



POSGRADOS

Maestría en

RECURSOS NATURALES RENOVABLES CON MENCIÓN EN REMEDIACIÓN Y RESTAURACIÓN

RPC-SO-17-NO.363-2020

Opción de Titulación:

Informe de investigación

Tema:

RESTROSPECTIVA CRÍTICA DEL ESTADO
AMBIENTAL Y SOCIAL DE LA LAGUNA DE
YAHUARCOCHA, PERIODO 1920 - 2022,
CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA

Autora:

Yadira Elizabeth Patiño Lligüín

Director:

Edwin Fabian Bersosa Vaca

Quito – Ecuador

2024



Autor(es):



Yadira Elizabeth Patiño Lligúin

Licenciada en Ciencias Biológicas y Ambientales
Candidata a Magíster en Recursos Naturales Renovables con
Mención en Remediación y Restauración por la Universidad
Politécnica Salesiana – Sede Quito
yadiralliguin@gmail.com

Dirigido por:



Edwin Fabian Bersosa Vaca

Doctor en Biología
Máster Universitario en Biodiversidad en Áreas Tropicales y su
Conservación
Licenciado en Ciencias de la Educación Profesor de Enseñanza
Media en la Especialización de Biología y Química

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA

YADIRA ELIZABETH PATIÑO LLIGÜÍN

Restrospectiva Crítica del Estado Ambiental y Social de la Laguna de Yahuarcocha, periodo 1920 - 2022, cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado con cariño, aprecio y consideración a Gonzalo y Martha, dos seres especiales que me dieron la oportunidad de ser hija de una mujer íntegra.

A Dios y a mi familia, Lupe, Betty, Anita, Mati y Patricio, gracias por su apoyo incondicional, todo esfuerzo es por ustedes.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a la Universidad Politécnica Salesiana y al Dr. Ernesto Delgado, Director del Programa de Maestría en Recursos Naturales Renovables.

Al Dr. Fabián Bersosa, tutor del presente trabajo de quien recibí gran apoyo académico.

Al MSc. Vladimir Carvajal, por sus aportes y motivación para el desarrollo y conclusion del presente trabajo.

Al MSc. Jorge Arturo Castro, Ingeniero Químico del Gobierno Provincial de Imbabura, quien ha impulsado y motivado el trabajo interinstitucional articulado para el planteamiento de acciones de prevención y mitigación en Yahuarcocha.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	11
2. Determinación del Problema	14
3. Justificación	17
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. Marco teórico	19
4.1.1 Hidrología	20
4.1.2 Pendientes	21
4.1.3 Escorrentía superficial	22
4.1.4 Geología.....	22
4.1.5 Zonas de vida y ecosistemas.....	23
4.1.6 Cobertura vegetal y usos de suelo.....	25
4.1.7 Bioclima	26
4.1.8 Características de la laguna	28
4.2 Revisión de estudios	31
4.2.1 Estudios ambientales.....	33
4.2.2 Estudios históricos y topográficos	39
4.2.3 Estudios hidrológicos.....	50
4.2.4 Estudios biológicos	50
4.2.5 Impactos ambientales	57
5. Materiales y metodología	60
6. Resultados y discusión.....	63
7. Conclusiones	72

RESTROSPECTIVA CRÍTICA DEL ESTADO AMBIENTAL Y SOCIAL DE LA LAGUNA DE YAHUARCOCHA, PERIODO 1920 - 2022, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA

Autor:

Yadira Elizabeth Patiño Lligüín

Resumen

Yahuarcocha constituye un destacado destino turístico en la provincia de Imbabura por su valor histórico y cultural. Se localiza en el Callejón Interandino y a su alrededor se ha desarrollado una infraestructura turística atractiva para los turistas ya que se ofertan diferentes opciones de recreación; no obstante, la gestión deficiente del patrimonio natural conlleva la degradación de sus hábitats, modificando la dinámica de las poblaciones de especies, cambios en la estructura ecológica, pérdida de especies, entre otros.

El nivel de agua en la laguna de Yahuarcocha ha disminuido gradualmente desde 1917 debido a factores como la evaporación y la reducción de los caudales que la abastecen. Estudios indican que, desde hace 43 años, la profundidad de la laguna ha disminuido en consecuencia del arrastre de sedimentos. En 1966 se construyó un acueducto que ayudó a restablecer los niveles de agua; sin embargo, la introducción de especies exóticas y la actividad humana han tenido un impacto negativo en la calidad ambiental de la laguna. Adicionalmente, el régimen hídrico intermitente de las quebradas Manzano Huayco, Santo Domingo y Polo Golo, entre otras quebradas, además de la presencia de contaminantes y la disminución del oxígeno disuelto, contribuyen al deterioro del ecosistema. La proliferación de algas como *Planktothrix agardhii*, representa riesgos para la salud, por lo que, entre las recomendaciones de los investigadores, resalta la implementación de medidas como limitar la extracción de totora y regular el ingreso de nutrientes para abordar estos problemas.

De acuerdo con varios autores, la Laguna de Yahuarcocha está experimentando niveles críticos de contaminación en su entorno ambiental, exceso de algas y vegetación acuática, un bajo nivel de agua y problemas de sedimentación. Acciones como la construcción de la autopista sin estudios del medio ambiente, han provocado daños por la erosión excesiva, la pérdida de suelos, la alteración de las poblaciones de aves se vuelven preocupaciones significativas, etc. La contaminación provocada por el vertido de aguas residuales, la falta de conocimientos piscícolas que llevó años atrás a la

introducción de peces que pudieron reducir o provocar la desaparición de las especies nativas de la laguna, son factores que con el pasar de los años, han aportado a la degradación de este cuerpo de agua.

En la actualidad, de acuerdo con las investigaciones desarrolladas por la academia, entidades gubernamentales y la comunidad científica, se conoce del alto nivel de eutrofización que continúa de manera acelerada, debido a su productividad alta, elevadas concentraciones de fósforo, nitrógeno y carbono; todo esto, a consecuencia de una ausente presencia de las autoridades que controlen el crecimiento demográfico, el emplazamiento de infraestructura turística, hotelera y la agricultura.

El presente estudio tiene por objeto, recopilar y analizar retrospectivamente, los factores ambientales, sociales y biológicos que han intervenido en la pérdida de las condiciones naturales a lo largo del tiempo, para contribuir a la comprensión objetiva de la problemática ambiental, sugiriendo líneas de investigación y manejo del recurso; para lo cual, partiendo de información actualizada y disponible por el Municipio de Ibarra, se presentó una caracterización hidrográfica, de uso de suelo, fisicoquímica y biológica.

El análisis retrospectivo de la revisión de 42 publicaciones correspondientes a tesis de pregrado y posgrado, artículos científicos e informes técnicos generados por las instituciones públicas permitió conocer los factores ambientales, sociales y biológicos que contribuyen con su degradación. De esta manera se facilita la comprensión objetiva de la problemática ambiental que finalmente permiten sugerir líneas de investigación y manejo del recurso. Conocer las medidas tomadas por las instituciones gubernamentales proporciona una perspectiva más completa sobre la gestión de la microcuenca y el estado actual de esta significativa laguna en la provincia.

Palabras clave:

Yahuarcocha, eutrofización, calidad ambiental, cianobacterias, paleolimnología

Abstract

Yahuarcocha constitutes an outstanding tourist destination in the province of Imbabura due to its historical and cultural value. It is located in the Inter-Andean Alley and around it an attractive tourist infrastructure has been developed for tourists since different recreation options are offered; However, poor management of natural resources leads to the degradation of ecosystems, modifying the dynamics of species populations, changes in the ecological structure, loss of species, among others.

The water level in the Yahuarcocha lake has gradually decreased since 1917 due to factors such as evaporation and the reduction of the flows that supply it. Studies indicate that, for 43 years, the depth of the lagoon has decreased as a result of the dragging of sediments. In 1966 an aqueduct was built that helped restore water levels; However, the introduction of exotic species and human activity have had a negative impact on the environmental quality of the lagoon. Additionally, the intermittent water regime of the Manzano Huayco, Santo Domingo and Polo Golo streams, among other streams, in addition to the presence of contaminants and the decrease in dissolved oxygen, contribute to the deterioration of the ecosystem. The proliferation of algae such as *Planktothrix agardhii* represents health risks, which is why, among the researchers' recommendations, the implementation of measures such as limiting the extraction of cattails and regulating the entry of nutrients stands out to address these problems.

According to several authors, Yahuarcocha lake is experiencing critical levels of pollution in its environmental environment, excess algae and aquatic vegetation, a low water level and sedimentation problems. Actions such as the construction of the highway without environmental studies have caused damage due to excessive erosion, loss of soil, alteration of bird populations, etc. The pollution caused by the discharge of wastewater, the lack of fish farming knowledge that years ago led to the introduction of fish that could reduce or cause the disappearance of the lagoon's native species, are factors that, over the years, have contributed to the degradation of this wetland.

Currently, according to research carried out by academia, government entities and the scientific community, it is known that there is a high level of eutrophication that continues at an accelerated rate, due to its high productivity, high concentrations of phosphorus, nitrogen and carbon; all this, as a result of an absence of the authorities that control demographic growth, the location of tourist, hotel and agricultural infrastructure.

The purpose is to compile and retrospectively analyze the environmental, social and biological factors that have intervened in the loss of environmental quality of the Yahuarcocha lake over time, to contribute to the objective understanding of the environmental problem. , suggesting lines of research and management of the resource; For which, based on updated information available by the Municipio de Ibarra, a hydrographic, land use, physicochemical and biological characterization was presented.

The retrospective analysis of the review of 42 publications corresponding to undergraduate and graduate theses, scientific articles and technical reports generated by public institutions allowed us to know the environmental, social and biological factors that contribute to their degradation. In this way, an objective understanding of the environmental problems is facilitated, which ultimately allows us to suggest lines of research and management of the resource. Knowing the measures taken by government institutions provides a more complete perspective on the management of the micro-basin and the current state of this significant lake in the province.

Keywords:

Yahuarcocha, eutrophication, environmental quality, cyanobacteria, paleolimnology.

1. Introducción

La actividad antropogénica se remonta a 2500 años; no obstante, aproximadamente 1500 años antes del presente pudo haberse encontrado la cultura Caranqui, quienes llamaron a la laguna Cochacaranqui. Se presume que, a su llegada, tomaron posesión de las tierras estableciendo cultivos de maíz y fréjol en las orillas de la laguna (Guerra et al., 2023).

De acuerdo con Frolich (2015) citado en (UTN, 2015), en los últimos 500 años se han suscitado eventos importantes que modificaron las características naturales de la laguna, el primero relacionado con la batalla entre el Imperio Inca y los Caranquis, de donde derivó el nombre actual de la laguna “Yahuarcocha”; posteriormente, dadas las condiciones de industrialización y desarrollo del país, se fueron estableciendo asentamientos humanos en sus alrededores, lo que llevó a un rápido crecimiento poblacional.

Para 1938, el Ilustre Municipio de Ibarra ejecutó una obra que consistió en la construcción de un túnel y un sistema de acequias que permitirían “alimentar” de agua a la laguna con el recurso hídrico del río Tahuando, adicionalmente se construyó otro túnel, para la evacuación del agua, lo que convirtió a Yahuarcocha en un reservorio urbano atractivo para la migración y el establecimiento de asentamientos humanos, los cuales, con el pasar del tiempo, fueron modificando el entorno.

En términos ambientales, Yahuarcocha ha sido sometida a diferentes alteraciones como la disminución del caudal de aporte, la introducción de especies exóticas, entre otras causas que han acelerado la eutrofización. En el estudio publicado por Steinitz (1979), se presentó una caracterización primaria en la cual se afirma que: *“es una laguna con una zona litoral muy amplia, de poca profundidad (9 metros medida tomada cerca del centro) y que no supera los 5 metros en la mayor parte”*. También se hace referencia a la temperatura de la superficie, indicando que los datos se registraron entre la 1 y las 5 de la tarde con un valor de 19°C, dato que coincidió con los registros tomados en

diciembre de 1975, julio de 1977 y marzo de 1978. Finalmente se refiere a la transparencia del disco Secchi, del cual se menciona un registró 1 metro de visualización en la columna de agua, valor que coincidió con los registros tomados en los mismos años para la temperatura (Steinitz, 1979).

Los autores de los estudios revisados coinciden en algunos de los elementos que han generado un impacto acumulativo debido a la presión antrópica ejercida sobre la microcuenca de Yahuarcocha, lo que conllevó a que en el siglo XXI se tenga una laguna eutrófica con tendencia a hipertrófica (Portilla 2015 citado en (Carrera, 2017).

La disminución del espejo de agua por la ampliación de los predios colindantes con la laguna, la contaminación debida a los vertidos de aguas residuales (sin tratamiento previo), la falta de una adecuada planificación del territorio, el uso desmedido y sin control de fertilizantes para el desarrollo de actividades agrícolas, entre otras, son las causas que fomentan el deterioro ambiental de la laguna y consecuentemente, se pone en riesgo la continuidad de la vida acuática (Jácome, 2017).

Para el año 2001, se consideró como una prioridad la gestión de la ejecución de proyectos de recuperación y conservación del patrimonio ambiental, ejecutó hasta marzo de 2005 el proyecto de recuperación de la laguna. Entre el año 2007 al 2010, el Ministerio del Ambiente dio paso a la segunda fase del proyecto que incluyó el dragado de la laguna y el mantenimiento de las orillas, como acciones de manejo y protección.

Para esta época, el gobierno de turno emitió el Decreto Ejecutivo 107, que motivó la Declaratoria de Emergencia y por ende la ejecución de un proyecto para el manejo de la cuenca, que incluyó un plan de contingencia destinado a contribuir al uso responsable y sostenible del patrimonio natural, el fomento opciones de producción sostenible y proyectos de restauración ecológica que además garantice una economía sostenible en la cuenca (UTN, 2015).

Yahuarcocha significa “laguna de sangre”, nombre sustentando en la leyenda sobre la coloración roja, que tomó la laguna, por la sangre de los más de 30.000 hombres

asesinados por soldados incas durante una batalla por la conquista del Reino de Quito (Steinitz, 1979). Sin embargo, técnicamente, el nombre de “laguna de sangre” hace referencia al abundante apareamiento de algas, para este caso, de *Euglena sanguinea* que dan al agua el color rojo; floraciones algales que han sido observadas en los 10 últimos años (Guerra Cabezas, 2023).

Son varias las acciones emprendidas por las instituciones gubernamentales que han tenido por objetivo controlar el avanzado estado de eutrofización de la laguna. Sin embargo, los estudios ambientales, así como el aspecto visual, dan cuenta, que dichas acciones no son suficientes para revertir el estado de hiper eutrofización de la laguna; esto, debido principalmente a que el volumen de agua de ingreso no es suficiente para el recambio hídrico, ni en cantidad ni en calidad. Además, los afluentes contienen altos niveles de nutrientes, coliformes fecales, aceites, sedimentos e incluso metales pesados como plomo, cadmio y mercurio, todo esto, producto de las diferentes actividades económicas desarrolladas en su área geográfica.

Considerando la información existente, se puede evidenciar que no existe un resumen integral, cronológico o una revisión adecuada de la problemática que enfrenta la laguna de Yaguarcocha. Los actores interesados carecen de una visión sistematizada que permita entender y explicar la dinámica de conservación de la laguna.

En este contexto, el presente estudio se presenta una evaluación retrospectiva en base a la revisión de literatura, sobre los factores ambientales, sociales y biológicos que han intervenido en la degradación de la calidad del entorno ambiental de la laguna de Yahuarcocha a lo largo del tiempo, de esta manera se pretende contribuir a la comprensión objetiva de la problemática ambiental, sugiriendo líneas de investigación y manejo del recurso.

2. Determinación del Problema

Los estudios realizados en torno al conocimiento de la laguna de Yahuarcocha comparten un criterio en común, y es que la microcuenca está contaminada desde sus fuentes debido a las actividades antrópicas establecidas en su área de influencia, generando un impacto acumulativo sobre la cuenca baja, como consecuencia de la acumulación de nutrientes que contribuye a la proliferación de cianobacterias, el incremento de los sedimentos, entre otros.

Se destaca la agricultura como una de las actividades que aporta en mayor magnitud al estado de degradación ambiental de la laguna, debido a la demanda del agua requerida para el riego, para lo cual, desde hace varios años atrás, se realiza la captación y desvío del agua, acción que reduce el caudal natural que debería ingresar a la laguna para el recambio hídrico.

Diferentes factores como la falta de ordenamiento sistemático del territorio, el descontrol de la expansión urbana, el desarrollo productivo no planificado, así como la ausencia histórica de autoridades que actúen en el marco de sus competencias para regular y controlar las actividades económicas en función de las condiciones actuales de los ecosistemas identificados en la microcuenca de Yahuarcocha, ha dado lugar al deterioro ambiental de la laguna, la disminución del espejo de agua y la disminución de especies nativas para mantener el equilibrio ecológico.

En el año 2022, el Municipio de Ibarra contrató una consultoría desarrollada por un equipo multidisciplinario responsable de presentar una línea base con información primaria y secundaria de la microcuenca de Yahuarcocha. Este estudio concluye que, además del crecimiento poblacional, los problemas resultan de la falta de coordinación entre autoridades y pobladores, puesto que se han incrementado actividades de agricultura, eviscerado de pescado, contaminación a las quebradas, escombros, rellenos, basura, falta de planes de control y capacitaciones, como indirectamente con problemas sociales y políticos. Es importante mencionar que de continuar con la falta de control puede llevar a la laguna a un punto de no retorno.

Los aspectos antes mencionados han conllevado a problemas como la acumulación de algas (cianobacterias) que deterioran la calidad del agua, por un lado provocada por la disminución del contenido de oxígeno; por otra parte, la sedimentación producto de la pérdida de suelo por erosión y al acarreo de partículas a lo largo de los afluentes lo cual se traduce en la pérdida de profundidad; finalmente, el uso de plaguicidas, detergentes u otros contaminantes empleados en las diferentes actividades económicas.

La revisión de las investigaciones desarrolladas entorno a la problemática ambiental de Yahuarcocha durante el periodo 1920 a 2022, en su mayoría corresponden a tesis de ingeniería cuyos resultados no son de fácil acceso al público en general, adicionalmente, son estudios puntuales en una época específica.

Los resultados reflejan el alto grado de eutrofización de la laguna de Yahuarcocha, traducido en altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes, especialmente de nitrógeno y fósforo encontrados tanto en el agua como en los sedimentos, que sumado a los factores ambientales (como el clima, la hidrología, entre otros) y ecológicos, contribuye al desarrollo de eventos ecológicos extremos como el florecimiento explosivo de microalgas tóxicas, la disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua, y el incremento de ciertos iones disueltos como amonio.

Cada uno de estos eventos, ya sea de manera aislada o en combinación de los unos con los otros, inciden sobre la biota presente en el cuerpo lacustre y producir fenómenos como la mortandad masiva de peces de lo cual hay tres registros para la laguna de Yahuarcocha (Municipio de Ibarra, 2021).

Varios estudios consultados no han tenido continuidad o el enfoque se ha centrado en el estado ecológico de la laguna de Yahuarcocha; de manera que, la falta de datos meteorológicos continuos, estudios morfológicos e incluso sociales, han limitado el análisis integral de la microcuenca a lo largo del tiempo; sin embargo, determinan que la laguna tiene tendencia a ser hipertrófica” (Echeverría & Athens, 2016).

Con lo antes citado y considerando los diferentes factores que favorecen al deterioro ambiental de la laguna, se consideró la necesidad de presentar un análisis de los estudios realizados, su alcance y los aportes realizados para caracterizar la microcuenca, así como las estrategias para el manejo y uso sostenible y responsable de los bienes naturales, a fin de que las entidades de control, en sus diferentes niveles de gobierno, tomen decisiones informadas y ejecuten acciones concretas, eficientes y eficaces en pro de la microcuenca de Yahuarcocha, no únicamente de la laguna, tomando en cuenta que los sistemas acuáticos son vulnerables a las perturbaciones naturales y humanas.

En este contexto, el presente estudio aporta con una evaluación retrospectiva, con base en la revisión de literatura, de los factores ambientales, sociales y biológicos que han intervenido en la degradación del entorno natural de la laguna de Yahuarcocha y sus hábitats, a lo largo del tiempo, para contribuir a la comprensión objetiva de la problemática ambiental, sugiriendo líneas de investigación y manejo del recurso.

3. Justificación

La adecuada gestión de los recursos naturales permitiría que los ecosistemas acuáticos provean beneficios económicos, sociales, recreativos, entre otros. Las perturbaciones generadas sobre los sistemas acuáticos los vuelven vulnerables, de tal manera que cambios en la estructura ecológica, la desaparición de especies nativas a causa de la degradación del ecosistema como consecuencia de la contaminación y eutrofización provoca la alteración del equilibrio y la dinámica de las poblaciones asociadas al ecosistema.

Los estudios técnicos de Laguna de Yahuarcocha hacen referencia al grado de eutrofización presente en este cuerpo de agua, lo cual se evidencia a través de la turbidez de sus aguas, la proliferación de algas y la gran cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Estos factores fomentan el apareamiento de una capa verde en la superficie debido a la presencia de cianobacterias.

La información originada de las diversas investigaciones científicas en torno a la laguna de Yahuarcocha y la problemática ambiental, determina la necesidad del presente estudio, puesto que se requiere de una herramienta que recopile orgánicamente y sintetice la información existente, para ayudar a entender el comportamiento de la laguna en una línea de tiempo, para mejorar la comprensión de la información disponible y así determinar los vacíos de investigación y profundizar en aquellas áreas que requieran de mayor atención. En tal virtud, esta misma sistematización de la información sobre Yahuarcocha, permitiría plantear estrategias adecuadas de intervención y remediación.

Considerando la trascendencia socioeconómica y la relevancia a nivel provincial y nacional, en el ámbito turístico y recreativo, el presente estudio permitirá planificar políticas adecuadas en el ámbito de conservación de tan importante ecosistema lacustre y mejorar la comprensión de la realidad ambiental, social, económica de la microcuenca.

3.1 Objetivo general

Recopilar información y analizar retrospectivamente, los factores ambientales, sociales y biológicos que han intervenido en el deterioro de la calidad ambiental de la laguna de Yahuarcocha a lo largo del tiempo, para contribuir a la comprensión objetiva de la problemática ambiental, sugiriendo líneas de investigación y manejo del recurso.

3.2 Objetivos específicos

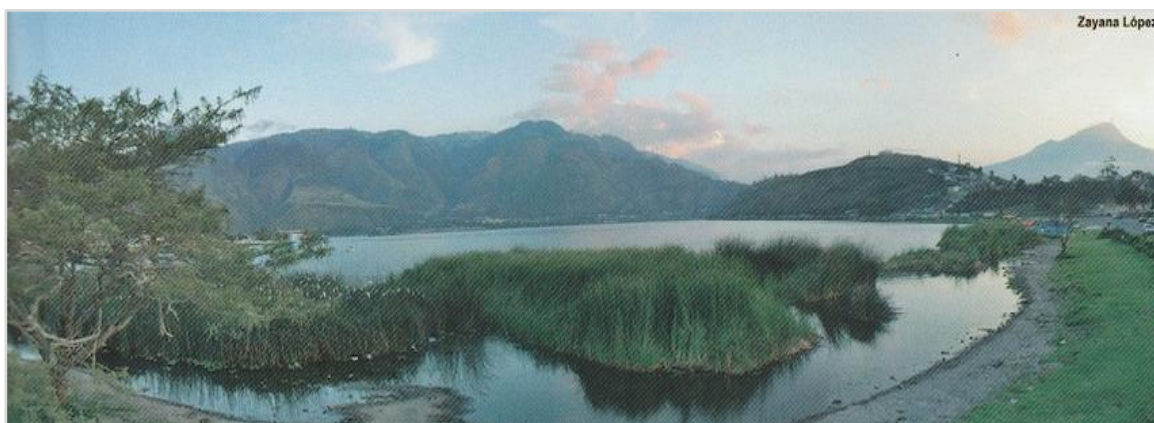
- Revisar y recabar toda la información y literatura disponible relacionada con la laguna de Yahuarcocha
- Clasificar, cuantificar, y caracterizar la información existente sobre el estado ambiental y social de la laguna de Yahuarcocha
- Elaborar un histograma que evidencie cronológicamente la evolución del estado ambiental y social de la laguna de Yahuarcocha y los factores a los que se atribuye ese estado.
- Describir crítica y retrospectivamente los principales factores que han afectado el estado ambiental y social de la laguna de Yahuarcocha

4. Marco teórico

Yahuarcocha es una laguna importante para la provincia de Imbabura, en el ámbito cultural como ambiental por los cambios a los que ha estado expuesta a lo largo del tiempo. La microcuenca se localiza dentro del área de la subcuenca del río Tahuando. La laguna de Yahuarcocha es de tipo endorreico, es decir, un lago formado sobre una depresión de la superficie terrestre, que no tiene salida, por lo que forman una pequeña cuenca hidrográfica, que capta y almacena agua; y que fluye por la microcuenca (UTN, 2015).

Figura 1

Vista panorámica de la laguna



Nota. Tomado de (GPI & Aves y Conservación, 2010).

En la microcuenca, se llevan a cabo diversas actividades económicas. La agricultura se realiza en las zonas medias y altas, y para este propósito, se aprovecha el agua de las acequias. En la zona baja de la microcuenca, se encuentran actividades relacionadas con el turismo, la gastronomía (incluyendo el procesamiento de pescado) y actividades de recreación tanto en el agua como en la orilla (Municipio de Ibarra, 2022).

Diversos estudios llevados a cabo por investigadores determinan que Yahuarcocha es muy importante en el ámbito histórico y arqueológico. El nombre de la laguna atribuido a la composición de las palabras quichua Yaguar = sangre y Cocha: lago; raíces

etimológicas que dan cuenta del sangriento enfrentamiento indígena llevada a cabo en 1487, donde se enfrentaron Caranquis y los Incas.

Históricamente, hay referencias de que en la época colonial se intentó secar a la laguna con la finalidad de disponer de terrenos ricos en nutrientes que servirían para la agricultura (Municipio de Ibarra, 2022).

Características de la microcuenca

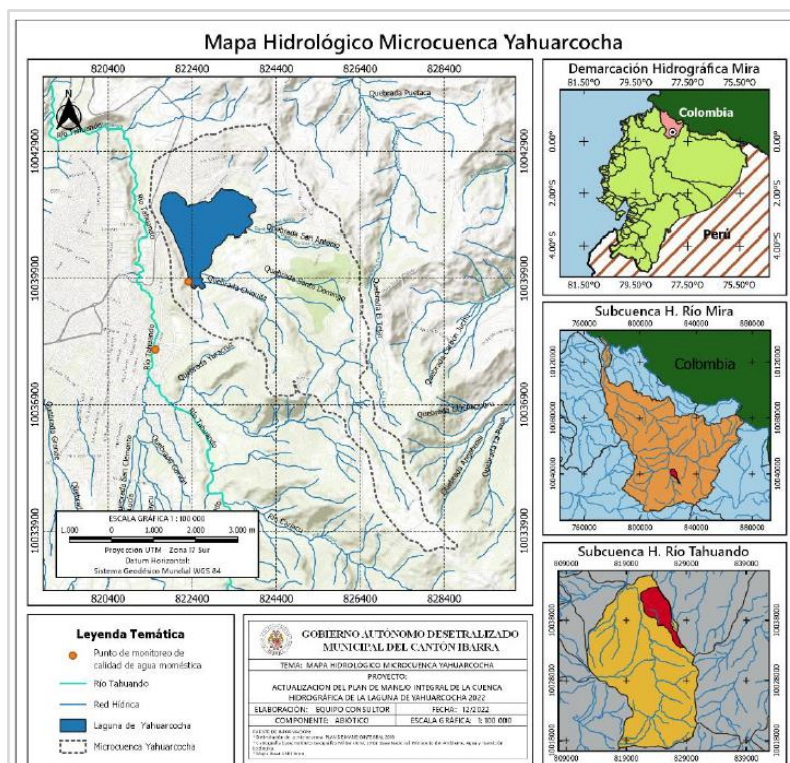
Un estudio reciente ofrece información relevante de la composición de los ecosistemas presentes en la microcuenca de Yahuarcocha, así como estrategias claves para la gestión y preservación de la cuenca hidrográfica de Yahuarcocha. El estudio técnico, liderado por el Municipio de Ibarra, se desarrolló con el propósito de dar cumplimiento de las competencias atribuidas en la Constitución de la República del Ecuador y el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).

4.1.1 Hidrología

En la microcuenca de Yahuarcocha, predomina la presencia de drenajes intermitentes. Como se ilustra en la figura 1, se han identificado varias quebradas, entre las que se incluyen Añaspamba, Chiquita, Girón, Polo Golo, Manzano Huayco, Pacaycucho, San Antonio y Santo Domingo, de las cuales se toma y desvía agua para riego mediante un sistema de acequias. La utilización no autorizada de estos recursos hídricos conlleva a una disminución en el flujo de agua hacia la laguna, resultando en la disminución del nivel del agua de Yahuarcocha (Municipio de Ibarra, 2022). A lo largo de la historia, la microcuenca ha experimentado periodos de lluvias y sequías inusuales que han tenido un impacto en el equilibrio de la laguna (Guerra & Steinitz, 2023).

Figura 2

Hidrológica de la microcuenca de Yahuarcocha

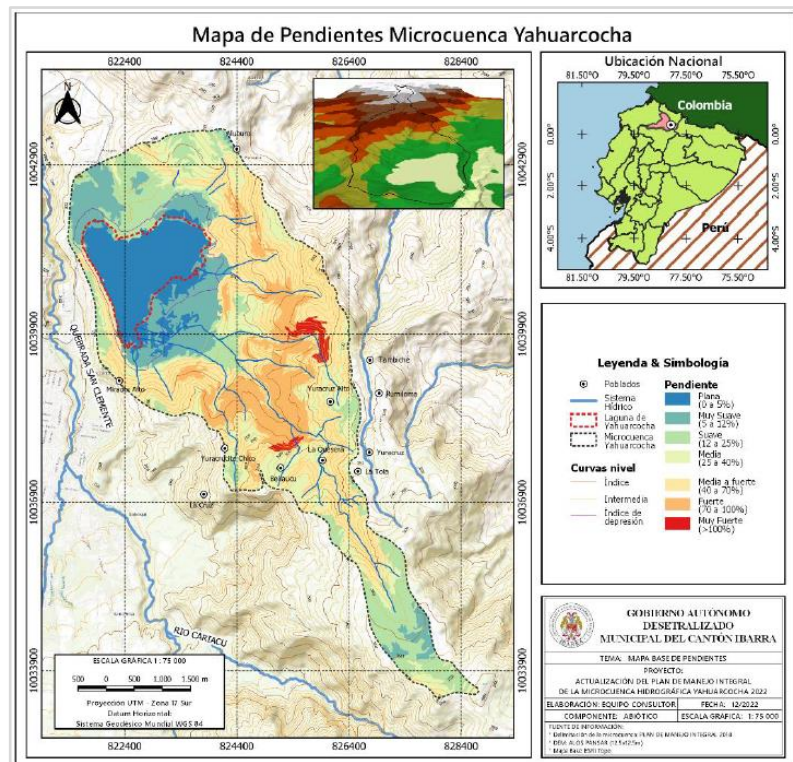


Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.2 Pendientes

En la parte alta de la cabecera de la microcuenca de Yahuarcocha, predominan los relieves con pendientes planas y suaves; en la parte media se observan quebradas cuyo relieve del terreno, en su mayoría presenta pendientes escarpadas de medias a fuertes y muy fuertes y es en estos sitios donde se conservan los remanentes de vegetación natural. Las características del relieve determinan la aptitud y capacidad para el desarrollo de actividades económicas, es por eso por lo que hacia la parte baja donde el relieve es plano se ubican los asentamientos humanos e infraestructura con fines recreativos (Municipio de Ibarra, 2022).

Figura 3
Pendientes de la microcuenca de Yahuarcocha



Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.3 Escorrentía superficial

Los niveles de escorrentía son bajos en las áreas cercanas al espejo de agua de la laguna, debido a las pendientes bajas y el suelo de tipo impermeable. En la zona media y alta, se produce una mayor escorrentía, sin embargo, las pendientes escarpadas son atenuadas por los remanentes de cobertura vegetal lo cual favorece a la infiltración de precipitaciones (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.4 Geología

A los costados de la laguna se encuentran terrazas con pendientes planas, vegetación palustre y pastos; después de las terrazas los depósitos coluviales se encuentran en la cuenca media o al pie de las estribaciones; los depósitos aluviales se hallan en los lechos de las quebradas San Antonio, Manzano Huayco y Polo Golo; la categoría de los

volcánicos Angochagua, corresponden a tobas limo arenosos o cangahua que afloran cerca a la vía Priorato a Yuracruz Alto (Municipio de Ibarra, 2022).

Figura 4

Mapa de pendientes

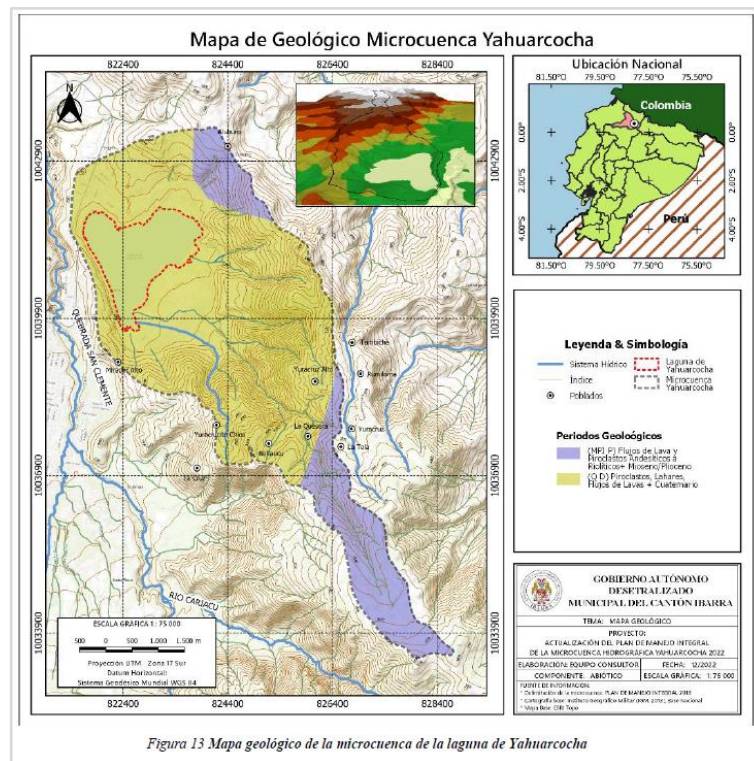


Figura 13 Mapa geológico de la microcuenca de la laguna de Yahuarcocha

Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.5 Zonas de vida y ecosistemas

Hacia las zonas media y baja, se observa formaciones vegetales típicas de bosques secos, las cuales incluyen pastizales, vegetación arbustiva y plantas xerofíticas. Por otro lado, en las zonas más elevadas de la microcuenca, se encuentran bosques con niveles de humedad que varían de húmedos a muy húmedos, donde se pueden encontrar pajonales, vegetación arbustiva y, además, se intercalan cultivos de ciclo corto como papas, habas y pastizales (Municipio de Ibarra, 2022). Las áreas ecológicas identificadas en esta microcuenca corresponden a categorías como Bosque Húmedo Montano, Bosque Muy Húmedo Montano, Bosque Seco Montano Bajo y Bosque Seco Pre Montano (MAGAP, 2003).

Figura 5
Zonas de vida

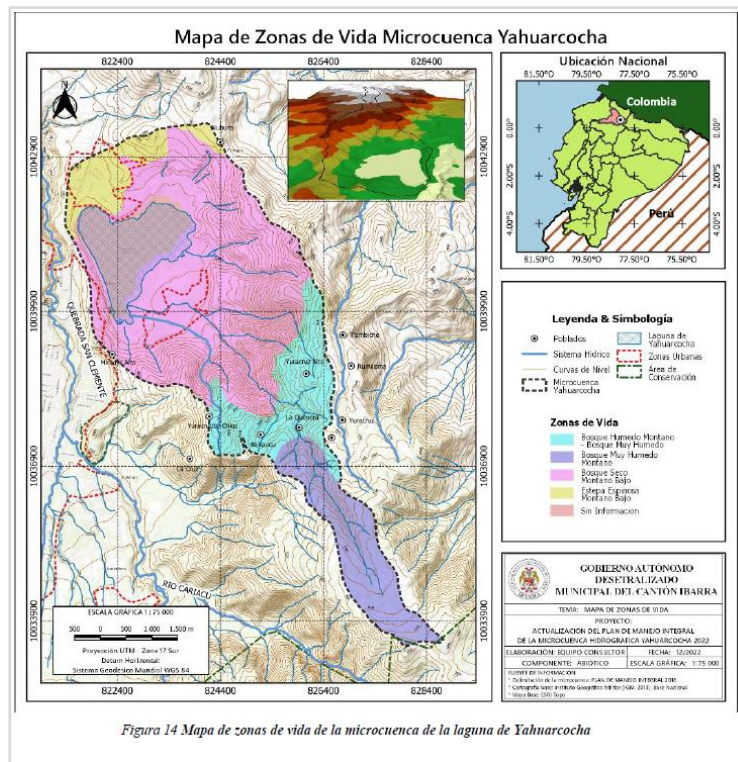


Figura 14 Mapa de zonas de vida de la microcuenca de la laguna de Yahuarcocha

Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

La microcuenca de Yahuarcocha mantiene conservados remanentes ecológicos naturales; sin embargo, la mayor parte de la superficie está sometida a la presión antrópica que ha restringido la cobertura vegetal nativa hacia las zonas montañosas de la microcuenca. De acuerdo con la información actualizada por el Municipio de Ibarra en el 2022, los remanentes de vegetación nativa cubren 360.93 hectáreas, es decir, el 15% del área total de la microcuenca con vegetación de pajonal restringida a la zona más alta. La cobertura vegetal de bosque siempreverde montano presenta un área de 210 hectáreas en la microcuenca y se ubica en las partes internas de las quebradas con pendientes escarpadas. El bosque y arbustal semideciduo, con un área de 111.4 hectáreas, cohabita con cultivos y pastizales y se ubica en parches en la zona media de la microcuenca hacia el sistema montañoso oriental.

Figura 6

Ecosistemas de la microcuenca

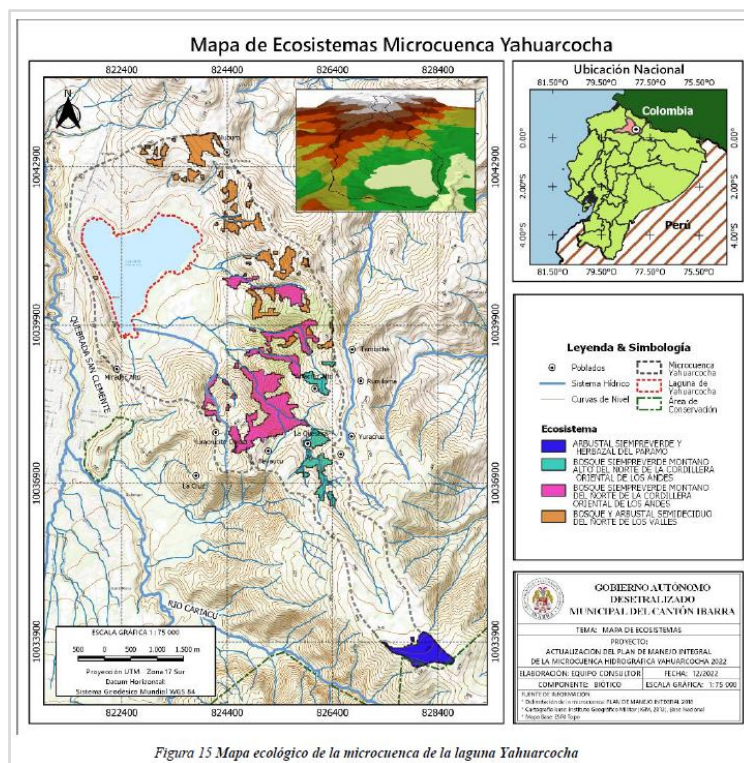


Figura 15 Mapa ecológico de la microcuenca de la laguna Yahuarcocha

Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.6 Cobertura vegetal y usos de suelo

La cobertura natural está conformada por vegetación arbustiva y herbácea; los bosques nativos comprenden el 6% del área de la microcuenca y su distribución se ha reducido a las pendientes más pronunciadas. El páramo, con un área de 2,4% se ubica en la parte alta de la microcuenca siendo desplazado por cultivos. Estas cifras con una muestra de la presión antropogénica sobre la cobertura vegetal. La parte baja no es la excepción, puesto que en esta zona se encuentran asentamientos humanos en medio de escasos parches arbóreos y vegetación arbustiva o herbácea xerófila hacia las colinas de la laguna.

Los usos de suelo presentes en la microcuenca de Yahuarcocha son cultivos, pastos, mosaico agropecuario vegetación arbustiva, vegetación herbácea, páramo, bosque nativo, plantación forestal, infraestructura y cuerpo de agua.

Figura 7

Usos de suelo a nivel de microcuenca

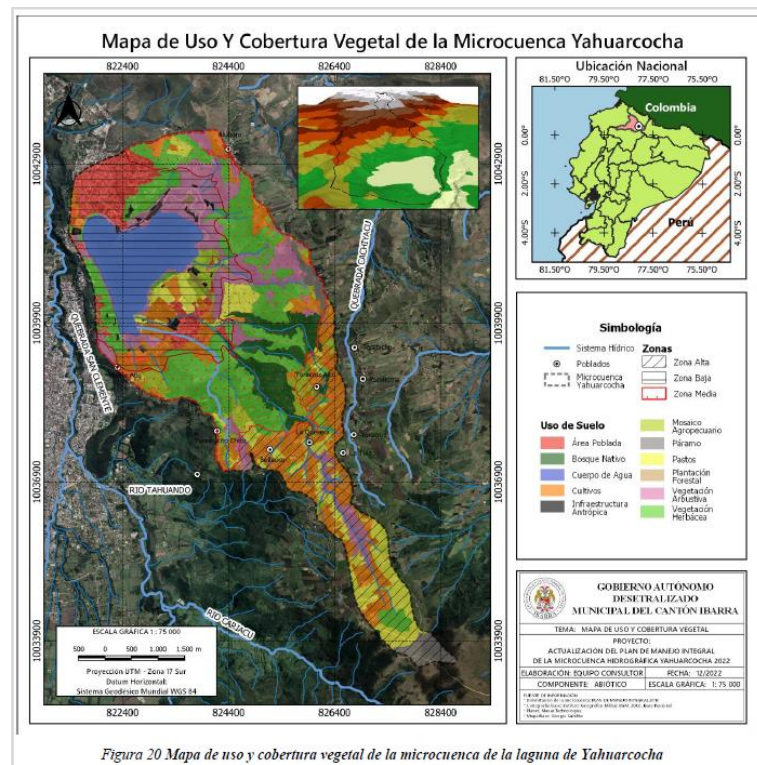


Figura 20 Mapa de uso y cobertura vegetal de la microcuenca de la laguna de Yahuarcocha

Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.7 Bioclima

De acuerdo con la caracterización de la Autoridad Ambiental Nacional (MAATE), en la microcuenca existen tres tipos de bioclimas: el pluvial, localizado en la parte alta donde no se presenta una notable escases de agua, por lo que este bioclima se establece como ecosistema bioclimático de páramo mismo que en la actualidad enfrenta una fuerte presión antrópica por la expansión agrícola; el bioclima pluvioestacional de la parte media de la microcuenca y se caracteriza por presentar una época del año con un escaso nivel de precipitaciones lo que conlleva a una ralentización en los procesos de desarrollo pérdida de hojas en la cobertura vegetal, proceso que puede llevar de 3 a 5 meses; y, el bioclima xérico ubicado en la parte baja y se caracteriza por un nivel muy bajo de precipitaciones y temperaturas más altas, la época de sequía es mayor y puede

presentarse en un lapso de seis y diez meses en el año lo cual está influenciado por las características climatológicas son típicas de las formaciones vegetales de clima árido con bosque seco (Municipio de Ibarra, 2022).

Figura 8

Bioclimas de la microcuenca Yahuarcocha

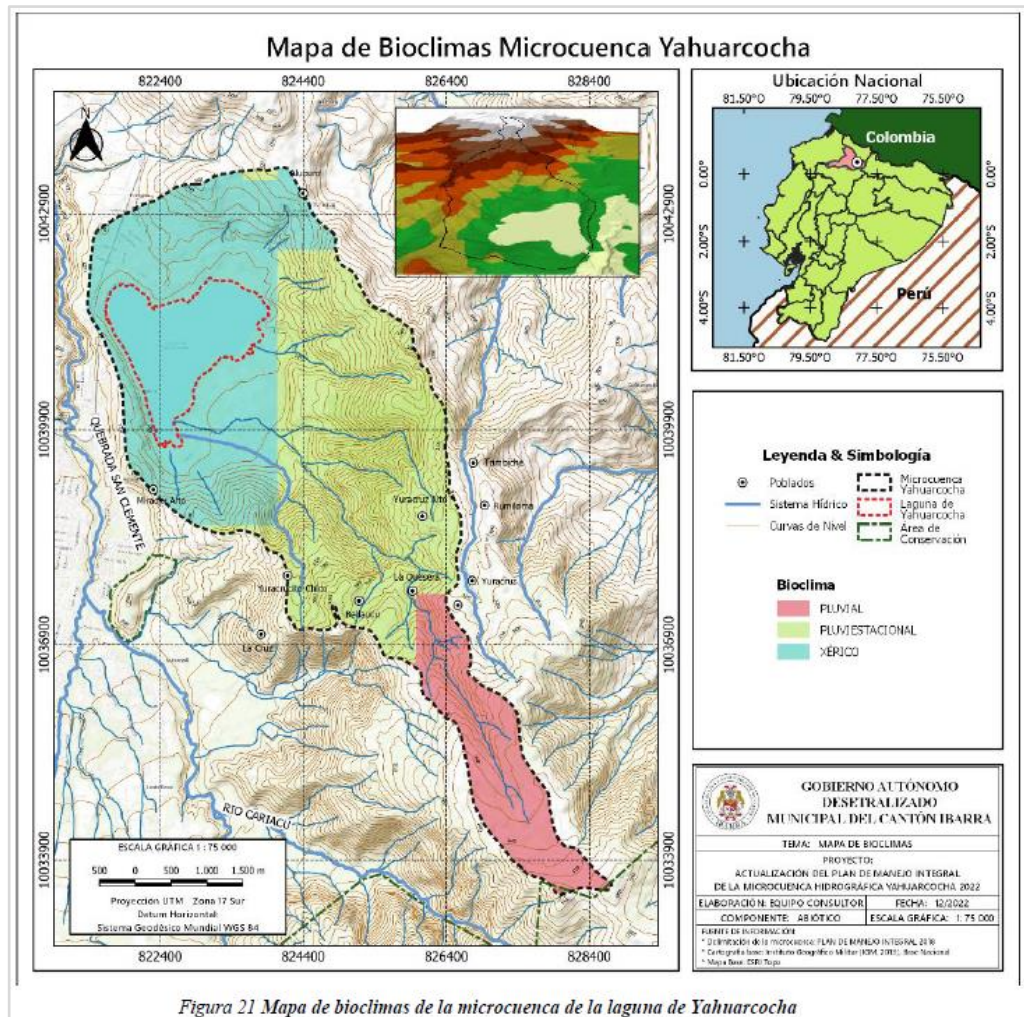


Figura 21 Mapa de bioclimas de la microcuenca de la laguna de Yahuarcocha

Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

4.1.8 Características de la laguna

En base a un análisis comparativo con los resultados estudios técnicos de los años 2018 y 2022, se determinan que, en el año 2022 la laguna de Yahuarcocha tuvo un perímetro de 8,77 km, un área de 2,71 km², volumen 11.492.266 m³, longitud máxima de 2,35 km, ancho máximo de 2,06 km, profundidad máxima de 7,45 m y profundidad promedio de 3,86 m; por lo tanto, al contrastar la información, se determina que no hay una variación considerable, lo que podría atribuirse al incremento de macrófitas, cantidad de sedimentos y al aumento del volumen de agua que ingresa a la laguna, estos factores pudieron haber elevado la cota máxima, evacuando el agua fuera del sistema, reduciendo la ocupación del cuerpo lacustre. Estas variaciones son propias de lagos poco profundos de poca superficie y de tipo endorreicos (citado en Kebede et al., 2006; Marshall et al., 2011; Yin & Nicholson, 1998).

Figura 9

Coloración verdosa y macrófitas en la laguna de Yahuarcocha



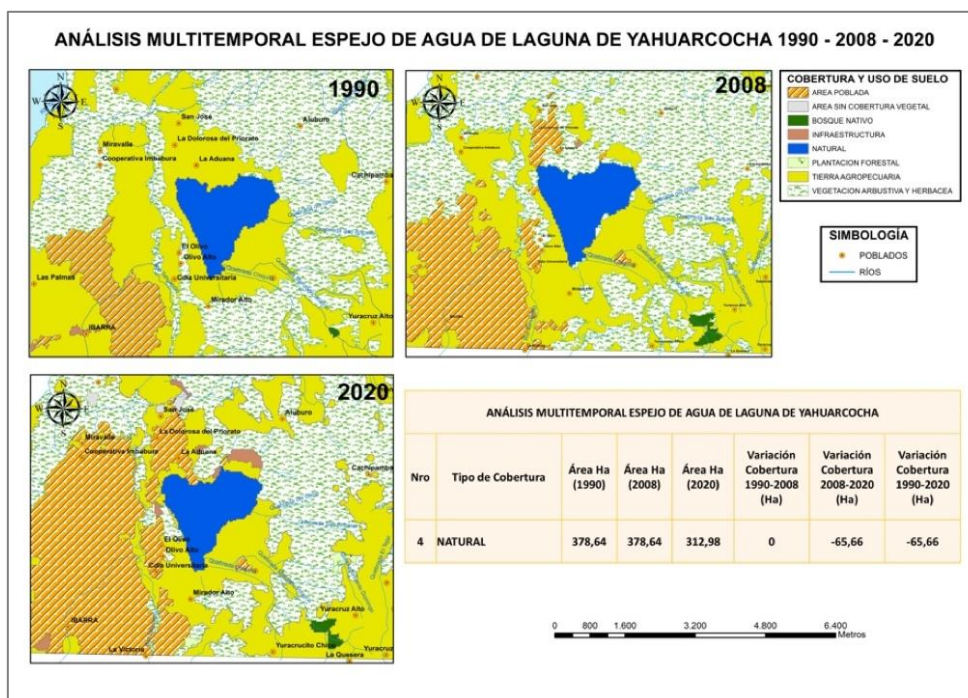
Nota. Tomado de (GPI, 2021)

De acuerdo con el análisis multitemporal del espejo de agua, partiendo de los datos de cobertura vegetal del Ministerio del Ambiente (actualmente MAATE), en años 1990,

2008 y 2020, se evidencia que la cobertura vegetal ha tenido una variación de 65,66 hectáreas entre los años 2008 al 2020.

Figura 10

Análisis multitemporal de la laguna



Nota. Elaborado por la autora, 2023.

De acuerdo con el volumen, se determina que, a diferencia de los registros del año 2018, este se redujo en 2.730.138,70 m³, lo cual podría deberse a las variaciones del caudal de los aportantes de agua entre el periodo 2018 – 2022 y del ingreso de sedimentos tanto de la microcuenca como del canal del río Tahuando.

En cuanto a la longitud y ancho máximos, se determinó una reducción poco significativa, de la laguna no presenta caído a que la laguna no presenta cambios superficiales de longitud y anchuras.

Los registros de la profundidad datan del año 1979 cuando la investigadora Miriam Steinitz reportó 9 metros de profundidad; posteriormente, el instituto INERHI en 1992

presenta un dato de 8,4 metros; Portilla (2015) y Revelo (2017) indican como dato de profundidad 6,9 metros lo cual es concordante con la actualización del PMA (2018) en la que se establece una profundidad de 6,89 metros; sin embargo, en la actualización del plan de manejo integral (2022) se obtiene un dato de 7,45 metros, lo que quiere decir que, en 43 años (1979 – 2022), se produjo una disminución en la profundidad máxima de 1,55 metros, lo que se atribuye al arrastre de sedimentos desde los afluentes (aportantes) hacia la laguna o materia orgánica sedimentada.

Según el análisis del perfil longitudinal y transversal, se observó que en la zona cercana a la entrada de vehículos y en el lado derecho de la entrada del río Tahuando, se experimenta mayor acumulación de sedimentos a causa del arrastre de materiales desde la cuenca. Al examinar el perfil transversal, se aprecia que el lado izquierdo representa la región de mayor profundidad, mientras que, el lado derecho (vuelta de la paloma), se registra un incremento de sedimentos procedentes de las laderas cercanas. Se puede concluir que la laguna mantiene un lecho relativamente plano, pero su orilla presenta una pendiente pronunciada.

Figura 11.

Morfología de la laguna



Nota. Tomado de (GPI, 2021)

4.2 Revisión de estudios

Los estudios han tomado fuerza en los últimos 20 años, tiempo en el cual se han llevado a cabo investigaciones motivadas por algunas instituciones gubernamentales y la academia. Estas instituciones se han dedicado a recabar información relacionada con la evaluación de la calidad del agua, el comportamiento físico químico, ecológico, entre otros.

Los estudios desarrollados por Escaleras (2017), Jácome et al. (2018), Revelo (2017), Riascos et al. (2018), Van Colen et al. (2017), Velarde (2018), y Méndez (2022) han hecho importantes aportes y forman parte del informe técnico actualizado disponible por el Municipio de Ibarra.

De la revisión de literatura, se verifica que muchos estudios se han enfocado en la calidad del agua de la laguna en base a los análisis fisicoquímicos, por lo que la información generada a nivel de microcuenca es menor. Para el año 2022, el Municipio de Ibarra contrató una consultoría para levantar una línea base con información primaria y secundaria en todos los componentes, ambiental biológico y social a nivel de microcuenca.

Tabla 1

Investigaciones realizadas por tesis de la Universidad Técnica del Norte como tesis de ingeniería

Título	Autor (es)	Fecha de publicación	Resumen
Determinación de la calidad de agua utilizando como bioindicadores macroinvertebrados bentónicos en el lago de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura	Velarde Cruz, Delia Elizabeth	2017	En el estudio se evaluó la calidad de agua utilizando bioindicadores macroinvertebrados bentónicos dentro de épocas del año, la primera época lluviosa presente en abril y la época seca comprendida en el mes de agosto. Se realizó un monitoreo distintivo dentro del lago en 25 geo referenciados durante el año 2015.
Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation	Willem Van Colen, Karen Portilla, Tania Oña, Guido Wyseure, Peter Goethals, Elizabeth Velarde, Koenraad Muylaert	2017	Estudió la ecología del lago tropical eutrófico de gran Yahuarcocha en los Andes y se evaluó el potencial de biomanipulación para controlar la eutrofización.
Evaluación del balance hidrológico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha"	Revelo, J.	2017	Realizó el balance hidrológico del lago Yahuarcocha mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico, para establecer estrategias que permitan la conservación del recurso hídrico del lago, en un periodo de estudio desde Julio 2015 hasta junio 2016
DNA-based monitoring of the alien invasive North American crayfish <i>Procambarus clarkii</i> in Andean lakes (Ecuador)	L. Riascos, A.N. Geerts, T. Oña, P. Goethals, J. Cevallos-Cevallos, W. Vanden Berghe, F.A.M. Volckaert, J. Bonillad, K. Muylaerti, E. Velarde, P. Boets, Christine Van der heyden	2018	Desarrolló y utilizó un método molecular basado en el análisis de ADN ambiental (eDNA) para evaluar la distribución de <i>P. clarkii</i> en 21 sitios en el lago Yahuarcocha.
Assessment of water quality monitoring for the optimal sensor placement in lake Yahuarcocha using pattern recognition techniques and geographical information systems	Gabriel Jácome, Carla Valarezo, Changkyoo Yoo	2018	Determinó mediante análisis espaciales y técnicas combinadas con sistemas de información geográfica la influencia de las características climáticas, las actividades antropogénicas y otras fuentes de contaminación difusa en la calidad del agua del lago Yahuarcocha.
Consultoría para la actualización del Plan de Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura.	Velarde, E.	2018	Realizó un levantamiento de información en la microcuenca de Yahuarcocha con la finalidad de actualizar el plan de manejo ambiental.
Evaluación del estado actual de eutrofización de la laguna de Yahuarcocha. Universidad Católica del Ecuador.	Mendez, O.	2022	El documento no se encuentra disponible para acceso

Nota. Elaborado por la autora, 2023.

4.2.1 Estudios ambientales

Miriam Steinitz (1979), describe las características físico químicas y ecológicas de la laguna de Yahuarcocha. En este estudio se presenta información que hace referencia al deterioro de la laguna, estableciendo que el lago ha ido disminuyendo desde 1917, con la deforestación de especies arbóreas circundante que provocó la erosión; además indica que la construcción de la carretera Panamericana, así como de la pista de carreras circundante tuvieron mucho que ver con el relleno de la laguna; establece que la profundidad disminuye en un promedio de 0,33 centímetros por año. Tras el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos, se confirmó el proceso de eutrofización.

Las propuestas para salvar el lago incluían el dragado acompañado por la reforestación masiva de la región y la construcción de pequeños diques de piedra suelta alrededor del lago para evitar la entrada de tierra durante los meses de lluvia del año. Finalmente denota la importancia de salvar este lago, por su importancia histórica y simbólica.

En 2012, se realizó la actualización del PMA de la microcuenca, para lo cual se recopiló información secundaria y se levantó la línea base (Municipio de Ibarra, 2012). Para 2013, en base a un nuevo estudio se analizó el contenido de fósforo, clorofila a, nutrientes orgánicos e inorgánicos disueltos y fitoplancton en la laguna (Municipio de Ibarra, 2012)).

Karen Portilla (2017), evaluó parámetros físicos: temperatura (°C), presión barométrica (mmHg), oxígeno disuelto (mg/l y %), pH (potencial hidrógeno), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y visibilidad Secchi (m), para determinar las características tróficas y proponer una estrategia de conservación.

Los hallazgos señalaron que la profundidad del disco Secchi experimentó la variación estacional más notable en términos de parámetros físicos, mientras que el oxígeno disuelto fue el factor que más influye en el nivel trófico.

El estudio concluyó que, el lago no presenta variación espacial de los parámetros físicos a nivel superficial, lo que quiere decir que el lago está bien mezclado y no se puede

observar impacto local de las entradas de agua, con una variación temporal debido a las condiciones climáticas. Durante el análisis, se observaron diferencias verticales de oxígeno disuelto y ph, con valores altos en la superficie, causados por la actividad fotosintética y valores bajos cerca del fondo debido a la respiración de bacterias en la materia orgánica, característica propia de un lago productivo o eutrófico de poca profundidad (Portilla, 2017).

En los últimos años, los gobiernos seccionales, entidades del gobierno y la academia, han llevado a cabo estudios enfocados en el análisis de variables fisicoquímicas de la laguna para evaluar los cambios ecológicos y su relación con la calidad de agua en Yahuarcocha.

Examinar las características físicas, químicas y biológicas de la laguna es fundamental para entender su estado actual y tomar decisiones basadas en información precisa para su adecuada administración. La importancia del monitoreo constante es evidente. Además, esta información posibilita la evaluación de cómo la contaminación causada por actividades humanas y la intervención del ser humano influyen en las fluctuaciones naturales del cuerpo de agua. También es crucial para la formulación o el respaldo de políticas y estrategias de monitoreo destinadas a restaurar su equilibrio trófico.

Los estudios en la laguna de Yahuarcocha muestran un cuerpo de agua en estado eutrófico con tendencia a ser hipertrófico, siendo los síntomas de su estado, la turbiedad de sus aguas, la abundancia de algas y la gran cantidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, todos estos factores forman una capa verdosa a en la superficie producto de la presencia de cianobacterias.

Figura 12

Estado actual de las macrófitas en la laguna



Nota. Tomado de (GPI, 2021).

Entre las causas más relevantes de la contaminación del agua se encuentra la expansión del área urbana, el aporte de nutrientes, las descargas de aguas residuales no controladas hacia los afluentes (quebradas Polo Golo, Manzano Huayco, el Quince, entrada del río Tahuando) y la laguna, el desarrollo de actividades agropecuarias y la aplicación de fertilizantes como nitratos, herbicidas e insecticidas, aceites y grasas producto de la actividad económica del eviscerado de pescado.

Figura 13

Estado de las quebradas aportantes a la laguna de Yahuarcocha. Izq. Quebrada Manzano Huayco. Der. Quebrada el Quince.



Nota. Tomado de (GPI, 2021).

Análisis de monitoreos de variables físico químicos

De la revisión de bibliografía se verifica que se han realizado análisis de parámetros físicoquímicos por parte de la UTN; adicionalmente, entidades de gobierno seccional como el Gobierno Provincial de Imbabura y el Municipio de Ibarra, disponen de información continua que permite mantener una valuación interna permanentemente del estado el estado de la laguna.

El estudio y análisis de los afluentes proporcionan información sobre la calidad del agua, nutrientes, materia orgánica, factores que determinan el desarrollo de la vida acuática, asimismo, el caudal de aporte favorece a la regulación del nivel del agua en el cuerpo lacustre.

Para el análisis de la calidad de agua, en los estudios consultados se evaluaron parámetros físicoquímicos conforme al uso de esta para ser comparados con valores

estándar establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional, de manera que se pueda comprender su calidad, pureza y la salud del ecosistema.

A continuación, se presenta un resumen comparativo de las mediciones recopiladas entre los años 2016 – 2022 por parte del Gobierno Provincial de Imbabura, valores que han sido promediados para cada año para una mejor comprensión.

Tabla 2

Monitoreos anuales Gobierno Provincial de Imbabura, periodo 2016 – 2022

	pH	Conductividad (uS/cm)	TDS (mg/l)	T (°C)	OD (mg/l)	OD (%)	Turbiedad (NTU)	DQO	Nitritos	Nitratos
2016	9,05	572,81	287,50	23,49	7,80	111,06	28,71	0,00	0,00	0,00
2017	9,09	573,88	289,56	23,24	8,44	127,39	29,23			
2018	8,64	574,81	294,19	22,58	8,24	122,31	26,97	87,00		
2019	8,82	580,63	298,81	22,36	8,31	122,70	36,37	110,50		
2020	8,64	559,00	290,81	21,71	8,15	119,57	41,95	97,00	0,00	2,40
2021	8,38	548,63	289,13	21,01	8,10	117,24	40,47	94,20		0,42
2022	8,41	551,75	286,25	21,70	8,37	123,69	46,96	89,00		

Nota. Los datos corresponden a los monitoreos anuales realizados por el Gobierno Provincial de Imbabura. Elaborado por la autora, 2023.

En noviembre de 2022, se llevaron a cabo muestreos simples en 5 puntos de la laguna de Yahuarcocha durante la época lluviosa, los resultados fueron comparados con los límites permisibles de la normativa ambiental ecuatoriana (Tabla 2, AM. 097-A):

Tabla 3

Resultados de los monitoreos de parámetros fisicoquímicos realizados en el año 2022

	Muelle Bar	Desembocadura Tahuando & Polo Golo	Punto profundo	Planta de tratamiento	Vuelta Paloma	Límite máximo permisible **
Oxígeno disuelto (mg/L)	6,3	7,2	7	6,4	8,2	N/A
Oxígeno saturación (%)	100,6	108,2	106	97,6	124,1	>80
Aceites y grasas (mg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	N/A
Alcalinidad total como CaCO ₃ (mg/L)	280	280	275	282	277	N/A
Amonio como Amoniac (mg/L)	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,053
Amonio (mg/L)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	N/A
Cloro libre (mg/L)	0,05	0,11	0,07	0,1	0,05	0,01
Clorofila A (fĒg/L)	58,7	58,1	64,7	58,1	57,4	N/A
Cloruros (mg/L)	18	18	18	18	18	N/A
Coliformes fecales (NMP/100ml)	3,6	3,6	<1,1	1,5 x 10	7,4	N/A
Coliformes totales (NMP/100ml)	1,5 x 10	9,3 x 10	2,3 x 10	4,3 x 10	1,5 x 10	N/A
Conductividad	538	532	532	538	536	N/A
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	11	8	11	12	9	20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	88	90	96	75	94	40
Dureza Total (mg/L)	186	183	181	183	181	N/A
Fosfatos (mg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	N/A
Nitratos (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	13
Nitritos (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
Sulfatos (mg/L)	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	N/A
Hidrocarburos Totales de Petróleo (mg/L)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5
Nitrogeno Total Kjeldahl (mg/L)	<1,0	<1,0	1,2	1	1,1	1,2
Potencial de Hidrogeno (pH)	9,1	9,1	9,1	9,1	9,2	6,5 a 9
Profundidad Secchi (m)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	N/A
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	32	37	45	37	48	*
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	379	384	386	345	385	N/A
Sólidos Totales Gravimétricos (mg/L)	379	325	320	391	331	N/A
Temperatura (T)	25,7	22,9	22,9	23,7	24,5	N/A
Turbidez (NTU)	52	55,1	51,4	54,5	53,8	N/A

Nota. Los datos corresponden a la Actualización del Plan de Manejo Ambiental 2022.

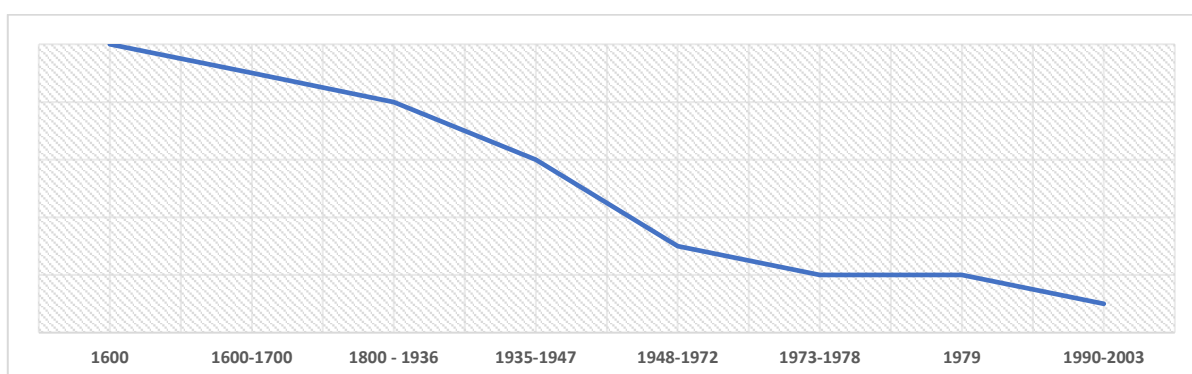
Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022)

4.2.2 Estudios históricos y topográficos

La revisión histórica provee una visión general del cuerpo lacustre. Desde tiempos remotos en las investigaciones se plantearon soluciones para reducir las causas que inciden en la calidad ambiental, tales como a disminución del nivel del agua, la pérdida de afluentes y efluentes, la disminución de la biodiversidad, la mortalidad de peces, la reducción de los niveles de oxígeno, la introducción de especies invasoras, entre otros. La afectación de la laguna ha dado lugar al decrecimiento de su calidad ambiental y biológica, tal como se evidencia en el histograma.

Figura 14

Histograma que evidencia la evolución del estado regresivo de la calidad ambiental de la laguna de Yahuarcocha.



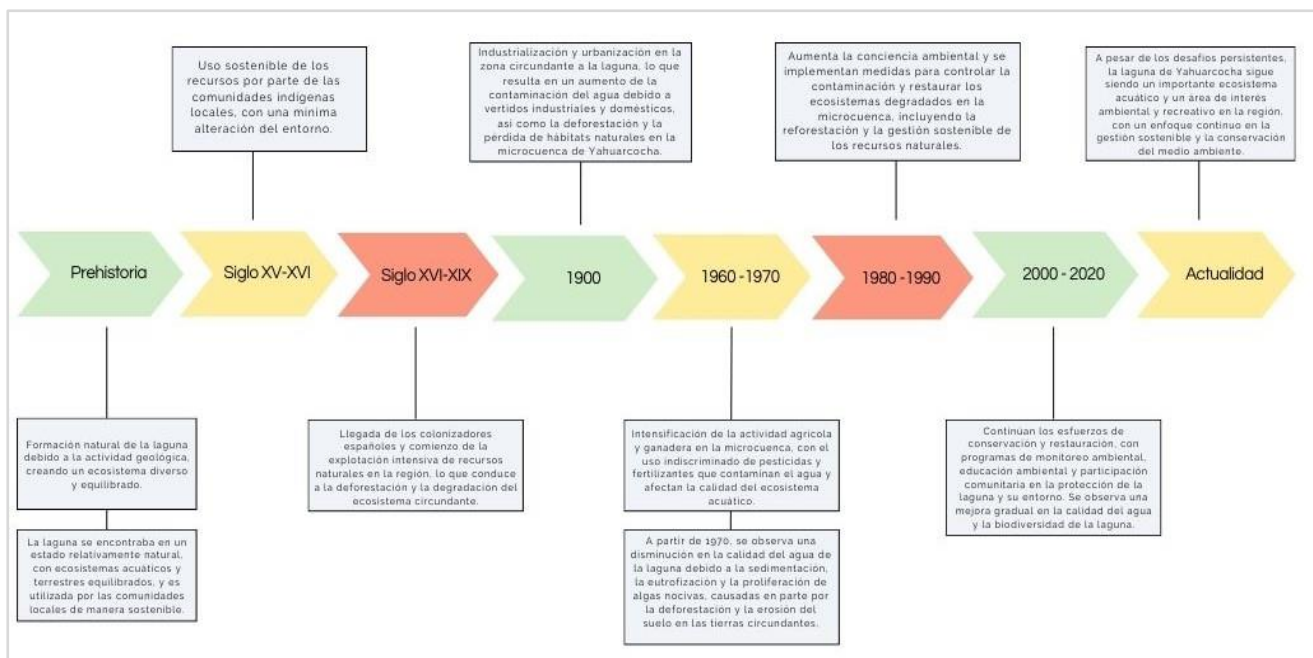
1600	Se identifican 3 quebradas aportantes. Salida en el río Tahuando. Altura aproximada de 2230 msnm. Padre Juan de Velasco introduce el término lago.
1600 - 1700	Circunferencia de la laguna de 16 km. Especies nativas preñadillas y balso de Ibarra. Pérdida de entrada principal en 1680.
1800 - 1936	Nivel del lago en 1890 - 1910: 2220 msnm. Coloración roja en 1923. Adjudicación de Yahuarcocha al Municipio de Ibarra 1935. Altura aproximada del lago en 1935 2210 msnm. Profundidad máxima 3,5 metros.
1935 - 1947	Presencia de algas, pérdida de oxígeno, muerte de peces, olores putridos. Pérdida de 10 metros de profundidad en 25 años. Pérdida de orillas. Laguna en peligro de desaparecer por evaporación.
1948 - 1972	Primer estudio geológico, hidrológico y climatológico. Acequía Yahuarcocha 1966. Nivel de la laguna 2186 msnm. Pérdida de nivel desde 1910: 34 metros.
1973 - 1978	Nivel: 2186 metros. Estudio para la introducción de Tilapia. Caracterización bióticas y físico químicas. Pérdida de nivel desde 1947: 24 m. Construcción del Autódromo Jose Tobar.
1979	Estudio limnológico 1979. Acelerada sedimentación provocada por la rápida erosión, deforestación. Propuestas de dragado y reforestación. Profundidad máxima 9 m. Profundidad media 5 m.
1990-2003	Profundidad máxima 5 metros 1,8 metros referencia. Navegación no permitida por poca profundidad. 2000 habitantes en la microcuenca. Alta contaminación fecalorgánica. Dragado.

Nota. La información corresponde a los registros de la Actualización del Plan de Manejo Ambiental 2022. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

A través de una línea de tiempo se refleja de manera general, los cambios ambientales significativos que han ocurrido en la microcuenca de Yahuarcocha a lo largo del tiempo, así como los esfuerzos de conservación destinados a proteger este importante recurso natural.

Figura 15

Línea de tiempo general de los cambios ambientales de la laguna de Yahuarcocha.



Nota. La información se ha generado en base al análisis general de la revisión de literatura.

En la publicación Monografía de Ibarra (Tobar, 1985), hace referencia a las quebradas como afluentes, indica que históricamente la laguna ha sido alimentada por las quebradas Rosauco, Manzanaguaico y Yuracrucito. En 1680, las aguas de la quebrada Rosauco que fueron las más abundantes se encauzaron con dirección a Pimán con fines de riego. En este estudio se discute la pérdida de volumen de la laguna exponiendo datos sobre posibles eventos para generar el desagüe de esta, a tal punto que se afirma que en trescientos años el nivel ha disminuido en cerca de 60 metros, tomando como referencia el desaguadero reportado en 1604. También se apoya en que el Camino Real,

hacia el Norte, en tiempos de la Colonia avanzaba por la orilla oriental, debido a que las aguas de la laguna cubrían todo el tramo contiguo al río Tahuando.

Cristóbal Tobar Subía plantea interrogantes sobre la autenticidad de la explicación tradicional del nombre de la laguna, sugiere que podrían existir sustancias colorantes en el interior de la tierra que se filtran y ocasionalmente le dan su característico color. Además, menciona un evento ocurrido en 1923 y argumenta que, incluso con todos los tintes disponibles en ese entonces, no habrían sido suficientes para teñir las aguas del gran lago, planteando la posibilidad de que un fenómeno similar ocurriera en el siglo XV. Adicionalmente, concluye que la disminución de caudal de los afluentes, se deben a la deforestación y a la extracción de agua para uso agrícola.

El Padre Juan de Velasco, relata que la coloración del lago se relaciona con la matanza de un aproximado treinta mil personas, quienes de acuerdo con los historiadores, fueron arrojados al lago y lo tiñeron enteramente en sangre (Velasco, 1946); sin embargo, en el año 2022 se concluye que, de acuerdo con el volumen de agua, aun cuando se hubieran vertido un aproximado de 14 000 000 m³ de sangre, esto correspondería al 1% del volumen actual de agua, siendo insuficiente para alcanzar esa coloración, quedando como una teoría inverosímil. De lo que se ha encontrado registros es de la marea roja, fenómeno producido por un tipo específico de microalgas. (Municipio de Ibarra, 2022)

Para el año 1923, se registra un nuevo episodio de coloración roja en la Laguna de Yahuarcocha. Según la Monografía de Ibarra de Tobar (1985), existen dos teorías para explicar esta coloración. Por un lado, se sugiere que la presencia de algas rojas es responsable de darle el tono rojo a la laguna. La otra teoría plantea que, a medida que las capas geológicas se abren, sustancias colorantes son arrastradas por corrientes internas y, durante la ebullición, se depositan en la superficie de la tierra. Sin embargo, técnicamente, ni siquiera una fábrica de anilinas habría sido capaz de teñir las aguas del lago en el siglo XV, lo que podría explicar el origen de su nombre.

En el lecho de la laguna, cerca de sus orillas, se encuentra un lodo rojizo, cuyo color se debe a la presencia de algas rojas. En ciertas épocas, la proliferación de estas algas es tan significativa que la coloración roja se hace muy evidente en la superficie de la laguna, lo que posiblemente contribuyó a la denominación de "Yahuarcocha" o "Lago de Sangre".

Por Decreto Supremo, en 1935 fue adjudicada la laguna a la municipalidad, en 50 metros de latitud en contorno, quien a partir de esa fecha tendría competencia directa en los problemas y soluciones del cuerpo lacustre (Municipio de Ibarra, 2022).

Walter Sauer (1947), presentó los resultados de su investigación en donde demostró que el principal problema para la pérdida de nivel de la laguna era la evaporación. Menciona que, debido a la presencia de algas, el agua de la laguna de Yahuarcocha ha disminuido el contenido de oxígeno que imposibilita la vida de los peces que tienden a desaparecer. Las algas mueren en el agua fresca y a menor temperatura de la laguna. La coloración verde turbio.

Según Tobar (1985), en la Monografía de Ibarra, se informa que, al llegar a mediados del siglo XX, se observa una reducción de al menos 10 metros en la profundidad de la laguna debido a la evaporación. Esta disminución benefició a los propietarios de tierras a lo largo de las orillas de la laguna, otorgándoles más de 300 metros lineales en un período de 25 años. Esta situación les proporcionó una considerable riqueza de manera gratuita y sin justificación, en virtud de la ley.

La pérdida de profundidad en la laguna resultó en la formación de áreas pantanosas y la liberación de olores desagradables debido a la desecación. Estos olores podrían haberse originado por la falta de oxígeno o los bajos niveles de oxígeno, lo que habría llevado a la descomposición de los desechos a causa de la acción bacteriana, especialmente en un clima cálido. El proceso de descomposición en el agua generó dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, que producían olores similares al huevo podrido (Municipio de Ibarra, 2022).

Entre 1936 y 1937, investigaciones revelaron que la laguna estaba en riesgo debido a la pérdida de agua causada por la evaporación. Los resultados de las mediciones realizadas en varios puntos de la laguna llevaron al Dr. Joaquín Sandoval, quien era el director del colegio Teodoro Gómez de la Torre, a comunicarse con el Consejo de Ibarra. En su comunicación, informó que la profundidad de la laguna se había reducido en 9 metros, con la mayor profundidad registrada a 3.5 metros. Basándose en estos hallazgos, concluyó que la laguna podría desaparecer en los años venideros si no se le suministraba agua del Tahuando durante los meses de invierno.

En respuesta a esta situación, el ministro de Previsión Social en ese momento encargó al Dr. Walter Sauer y al Dr. Juan Odermatt, de la Misión Científica Alemana, para que llevaran a cabo un estudio sobre el fenómeno observado (Municipio de Ibarra, 2022).

En el gobierno del General Alberto Enríquez Gallo (1938), se gestionó una asignación de 20000 sucres para proveer de agua a Yaguarcocha y mantener sus características naturales de la tierra Imbabureña. Sin embargo, el Concejo de Ibarra, entregó esa asignación al dueño de la acequia de Tababuela, quien se comprometía *“a ensanchar el cauce de la acequia que irriga el fundo Yaguarcocha”*, para conducir por este la cantidad de agua necesaria para alimentar la laguna del mismo nombre. El dueño de la acequia de Tababuela debía conducir el mayor volumen de agua que quepa en el cauce ensanchado, para verterlo en el lago durante los meses de invierno. La obra se realizó, pero el compromiso nunca se cumplió.

Después, la representación de Imbabura, motivada por la creciente preocupación en la ciudad de Ibarra debido a los olores desagradables que provenían de las áreas pantanosas y desecadas que se estaban formando en la Laguna de Yahuarcocha, y consciente de los riesgos que esto planteaba para la salud pública, presentó un proyecto ante el Congreso Nacional en 1942. A través del Senador Dr. Cristóbal Tobar Subía, el objetivo era asegurar el cumplimiento del contrato de 1938 y garantizar la salud pública.

Finalmente, en 1944 se celebró un nuevo contrato en el que, desafortunadamente, se realizaron modificaciones significativas en las responsabilidades del Sr. Virgilio Tamayo,

casi eliminándolas por completo y transfiriéndolas al Municipio. Esto conllevó a la desaparición de la obligación principal de mantener el abastecimiento de agua en la laguna.

Para 1943 y 1944, las lluvias se encargaron de llenar la laguna hasta 10 centímetros de lo convenido en el compromiso con el dueño de la acequia Tababuela.

En 1947, los científicos Walter Sauer y Juan Odermatt determinaron que la laguna había experimentado una disminución de 10 metros en su nivel. En 1917, el nivel se encontraba a una altitud de 2220 metros sobre el nivel del mar, mientras que, en 1947, había descendido a 2210 metros. Actualmente, en 2022, el nivel se sitúa en 2190 metros. Por lo tanto, se puede concluir que entre 1917 y 2022, la laguna ha perdido un total de 30 metros, y al compararlo con los datos de 1947, la disminución es de 20 metros. Esto indica que, en ese período, el problema ambiental principal de la laguna era la pérdida de nivel debido a la evaporación, además de la reducción en los caudales de entrada debido a desviaciones, lo que descarta la teoría de que la laguna tenga vertientes o fuentes internas, como se sugiere en el informe del (Municipio de Ibarra, 2022).

Otro factor relevante considerado por los investigadores fue la humedad relativa (35%, es decir, aire muy seco), tomando en cuenta que los vientos del Chota transportan sobre la superficie del lago un viento muy seco a lo que se atribuye como la causa principal de la fuerte evaporación de la laguna de Yahuarcocha. El estudio realizado por los científicos alemanes Dr. Walter Sauer y el Dr. Juan Odermatt (1947), describe las características geológicas, hidrológicas y climatológicas, conformación del suelo (cantos más o menos rodados de andesita de diferentes tamaños y cangahua), el valor de pérdida de profundidad (10 metros aproximadamente 0,33 m por año), los factores de pérdida de agua (evaporación y disminución de caudales de aporte), presencia de algas y su relación con las condiciones ecológicas (excesivo consumo de oxígeno, limitante para el desarrollo de la vida de los peces) (Sauer & Odermatt, 1947).

Las conclusiones de los investigadores concordaban con la cámara edilicia de Ibarra, en cuanto a la necesidad de aportar el caudal suficiente a través del canal directo tomado del río Tahuando.

Para 1966 se finalizó la construcción de un acueducto para la conducción de las aguas del río Tahuando hacia la laguna, denominado Acequia Yaguarcocha, lo que permitiría recuperar los niveles de agua que podrían mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas para la vida acuática.

En 1973, se llevó a cabo un estudio con enfoque económico y turístico que tuvo como objetivo introducir *Tilapia Mossambica* en la laguna. En ese momento, la introducción de peces en los lagos andinos se consideraba una práctica común, sin considerar las posibles consecuencias ecológicas. Es posible que, en el pasado, la laguna de Yahuarcocha haya albergado a las "preñadillas". En 1902, se introdujo la Carpa (*Cyprinus carpio*) en la laguna; sin embargo, en 1922, hubo una disminución en la población de carpas, probablemente debido a la disminución del nivel del agua y la reducción del oxígeno disuelto necesario para su supervivencia. En 1956, individuos particulares reintrodujeron carpas en la laguna, pero no fue hasta 1971 que se registró un ejemplar capturado junto a uno de tilapia. (Casa de la Cultura Ecuatoriana, 1973)

En 1966, se intentó introducir individuos de tilapia, pero se presume que fueron depredados por aves. En 1967, se reintrodujo esta especie con precauciones adicionales para evitar la depredación por parte de las aves. Después de una fase experimental considerada "exitosa", se liberaron individuos en la laguna que presentaban características físicas sobresalientes, como un buen tamaño y aumento de peso. A partir de 1969, se registraron capturas de tilapia mediante métodos artesanales utilizando anzuelos.

En este mismo estudio para la introducción de tilapia, se genera, por primera vez, información referente a las características fisicoquímicas y bióticas, presentando información sobre la fauna (protozoarios, moluscos, artrópodos, anfibios, peces) y la

flora (Criptógamas: algas cianofíceas, algas clorofíceas, algas crisofíceas o diatomeas, fanerógamas flotantes, emergentes o palustres).

Steinitz Kannan Miriam (1979), concluye que Yahuarcocha se alimenta principalmente de agua de lluvia, asimismo, recibe aportes de dos pequeños arroyos al sur y sureste del lago, los cuales estuvieron secos durante las campañas de muestreo. Los desbordes de agua del lago van al Tahuando, un río cercano que se encuentra al norte del lago. El lago está repleto de peces (carpas y otras especies). Los peces fueron abundantes, a tal punto de obstruir las redes de plancton, y entre los juncos se pueden capturar peces pequeños a mano.

Yaguarcocha se está llenando a un ritmo rápido debido a la erosión de la tierra circundante, la profundidad del lago ha ido disminuyendo desde 1917 cuando se cortaron los árboles circundantes, lo que incrementó la erosión. Además, la sedimentación se aceleró debido a los sedimentos que ingresa por la rápida erosión de la microcuenca. El llenado del lago se aceleró durante la construcción de la carretera Panamericana, y especialmente durante la construcción la pista de carreras circundante. La profundidad del lago parece estar disminuyendo a un ritmo de 0,33 cm cada año (Terán, 1975).

Para este 1979, su estudio determinó que la laguna presentaba un estado eutrófico, por la entrada de contaminantes y sedimentos. Con respecto a la química del agua, indicó que el agua es muy alcalina y dura (altas concentraciones de iones Mg^{+++}) con alta conductividad (presencia de grandes cantidades de electrolitos disueltos); el agua es rica en nitratos y fosfatos y pobre en sílice. Con relación al estado trófico, menciona que es un lago eutrófico debido a la cantidad de nutrientes disueltos y la falta de oxígeno en el metro del fondo del lago, sin embargo, llama la atención la diversidad de especies de fitoplancton establecidas. Cerca a la orilla, las floraciones masivas de *Euglena sanguinea* (especie indicadora de aguas muy productivas) provocan el color rojizo del agua.

Las propuestas para salvar el lago incluían el dragado, además de un plan de reforestación masiva de la región y la construcción de pequeños diques de piedra suelta

alrededor del lago para evitar el lavado de tierra durante los meses lluviosos del año (Rivadeneira, citado en Zurita, 1975).

En 1990, Ximena Landázuri llevó a cabo un estudio titulado "*Preferencias reveladas de calidad ambiental por turistas y comunidades*". En dicho estudio, se mencionaron características de la laguna, como su tamaño de 230 hectáreas y su forma rectangular. Se señaló que más de dos décadas atrás, se realizaron modificaciones en la cuenca y las orillas de la laguna para construir una autopista destinada a carreras de automóviles. Además, se observó que la sedimentación de materiales minerales debido a la erosión y escorrentía, así como la acumulación de materia vegetal y carbonato de calcio, han empeorado la situación ambiental de la laguna.

El estudio también reveló que no existe un sistema fluvial que aporte agua a la laguna, siendo la única y principal fuente de agua la quebrada Manzano Huaycu, con un cauce de aproximadamente 9,25 kilómetros de longitud. Los usos principales del agua de la laguna incluyen la vida acuática, actividades de recreación, riego y la provisión de agua para uso doméstico. Sin embargo, se destacó que los dos últimos usos son de alto riesgo, ya que el agua de la laguna no es presenta las condiciones necesarias para el consumo humano por las elevadas concentraciones de nitratos, hierro, zinc y sólidos totales.

En cuanto a la recreación, se limita la navegación en la laguna debido a su escasa profundidad. La laguna se encuentra en un estado eutrófico debido a su alta productividad, con concentraciones elevadas de fósforo, nitrógeno y carbono.

Steinitz Kannan Miriam (1997), explica que cerca de la reserva Cotacachi - Cayapas, se encuentran dos grandes lagos eutróficos (uno de ellos corresponde a Yahuarcocha) muy conocidos que le han dado a la provincia el título de la provincia de los lagos.

El 25 de febrero de 2003, se produjo una mortandad masiva de peces en la Laguna de Yahuarcocha, y las causas detrás de este evento eran desconocidas. Se estimó que había alrededor de 500 peces por cada metro cuadrado, aunque esta cifra disminuyó con el

paso de las semanas. El INP llevó a cabo un estudio que involucró el análisis de parámetros ambientales, tanto físicos como químicos, en el agua y en los sedimentos.

Además, se llevó a cabo un estudio de las especies disponibles en la laguna y se examinó la histopatología de los órganos y tejidos de los peces afectados. Esta recopilación de datos permitió identificar las posibles causas de este fenómeno. Entre las especies afectadas, se observó mayor mortalidad de peces espada o xifo (*X. helleri*), carpa dorada (*C. auratus*) y guppy (*P. reticulata*), mientras que la tilapia (*O. niloticus*) fue la especie que mostró la menor cantidad de peces muertos (Maridueña et al., 2011)

La evaluación de la ecología de la laguna, incluyendo el análisis del plancton, ictioplancton y peces, permitió identificar una escasa variedad de especies, principalmente aquellas que son indicativas de ecosistemas afectados por la disponibilidad de materia orgánica. Se sugiere que la existencia de niveles elevados de bacterias patógenas y la presencia de parásitos podrían haber sido los factores que desencadenaron la mortandad masiva de los peces. Con el fin de preservar el entorno de la laguna, los autores recomiendan mantener un seguimiento periódico de las condiciones hidrográficas y ecológicas de la Laguna de Yahuarcocha a lo largo de diferentes estaciones del año (Municipio de Ibarra, 2022).

Se determinó que el material suspendido orgánico y particulado limita el paso de la luz solar, lo que afecta el proceso de fotosíntesis al reducir la capa fótica. El análisis realizado en el agua y los sedimentos indicaba elevados niveles de contaminación propios de cuerpos de agua eutrofizados.

El Fondo de Salvamento del cantón Ibarra FONSALCI (2003), inició el dragado de la laguna, sin embargo, los trabajos debieron detenerse debido al hallazgo de piezas arqueológicas. Para 2007, el Fonsalci contrató a la empresa guayaquileña Darwin West – Logística submarina para realizar estudios en las profundidades del lago.

Los resultados de los estudios realizados permitieron conocer la edad, profundidad y el potencial arqueológico de la laguna. La estructura artificial dio muestra de que en el

lugar existió un santuario utilizado en los tiempos pre incaicos, y, con el pasar del tiempo se cubrió de agua por el incremento del volumen. La investigación de las osamentas humanas confirmó la masacre ocurrida ya que presentaban claros indicios de violencia (Acuario27, 2007).

Terneus (2014), empleó el parámetro de alcalinidad para evaluar el estado trófico de la Laguna de Yahuarcocha y determinó que el carbono disuelto en el agua se encuentra como carbonatos, lo que limita su disponibilidad para las plantas y lo convierte en un elemento contaminante para el ecosistema. El autor sugiere que, según los resultados de alcalinidad (956 mg/l y pH 8) y la conductividad (superior a 620 ms), Yahuarcocha puede ser categorizada como una laguna eutrófica. También se evaluó la transparencia del agua, que se registró a menos de 2 metros de profundidad, y se destacó la dominancia de la especie *Potamogeton pusillus*.

La investigación subacuática, presentó los resultados de los trabajos realizados en 2006 por Darwin West, donde se analizaron las características de los primeros estratos de sedimentos con el propósito de identificar áreas con potencial arqueológico de manera preliminar. El informe señala que la laguna de Yahuarcocha es un testimonio activo de del cambio climático desde hace aproximadamente 15,000 años hasta la actualidad, durante los cuales la laguna ha experimentado temporadas secas y húmedas. Además de las variaciones climáticas, la laguna ha sufrido el impacto de la contaminación debido a la actividad humana y la acumulación de sedimentos en sus orillas como resultado de la erosión de las laderas durante al menos un siglo, lo que ha contribuido a su deterioro (Echeverría y Athens, 2017).

4.2.3 Estudios hidrológicos

Uno de los estudios significativos es el llevado a cabo por Revelo (2017), en el que se describe que, varias actividades humanas establecidas a lo largo de la microcuenca ocasionan problemas para las fuentes de agua. Durante la fase de campo de su investigación, Revelo identificó el caudal de 19 afluentes (aportantes). Además, se observó una disminución del caudal que incide sobre fuentes de agua permanentes.

A través del estudio batimétrico, se estableció que el lago exhibe una cuenca lacustre de contorno uniforme, mostrando un descenso pronunciado en la profundidad en sus bordes y un lecho relativamente plano. Se observó un balance hidrológico anual negativo, lo que llevó a la conclusión de que la cantidad de agua disponible en la laguna está vinculada a la influencia de las actividades humanas en la zona (Revelo, 2017).

4.2.4 Estudios biológicos

La primera introducción reportada para la laguna de Yahuarcocha ocurrió en 1965, cuando se sembró la tilapia mosámbica *Oreochromis mossambicus*. Luego han sucedido una serie de introducciones accidentales o intencionales de especies, la mayoría no documentadas (UTN, 2015).

Terneus (2014), determinó dominancia de la especie *Potamogeton pusillus* en la laguna.

Maridueña et. al. (2003) determinaron altas concentraciones de fitoplancton diatomeas, cianofitas, clorofitas y cryptomonas, como resultado del desplazamiento de los otros grupos del fitoplancton por parte de las cianobacterias, al encontrar el medio adecuado para su desarrollo (disponibilidad de nutrientes como fósforo y nitrógeno inorgánico, pH elevado, limitada capa fótica, entre otros).

Con respecto a insectos, se encontró a la especie *Tendipes tendas*, un quironómido considerado como sustento nutricional para los peces y su presencia se asocia a la baja salinidad y la disponibilidad de plantas acuáticas. La diversidad de larvas de peces fue

baja, se registraron larvas de *Xiphophorus helleri* (pez espada) y de la especie *Poecilia reticulata* (guppy) de la familia Poeciliidae. Los peces registrados corresponden a cuatro especies, *Xiphophorus helleri*, *Oreochromis niloticus* (tilapia nilótica), *Carassius auratus* (Carpa dorada) y *P. reticulata* (guppy).

Desde 2013, se realizan investigaciones para determinar la calidad ecológica del agua, en base al análisis de variables físicas, químicas y biológicas (composición del fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y macrófitas). A través de estas investigaciones es posible mantener un seguimiento mensual y evaluar el estado ecológico relacionando los parámetros fisicoquímicos y biológicos.

En el marco del Programa PRODERENA, financiado por la Unión Europea, el GAD de Imbabura, en colaboración con A&V (Aves y Conservación), estableció que Yahuarcocha es un lago permanente de aguas dulces alcalinas, de origen glaciar, con una extensión de 230 hectáreas. Su fuente de abastecimiento natural proviene del escurrimiento de las precipitaciones de las quebradas Manzano Huaico, Polo Golo y San Antonio. Además de su relevancia ecológica, la laguna tiene un significado cultural debido a su asociación con un conflicto indígena que resultó en la pérdida de vidas, lo que llevó a que se la conociera como Yahuarcocha o "Lago de Sangre", anteriormente identificada como Cochacaranqui.

De acuerdo con los resultados, Yahuarcocha es la laguna con la mayor variedad de fitoplancton en el país. Además, cuenta con la presencia de vegetación acuática emergente como *Scirpus sp.* (totora), *Ceratophyllum sp.* y *Spirogira sp.* Es un hábitat que alberga diversas especies de aves acuáticas. A pesar de ello, la laguna se mantiene en un continuo proceso de eutrofización, que se debe a la acumulación de nutrientes disueltos y la falta de oxígeno. Esta situación se agrava por la deforestación, la construcción de infraestructura y carreteras, que han contribuido significativamente al proceso acelerado de sedimentación. Además, la introducción de especies ícticas exóticas como *Oreochromis niloticus* y *Tilapia mosámbica*, han tenido un impacto en la dinámica de la laguna (GPI & Aves y Conservación, 2010).

Maridueña et al. (2011) llevaron a cabo la revisión y evaluación de los parámetros físicos y la identificación de las especies presentes en la laguna. Se analizaron muestras de órganos y tejidos de los peces muertos para determinar las posibles causas de lo ocurrido.

Los autores concluyeron que la proliferación de bacterias patógenas había tenido un impacto en la dinámica de la laguna. Del análisis de la composición del plancton, ictioplancton y peces, se determinó que Yahuarcocha mostraba una baja diversidad y que las especies predominantes eran indicadoras de la alteración en la calidad del agua, la cual se debía a la elevada concentración de materia orgánica. Durante el estudio, se recolectaron y se identificaron cuatro especies de peces (*Xiphophorus helleri*, *Oreochromis niloticus*, *Carassius auratus* y *Poecilia reticulata*).

Con base en los resultados, se recomendó llevar a cabo un seguimiento regular de las características hidrográficas y ecológicas de la laguna con el propósito de preservarla en el futuro.

Caicedo (2017) determinó que, con el paso del tiempo, la dominancia a nivel de productores primarios ha tenido mucha variación. Durante el estudio logró identificar 42 géneros de algas con 5741 individuos, por lo que concluye que los datos indican alta diversidad y productividad algal, con una gran incidencia de algas verde azules (cianobacterias) como muestra del alto nivel de eutrofización. La turbidez ejerce fuerte influencia sobre las comunidades de algas.

Santiago Cabrera (2015) realizó un análisis temporal y espacial de las comunidades de zooplancton. Sus hallazgos revelaron la presencia constante de dos especies de cladóceros, cinco especies de copépodos y diez especies de rotíferos en todos los puntos de muestreo a lo largo del tiempo. Las especies más abundantes incluyen *Keratella spp.*, *Acanthocyclops spp.*, *Brachionus angularis* y *Naupliuscy clopoide*. Los cladóceros son poco comunes y representan menos del 1% de la presencia, mientras que los copépodos y rotíferos constituyen el 29% y 70%, respectivamente. El investigador llegó a la conclusión de que los estudios limnológicos en la región interandina son limitados, por

lo que una caracterización biológica, que abarque aspectos como el zooplancton y las relaciones espacio temporales con diversas variables abióticas, hidrológicas y de origen humano, serviría como base para implementar medidas que permitan una gestión integral de la laguna.

Yadira Malitaxi et al., (2015), caracterizaron los dos principales afluentes de la laguna en base a la medición de parámetros físicoquímicos y biológicos, y determinaron la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en peces y agua de la laguna. Para este fin se capturaron tilapias y muestras de agua durante septiembre, noviembre y enero, luego de lo cual, en la fase de laboratorio, se realizó la disección de los peces para extracción de musculo e hígado, seguido de la digestión acida caliente de las muestras.

Tomando como referencia los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental de Ecuador, donde se establece que el valor de Cadmio es de 1 $\mu\text{g/L}$ para preservación de flora y fauna en agua dulce, sin embargo, el valor obtenido fue de hasta 11 $\mu\text{g/L}$ en los afluentes a la laguna y entre 3 y 7 $\mu\text{g/L}$ en las muestras tomadas en la laguna. Con respecto al análisis en las tilapias, se obtuvieron valores de hasta 0,44 mg/kg, que, valor que fue contrastado con el valor de 0,05 mg/kg peso fresco (p.f.) establecido como límite permisible en la norma INEN 183.

Las concentraciones de plomo obtenidas fluctuaron entre 5 y 16 $\mu\text{g/L}$ y dentro de la laguna no sobrepasaron 2,6 $\mu\text{g/L}$, por lo que se determinó que el 56% de individuos de tilapia evaluadas sobrepasaron el límite máximo permisible de plomo en músculo, la concentración más alta fue de 0,50 mg/kg p.f, sin embargo, la norma INEN 183, determina un valor de 0,3 mg/kg p.f.) (Malitaxi et al. 2015).

Al examinar la distribución espacial de la vegetación macrofítica y su relación con parámetros físicos y químicos, se concluyó que los principales factores de interacción con la vegetación acuática fueron la temperatura ambiente, temperatura del agua, los nutrientes, y en menor medida la turbidez y la profundidad. Las especies más abundantes fueron *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia* y, con un alto número de individuos, los géneros *Myriophyllum*, *Hydrocotyle* y *Polygonum*. Se plantea la

elaboración de un catálogo florístico como estrategia para la conservación de las plantas acuáticas (Pabón, 2015).

Ortega & Dieguez (2016) llevaron a cabo un estudio que pone de manifiesto un problema apremiante, que implica la obligación de iniciar acciones para controlar y erradicar especies invasoras. Estas especies representan un desafío significativo debido a sus estrategias reproductivas, su capacidad de dispersión y su habilidad para establecerse y persistir en el entorno.

Se concluyó que la laguna es afectada por especies invasoras que causan daños ecológicos a las especies nativas. Las especies invasoras identificadas fueron el cangrejo de río *Procambarus clarkii*, caracol acuático *Potamopyrgus antipodarum*, caracol acuático neozelandés y peces carpa *Cyprinus carpio*. Además, se ha identificado al menos 11 especies de plantas y animales acuáticos no nativos en Yahuarcocha. La primera introducción registrada en la laguna de Yahuarcocha tuvo lugar en 1965, cuando se introdujo la tilapia mosámbica *Oreochromis mossambicus*. Posteriormente, se documentó introducciones accidentales o intencionales de especies.

De acuerdo con la explicación de los técnicos de Acuicultura del MAGAP, *Procambarus clarkii* es un crustáceo, originario del sureste de los EE. UU., fue introducido a finales de los 80 en el país, con el propósito de realizar cultivos con camarón (MAGAP, S/F).

En 2017, Henry Escaleras, estableció 20 puntos en la zona litoral y 5 dentro de la zona limnética para evaluar la calidad de agua en base a la presencia de macroinvertebrados bentónicos, organismos catalogados como indicadores de la calidad del agua por la capacidad que poseen de desaparecer o aparecer nuevas poblaciones que se puedan adaptar a las nuevas condiciones ambientales del sitio. El estudio plantea la necesidad de realizar monitoreos distintivos de la distribución, riqueza, así como la relación con los factores fisicoquímicos para determinar las fuentes de contaminación que contribuyen al deterioro de la laguna de Yahuarcocha, para controlar y mitigar el impacto ocasionado para posteriormente, plantear propuestas de conservación (Escaleras, 2017).

Willem Van Colen et al., (2017), determinó que el control del fitoplancton por parte del zooplancton (de arriba hacia abajo) se enfrenta a cuatro desafíos: en primer lugar, la laguna carece de peces depredadores; en segundo lugar, dominancia de especies exóticas de pocélicos de pequeño tamaño; en tercer lugar, no hay un refugio adecuado dentro de los macrófitos para el zooplancton, lo que lo hace vulnerable a la depredación de los peces; finalmente, la persistente y resistente floración de la cianobacteria *Cylindrospermopsis*, que produce toxinas, la baja profundidad de Secchi y la escasa cobertura de macrófitos sumergidos mantienen la laguna constantemente turbia.

Juana Astudillo (2018), estableció que, dado el contenido de nutrientes a causa de las actividades económicas asentadas en la microcuenca, se producen cambios en la cadena trófica, consecuentemente el apareamiento de floraciones algales y la pérdida de peces (muerte) como las reportadas para 2016 y 2017. Realizó la caracterización de la composición del zooplancton, Los resultados obtenidos determinan que existe presión alimentaria sobre el fitoplancton, mismo que crece en tal cantidad que supera al que puede ser consumido por el zooplancton. Finalmente, al cambiar la población se producen cambios en la biomasa algal consumida, por lo que se recomienda continuar implementando bioensayos considerando la población biótica del lago.

Diego Olivo (2019) caracterizó el fitoplancton y registro el género *Cylindrospermopsis* con una mayor dominancia (90%); con relación al zooplancton, la especie con mayor representatividad fue *Acanthocyclops sp.*, sin embargo, entre agosto y septiembre la especie más abundante fue *Daphnia sp.* Se registró la especie *Poecilia reticulata* en las orillas donde hay presencia de vegetación. Con los resultados obtenidos se propuso implementar un proyecto piloto de cinco años para evidenciar resultados que consistiría en establecer esteras flotantes con macrófitos de elodea densa para reducir las floraciones fitoplanctónicas.

González & Roldán (2019), realizaron un estudio en el que determinaron la composición del fitoplancton en el lago Yahuarcocha, concluyeron que las especies dominantes son: *Cylindrospermopsis sp.*, *Anabaena sp.*, *Microcystis sp.* (cianobacterias), *Monoraphidium sp.* (clorofita), y *Fragilaria sp.* (diatomeas). Los autores determinan que la eutrofización

en este lago se debe a la entrada de aguas residuales provocada por la industria turística alrededor del lago.

Miriam Steinitz-Kannan et al., (2020), establecen que los estudios en el campo de la limnología fueron promovidos por investigadores europeos y norteamericanos. Actualmente, instituciones académicas y de diferentes niveles de gobierno, han trabajado articuladamente en el desarrollo de investigaciones limnológicas con contrapartes internacionales, sin embargo, gran parte del trabajo limnológico en el país se considera "literatura gris"; por tal razón se está llevando a cabo una compilación de estudios limnológicos, de parámetros químicos y físicos y listas taxonómicas (diatomeas, algas blandas, zooplancton), con el fin de dar a conocer estas investigaciones a una comunidad más amplia de científicos.

"Yahuarcocha" se traduce como "laguna de sangre", un nombre atribuido a la laguna debido a su coloración roja, que se relaciona tanto con eventos históricos como con la presencia de floraciones de algas, especialmente cianobacterias (Steinitz, 1979). Según la historia, el nombre proviene de la batalla en la que más de 30,000 hombres fueron asesinados por soldados incas mientras conquistaban el Reino de Quito. Desde una perspectiva científica, la denominación "laguna de sangre" está relacionada con las floraciones de algas (observadas en los últimos años), en particular las cianobacterias, como la *Euglena sanguinea*, que pueden teñir el agua de rojo. Para 2014, se identificó al género *Raphidiopsis* (antes *Cylindrospermopsis*) como dominante en la laguna.

Investigaciones recientes (Guerra et al., 2023) han identificado intensas floraciones de *Planktothrix agardii* por primera vez, mediante análisis metagenómico. Esta cianobacteria es común en lagos poco profundos con alta alcalinidad y tiene la capacidad de cambiar su coloración durante la estratificación profunda en respuesta a la luz. Además de su capacidad para modificar el color del agua, *Planktothrix agardii* utiliza nitrógeno en forma de amonio y puede producir hepatotoxinas y neurotoxinas, así como causar problemas en la piel.

Claudia Benavides (2021), evaluó la diversidad y abundancia ictiofaunística de la laguna, identificando las especies *Poecilia reticulata*, *Xiphophorus hellerii*, *Carassius auratus* y *Oreochromis niloticus*.

La proporción de hembras superó a la de machos y a la de individuos no identificados. La proporción de adultos fue mayor que la de juveniles. Se observaron bajos niveles de oxígeno disuelto y transparencia en los parámetros ambientales, mientras que la conductividad fue elevada y el pH resultó alcalino. La diversidad de especies fue significativamente reducida, con una abundancia considerable de *Poecilia reticulata*. Se concluye que se necesitan investigaciones adicionales para gestionar de manera apropiada las especies introducidas.

Larco & Paucar (2017), analizaron la transferencia de oxígeno en un sistema hidropónico que emplea plantas acuáticas (macrófitas) como *Eichornia crassipes*, *Miriophyllum aquaticum*, *Schoenoplectus californicus* y *Typha domingensis*, provenientes de la Yahuarcocha. Se consideró crucial la tasa de transferencia específica para cada especie estudiada, ya que este parámetro desempeña un papel fundamental en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Las plantas acuáticas se utilizan comúnmente en humedales artificiales, como una opción ecológica que aprovecha las propiedades de biorremediación como la degradación, absorción y asimilación de contaminantes en sus tejidos. Los resultados indicaron que *Miriophyllum aquaticum*, demostró la mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno, seguido por *Eichornia crassipes*, mientras que *Schoenoplectus californicus* y *Typha domingensis* presentan menor eficacia en este proceso.

4.2.5 Impactos ambientales

La eutrofización de la laguna se atribuye a la excesiva inclusión de nutrientes por factores antrópicos y naturales. Con las precipitaciones se produce el arrastre de trazas de pesticidas y fertilizantes empleados en la agricultura en la actividad agrícola en la cuenca media y alta de Yahuarcocha. También se han identificado sitios de descarga e

infiltración de aguas grises y negras con altos niveles de nitrógeno y fósforo, causas principales de eutrofización (Moreta, 2008).

Mediante una caracterización biofísica y limnológica se evidenciaron los factores que inciden en la problemática ambiental (turismo, agricultura, explotación de vegetación, autódromo, usos recreativos, entre otros), produciendo efectos negativos y afectando la calidad del agua y la composición de la biota. El espejo de agua recibe descargas de las actividades agrícolas y domésticas sin tratamiento previo, aportando nutrientes que incrementan la eutrofización y vuelven a este proceso progresivo y acelerado. Las fuertes pendientes y la poca de cobertura de vegetación en la cuenca media y alta provocan que el material suelto sea transportado con las precipitaciones hacia la laguna. La turbidez es un factor que limita la penetración de la luz para a fotosíntesis y la variación de la temperatura lo que deteriora la calidad del agua (Cifuentes, 2016).

Lourdes Yépez (2016), analizó el impacto de las actividades turísticas y recreativas en el recurso hídrico del sistema lacustre con el objetivo de desarrollar estrategias para mitigar y prevenir, enfocadas en recuperar y mejorar las condiciones ecológicas de los ecosistemas. Determinó que, de las 22 actividades turísticas, tres (gastronomía, hospedaje y diversión nocturna) generan aguas residuales que son vertidas directamente al sistema de alcantarillado sin tratamiento, provocando un impacto inmediato en las características físicas, químicas y biológicas que alteran la calidad del agua. Se estableció una relación directa entre la concentración de la contaminación del agua y la afluencia de visitantes.

En su investigación, Margareth Leiton (2018) estableció que el incremento de la densidad poblacional en las últimas décadas conlleva al incremento en la actividad agrícola y, por ende, aporta a la contaminación del lago. Los principales desafíos que enfrenta el lago son la contaminación de sus aguas, la deficiente gestión de los residuos sólidos, y la degradación de la vegetación e identifica a San Miguel de Yahuarcocha como la más afectada por el deterioro ambiental, en tal virtud, recomienda realizar investigaciones de percepción ambiental enfocados en los problemas antes mencionados.

Damián Lara (2015), presentó una línea base de las condiciones actuales del área, el estado de los factores ambientales y los recursos bióticos, abióticos y socioeconómicos.

5. Materiales y metodología

En base a una metodología de tipo descriptivo explicativo, se realizó la descripción de la microcuenca y la laguna, en base a información bibliográfica generada por la academia y científicos en el siglo XX. Los aspectos hacia donde se enfocó la búsqueda de información fueron: el análisis de las variables ambientales, biológicas y sociales estudiadas, a partir de lo cual se definió el problema de estudio y por ende la explicación de los factores asociados a la ocurrencia del fenómeno particular (Sampieri, R., 2014).

La investigación fue desarrollada con un enfoque cualitativo de los factores ambientales, sociales y biológicos encontrado en investigaciones u otros estudios desarrollados entorno a la laguna de Yahuarcocha. Se procedió a depurar la información recopilada, evaluando los factores relevantes en la degradación ambiental, que permiten determinar retrospectivamente la situación de la laguna.

Se realizó una descripción de las actividades u obras desarrolladas por los habitantes del área de influencia de la laguna para el análisis integral de la información de campo con los datos recopilados. Finalmente, se plantean líneas de investigación y de manejo del cuerpo de agua.

Recopilación de datos

Para obtener la información necesaria se realizó una recopilación retrospectiva de documentación generada por diferentes instituciones relacionadas con el manejo de la laguna de Yahuarcocha, así como la revisión de investigaciones científicas en el área de estudio de las cuales se revisó la información relacionada con estudios de los componentes físico, biótico, social, así como de los factores que influyen en la eutrofización de la laguna de las distintas fuentes bibliográficas generadas por investigadores y la academia, la cual fue organizada y sistematizada.

La recopilación de información secundaria consistió en la búsqueda de información proveniente de diversas fuentes bibliográficas, estudios desarrollados por la academia, estudios de impacto ambiental, entre otros grupos de investigación que han evaluado aspectos fundamentales relacionados con la gestión de la laguna de Yahuarcocha, las variables ambientales y el estado actual de la eutrofización. La información fue organizada, ordenada y sistematizada para una mejor comprensión de los datos reportados.

De las publicaciones se extrajeron los datos históricos y actuales reportados, relacionados con el análisis de diferentes variables ambientales, sociales y biológicas que permitieron inferir sobre los factores que favorecen al deterioro de la laguna de Yahuarcocha y que han desencadenado en el desequilibrio ecológico y la pérdida de la calidad del agua.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos, en el presente trabajo, se revisó literatura referente al análisis de los factores ambientales, sociales y biológicos que han intervenido en el deterioro de la calidad ambiental de la laguna de Yahuarcocha a lo largo del tiempo, para contribuir a la comprensión objetiva de la problemática ambiental. La información recopilada corresponde a una diversidad de tesis de pregrado y artículos científicos en Google Académico, Google Search y Elsevier's Scopus que nos permitan conocer el estado ambiental y social de la laguna de Yahuarcocha durante el periodo de 102 años (1920 al 2022). Adicionalmente se consultaron libros en los que se hace referencia a la historia y la problemática social en la microcuenca de Yahuarcocha.

Los términos de búsqueda empleados fueron: "Yahuarcocha", "eutrofización", "estado trófico Yahuarcocha", "calidad ambiental", "cianobacterias", "paleolimnología", de lo cual se obtuvo un total de 418 artículos, de los cuales se analizaron 42 publicaciones correspondientes a tesis de pregrado y posgrado, artículos científicos e informes técnicos generados durante el periodo de 1920 al 2022, las cuales tuvieron relación con el tema en estudio y demuestran la afectación progresiva de la calidad ambiental de la laguna, sujeto de evaluación en el presente estudio. En algunos casos, el acceso a la

información se encuentra restringida, es decir, No está disponible para ser consultado libremente por el público en general.

6. Resultados y discusión

Yahuarcocha se formó por la acumulación de agua de los manantiales del sector teniendo como principales afluentes tres quebradas; sin embargo, desde la colonia la deforestación y agricultura se consideran los principales responsables de la pérdida de entradas de agua a la laguna (Tobar, 1985).

Figura 16

Estado de la laguna en el siglo XX



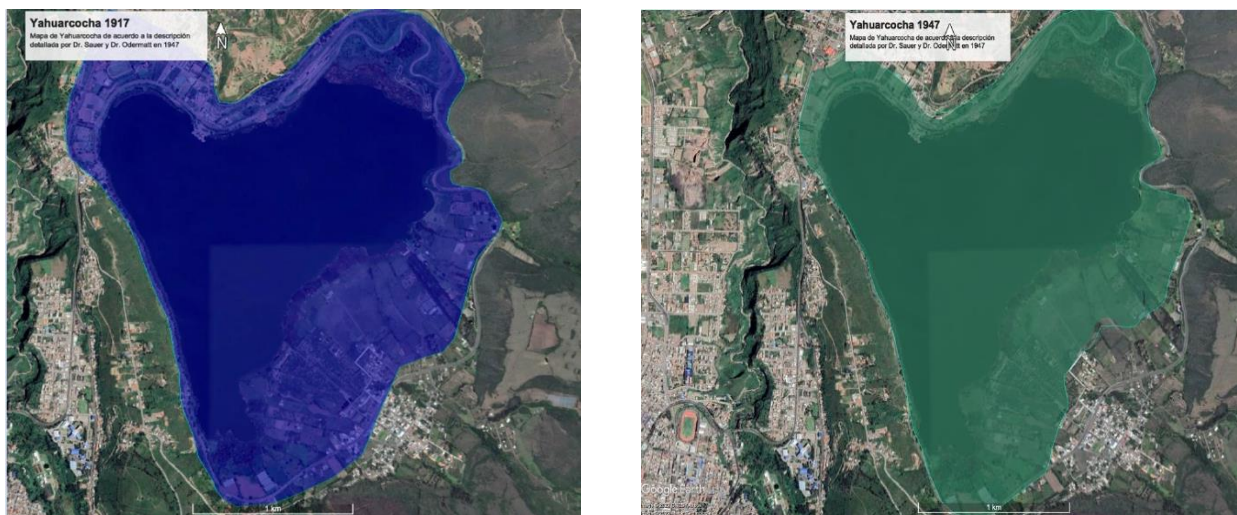
Nota. Tomado de (Steinitz, 1979)

La reducción o pérdida del nivel de agua de la laguna ha sido un problema que data del año 1917, cuando luego de un estudio desarrollado por los investigadores alemanes Sauer y Odermatt, se determinó un nivel de 2220 msnm; sin embargo, para 1947, el nivel fue de 2210 msnm. En la actualidad, el nivel actual es de 2190 msnm, lo que quiere decir que, al comparar estos resultados, la pérdida ha sido de 20 y 30 metros respectivamente, es decir, la pérdida es de 0,33 m por año. Considerando la composición de las capas casi impermeables, la pérdida del agua por infiltraciones es una teoría casi descartada, puesto que, de ser así, el proceso de desecación se hubiese

acelerado, por tal razón, la pérdida de agua se reduce a la evaporación y la pérdida de los caudales que alimentaban a la laguna (Municipio de Ibarra, 2022).

Figura17

Imágenes que muestran los cambios entre 1917 y 1947. Izq. Mapa de Yahuarcocha en 1917, nivel 2220 msnm. Der. Mapa de Yahuarcocha en 1947, nivel 2210 msnm



Nota. Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022).

La desecación de la laguna provocó el apareamiento de olores pútridos, a consecuencia de la falta de oxígeno o a sus bajos niveles que daban paso a la descomposición de los desechos por parte de las bacterias, esta descomposición produce dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno y por ende los olores característicos (Tobar, 1985).

La laguna de Yahuarcocha, definida como una cubeta lacustre se encuentra emplazada en un área de acentuada sequía a 2210 m.s.n.m., y va perdiendo su caudal en aproximadamente 0.33 cm tomando en cuenta la profundidad de 3.50 metros, lo que quiere decir que la pérdida por evaporación era mayor con respecto a la compensación recibida por el agua proveniente de las lluvias o de fuentes subterráneas (Casa de la Cultura Ecuatoriana, 1975).

La historia de la laguna de Yahuarcocha demuestra que desde la época colonial se captaba el agua con fines de riego para los cultivos establecidos en la parte alta y media de la cuenca, por tal razón, en el siglo XX, la laguna dependía de las precipitaciones pluviométricas, lo que conllevó a una elevada desecación y como consecuencia la muerte de peces debido a la falta de oxígeno. Una de las acciones emprendidas fue la construcción del acueducto que finalizó en 1966 con la finalidad de conducir las aguas del río Tahuando al lago, esto permitió la recuperación de los niveles primitivos de agua con la consecuente mejora de las condiciones físicas, químicas y biológicas para el desarrollo de la fauna acuática (Municipio de Ibarra, 2022).

Aproximadamente desde el año 1966, se introdujeron 60 jaramugos de Tilapia mossambica, es decir, especies exóticas que pudieron haber competido hasta lograr la desaparición de especies nativas como la preñadilla. Para el año 2016 se realizó un estudio de especies invasoras que dio como resultado la identificación de individuos de las especies *Procambarus clarkii* (cangrejo de río), *Potamopyrgus antipodarum* (caracol acuático) y *Cyprinus carpio* (pez Carpa); organismos que afectan al ecosistema. De este estudio surge la necesidad establecer mecanismos de detección temprana y respuesta para el control de estas especies (Casa de la Cultura, 1973).

Durante varias décadas la laguna de Yahuarcocha ha sufrido el deterioro de la calidad ambiental debido a la fuerte presión antrópica por las diversas actividades económico-productivas como, por ejemplo, el turismo, la gastronomía, el eviscerado de pescado, la agricultura, la crianza de porcinos, el autódromo, usos recreativos, etc., las cuales se llevan a cabo en distintas partes de la cuenca. El impacto acumulativo se refleja en la laguna, que recibe, por un lado, caudal de aporte insuficiente para generar el recambio hídrico; y, por otro lado, agua de mala calidad que aporta al deterioro de la calidad ambiental de la laguna (Municipio de Ibarra, 2022).

Figura 18

Actividad de eviscerado de pescado y cría de porcinos en los alrededores de la laguna de Yahuarcocha



Nota. Tomado de (GPI, 2021)

En la actualidad, el régimen hídrico de las quebradas Manzano Huayco, Santo Domingo y Polo Golo es intermitente, llegando a secarse durante la época seca.

Los informes técnicos elaborados por el Gobierno Provincial de Imbabura demuestran que, en general las quebradas que aportan caudal a la laguna llevan en sus aguas una gran cantidad de nutrientes, sobre todo en el caudal conducido por la acequia Manzano Huayco. Además, en las tres quebradas analizadas, los análisis microbiológicos permiten deducir que hay conexiones ilegales que descargan aguas residuales domésticas hacia las quebradas, tomando en cuenta los niveles de nitritos y nitratos en las muestras tomadas cerca al punto de toma de muestra. La presencia de nutrientes en forma de nitritos, nitratos y fosfatos podrían aportar al proceso eutrófico de la laguna de Yahuarcocha (Gobierno Provincial de Imbabura, 2021).

La presencia de contaminantes, el pH del agua, la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de bacterias o toxinas nocivas, son factores que inciden y/o afectan a la calidad del agua. Asimismo, la disminución de carbonatos, las altas concentraciones de

amonio reportadas por entidades de control, la alta presencia de conductividad y sólidos totales, la relación DBO5/DQO (DBO5 elevada), los niveles de dureza, la posible acumulación de nutrientes por precipitación en los sedimentos (nitratos, fosfatos), la turbidez y la relación de estas variables con la presencia de cianobacterias sugieren procesos relacionados con los sedimentos en especial con la materia orgánica. Por lo que una de las estrategias debe enfocarse en el control de las cargas internas de la laguna. Estos factores se asocian con la baja diversidad de plancton, ictioplancton e íctico, puesto que las especies abundantes indican la alteración en la calidad del agua cuyo origen se basa en la gran cantidad de materia orgánica existente (Gobierno Provincial de Imbabura, 2021).

El centro poblado de Yahuarcocha cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, en la cual se monitorean los parámetros de: Temperatura, pH, conductividad, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fosfatos, nitratos, coliformes totales y fecales, oxígeno disuelto, profundidad total, transparencia disco secchi y clorofila; sin embargo, aun cuando el agua es tratada, esta contiene nutrientes en bajas concentraciones y de esa manera es descargada de forma directa a la laguna (Gobierno Provincial de Imbabura, 2021).

Figura 19

Planta de Tratamiento de Yahuarcocha y toma de muestras para monitoreo de parámetros fisicoquímicos



Nota. Tomado de (GPI, 2022)



Estudios recientes determinan que, a lo largo de la microcuenca de Yahuarcocha, hay actividades antrópicas que captan el agua para fines productivos, agricultura y ganadería (en la parte alta) y asentamientos poblados, turismo, gastronomía, eviscerado de pescado, actividades de recreación (en la parte baja); lo cual contribuye a la alteración del ciclo hidrológico natural (Municipio de Ibarra, 2022).

La laguna de Yahuarcocha se ha convertido en un humedal importante a nivel social, cultural, productivo y económico lo que ha conllevado a problemas de alteración de los ciclos hidrológicos de las fuentes de agua que abastecen a la laguna y se encuentran a lo largo de la microcuenca (Revelo, 2017).

Considerando el estado actual de la laguna, es preciso tomar en cuenta las recomendaciones de los investigadores, tales como la continuidad de inmersiones subacuáticas para el análisis de los eventos paleoambientales, lo que permitirá inferir sobre los factores climáticos. Desde el punto de vista de conservación, recomiendan reforestar la cuenca lacustre para evitar el flujo de sedimentos y la influencia de los vientos secos que provienen del valle del Chota – Mira. Adicionalmente, el monitoreo de la extensión del total para evitar su expansión más de lo necesario; y, de igual manera el control del crecimiento desmedido del lechuguín (Almeida & Jaramillo, 2008).

Los registros de la profundidad datan de 1979, cuando se reportó 9 metros de profundidad (Steinitz, 1979). Posteriormente el instituto INERHI en 1992, presenta un dato de 8,4 metros; sin embargo, Portilla (2015) y Revelo (2017) presenta como resultado de la profundidad, un valor de 6,9 metros lo cual concuerda con la actualización del Plan de Manejo Ambiental (2018), en la que se establece una profundidad de 6,89 metros. Para el año (2022) se obtiene un dato de 7,45 metros (Municipio de Ibarra, 2022), lo que quiere decir que, en 43 años (1979 – 2022) hay una disminución en la profundidad máxima de 1,55 metros, disminución atribuible al arrastre de sedimentos desde los afluentes (aportantes). Esto sucede en mayor cantidad durante la época lluviosa.

Los sedimentos de característica anóxica son ricos en nutrientes, materia orgánica y pueden almacenar metales pesados (que podrían bioacumularse en las especies de peces provocando afectaciones), pesticidas, hidrocarburos policíclicos, organoclorados, entre otros contaminantes producto del uso prolongado de pesticidas (DDT, dieldrina, PBB) dadas las actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca y forman capas en el fondo de laguna. El ingreso de estos nutrientes estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas que luego de cumplir su ciclo de vida van hacia el fondo donde se descomponen y contribuyen con los sedimentos.

La gran cantidad de algas presentes en la laguna de Yahuarcocha tienen una relación directa con la disminución del oxígeno disuelto, puesto que el fitoplancton consume oxígeno conforme se multiplica y realiza la fotosíntesis. Adicionalmente, los microorganismos de los sedimentos durante la descomposición de la materia orgánica contribuyen al agotamiento del oxígeno en la columna de agua al liberar gases como CO₂ y metano, los cuales pueden disolverse en el agua y reducir la concentración del oxígeno disuelto que afecta directamente sobre la dinámica de las especies acuáticas (Municipio de Ibarra, 2015).

Estudios realizados durante la época seca y lluviosa (años 2020 y 2021), registraron la presencia de fuertes floraciones de *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis y Komárek (1988), una cianobacteria que no había sido reportada antes en la laguna. Este tipo de alga es propia de lagos poco profundos con alta alcalinidad y emplea el nitrógeno en forma de amonio para generar hepatotoxinas y neurotoxinas, además de trastornos cutáneos. Las recomendaciones del estudio determinan limitar la extracción la totora del contorno de la laguna, restringir el ingreso de nutrientes al cuerpo de agua, implementar una planta de tratamiento para aguas servidas, regulación del turismo por parte de los gobiernos locales, capacitar para el uso adecuado debido a su alto grado de toxicidad (Guerra M, 2023).

Por los antecedentes ambientales de la laguna, es preciso mantener un monitoreo continuo de la química de los sedimentos, realizar estudios batimétricos para determinar la variación del nivel del agua y distribución espacial de los sedimentos;

zonificar la microcuenca de Yahuarcocha en base a criterios de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, para la conservación del recurso hídrico (Revelo, 2017).

En el área de influencia de la Laguna de Yahuarcocha, el crecimiento poblacional ha venido en continuo aumento. Este es un factor que influye en la destrucción de los ecosistemas lacustres, el cambio de uso de suelo; debido a que, con la finalidad de satisfacer las necesidades de los habitantes, se ha intervenido en sitios no adecuados para la construcción de viviendas y sitios de recreación, el desarrollo de la agricultura y la ganadería, esto provoca la pérdida y fragmentación de los ecosistemas por la modificación de la diversidad y supervivencia de las especies mediante la reducción de calidad y cantidad del hábitat disponible que existe en la laguna (Rodríguez, 2015).

La historia demográfica ha sido poco estudiada por los historiadores, por una parte, debido a la mínima o nula capacidad para llevar a cabo censos de población durante el periodo republicano hasta principios del siglo XX, luego de lo cual, se consideró a la población como un importante indicador para el análisis geográfico. De acuerdo con las escasas referencias históricas se determina que, con la progresiva conquista de los Incas durante el siglo XV, se presentaron los primeros grandes cambios demográficos; y, durante la guerra de sucesión entre Atahualpa y Huáscar, se presume que hubieron alrededor de 50.000 muertos. Cieza de León, cronista español dio cuenta de que para el año 1547 había quince veces más mujeres que hombres debido a la pérdida de sus guerreros (Delaunay, 1990).

De acuerdo con las cifras reportadas por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, para el año 2010, en la provincia de Imbabura se contabilizaron 181.175 habitantes de los cuales 3.000 habitaban en los alrededores de la Laguna de Yahuarcocha. Este crecimiento poblacional ha perjudicado al ecosistema acuático por las diferentes actividades antrópicas generadas alrededor de la laguna y las descargas directas al cuerpo lacustre, mismas que contienen materia orgánica en descomposición y metales pesados, lo que ocasiona el incremento de los niveles de contaminación (Pabón, 2015).

Para el año 2022, se determinó que el número de personas que residen en la zona de la microcuenca de Yahuarcocha es de alrededor de 10,991 habitantes, en base a las estimaciones de crecimiento del Plan de Manejo de Yahuarcocha 2018 (Municipio de Ibarra, 2022).

El asentamiento principal en la comunidad de San Miguel de Yahuarcocha registra la densidad poblacional más alta, representando el 25.38% del total de habitantes en la microcuenca. A continuación, se encuentran las comunidades de la parroquia de Priorato, que comprenden el 40.35% de la población y se dividen en cinco comunas: Santa Marianita de Jesús, Santa Rosa, Mirador de la Aduana, Cuatro Esquinas y Sagrado Corazón de Jesús. Estas áreas colindan con la laguna o están influenciadas por actividades económicas relacionadas con el atractivo turístico de la laguna de Yahuarcocha.

Tabla 4

Estructura poblacional de las comunidades establecidas en la microcuenca Yahuarcocha

Parroquia	Comunidad	Población	% de población	Especificación geográfica
Priorato	San Marianita de Jesús	887	8,07 %	Parte baja, zona 1
Priorato	Santa Rosa	887	8,07 %	Parte baja, zona 1
Priorato	Mirador de la Aduana	887	8,07 %	Parte baja, zona 1
Priorato	Cuatro Esquinas	887	8,07 %	Parte baja, zona 1
Priorato	Sagrado Corazón de Jesús	887	8,07 %	Parte baja, zona 1
Sagrario	San Miguel Arcángel	155	1,41 %	Parte baja, zona 1
Sagrario	San Miguel de Yahuarcocha	2790	25,38 %	Parte baja, zona 1
Sagrario	El Olivo alto	300	2,73 %	Parte baja, zona 1
Sagrario	Aloburo	891	8,11 %	Parte alta, zona 2
Sagrario	Yuracruz alto	1330	12,10 %	Parte alta, zona 2
Sagrario	Yuracucito chico	803	7,31 %	Parte alta, zona 2
Sagrario	Añaspamba	166	1,51 %	Parte alta, zona 2
Sagrario	Chilcapamba	55	0,50 %	Parte alta, zona 2
Sagrario	La Quesera	34	0,31 %	Parte alta, zona 2
Sagrario	Bellaucu	32	0,29 %	Parte alta, zona 2

Nota. Los datos corresponden a la Actualización del Plan de Manejo Ambiental 2022.

Tomado de (Municipio de Ibarra, 2022)

7. Conclusiones

Las actividades económicas ejercidas a lo largo de la microcuenca han generado una serie de conflictos ambientales, sociales e incluso políticos, todo esto debido a la falta de ordenamiento sistemático del territorio, la falta de control de la expansión urbana, el desarrollo productivo, así como la carente presencia de las autoridades competentes para restringir las actividades económicas considerando la fragilidad del ecosistema natural.

La agricultura es una actividad económica que ejerce una fuerte presión sobre la parte alta y media de la microcuenca, por un lado, debido a que para su producción requieren de una alta cantidad de agua para el riego de los cultivos, para lo cual captan y desvían el agua; por otro lado, el uso indiscriminado de pesticidas (entre ellos glifosato para erradicación de la mala hierba), fertilizantes e insecticidas utilizados posteriormente son arrastrados por efecto de la escorrentía hacia los cauces naturales que son afluentes para la laguna.

Es necesario realizar un trabajo interinstitucional articulado sobre los siguientes ejes estratégicos: manejo del recurso hídrico y calidad del agua, manejo y protección de la microcuenca, restauración ecológica y educación ambiental, enfocadas hacia el manejo sostenible de la microcuenca para la producción de bienes y servicios ambientales.

Vincular a todos los actores sociales involucrados en la restauración de la microcuenca para que a través de programas de educación ambiental se genere en la población conciencia ambiental y ecológica, de esa manera se podrá mantener una adecuada gestión de los recursos hídricos, sin tener que recurrir a medidas paliativas o de mitigación por los daños provocados sobre los ecosistemas acuáticos.

Luego de la revisión de literatura, se concluye que debe establecerse un programa de investigación multidisciplinario como punto de partida para el desarrollo del plan integral de la microcuenca, mismo que debe incluir un monitoreo ambiental sistemático que permita evaluar el comportamiento del cuerpo lacustre.

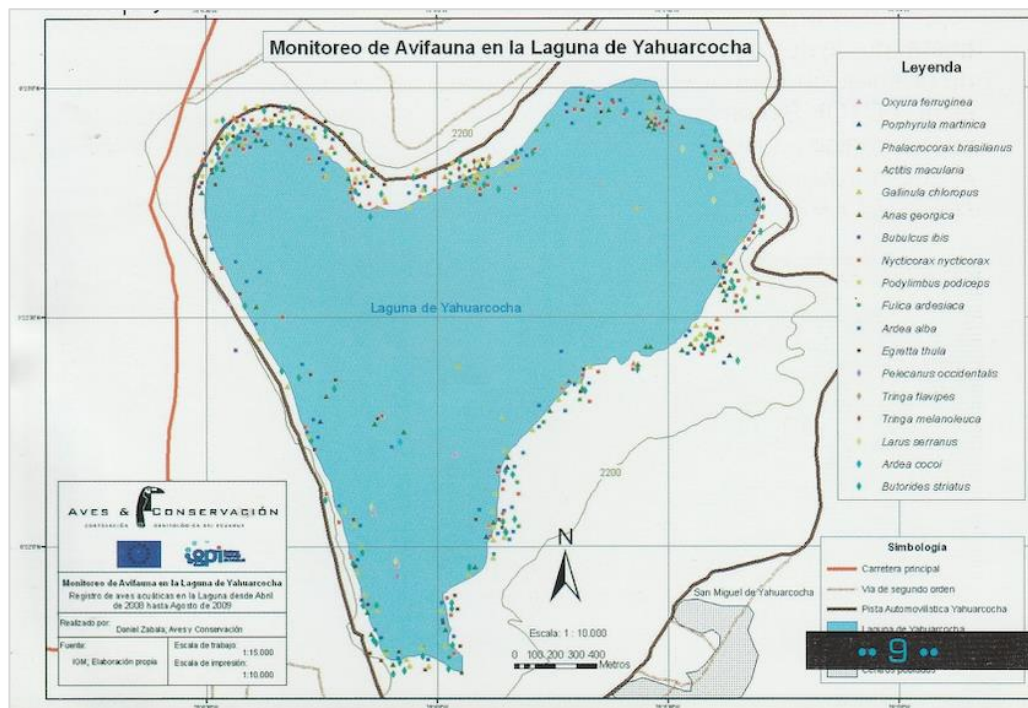
El control de la eutrofización del lago de Yahuarcocha es fundamental, para cumplir con este fin se requiere sumar el esfuerzo colectivo de la academia, autoridades locales y nacionales, ciudadanos, sector privado, para mitigar y controlar este fenómeno mediante la aplicación de medidas innovadoras que permitan restaurar es ecosistema lacustre.

A lo largo del tiempo, el municipio de Ibarra ha emprendido iniciativas para mejorar la calidad ambiental de la laguna, entre ellas se realiza la limpieza de quebradas afluentes a la laguna, la gestión de la concesión de agua ante las autoridades competentes, a fin de incrementar el aporte de agua para la laguna; la extracción del crustáceo *Procambarus clarkii* como especie exótica invasora, la limpieza periódica de la laguna (colla, lechugín), control y seguimiento de los sitios que expenden comida; sin embargo, estas medidas paliativas deben ser parte de un plan integral para el manejo de la microcuenca, en el que se lleven a cabo estrategias para la recuperación de las condiciones hidrológicas de la laguna.

Como parte de las Estrategias de Conservación para la Laguna de Yahuarcocha, en 2010 se propuso la zonificación como una estrategia de conservación de la laguna, lo que permitirá orientar un manejo integral de la misma. Otras estrategias corresponden a la sensibilización, capacitación y educación ambiental; el levantamiento de información, monitoreo avifaunístico y zonificación del cuerpo lacustre; la construcción de colaboraciones estratégicas y participación; estrategia de gestión política; y, la sostenibilidad financiera.

Figura 20

Puntos de monitoreo de avifauna en la laguna



Nota. Tomado de (GPI & Aves y Conservación, 2010)

Basándonos en los datos proporcionados, se espera que, de manera conjunta, los actores locales, específicamente los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADS), apliquen las estrategias necesarias que contribuyan con la gestión consciente de este recurso. Es importante tener en cuenta que Yahuarcocha es parte integral de la cultura e historia imbabureña por su valor histórico, turístico y ecológico.

Referencias

- 1:50000, E. (2002). Mapa Ecológico Sierra. MAGAP - SISAGRO.
- Benavides, C. (2021). *Evaluación de la Diversidad Ictiológica del Lago Yahuarcocha, provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Casa de la Cultura Ecuatoriana. (1973). Boletín de Informaciones Científicas Nacionales, 14 (105-106).
- Casa de la Cultura Ecuatoriana. (1975). Cartillas de Divulgación Ecuatoriana Nro. 2. (31 - 32).
- Carrera, J. (2017). *Evaluación del balance hidrológico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Castillo, L. (2015). *Elaboración de un Modelo de Gestión para el Manejo Sostenible Comunitario de la Microcuenca de la Laguna de Yahuarcocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Cifuentes, C. (2007). *Osamentas humanas en Yahuarcocha*. <https://www.acuario27.com/wordpress/2007/01/936-osamentas-humanas-en-yahuarcocha/>
- Colen, V., Portilla, K., Oña T., Wyseurec G., Goethalsd P., Velarde V. & Muylaerta K. (2017). *Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using*. *Limnológica*: 67 37-44. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.limno.2017.07.008>
- Cristóbal, T. (1985). *La Laguna de Yahuarcocha*. Gaceta Municipal No. 1.
- Echeverría, J. (2007). *Arqueología de una batalla la laguna de Yahuarcocha*. Arqueología Ecuatoriana.
- Erazo, L. & Paucar, F. (2017). *Evaluación de la transferencia de oxígeno con plantas acuáticas en un cultivo hidropónico*. 159. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Frolich, L. (2015). *Cochacaranqui: una perspectiva histórica de la relación entre el ser humano y la laguna*. Memorias del Primer Seminario Internacional Conservación de los Recursos Naturales de la laguna Yahuarcocha y su rol para el Desarrollo Sustentable.

- Guerra, M., Steinitz, M., & Vegas, T. (2023). *Floración de Planktothrix agardhii en Yahuarcocha, una laguna altoandina hipertrófica*. Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas. 44(1). ISSN-2477-9148). <https://doi.org/https://doi.org/10.26807/remcb.v44i1.958>
- Gobierno Provincial de Imbabura & Aves y Conservación. (2010). *Estrategias de Conservación para la Laguna de Yahuarcocha*. 21 pp. Ibarra, Ecuador.
- Gobierno Provincial de Imbabura. (2021). *Informe de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en las quebradas Manzano Huayco, Polo-Golo, Acequia del Quince y laguna de Yahuarcocha*. 21 pp. Ibarra, Ecuador.
- Guerrero, M., Burbano, J. & Vallejos, A. (2018). *Población flotante: Análisis en la microcuenca de la Laguna Yahuarcocha (Imbabura - Ecuador)*. Holopraxis Ciencia, Tecnología e Innovación. 13 pp. Ibarra, Ecuador.
- Jaramillo, V. (1962). *Imbabura, agua y paisaje*. Editorial Cultura. Otavalo, Ecuador.
- Joseline, P. (2015). *Distribución y Evaluación de la vegetación Macrofítica en el lago de Yahuarcocha, provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- José, E., & Jhon, A. *Investigación subacuática en las lagunas de Yahuarcocha, San Pablo, Mojanda, provincia de Imbabura, Ecuador*. Revista de Arqueología Americana. Nro. 34. 125-142 pp.
- Jácome, E. (2017). *Vegetación acuática y estado tráfico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador*. Revista Ecuatoriana De Medicina Y Ciencias Biológicas. Vol. 35 Núm. 1-2. Pp. 121-131. <https://doi.org/https://doi.org/10.26807/remcb.v35i1-2.255>
- Kannan, S. (1997). *The lakes in the andean protected areas of Ecuador*. The George Wright Forum. Vol. 14. pp. 33-43.
- Municipio de Ibarra. (2015). *Estudio de impacto ambiental ordenamiento de las actividades deportivas, recreativas y de alimentación que se realizan en la Laguna Yahuarcocha del cantón Ibarra*.
- Municipio de Ibarra. (2018). *Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha, provincia de Imbabura*.

- Municipio de Ibarra. (2021). *Términos de Referencia para la elaboración de la Actualización del Plan de Manejo Integral de la cuenca hidrográfica de Yahuarcocha, provincia de Imbabura.*
- Municipio de Ibarra. (2022). *Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha, provincia de Imbabura.*
- Loreta, J. C. (2008). *La entronización de los lagos y sus consecuencias*, Ibarra 2008 [Universidad Técnica del Norte]. Ibarra, Ecuador.
- Leiton, M. (2018). *Percepción Ambiental de los Habitantes de la Microcuenca del Lago Yahuarcocha: Estrategias para la Conservación y Uso Sustentable*. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Maridueña, A., Norma, Chalén, N., Coello, D., Cajas, J., Elías, E., Solís, P. & Aguilar, F. (2003). *Mortandad de peces en la laguna de Yahuarcocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. AquaDocs. Boletín especial (2011). Año 2.
- Olivo, D. (2019). *Evaluación de influencia de Poecilia reticulada y Elodea densa sobre el crecimiento de fitoplancton y zooplancton en el Lago Yahuarcocha*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Ortega, S. & Dieguez, J. (2016). *Especies invasoras: un peligro para la biodiversidad*. Biodiversidad. Vol. 6.
- Pabón, J. (2015). *Distribución y evaluación de la vegetación macrofítica en el Lago de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura*. Tesis pre grado, Universidad Técnica Del Norte, 246.
- Delaunay, D., Jeón, J. & Portais, M. (1990). *Transición Demográfica en el Ecuador*. Centro Ecuatoriano de Investigación Científica. Volumen I.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del Comportamiento de los Parámetros Físicos del Agua, para determinar el estado trófico Del lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura* Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Quimbiamba, N. & Sánchez, B. (2023). *Análisis espacio temporal de la calidad de agua del Lago Yahuarcocha utilizando métodos convencionales y sensores remotos*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Reascos, D., Yépez, R. & Paredes, I. (2016). *Evaluación de la incidencia de las actividades turísticas que alteran la calidad del agua del sistema lacustre Yahuarcocha, para*

- establecer estrategias de mitigación y prevención.* Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Revelo, J. (2017). *Evaluación del Balance Hidrológico y Establecimiento de Estrategias para la Conservación del Recurso Hídrico del Lago Yahuarcocha.* Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Universidad Técnica del Norte. Ibarra - Ecuador.
- Riascos, L., Geerts, A., Oña, P., Cevallos, J., Vanden, W. Volckaert, F., Bonilla, J., Muylaert, K., Velarde, E., Boets, P. & Van C. (2018). *DNA-based of the alien invasive North American crayfish *Procambarus clarkii* in Andean lakes (Ecuador).* *Limnológica*, 70. Pp. 20 - 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.02.002>
- Steinitz, M. (1979). *Comparative limnology of ecuadorian lakes: A study of species number and composition of plankton ncommunities of the Galápagos islands and the Equatorial Andes.* The Ohio State University. pp. 372.
- Steinitz, M. (2017). *Diatomeas: su morfología como expresión del nicho ecológico, y su valor como indicadoras del medio ambiente en el Ecuador.*
- Steinitz, M. & Guerra, M. (2020). *History of limnology in Ecuador: a foundation for a growing field in the country.* *Hidrobiología.* Pp. 4191–4206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10750-020-04291-1>
- Terneus, E. (2014). *Vegetación acuática y estado tráfico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador.* *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35, 121-131.
- Tobar, I. (2021). *Valoración ambiental de los efectos de la eutrofización en la microcuenca de Yahuarcocha a través del método de costos evitados.* Universidad Internacional SEK.
- UTN. (2015). *Memorias I Seminario Internacional. Conservación de los Recursos Naturales de la laguna Yahuarcocha y su rol para el Desarrollo Sustentable.* Universidad Técnica del Norte. 1st edition. ISBN 978-3-7369-8163-8.