	9.8	78.0	0.08	6.24
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	10756.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				80.02

Mes de Febrero 2000

Punto N° 4

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	88.0	94.5	0.17	16.07
Coliforme Fecal (col/100ml)	50.0	53.0	0.16	8.48
PH (unidades)	7.55	93.0	0.11	10.23
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	3.35	69.0	0.11	7.59
Temperatura (cambio °C)	0.9	90.0	0.10	9.00
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.030	95.0	0.10	9.50
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	3.70	88.0	0.08	7.04
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	2114.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				78.91

Mes de Febrero 2000

Punto N° 5

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	90.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	60.0	46.0	0.16	7.36
PH (unidades)	7.62	91.0	0.11	10.01
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.60	83.0	0.11	9.13
Temperatura (cambio °C)	1.90	88.0	0.10	8.80
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.058	93.0	0.10	9.30
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	15.90	77.0	0.08	6.16
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	15819.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				77.91

Mes de Febrero 2000

Punto N° 6

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	90.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	30.0	61.0	0.16	9.76
PH (unidades)	7.81	88.0	0.11	9.68
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	3.90	66.0	0.11	7.26
Temperatura (cambio °C)	1.90	88.0	0.10	8.80
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.005	97.0	0.10	9.70
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	9.80	78.0	0.08	6.24
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	16396.0	20.0	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				78.59

Mes de Febrero 2000

Punto N° 7

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	90.0	95.0	0.17	16.15
Coliforme Fecal (col/100ml)	90.0	47.0	0.16	7.52
PH (unidades)	8.08	83.0	0.11	9.13
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	2.29	87.0	0.11	9.57
Temperatura (cambio °C)	2.0	88.0	0.10	8.80
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.005	97.0	0.10	9.70
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	37.20	48.0	0.08	3.84
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	16396.0	20	0.07	1.40
Índice de Calidad del Agua:				75.71

Mes de Febrero 2000

Punto N° 8

Parámetro	Resultado	Valor de Q	Factor de Revisión	Total
Oxígeno Disuelto (%Sat.)	92.0	96.0	0.17	16.32
Coliforme Fecal (col/100ml)	10.0	68.0	0.16	10.88
PH (unidades)	8.05	82.8	0.11	9.11
DBO ₅ 20°C (mg.l ⁻¹)	3.03	86.0	0.11	9.46
Temperatura (cambio °C)	1.40	89.0	0.10	8.90
Fósforo Total (mg.l ⁻¹)	0.048	94.50	0.10	9.45
Nitratos (mg.l ⁻¹)	0.05	96.0	0.10	9.60
Turbidez (UNT)	8.20	79.0	0.08	6.32
Sólidos Totales (mg.l ⁻¹)	21186.0	20.0	0.07	1.40
Indice de Calidad del Agua:				81.44

Curvas de peso para obtener el valor de Q.

