

8. CONCLUSIONES

8.1 LIMNOLOGÍA

- Durante los meses comprendidos por el presente estudio, la laguna albergó concentraciones de fósforo total relativamente bajas, concentraciones altas de clorofila-a y abundantes concentraciones de nitrógeno total que pueden deberse a la alta presencia de cianofitas en la laguna.
- El fósforo es el nutriente limitante del sistema (Según la relación de Vollenweider N:P = 9:1).
- Entre los tres ríos tributarios analizados en este estudio, el río Pishira es el que mayor carga superficial de fósforo aporta a la laguna, al año.
- La carga superficial de fósforo calculada, que ingresa a la laguna anualmente, es del orden de $0,1441 \text{ g P/m}^2 \text{ año}$, la cual ha demostrado no ser causa de un fenómeno de eutroficación.
- Se pensaría que existe un aporte significativo de fósforo por carga del río Amarunyuacu, por el uso de detergentes en las vertientes de la orilla oeste (donde se observan la mayor cantidad de macrófitas) y por la resuspensión del sedimento, el cual se vería regulado por la velocidad de sedimentación y el bajo tiempo de retención de la laguna; esto, sin embargo, debe ser demostrado con estudios adicionales.
- La resuspensión de sedimentos parece jugar un papel importante, por un lado aporta fósforo a la columna de agua y por otro aumenta la turbidez de la laguna, reduciendo su zona fótica; esto, sin embargo, debe ser estudiado en mayor detalle.
- La concentración de fósforo en los sedimentos es bastante superior a la de la columna de agua, sin embargo es considerada como baja por clasificación de Kelly M., et al.
- La laguna es clasificada como Oligotrófica a Mesotrófica según su cantidad de fósforo, y como Eutrófica por la concentración de clorofila-a y profundidad de visión del disco de Secchi, por lo cual resulta aventurado utilizar modelos de estimación del estado trófico basados en un solo parámetro.

- Resulta igual de aventurado asignar de forma tácita una clasificación trófica a la laguna, debido a que los modelos utilizados para su estimación no han sido suficientemente probados ni diseñados para lagunas tropicales amazónicas, a que se conoce muy poco sobre el comportamiento de lagunas tropicales amazónicas en regiones ecuatoriales y a que la laguna de Limoncocha a probado ser bastante singular.
- La laguna, sin embargo, presenta ciertas características típicas de cuerpos lénticos mesotróficos y eutróficos como son: una reducida variedad de especies de peces conjugada con una gran abundancia de los mismos, una reducida zona fótica, una gran cantidad de fitoplancton y macrófitas, entre otras. Al mismo tiempo, combina características de cuerpos lénticos no eutroficados como: concentraciones bajas “normales” del nutriente limitante, aguas oxigenadas, una calidad de agua que cumple con los límites jurídicos de ciertos parámetros fisicoquímicos, establecidos por la legislación ecuatoriana para aguas destinadas a la preservación de flora y fauna, etc. Por todo esto, se podría pensar que la laguna de Limoncocha se encuentra en un estado trófico de mesotrofia o eutrofia moderada.
- Varias de las características antes mencionadas son focalizadas, como la mayor presencia de macrófitas en las orillas aledañas al pueblo, etc., lo cual demuestra una influencia de los sectores poblados en la situación de la laguna.
- La existencia de altas concentraciones de fitoplancton con concentraciones relativamente bajas de fósforo determina la fragilidad de este sistema, entendiéndose que un ligero incremento en la carga de fósforo que ingresa a la laguna podría generar graves daños en términos de eutroficación.
- Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la eutroficación de la laguna es causada, en gran medida, por el ingreso y la resuspensión de sedimentos de fondo, lo cual se debe a su baja profundidad y a la acción de fuertes lluvias y vientos.
- Finalmente, para poder estar seguros del estado trófico de la laguna de Limoncocha se considera necesario el desarrollo de nuevos estudios que combinen la mayor cantidad de variables posible y que contribuyan, tanto a la mejor comprensión del comportamiento de la laguna, como al desarrollo de un modelo propio para la evaluación su estado trófico.

8.2 CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA HÍDRICO

- Las aguas de la laguna de Limoncocha, en el sitio y profundidades muestreadas, no reúnen las cualidades de un agua de consumo humano y uso doméstico, debido a que:
 - a) La concentración de oxígeno disuelto es inferior a la mínima necesaria para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) La concentración de oxígeno disuelto es inferior a la mínima necesaria y su color real, turbidez y cantidad de coliformes totales y fecales son superiores a los límites máximos establecidos para aguas que requieren únicamente desinfección.
- Las aguas de la laguna de Limoncocha, en el sitio y profundidades muestreadas, se encuentran dentro de los límites estipulados para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces.
- Las aguas del río Pishira no cumplen con lo determinado para aguas de consumo humano y uso doméstico, debido a que:
 - a) La concentración de oxígeno disuelto es ligeramente inferior a la mínima aceptable y la cantidad de bacterias coliformes fecales rebasa aquella delimitada como máxima para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) La concentración de oxígeno disuelto es ligeramente inferior a la mínima aceptable y la cantidad de bacterias coliformes, totales y fecales, es mayor a la máxima permisible para aguas que requieren solo desinfección.
- Las aguas del río Playayacu reúnen las características necesarias para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional, aunque se encuentra en el límite mínimo permisible de la concentración de oxígeno disuelto y en el máximo de cantidad admitida de coliformes fecales. Al mismo tiempo, no cumple con los requisitos para aguas que requieren únicamente desinfección puesto que las coliformes totales y fecales en sus aguas rebasan el número permisible.
- Las aguas del río “SEK” no alcanzan las características establecidas para aguas de consumo humano y uso doméstico, debido a que:

- a) El oxígeno disuelto es muy inferior al mínimo permitido y las bacterias coliformes fecales son superiores al límite máximo admisible para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) El oxígeno disuelto es bastante menor al permisible, mientras que su color real, turbidez y cantidad de bacterias coliformes totales y fecales sobrepasan al límite establecido para aguas que requieren desinfección únicamente.
- Las aguas del río Jivino no cumplen con lo estipulado para aguas de consumo humano y uso doméstico, debido a que:
 - a) La concentración de bario y bacterias coliformes fecales es mayor a la estipulada para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) Su turbidez, concentración de bario y cantidad de coliformes totales y fecales sobrepasa los límites máximos permisibles para aguas que requieren solo desinfección.
- Las aguas del río Napo no reúnen los requisitos señalados por la legislación para aguas de consumo humano y uso doméstico, debido a que:
 - a) La turbidez, presencia de bario y número de bacterias coliformes fecales (y posiblemente totales) es superior a los permitidos en aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) Su turbidez, bario y coliformes totales y fecales es más alto que el aceptable en aguas que únicamente requieren desinfección.
- Las aguas de la vertiente número 1, conocida también como “Agustín”, no encierran las características de aguas de consumo humano y uso doméstico, puesto que:
 - a) La concentración de oxígeno disuelto es inferior a la determinada para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) La concentración de oxígeno disuelto es inferior a la determinada y la cantidad de coliformes totales y fecales sobrepasa la admitida en aguas que requieren solo desinfección.
- Las aguas de la vertiente número 2, conocida con el nombre de “Agusto”, no califican como aguas aptas para consumo humano y uso doméstico, únicamente porque su concentración de oxígeno disuelto es menor a la mínima establecida.
- Las aguas de la vertiente número 3, conocida también como “IPIB”, no cumplen con los requisitos señalados para aguas de consumo humano y uso doméstico, puesto que:

- a) La concentración de oxígeno disuelto es inferior a la determinada para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) La concentración de oxígeno disuelto es inferior a la determinada y la cantidad de coliformes totales es superior a la determinada por la legislación para aguas que requieren solo desinfección.
- Las aguas de la vertiente número 4, cercana a la estación de la UISEK, no califican como aptas para consumo humano y uso doméstico, debido a que:
 - a) Su concentración de oxígeno disuelto es menor a la mínima establecida para aguas que requieren un tratamiento convencional.
 - b) El oxígeno disuelto es menor al requerido y la cantidad de coliformes fecales y totales ligeramente superior a la establecida, para aguas que requieren solamente desinfección.
- Las aguas de la vertiente número 5 no alcanzan las características establecidas para aquellas de consumo humano y uso doméstico debido a que el oxígeno disuelto es inferior al señalado y a que las bacterias coliformes totales y fecales sobrepasan el límite máximo admisible, tanto para aguas que requieren tratamiento convencional, como para aquellas que requieren desinfección únicamente.
- Las aguas de la vertiente número 6, o “Agua Potable”, no reúnen las características necesarias para aguas de consumo humano y uso doméstico, puesto que:
 - a) La cantidad de OD cae por debajo de aquella admisible en aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) La concentración de OD es menor a la estipulada y presencia de bacterias coliformes fecales es ligeramente mayor al límite máximo permitido en aguas que requieren únicamente desinfección.
- Las aguas de la vertiente número 7, conocida bajo el nombre de “Pachakutik” no califican como aptas para el consumo humano y uso doméstico debido a que:
 - a) El oxígeno disuelto es inferior al señalado y la concentración de metal bario es superior al admisible para aguas que requieren tratamiento convencional.
 - b) El oxígeno disuelto es menor al establecido y la concentración de bario y coliformes totales sobrepasa aquellas cantidades para aguas que requieren desinfección únicamente.

- El agua del tanque de recolección del “Instituto Martha Bucarám de Roldós” (V3*), en el mes muestreado, estuvo libre de bacterias coliformes, totales y fecales, siendo en este sentido apta para el consumo humano y uso doméstico.
- El agua de la vertiente aledaña a la V5 (V5*), en el mes muestreado, contuvo concentraciones muy bajas de coliformes totales y estuvo libre de bacterias coliformes fecales, siendo en este sentido apta para el consumo humano y uso doméstico.

Téngase en cuenta que los bajos niveles de oxígeno disuelto de las vertientes, son típicos para aguas subterráneas, y que éstos pueden ser corregidos fácilmente. Así, las aguas de las vertientes 1, 2, 3, 4 y 6 podrían ser aptas para consumo humano y uso doméstico luego de ser oxigenadas y seguir un tratamiento convencional. La vertiente 2 podría, incluso, ser apta para consumo humano y uso doméstico con solo ser desinfectada y oxigenada.

Nótese también que la presencia de bacterias coliformes (totales y fecales) en las vertientes, puede deberse a una eventual contaminación externa y no a una característica de sus aguas, por lo que de ser evitada tal contaminación, las vertientes 1, 3, 4, 5 y 6 podrían ser aptas para consumo humano y uso doméstico luego de ser oxigenadas y desinfectadas; y en el caso de la vertiente 5, también apta para consumo humano y uso doméstico luego de ser oxigenada y seguir un tratamiento convencional.

9. RECOMENDACIONES

9.1 LIMNOLOGÍA

Con el objetivo de alcanzar mayores conclusiones sobre el comportamiento de la laguna y su estado trófico, se recomienda desarrollar nuevos estudios que impliquen:

- Análisis de la concentración de fósforo en la orilla oeste de la laguna, cerca de las vertientes utilizadas por moradores de la comunidad local.
- Análisis de la concentración de fósforo en el río Amarunyacu.
- Análisis de la concentración de nutrientes en sedimentos, en diferentes épocas y sectores de la laguna.
- Estudios sobre el tipo de fitoplancton.
- Estudios sobre el tipo y estado de la flora y fauna béntica.
- Cálculos de la tasa de aporte de fósforo de sedimentos.
- Cálculos sobre la velocidad de sedimentación y la tasa de pérdida de fósforo por sedimentación.
- Análisis sobre la concentración de otros micronutrientes.
- Análisis sobre la concertación y evolución de la clorofila-a.
- Estudios sobre la turbidez y el alcance de la zona fótica en diferentes épocas y sectores de la laguna.
- Estudios sobre la distribución de la concentración de oxígeno disuelto, en épocas de mayor y menor estratificación.
- Utilización de otros modelos de evaluación del estado trófico y adecuación o desarrollo de un modelo propio para la laguna.
- Información que permita desarrollar un modelo matemático que explique el comportamiento limnológico de la laguna. En el desarrollo de tal modelo, se recomienda verificar ciertas variables como el caudal de salida y el tiempo de retención de la laguna.

9.2 CALIDAD DE AGUA DEL SISTEMA HÍDRICO

- Con el objeto de determinar si existe contaminación por infiltración de aguas u otra fuente de bacterias coliformes totales y fecales, se recomienda realizar los monitoreos respectivos en las vertientes número 1, 3, 4, 6 y 7.
- Se recomienda realizar análisis de varios parámetros fisicoquímicos en los puntos de muestreo V3* y V5* para determinar el grado de calidad de sus aguas.
- Con el objeto de establecer la calidad de las aguas que brotan de la vertiente número 5 se recomienda realizar análisis de muestras tomadas en su origen.
- Se recomienda realizar análisis de varios parámetros fisicoquímicos en diferentes sectores de la laguna, que permitan determinar, en base a mayor información, la calidad del agua con fines de preservación de flora y fauna.
- Se recomienda realizar monitoreos en el río Napo, especialmente en los meses de noviembre y marzo, para determinar el comportamiento de parámetros como la turbidez, el color real y otros, durante eventos de crecidas.

10. GLOSARIO

TÉRMINOS

Anóxico: Condición de anoxia o carencia del oxígeno disuelto en las aguas del fondo; los valores que indican dicha condición están comprendidos entre 0-1,0 mg/l. Las condiciones de anoxia producen el sufrimiento y la mortandad de los organismos que viven en las aguas del fondo.

Cadena trófica: Conjunto de relaciones nutritivas entre distintos niveles tróficos de un ecosistema.

Cianofitas: También llamadas verdeazules, son algas microscópicas, unicelulares, que se reproducen asexualmente. Tienen clorofila-a y sólo existe una clase, la cianoficeae. Pueden fijar el nitrógeno atmosférico. El conjunto grande de éstas algas le dan al agua un color verde azulado. Tienen la característica de soportar muy altas temperaturas. Cuando el alga muere (si se seca el agua, por ejemplo), se conserva del alga una espora, llamada asineto, de la que nacerá una nueva alga cuando las condiciones sean favorables.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Suele darse para un período de cinco días, y es la cantidad de oxígeno en mg/l que necesitan las bacterias para descomponer las sustancias orgánicas presentes, durante cinco días a 20°C de temperatura.

Detritos: Residuo, resto, desperdicio o materia inútil que queda tras la descomposición de algo.

Epilimniom: Capa superior de una masa de un cuerpo de agua estratificado.

Erosión: Conjunto de fenómenos exteriores a la corteza terrestre que contribuyen a modificar las formas creadas por los fenómenos endógenos.

Estratificación (térmica): Formación de dos capas de agua a distintas temperaturas separadas por una termoclina. La capa superior toma el nombre de “Epilimniom”, la inferior “Hipolimniom” y aquella capa donde se desarrolla la termoclina “Metalimnio”.

Eutroficación: La palabra eutroficación proviene de las palabras griegas *eu* que significa *bueno*, y *trofos* que significa *alimento*, significando así "rico en alimento". (Ver “¿Qué es la Eutroficación?”, Subcapítulo 5.1.1)

Eutrófico: Hábitat, especialmente suelos y aguas, rico en principios nutritivos.

Fijación de Nitrógeno: Proceso de conversión del nitrógeno atmosférico en compuestos nitrogenados orgánicos realizado por ciertas bacterias nitrificantes del suelo y simbiontes de raíces de plantas superiores, y ciertas algas cianofíceas.

Fitoplancton: (*phyto* = vegetal, *plancton* = errante) Consiste en numerosas especies de algas (algas verdes filamentosas, algas verdes, diatomeas) y cianobacterias (bacterias con clorofila también llamadas verdeazules) que prosperan como células aisladas microscópicas en pequeños grupos o en "hebras" de células. Estas plantas microscópicas se mantienen flotando en el agua, donde crecen y se multiplican.

Flora béntica: (*bénthos* = profundidad) Está compuesta de plantas acuáticas aferradas o enraizadas en el fondo. Se divide en dos categorías: sumergida y emergente. La primera se encuentra cubierta por debajo de la superficie de agua, mientras que la segunda se encuentra sumergida pero sus partes superiores sobresalen.

Hipertrófico: Nivel más avanzado del fenómeno de eutroficación, donde el deterioro del cuerpo de agua es máximo.

Hipolimnion: Capa inferior de un cuerpo de agua estratificado.

Limnología: Estudio de las características físicas, químicas y biológicas de ríos y lagos.

Macrófitas: Vegetación acuática macroscópica (plantas acuáticas de superficie) que crece en cuerpos de agua que contienen nutrientes disueltos, o en suelos que están cubiertos con agua durante gran parte de su ciclo de crecimiento.

Mesotrófico: agua oligotrófica degradada, de características intermedias entre las aguas oligotróficas y eutróficas.

Metalimnion: Capa intermedia de un cuerpo de agua estratificado, donde la termoclina ocurre.

Neotrópico: Región comprendida entre el trópico de Cáncer en el norte y el trópico de Capricornio en el sur.

Nitrificación: Proceso por el cual el amoníaco en aguas residuales o en el suelo es oxidado a nitrito y luego a nitrato mediante reacciones bacteriales o químicas.

Nutriente limitante: También llamado factor o elemento limitante, es aquel elemento que, según la estequiometría celular de las plantas acuáticas, será agotado con mayor rapidez que los demás elementos, y por tanto controlará el crecimiento de la biomasa vegetal.

Oligotrófico: Medio con escasez de elementos nutritivos.

Profundidad secchi: Distancia en la que desaparece y aparece, a la vista del operador, el disco de Secchi. Éste consiste en un disco blanco laqueado con un diámetro de 30 cm y 3 mm de grueso. La profundidad Secchi está íntimamente ligada a la transparencia del agua, la cual se ve influida por la suspensión del sedimento y la presencia de material inorgánico y/o de floraciones microalgas.

Termoclina: Zona donde la temperatura y oxígeno cambian rápidamente, en magnitud, con la profundidad.

Zona fótica: También llamada "zona eufótica", es aquella zona de hábitats acuáticos que se encuentra suficientemente cercana a la superficie, permitiendo que la cantidad de luz presente en ella permita la fotosíntesis.

SIGLAS

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima-Perú.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

HPE: Programa de Salud Ambiental

LACAT: Programa “Lagos Cálidos Tropicales”.

OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

OXY: Occidental Exploration and Production Company.

11. BIBLIOGRAFÍA

Seoáñez Calvo, M., EL GRAN DICCIONARIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA CONTAMINACION, segunda edición, Ediciones Mundi Prensa, 1999, Barcelona-España.

APHA, AWWA, WPCF; MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES. Decimoséptima edición, Ediciones Díaz de Santos S.A., 1992, Madrid-España.

Seoáñez Calvo, M., INGENIERÍA DEL MEDIO AMBIENTE APLICADA AL MEDIO NATURAL CONTINENTAL, LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO NATURAL CONTINENTAL: AIRE, AGUAS, SUELOS, VEGETACIÓN Y FAUNA. TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIÓN, Ediciones Mundi Prensa, 1996, Madrid-España.

Roldán Pérez, G., FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGÍA NEOTROPICAL, Editorial Universidad de Antioquia, 1992, Medellín-Colombia.

Nebel, B., Wright, R., CIENCIAS AMBIENTALES (ECOLOGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE), sexta edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1999, México.

Ulloa, R., PLAN DE MANEJO - RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA, Departamento de Áreas Naturales y Recursos Silvestres, Dirección Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1998, Ecuador.

Colinvaux, P., Miller, M., Kam-biu, L., Steinitz-Kannan, Frost, I., DISCOVERY OF PERMANENT AMAZON LAKES AND HYDRAULIC DISTURBANCE IN THE UPPER AMAZON BASIN, "Letters to Nature", Vol. 313, January 3th, 1985.

CURSILLO SOBRE EUTROFICACIÓN DE LAGOS Y EMBALSES, PUBLICACIONES SUPLEMENTARIAS, Centro de Estudios Hidrográficos (CEEOP) & Department of Civil Engineering (Colorado State University), Madrid, 22 – 23 de mayo de 1980.

Jurado, J., MANUAL PARA MUESTREO DE AGUAS Y SEDIMENTOS (RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA), Municipio Metropolitano de Quito.

Salas, J., Martino, P., METODOLOGÍAS SIMPLIFICADAS PARA LA EVALUACIÓN DE EUTROFICACIÓN EN LAGOS CÁLIDOS TROPICALES, Programa Regional CEPIS/HPE/OPS, 1981-1990.

Ecuambiente S.A., ESTUDIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, BLOQUE 15, FASE DIAGNÓSTICO, Occidental Exploration and Production Company, 1990, Quito – Ecuador.

Virginia, M., CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA DEL SECTOR DE LIMONCOCHA, 1999, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito – Ecuador.

Espinosa, J., EVALUACIÓN DE LOS ESTADOS TRÓFICOS DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, 2000-2001, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito – Ecuador.

Buitrón, C., BIOMONITOREO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BÉNTICOS, 1999, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito – Ecuador.

Andrade, S., CARACTERIZACIÓN LIMNOLÓGICA DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA, 2001, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito – Ecuador.

Ayala, P., CARACTERIZACIÓN LIMNOLOGICA DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA E IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS BÁSICAS DE LA ZONA DE LIMONCOCHA, 2003, Tesis de Grado Universidad Internacional SEK, Quito – Ecuador.

Internet:

- 1) <http://www.interactive.net.ec/travesia/limoncocha.htm>
- 2) <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm>
- 3) <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/04Ecosis/137CicP.htm>
- 4) <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/CTMA/BIOSFERA/n.htm>
- 5) <http://www.petroecuador.com.ec/donde.htm>
- 6) <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Eutrofizac.htm>
- 7) <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaca/e/eutrofic.html>
- 8) <http://www.accionecologica.org/petroleo6.htm#la>

<http://cipres.cec.uchile.cl/~ci41b/Apuntes/Tema02/Tema2.09-Limnologia%20y%20Eutrofizacion.pdf>

<http://www.arpa.emr.it/balneazione/esp/glossario.asp>

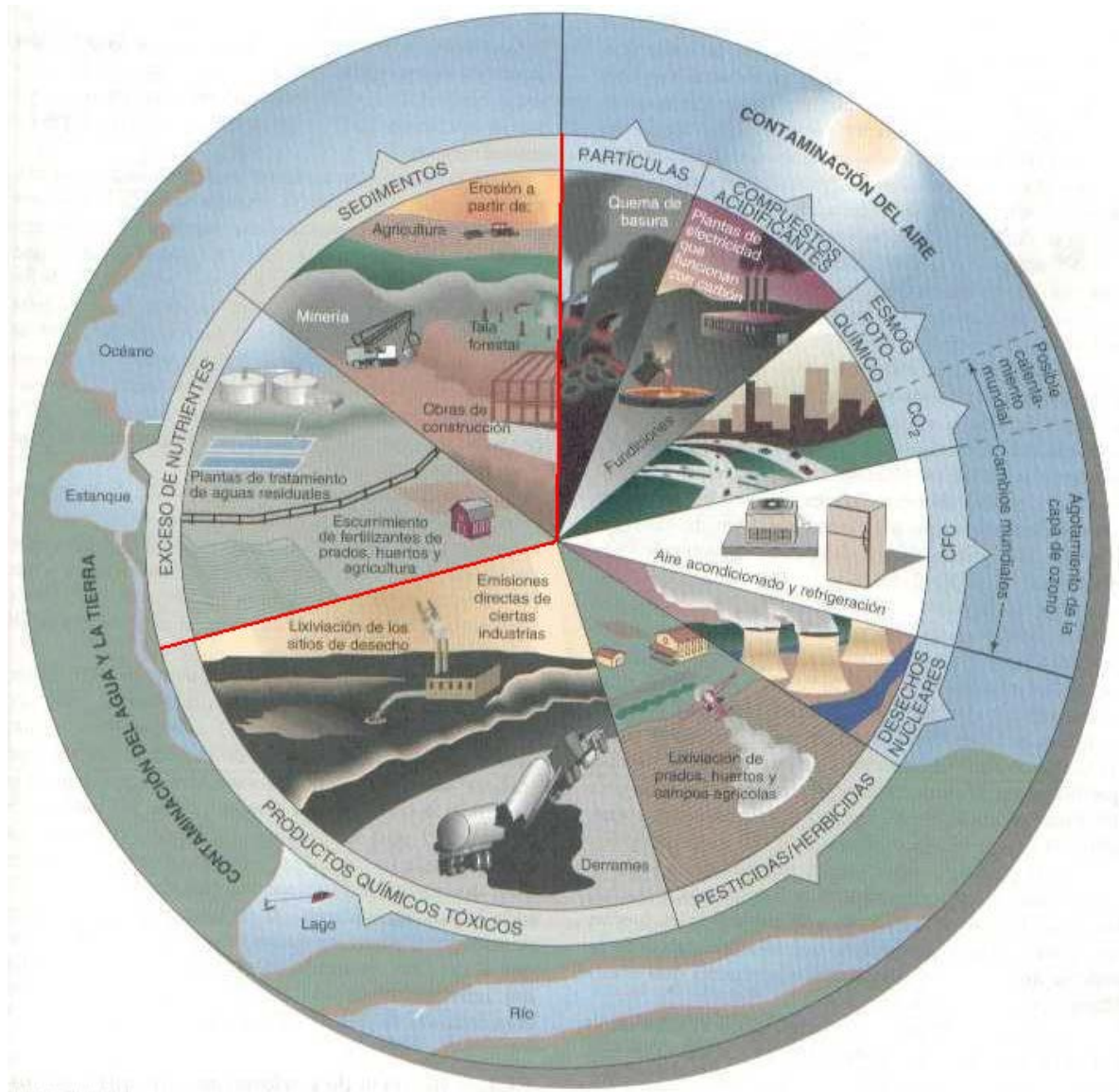
http://www.cec.uchile.cl/~leherrer/BT53A/Params_1_1/Parametros.htm

<http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2904>

12. GRÁFICOS

Gráfico No. 1

PROBLEMAS AMBIENTALES GLOBALES



(Nebel, B., Wright, R., 1999)