



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
ECUADOR

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

Por: Jorge Gómez P.

El agua es, sin lugar a dudas, el recurso natural más importante en el desarrollo de la vida. Los seres humanos no solo dependemos fisiológicamente de este recurso, sino que lo utilizamos en un sinnúmero de actividades diarias. Teniendo en cuenta que las características fisicoquímicas del agua determinan su posible utilización o “calidad” para un fin específico, es claro que un agua de mala calidad para consumo humano y uso doméstico, que esté siendo utilizada por una población, no sólo pone en peligro a su salud sino que incide en su nivel de calidad de vida. De ahí la importancia de identificar adecuadamente aquellas aguas que han de ser destinadas para consumo humano y uso doméstico, tras un análisis de sus características fisicoquímicas.

De lo anteriormente anotado, se deriva también la importancia de dar a este recurso vital un uso racional y adecuado, además de prevenir su contaminación y degradación. Lamentablemente, en los últimos años y aún en la actualidad, la contaminación del recurso agua constituye uno de los principales problemas ambientales de nuestro país y del mundo entero. Entre los agentes contaminantes significativos, causantes del deterioro del recurso agua, destacan el exceso de nutrientes y el ingreso de sedimentos. Estos dos agentes contaminantes pueden desatar el fenómeno conocido como “eutrofización” o “eutrofización”, el cual es un fenómeno generalmente asociado a la “excesiva fertilidad” de un cuerpo de agua que dispara las poblaciones de fitoplancton y macrófitas, desencadenando una serie de eventos que terminan por agotar el oxígeno disuelto del mismo, degradando notablemente al cuerpo de agua y disminuyendo su grado de calidad necesario tanto para uso doméstico y consumo humano como para sostener el equilibrio del ecosistema que se desenvuelve alrededor de él. Cabe añadir que, el ingreso de sedimentos también es causante de la eutrofización de cuerpos de agua. Los diferentes niveles o estadios de este fenómeno son: “Oligotrofia” (cuerpo de agua no eutroficado), “Mesotrofia” (cuerpo de agua medianamente eutroficado) y “Eutrofia” (cuerpo de agua eutroficado). Existen dos tipos de eutrofización: la “natural”, que consiste en el envejecimiento geológico de hábitats acuáticos, y la “cultural”, que consiste en la aceleración de la eutrofización natural por efecto del desarrollo de actividades humanas.

Por todo esto, se desarrolló un estudio que evaluó la calidad del agua, en función de su aplicabilidad 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) cuyas aguas son

utilizadas por las comunidades quichuas del sector para satisfacer varias de sus necesidades básicas. También, siendo la laguna de Limoncocha el elemento principal de la Reserva Biológica Limoncocha, misma que constituye una zona de alta importancia ecológica y turística y que está protegida por la legislación ecuatoriana al estar incluida dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), este estudio desarrolló una evaluación sobre la calidad del agua de la laguna para 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.

Con el objeto de determinar el estado trófico de la laguna de Limoncocha, se evaluó la concentración y comportamiento del fósforo total, nitrógeno total y de la clorofila-a. Se tomó adicionalmente una muestra de sedimentos de fondo, en la que se analizó la concentración de fósforo soluble y de fósforo total. Con el fin de establecer el aporte de nutrientes a la laguna, se determinó la concentración de fósforo total y nitrógeno total en los ríos tributarios Pishira, Playayacu y “SEK” y se la conjugó con sus respectivos caudales. 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 (trece en total), se evaluó la concentración y el comportamiento de los distintos parámetros fisicoquímicos y se comparó tales resultados con los valores máximos permisibles establecidos por la Legislación Ambiental Ecuatoriana (Tablas 1, 2 y 3, Anexo 1, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente). Finalmente, tras tales comparaciones, se calculó índices de calidad para cada parámetro.

Adicionalmente, por interés de la comunidad local, se tomaron muestras en el tanque de recolección de agua para el "Instituto Martha Bucarám de Roldós" y en una pequeña vertiente cercana al pueblo, en las que se analizó la presencia de bacterias coliformes totales y fecales.

Tras el estudio se llegó a las siguientes conclusiones concernientes a la laguna de Limoncocha y su nivel de eutroficación:

- Durante los meses muestreados, la laguna albergó concentraciones de fósforo total relativamente bajas ($\approx 0,011$ mg/l), concentraciones altas de clorofila-a ($\approx 16,85$ mg/m³) y abundantes concentraciones de nitrógeno total (≈ 40 mg/l) 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 $0,1441$ g P/m² año, la cual demostró no ser causa del 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 físicoquímicos, 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.

Tras el análisis de calidad de agua se concluyó:

- 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 “Agosto”, 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”, 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 pequeña vertiente, aledaña a la "vertiente 5", 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.

Teniendo en cuenta que los bajos niveles de oxígeno disuelto de las vertientes, son típicos para aguas subterráneas, y que éstos pueden ser corregidos fácilmente; 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.

Finalmente, siendo los estudios limnológicos neotropicales ecuatoriales muy escasos en nuestro país y en el mundo, es relevante señalar que un valor agregado de este estudio es el de contribuir con información para la mejor comprensión del comportamiento de cuerpos lénticos en estas regiones del planeta.