



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA HÍDRICO DE LA ZONA DE LIMONCOCHA

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: JORGE E. GÓMEZ P.

DIRECTOR: ING. FABIO VILLALBA

QUITO-ECUADOR

2002-2003



Dedico este trabajo a todos aquellos que
saben que es posible mejorar la realidad,
que el camino hacia ello es el conocimiento
y que el camino hacia el conocimiento es la duda.

AGRADECIMIENTO

A la vida, por haberme permitido ser parte de ella; aunque, agradecerle a ella es agradecerme a mí mismo por existir;

A mis padres, que me enseñaron que nada es imposible y que mis sueños son los planos con los que he de construir mi futuro;

A mis hermanas, por señalarme el camino y ayudarme a caminarlo;

A mis amigos, por darle más belleza a la vida;

A mis profesores, por darme las herramientas para construir mi futuro; y,

A todos aquellos que han aparecido a lo largo de mi vida, pues la hicieron tomar forma.

Un agradecimiento muy especial por su valiosa, sensible y particular ayuda:

A mi director de tesis, Ingeniero Fabio Villalba, y a mi tribunal: Ingeniera Katty Coral y Doctor Carlos Ordóñez;

A la Universidad Internacional SEK;

A la Ing. Lilian Godoy;

A Occidental Exploration and Production Company;

A Santiago, Hendry Moya y su familia;

A mi cuñado, Tcrn. Fernando Jarrín; y,

A todos aquellos que me acompañaron en esas largas horas de laboratorio o durante el trabajo de campo: Paola Almeida, Pamela Ayala, Alejandra Conrado, Carol Chamorro, Carla Guerra, Gabriela Landázuri, Alexandra Lombeyda, Andrés Montalvo, Esteban Narváez, Verónica Rojas y María del Carmen Urresta.

RESUMEN

El presente estudio evalúa la calidad del agua, para consumo humano y uso doméstico, de la laguna de Limoncocha, los ríos Pishira, Playayacu, “SEK”, Jivino y Napo y de siete vertientes, constituyentes de la cuenca hidrográfica Limoncocha (al sur de la Provincia de Sucumbíos, Ecuador). También, desarrolla una evaluación sobre la calidad del agua de la laguna con fines de preservación de fauna y flora y un análisis de su estado trófico o “grado de eutroficación”.

Todo el estudio se basó en mediciones y muestreos mensuales, de noviembre del 2002 a abril del 2003, y en información relevante de otros estudios realizados en la zona.

Para la clasificación trófica de la laguna se analizó las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y de clorofila-a, en el agua, se determinó el fósforo presente en los sedimentos y se calculó la carga del nutriente limitante que ingresa a la laguna anualmente. Finalmente, se aplicó varias metodologías de evaluación del estado trófico de lagos y lagunas.

Para establecer el grado de “calidad” de los cuerpos de agua considerados, se comparó los parámetros fisicoquímicos analizados con los valores máximos permisibles establecidos por la Legislación Ambiental Ecuatoriana y se calculó índices de calidad.

Se concluyó que el asignar una clasificación trófica a la laguna es más complicado que la simple aplicación de un modelo. Esto se debe a la gran diversidad de resultados obtenidos y a que ninguno de los modelos utilizados para su estimación se ajusta totalmente al caso de Limoncocha. Aún así, conjugando las distintas características de la laguna y toda la información analizada, se podría pensar que ésta se encuentra en un estado trófico de mesotrofia o eutrofia moderada, causado en gran parte por el ingreso y la resuspensión de sedimentos.

Las aguas de la laguna de Limoncocha demostraron no ser aptas para consumo humano y uso doméstico, pero sí para preservación de flora y fauna.

De los ríos analizados, solamente las aguas del Río Playayacu resultaron aptas para consumo humano y uso doméstico, luego de seguir un tratamiento convencional.

Finalmente, seis vertientes, de las siete evaluadas, demostraron poder ser aptas para consumo humano y uso doméstico luego de ser oxigenadas, evitar su contaminación con bacterias coliformes y ser desinfectadas o seguir un tratamiento convencional.

ABSTRACT

The present study evaluates the water quality, for human consumption and domestic use, of Limoncocha's lake, the Pishira, Playayacu, "SEK", Jivino and Napo rivers and of seven springs; all part of Limoncocha's hydrographical basin (south of the Province of Sucumbíos, in Ecuador). It also analysis this lake's water quality for flora and fauna preservation and its trophic state or "eutrophication level".

This study was based upon monthly measurements and samplings, from November 2002 to April 2003, and also upon relevant information found in other studies developed in the area.

In order to establish the lake's trophic classification, the water's total concentrations of phosphorous, nitrogen and chlorophyll-a were measured, the quantity of phosphorous in sediments was analysed and the limiting nutrient's total load that enters annually into the lake was calculated. Finally, several methods of measuring eutrophication were applied.

In order to determine the "quality" of the water bodies considered in this study, several physicochemical parameters were compared with the maximum permissible values established in the Ecuadorian Environmental Legislation and quality index numbers were calculated from those comparisons.

It is concluded that assigning a trophic classification to Limoncocha's lake is more complicated than just using a simple model. This is due to the wide diversity of results obtained and to the fact that none of the used models seems to fit this lake's attributes. Nonetheless, analysing this lake's different characteristics and all the gathered data, it could be said that this water body is in a mesotrophic or a moderated eutrophic state, caused to a large extent by the load and suspension of sediments.

The lake's water showed not to be suitable for human consumption and domestic use, whereas seems apt for flora and fauna preservation.

Among the analysed rivers, only Playayacu's water demonstrated to be admissible for human consumption and domestic use, but after following a conventional treatment process.

Finally, six springs, of the seven included in this study, showed to be suitable for human consumption and domestic use, only after being oxygenated, prevented from mixing with coliform bacteria and being disinfected or passing through a conventional treatment process.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
2. Alcance y Objetivos.....	2
3. Zona de estudio	3
3.1 Ubicación	3
3.2 Características	3
4. Antecedentes.....	6
5. Marco Teórico	8
5.1 Limnología	8
5.1.1 ¿Qué es la eutroficación?.....	8
5.1.2 Tipos de eutroficación.....	10
5.1.3 Estados tróficos.....	11
5.1.4 Acciones para combatir la eutroficación cultural.....	12
5.1.5 Química del fósforo.....	13
5.1.6 Química del Nitrógeno.....	13
5.1.7 Factores que influyen en la eutroficación.....	14
5.2 Calidad de agua del sistema hídrico.	15
5.2.1 Síntesis de los parámetros analizados.....	16
6. Metodología.....	21
6.1 Limnología	21
6.1.1 Plan de Muestreo	21
6.1.1.1 Puntos de muestreo.....	21
6.1.1.2 Frecuencia del muestreo.....	22
6.1.2 Metodología de recolección y preservación de muestras.....	22
6.1.3 Metodología del análisis de muestras.....	23
6.1.4 Metodología del tratamiento de resultados	24
6.2 Calidad de agua del sistema hídrico.....	25
6.2.1 Plan de Muestreo.....	26
6.2.1.1 Puntos de muestreo.....	26
6.2.1.2 Frecuencia del muestreo.....	27
6.2.2 Metodología de recolección y preservación de muestras.....	27
6.2.3 Metodología del análisis de muestras.....	28
6.2.4 Metodología del tratamiento de resultados	29
7. Resultados y análisis de resultados.....	31
7.1 Limnología.....	31

7.1.1 Resultados.....	31
7.1.1.1 Cuadros.....	31
7.1.1.2 Gráficos.....	33
7.1.1.2.1 Laguna de Limoncocha.....	33
7.1.1.2.2 Ríos tributarios.....	37
7.1.1.3 Identificación del nutriente limitante.....	39
7.1.1.4 Cálculo de la carga superficial de fósforo que ingresa a la laguna al año.....	40
7.1.1.5 Probabilidad del nivel trófico de la laguna según la carga anual, superficial, de fósforo (Resultados del programa LACAT).....	42
7.1.1.6 Comparación de los resultados con valores referenciales para la clasificación del estado trófico.....	43
7.1.1.7 Determinación de la probabilidad del nivel trófico de la laguna según las concentraciones de fósforo y clorofila-a.....	44
7.1.1.8 Comparación de los resultados con los indicadores de la OCDE.....	45
7.1.1.9 Clasificación del contenido de fósforo en el sedimento.....	46
7.1.1.10 Aproximación de la velocidad de sedimentación, de la pérdida neta de fósforo total y de la carga de fósforo que sale de la laguna.....	47
7.1.1.11 Cálculo del índice de estado trófico de Carlson.....	48
7.1.2 Análisis de resultados.....	49
7.1.3 Sumario del análisis de los resultados sobre valoración del estado trófico.....	56
7.2 Calidad de agua del sistema hídrico.....	58
7.2.1 Resultados.....	58
7.2.1.1 Cuadros.....	58
7.2.1.2 Gráficos (Comparación de los valores obtenidos con los valores máximos permisibles y establecimiento de los índices de calidad respectivos)	68
7.2.1.2.1 Laguna de Limoncocha	69
7.2.1.2.2 Río Pishira.....	73
7.2.1.2.3 Río Playayacu.....	76
7.2.1.2.4 Río SEK.....	79
7.2.1.2.5 Río Jivino.....	82

7.2.1.2.6 Río Napo.....	85
7.2.1.2.7 Vertiente 1.....	88
7.2.1.2.8 Vertiente 2.....	91
7.2.1.2.9 Vertiente 3.....	94
7.2.1.2.10 Vertiente 4.....	97
7.2.1.2.11 Vertiente 5.....	100
7.2.1.2.12 Vertiente 6.....	103
7.2.1.2.13 Vertiente 7.....	106
7.2.1.2.14 Vertiente 3*.....	109
7.2.1.2.15 Vertiente 5*.....	109
7.2.2 Análisis de resultados.....	110
7.2.3 Sumario del análisis de resultados	139
8. Conclusiones.....	142
8.1 Limnología.....	142
8.2 Calidad de agua del sistema hídrico.....	144
9. Recomendaciones.....	148
9.1 Limnología.....	148
9.2 Calidad de agua del sistema hídrico.....	149
10. Glosario de términos y siglas.....	150
11. Bibliografía.....	154
12. Gráficos.....	156
13. Tablas.....	163
14. Mapas.....	167
15. Fotos.....	172
16. Anexos.....	181

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico No.1	Problemas Ambientales Globales.....	157
Gráfico No.2	Eutroficación en Lagos y Lagunas.....	158
Gráfico No.3	Estados Tróficos.....	159
Gráfico No.4	Ciclo del Fósforo.....	160
Gráfico No.5	Ciclo del Nitrógeno.....	160
Gráfico No.6	Estratificación.....	161
Gráfico No.7	Esquema de Rawson.....	161
Gráfico No.8	Muestreo de Sedimentos.....	162

Gráfico No.9	Cálculo de Caudales por Medio del Método del Flotador.....	162
Gráficos No.10	Resultados – Laguna de Limoncocha (Limnología).....	33
Gráficos No.11	Resultados – Ríos Tributarios (Limnología).....	37
Gráfico No. 12	Identificación del Nutriente Limitante de la Laguna.....	39
Gráfico No. 13	Estado Trófico de la Laguna Según la Relación Gráfica “L(p)/z vs. Tw”.....	43
Gráfico No. 14	Probabilidad de Nivel Trófico Según el Fósforo Total de la Laguna.....	44
Gráfico No. 15	Probabilidad de Nivel Trófico Según la Clorofila-a de la Laguna.....	45
Gráfico No. 16	Esquema de Balance de Masa para Fósforo en un Lago Completamente Mezclado.....	47
Gráfico No. 17	Índice de Estado Trófico de Carlson.....	48
Gráficos No.18	Criterio de Calidad del Agua de la Laguna de Limoncocha para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	69
Gráficos No.19	Criterio de Calidad del Agua de la Laguna de Limoncocha para Preservación de Flora y Fauna.....	71
Gráficos No.20	Correlación de Parámetros Medidos en la Laguna de Limoncocha.....	72
Gráficos No.21	Criterio de Calidad del Agua del Río Pishira para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	73
Gráficos No.22	Correlación de Parámetros Medidos en el Río Pishira.....	75
Gráficos No.23	Criterio de Calidad del Agua del Río Playayacu para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	76
Gráficos No.24	Correlación de Parámetros Medidos en el Río Playayacu.....	78
Gráficos No.25	Criterio de Calidad del Agua del Río “SEK” para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	79
Gráficos No.26	Correlación de Parámetros Medidos en el Río “SEK”.....	81
Gráficos No.27	Criterio de Calidad del Agua del Río Jivino para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	82
Gráficos No.28	Correlación de Parámetros Medidos en el Río Jivino.....	84
Gráficos No.29	Criterio de Calidad del Agua del Río Napo para Preservación de Flora y Fauna.....	85
Gráficos No.30	Correlación de Parámetros Medidos en el Río Napo.....	87
Gráficos No.31	Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 1 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	88
Gráficos No.32	Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 1.....	90
Gráficos No.33	Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 2 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	91
Gráficos No.34	Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 2.....	93
Gráficos No.35	Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 3 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	94

Gráficos No.36 Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 3.....	96
Gráficos No.37 Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 4 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	97
Gráficos No.38 Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 4.....	99
Gráficos No.39 Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 5 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	100
Gráficos No.40 Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 5.....	102
Gráficos No.41 Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 6 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	103
Gráficos No.42 Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 6.....	105
Gráficos No.43 Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 7 para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	106
Gráficos No.44 Correlación de Parámetros Medidos en la Vertiente 7.....	108
Gráficos No.45 Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 3* para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	109
Gráficos No.46 Criterio de Calidad del Agua de la Vertiente 5* para Consumo Humano y Uso Doméstico.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.1 Parámetros Fisicoquímicos Analizados.....	164
Tabla No.2 Fuentes de Eutroficación Antrópica.....	165
Tabla No.3 Características de las Clases Tróficas.....	166
Tabla No.4 Coeficientes de Exportación de Fósforo Total.....	166

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa No.1 Áreas Protegidas del Ecuador.....	168
Mapa No.2 Puntos de Muestreo – Limnología.....	169
Mapa No.3 Puntos de Muestreo – Calidad de Agua del Sistema Hídrico.....	170
Mapa No.4 Uso Actual del Suelo y Formaciones Vegetales de Limoncocha.....	171

ÍNDICE DE FOTOS

Foto No.1 Punto de Muestreo - Río Pishira.....	173
Foto No.2 Punto de Muestreo - Río Playayacu.....	173
Foto No.3 Punto de Muestreo - Río “SEK”.....	174
Foto No.4 Punto de Muestreo - Río Napo.....	174
Foto No.5 Punto de Muestreo – Vertiente 1.....	175
Foto No.6 Punto de Muestreo – Vertiente 2.....	175

Foto No.7 Punto de Muestreo – Vertiente 3.....	176
Foto No.8 Punto de Muestreo – Vertiente 4.....	176
Foto No.9 Punto de Muestreo – Vertiente 5.....	177
Foto No.10 Punto de Muestreo – Vertiente 6.....	178
Foto No.11 Punto de Muestreo – Vertiente 7.....	179
Foto No.12 Muestreo a Profundidad.....	180

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No.1 Norma de Calidad Ambiental - Recurso Agua.....	182
Anexo No.2 Temperaturas Medias en Limoncocha.....	183
Anexo No.3 Precipitación en Limoncocha.....	183
Anexo No.4 Ictiofauna de la Laguna y sus Afluentes.....	184
Anexo No.5 Información sobre el Programa LACAT.....	185

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.1 Puntos de Muestreo (Limnología).....	21
Cuadro No.2 Metodología del Análisis de Muestras (Limnología).....	24
Cuadro No.3 Puntos de Muestreo (Calidad de Agua del Sistema Hídrico).....	26
Cuadro No.4 Puntos de Muestreo Adicionales (Calidad de Agua del Sistema Hídrico).....	27
Cuadro No.5 Profundidades de Muestreo (Calidad de Agua del Sistema Hídrico).....	27
Cuadro No.6 Métodos de Medición de Caudales.....	28
Cuadro No.7 Metodología del Análisis de Muestras (Calidad de Agua del Sistema Hídrico).....	29
Cuadro No.8 Fósforo Total en la Laguna.....	31
Cuadro No.9 Fosfatos Solubles en el Sedimento de Fondo.....	31
Cuadro No.10 Fósforo Total en el Sedimento de Fondo.....	31
Cuadro No.11 Fósforo Total en los Ríos Tributarios.....	31
Cuadro No.12 Nitrógeno Total en la Laguna.....	32
Cuadro No.13 Nitrógeno Total en los Ríos Tributarios.....	32
Cuadro No.14 Clorofila-a en la Laguna.....	32
Cuadro No.15 Nitrógeno Total en la Laguna (Datos Adicionales).....	32
Cuadro No.16 Clorofila-a en la Laguna (Datos Adicionales).....	32
Cuadro No.17 Coeficiente de Exportación de Fósforo por Uso del Suelo y Formación Vegetal de la Microcuenca Limoncocha.....	41

Cuadro No.18 Comparación de los Resultados con Valores Referenciales para la Clasificación del Estado Trófico (Fósforo Total).....	43
Cuadro No.19 Comparación de los Resultados con Valores Referenciales para la Clasificación del Estado Trófico (Clorofila-a).....	44
Cuadro No.20 Comparación de los Resultados con los Indicadores de la “OCDE”.....	46
Cuadro No.21 Clasificación del Contenido de Fósforo en el Sedimento.....	46
Cuadro No.22 Cálculo del Índice de Estado Trófico de Carlson.....	48
Cuadro No.23 Carga Superficial de Fósforo que Ingresa a la Laguna.....	51
Cuadro No.24 Sumario del Análisis de los Resultados Sobre Valoración del Estado Trófico.....	56
Cuadro No.25 Resultados - Laguna de Limoncocha.....	58
Cuadro No.26 Resultados - Río Pishira.....	58
Cuadro No.27 Resultados - Río Playayacu.	59
Cuadro No.28 Resultados - Río "SEK"	59
Cuadro No.29 Resultados - Río Jivino.	60
Cuadro No.30 Resultados - Río Napo.....	60
Cuadro No.31 Resultados - Vertiente 1.....	61
Cuadro No.32 Resultados - Vertiente 2.....	61
Cuadro No.33 Resultados - Vertiente 3.....	62
Cuadro No.34 Resultados - Vertiente 4.....	62
Cuadro No.35 Resultados - Vertiente 5.....	63
Cuadro No.36 Resultados - Vertiente 6.....	63
Cuadro No.37 Resultados - Vertiente 7.....	64
Cuadro No.38 Resultados - Vertiente V3*.....	64
Cuadro No.39 Resultados - Vertiente V5*.....	64
Cuadro No.40 Resultados - Laguna de Limoncocha (Datos Adicionales).....	64
Cuadro No.41 Resultados - Río Pishira (Datos Adicionales).....	65
Cuadro No.42 Resultados - Río Playayacu (Datos Adicionales).....	65
Cuadro No.43 Resultados - Río Jivino (Datos Adicionales).....	65
Cuadro No.44 Resultados - Río Napo (Datos Adicionales).....	65
Cuadro No.45 Resultados - Vertiente 1 (Datos Adicionales).....	66
Cuadro No.46 Resultados - Vertiente 2 (Datos Adicionales).....	66
Cuadro No.47 Resultados - Vertiente 3 (Datos Adicionales).....	66
Cuadro No.48 Resultados - Vertiente 4 (Datos Adicionales).....	66
Cuadro No.49 Resultados - Vertiente 5 (Datos Adicionales).....	67
Cuadro No.50 Resultados - Vertiente 6 (Datos Adicionales).....	67

Cuadro No.51 Resultados - Vertiente 7 (Datos Adicionales).....	67
Cuadro No.52 Sumario del Análisis de Resultados (Aguas para Consumo Humano y Uso Doméstico).....	139
Cuadro No.53 Sumario del Análisis de Resultados (Aguas Cálidas, Dulces, para Preservación de Flora y Fauna).....	141