



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO Y ESTABLECIMIENTO DE
ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DEL
LAGO YAHUARCOCHA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTOR:

Jorge Luis Revelo Carrera

DIRECTORA:

MSc. Elizabeth Velarde

Ibarra – Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO Y ESTABLECIMIENTO DE
ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DEL
LAGO YAHUARCOCHA”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

MSc. Elizabeth Velarde

.....

DIRECTORA

FIRMA

.....

MSc. Sania Ortega

ASESORA

FIRMA

.....

MSc. Tania Oña

ASESORA

FIRMA

.....

Mcs. Oscar Rosales

ASESOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100348710-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Revelo Carrera Jorge Luis		
DIRECCIÓN:	Los Ceibos, Río Vinces 2-61 y Río Curaray		
EMAIL:	Jorge_revelo1993@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062 603 670	TELÉFONO MÓVIL:	0998934118

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO Y ESTABLECIMIENTO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DEL LAGO YAHUARCOCHA”
AUTORA:	Revelo Carrera Jorge Luis
FECHA:	20 de noviembre del 2017
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	MSc. Elizabeth Velarde

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **JORGE LUIS REVELO CARRERA**, con cédula de identidad Nro. **100348710-3**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de noviembre del 2017

EL AUTOR:

ACEPTACIÓN:



.....
Jorge Luis Revelo Carrera

C.I. 100348710-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR

DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **JORGE LUIS REVELO CARRERA**, con cédula de identidad Nro. **100348710-3**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“EVALUACIÓN DEL BALANCE HIDROLÓGICO Y ESTABLECIMIENTO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO LAGO YAHUARCOCHA”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Jorge Luis Revelo Carrera

C.I. 100348710-3

Ibarra, a los 20 días del mes de noviembre del 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el autor REVELO CARRERA JORGE LUIS, bajo mi supervisión en calidad de directora.

A handwritten signature in blue ink, reading "Elizabeth Velarde". The signature is stylized with a large loop at the beginning and a vertical stroke at the end.

MSc. Elizabeth Velarde

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se ha desarrollado sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, es original y soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de noviembre del 2017



Jorge Luis Revelo Carrera

C.I. 100348710-3

AGRADECIMIENTO

A Dios por la fortaleza brindada en el largo camino de la vida.

Quiero expresar mi agradecimiento más sincero a las instituciones y personas que me han apoyado en la culminación de este proyecto.

A la Universidad Técnica del Norte y a la Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por permitirme ser parte de esta Institución.

Al proyecto VLIR UOS – UTN quienes financiaron mi proyecto de investigación.

A la MSc. Elizabeth Velarde, directora de la tesis por ser un ejemplo de perseverancia y trabajo, por todo el apoyo, confianza y amistad sincera depositados en mí.

A la MSc. Tania Oña, MSc. Sania Ortega y al MSc. Oscar Rosales asesores del trabajo de tesis por todo el tiempo, observaciones, consejos acertados y actitud positiva, más que docentes se han vuelto amigos verdaderos.

Al MSc. Paúl Arias y al MSc. Juan Diego Varela por sus observaciones y consejos brindados.

A Elizabeth Astudillo, María Elena Ochoa y Karen Portilla por la paciencia y ayuda brindada en los momentos más importantes.

Al equipo de trabajo del Labinam: Cristina M., Andrea R., Francisco C., Lenin R., Rodrigo Ch., Jefferson G. y Ramiro S. compañeros y amigos de investigación.

A mi madre Isabel, mi inspiración y ejemplo a seguir gracias por ser el motor de mi vida, consejera y amiga incondicional.

A mis tías Rosa, Mirian y Luz por todo el apoyo y consejos brindados, por cuidarme y ser como otras madres para mí, a Anita, César, Luis, Humberto, mis primos y toda mi familia.

A mis amigos Gaby P., Ruth Q., Karen D., Carolina M., Carly C., Stephany C., Henry Y., Henry E., Cristian Ch., Santiago S., Edison Ch. y Santiago V., por ser la familia que se elige.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por bendecir cada uno de mis días y por haber puesto en mi camino a todas las personas que han estado conmigo brindándome su apoyo.

A mi madre Isabel, por todo su amor, por haberme formado como una persona de bien y ser mi inspiración para cumplir mis metas, a mi abuelita Teresa y a Samantha mis ángeles que me cuidan desde el cielo.

¡Esto es por ustedes!

Jorge Revelo.

RESUMEN

El ciclo hidrológico, describe la circulación y almacenamiento de agua en la tierra, es afectado por la influencia humana a diferentes escalas, desde la local hasta la planetaria. Sumado al efecto del cambio de la cobertura vegetal y el uso del suelo asociado con actividades antrópicas que han tenido una profunda influencia en los procesos hidrológicos en pequeñas cuencas y lagos a nivel regional. En el Ecuador, este recurso tiene una gran importancia social, cultural, productiva, energética y económica, como fuente de agua potable, agua para riego y generación de energía, ocasionando problemas de contaminación y alteración del ciclo hidrológico. En el lago Yahuarcocha y su microcuenca se desarrollan distintas actividades antrópicas generando problemas de ubicación y magnitud de las fuentes de agua, hecho que se evidenció mediante recorridos realizados para la identificación, georreferenciación y cuantificación del caudal de 19 aportantes de agua en la microcuenca alta y media y su disminución en los puntos de aforo en el lago, donde existen 5 entradas de agua que aportan caudal constante, debido al aprovechamiento que la población les da. El objetivo de esta investigación fue evaluar el balance hidrológico del lago Yahuarcocha mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico, para establecer estrategias que permitan la conservación del recursos hídrico del lago, en un período de estudio desde Julio 2015 hasta Junio 2016; mediante la identificación de las entradas de agua y la batimetría se determinó que el lago tiene una cuneta lacustre con un perfil regular y presenta una caída rápida en la profundidad de sus orillas y un fondo relativamente plano, concentrándose la mayor distribución espacial del agua en las cotas de profundidad intermedia (3, 4 y 5 m). Con las variables precipitación, caudal de ingreso y evaporación se obtuvo un balance hidrológico anual negativo de 249,78 mm, la disponibilidad de agua del lago se relaciona con la presión que ejercen las actividades antrópicas sobre el recurso hídrico. Finalmente se proponen dos estrategias de conservación: el control de caudales para el seguimiento del uso del agua en la microcuenca del lago, mediante el establecimiento de concesiones para su aprovechamiento sostenible y el dragado de sedimentos para la recuperación de la profundidad y el cuerpo de agua del lago.

SUMMARY

The hydrological cycle, describes the circulation and storage of water in the earth, is affected by human influence at different scales, from the local to the planetary. In addition to the effect of changing vegetation cover and land use associated with anthropogenic activities that have had a profound influence on hydrological processes in small basins and lakes at the regional level. In Ecuador, this resource has a great social, cultural, productive, energy and economic importance, as a source of drinking water, water for irrigation and generation of energy, causing pollution problems and alteration of the hydrological cycle, in Lake Yahuarcocha and its micro-basin different anthropic activities are developed generating problems of location and magnitude of the water sources, a fact that was evidenced by means of routes made for the identification, georeferencing and quantification of the flow of 19 water contributors in the high and medium micro-basin and its decrease in the gauging points in the lake, where there are 5 water inlets that contribute constant flow, due to the use that the population gives them. The objective of this research was to evaluate the hydrological balance of Lake Yahuarcocha through the application of the simplified hydrological balance equation, to establish strategies that allow the conservation of the lake's water resources, in a study period from July 2015 to June 2016; By identifying the water inlets and the bathymetry, it was determined that the lake has a lake ditch with a regular profile and presents a rapid drop in the depth of its banks and a relatively flat bottom, concentrating the greater spatial distribution of water in the lakes. intermediate depths (3, 4 and 5 m). With the variables precipitation, flow of income and evaporation, a negative annual hydrological balance of 249.78 mm was obtained, the water availability of the lake is related to the pressure exerted by anthropic activities on the water resource. Finally, two conservation strategies are proposed: the control of flows to monitor the use of water in the microbasin of the lake, through the establishment of concessions for their sustainable use and the dredging of sediments for the recovery of depth and the body of water from the lake.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	x
SUMMARY	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE CUADROS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
CAPÍTULO I	16
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo General.....	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 Pregunta directriz.....	18
CAPÍTULO II.....	19
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1 Limnología en lagos alto andinos	19
2.1.1 Estudios limnológicos realizados en Yahuarcocha	20
2.2 Estudios batimétricos realizados en Yahuarcocha.....	20
2.3 Batimetría y distribución espacial del agua en otros lagos	21
2.4 Ciclo y balance hidrológico	22
2.4.1 Cuencas hidrográficas y sus tipos.....	23
2.4.2 Estudios hidrológicos en cuencas y lagos endorreicos	23
2.4.3 Balance hidrológico	24
2.4.4 Ecuación general del balance hidrológico	25
2.4.5 Ecuación simplificada del balance hidrológico	25
2.5 Importancia de la gestión, manejo y conservación de cuencas hidrográficas.....	28
2.6 Importancia de la gestión, manejo y conservación de sistemas lacustres	28
2.6.1 El dragado, importancia y propuesta de implementación.....	29

2.6.2	El control de caudales de agua superficial, importancia y propuesta de implementación	30
2.7	Marco legal	30
CAPÍTULO III		36
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1	Materiales.....	36
3.2	Métodos.....	36
3.2.1	Área de estudio	36
3.2.2	Análisis de la distribución espacial del agua por cotas de profundidad en el lago Yahuarcocha.....	38
3.2.3	Determinar la disponibilidad del agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico	40
3.2.4	Propuesta de estrategias de conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha en base al modelo hidrológico obtenido.....	42
CAPÍTULO IV		43
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1	Distribución espacial del agua por cotas de profundidad en el lago Yahuarcocha	43
4.2	Disponibilidad del agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico	47
4.3	Estrategias de conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha en base al modelo hidrológico obtenido	53
4.3.1	Control de caudales de la microcuenca del lago Yahuarcocha.....	53
4.3.2	Dragado de sedimentos del lago Yahuarcocha.....	61
CAPÍTULO V.....		67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	68
CAPÍTULO VI		69
6.	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	69
ANEXOS		73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Profundidades del lago Yahuarcocha	21
Cuadro 2. Esquema general del balance hidrológico.....	24
Cuadro 3. Materiales de campo y oficina	36
Cuadro 4. Estaciones meteorológicas	41
Cuadro 5. Ubicación de las entradas de agua hacia el lago	43
Cuadro 6. Relación profundidad - superficie - volumen de agua del lago Yahuarcocha	45
Cuadro 7. Balance hidrológico del lago Yahuarcocha	47
Cuadro 8. Matriz de actividades y plazos de las estrategias de conservación del lago Yahuarcocha.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del lago Yahuarcocha.....	37
Figura 2. Procedimiento para la obtención del mapa batimétrico del lago Yahuarcocha.....	39
Figura 3. Mapa batimétrico del lago Yahuarcocha.....	44
Figura 4. Recorrido batimétrico en el lago Yahuarcocha.....	46
Figura 5. Variables del balance hidrológico del lago Yahuarcocha.....	48
Figura 6. Relación evaporación - variación del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha.....	49
Figura 7. Relación precipitación - variación del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha.....	50
Figura 8. Relación caudal de ingreso - variación del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha.....	51
Figura 9. Entradas de agua del lago Yahuarcocha.....	51
Figura 10. Variación mensual del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha.....	52
Figura 11. Actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca del lago Yahuarcocha.....	55
Figura 12. Aprovechamiento del agua en propiedades privadas.....	56

Figura 13. Ubicación de los aportantes de agua en la microcuenca del lago Yahuarcocha.....	57
Figura 14. Zonas para el dragado de sedimentos.....	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación general del balance hidrológico	25
Ecuación 2. Ecuación simplificada del balance hidrológico	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la estación meteorológica Yuyucocha.	73
Anexo 2. Polígonos de Thiessen.....	74
Anexo 3. Datos meteorológicos de la estación Yuyucocha.....	75
Anexo 4. Datos de evaporación utilizados en el lago Yahuarcocha.....	76
Anexo 5. Registros de caudal del lago Yahuarcocha (GAD - I)	77
Anexo 6. Datos de caudal.....	79
Anexo 7. Mapa de ubicación de los afluentes del lago Yahuarcocha	80

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico, describe la circulación y almacenamiento de agua en la tierra (Maidment, 1993), es afectado por la influencia humana a diferentes escalas, desde la local hasta la planetaria (Committee on Opportunities in the Hydrologic Sciences, 1991). Sumado al efecto del cambio de la cobertura vegetal y el uso del suelo asociado con actividades antrópicas que han tenido una profunda influencia en los procesos hidrológicos en pequeñas cuencas y lagos a nivel regional (Sahagian, 2000).

En el Ecuador, este recurso tiene una gran importancia social, cultural, productiva, energética y económica evidente como fuente de agua potable, agua para riego y generación de energía (Escaleras, 2016), ocasionando problemas de contaminación y alteración del ciclo hidrológico, los escasos estudios limnológicos realizados en zonas tropicales comparado a los realizados en zonas templadas limitan el conocimiento acerca de los lagos andinos y de sus correspondientes cuencas hidrográficas.

En el lago Yahuarcocha y su microcuenca se desarrollan distintas actividades antrópicas generando problemas de ubicación y magnitud de las fuentes de agua, hecho que se evidenció mediante recorridos realizados para la identificación, georreferenciación y cuantificación del caudal de 19 aportantes de agua en la microcuenca alta y media y su disminución en los puntos de aforo en el lago, donde existen 5 entradas de agua que aportan caudal constante debido al aprovechamiento que la población les da (Plan de manejo de la Microcuenca del Lago Yahuarcocha, 2012).

En la última década y dentro del marco del proyecto VLIR-UOS UTN se han realizado investigaciones en componentes como zooplancton, fitoplancton, sedimentación y parámetros físico-químicos enfocados a la conservación del estado ecológico del lago Yahuarcocha; la inexistencia de datos meteorológicos continuos, la falta de estudios morfológicos periódicos del lago y el desarrollo de actividades antrópicas como la agricultura, la ganadería y el turismo (Plan de manejo de la Microcuenca del Lago

Yahuarcocha, 2012), entre otras que sumadas a las malas prácticas ambientales y a la falta de conciencia y sensibilidad por parte de la población, dificultan las investigaciones hidrológicas y agravan los problemas de contaminación y alteración del ciclo hidrológico en el lago y su microcuenca (Cifuentes, 2016).

El lago presenta un estado ecológico eutrófico con tendencia a hipertrófico (Portilla, 2015), siendo la causa principal el aporte de nutrientes a través de la microcuenca, es por esto la importancia de estudiar los procesos hidrológicos que permitirán la localización y magnitud de las fuentes de agua, el análisis de la distribución, duración, intensidad, frecuencia y fecha de inicio de la sequía o inundación, entre otros (Sehmi y Kunzewicz, 1992). El levantamiento de esta información permitirá un análisis espacial de la distribución del agua dentro del lago, sirviendo como base para programar acciones que permitan minimizar los impactos adversos (Morales, 2008).

La información acerca de los procesos hidrológicos que se dan en el lago Yahuarcocha constituyen una herramienta importante para el análisis del funcionamiento de estos ecosistemas acuáticos andinos, para el establecimiento de pautas de manejo (González et al., 2002), mediante un trabajo coordinado y eficiente entre las entidades académicas, legisladoras y administrativas del cantón puedan llegar a la aplicación y desarrollo de modelos hidrológicos que aporten al mejoramiento, recuperación, restablecimiento y manejo adecuado de las condiciones naturales del lago Yahuarcocha. Dicha investigación generará también un grado de confianza para la toma de decisiones sobre el ordenamiento territorial, diseño y construcción de infraestructura (Dueñas, 1997), entre otras, que permitirán conocer el funcionamiento de este sistema en situaciones que no se han producido, mejorando su visión, para el establecimiento de protocolos de acción ante posibles situaciones de emergencia y políticas que garanticen el desarrollo sostenible del lago (González et al, 2000).

Los resultados del presente proyecto contribuirán al cumplimiento del objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir que es “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global” (SENPLADES, 2013). También está enmarcado en el cumplimiento de los objetivos del Consejo Interuniversitario Flamenco para la Cooperación Universitaria para el Desarrollo (VLIR-UOS) y del Team Project VLIR-UOS UTN, quienes aportarán con el financiamiento para la ejecución del presente proyecto.

1.1 Objetivos

A continuación, se detallan los objetivos de la investigación.

1.1.1 Objetivo General

Evaluar las variables precipitación, caudal de ingreso y evaporación, del balance hidrológico simplificado del Lago Yahuarcocha.

1.1.2 Objetivos Específicos

Analizar la distribución espacial del agua por cotas de profundidad en el lago Yahuarcocha.

Determinar la disponibilidad del agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico.

Proponer estrategias de conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha, en base al modelo hidrológico obtenido.

1.2 Pregunta directriz

¿Permitirá el estudio del balance hidrológico determinar la disponibilidad de agua en el lago Yahuarcocha?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se detalla la información utilizada para el desarrollo del proyecto, se tomó como referencia estudios hidrológicos y limnológicos realizados en lagos de Etiopía y Ecuador.

2.1 Limnología en lagos alto andinos

La limnología, es la ciencia de las aguas continentales, que estudia las características biológicas y las interrelaciones de estructura y función de los organismos de agua dulce, los mismos que se ven afectados por la dinámica física, química y biológica (Wetzel y Likens, 2001), de acuerdo al movimiento del agua existen sistemas lóticos o aguas corrientes (ríos) y sistemas lénticos o de aguas quietas (lagos). Según Roldán (1992) un lago es un cuerpo de agua estancada ocupando una cuenca, carece de continuidad al mar y rodeada de tierra por todas partes. Los lagos no son elementos permanentes del paisaje y esto se debe a la acumulación de sedimentos y materia orgánica, que hacen que su vida sea limitada (Scheffer, 2004). Siendo la limnología una ciencia que proporciona la base científica para la gestión de lagos y ríos (Lampert, 2007).

Los lagos tropicales presentan características diferentes a los lagos templados, Wetzel (1981), tienen la capacidad de mezclarse frecuentemente, este término es conocido como polimixis, la capacidad de mezclarse constantemente hace que la termoclina o estratificación desaparezca del lago (Scheffer, 2004). Para Casallas (2005), los lagos tropicales alto andinos se encuentran entre los 2000 y 4000 metros sobre el nivel del mar; incluyendo a todos los lagos de meseta interandinos que hay en el Ecuador como Mojanda, San Pablo y Yahuarcocha. Los lagos alto andinos se diferencian de los lagos interandinos no solo en el gradiente altitudinal sino también en el habitual alto contenido de nutrientes, pH elevado, niveles altos de eutrofización y temperaturas promedio de 17 °C (Cabrera, 2015).

2.1.1 Estudios limnológicos realizados en Yahuarcocha

Steinitz (1979), estudió los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua; donde se evidenció que el lago Yahuarcocha ha sufrido cambios y un acelerado proceso de eutrofización e introducción de especies exóticas. En el año 2012, la Universidad Técnica del Norte realizó la “Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha”, en el cual se recopiló información secundaria, se verificó y levantó información de campo y se generaron mapas temáticos para la elaboración de la línea base (Plan de manejo de la Microcuenca del Lago Yahuarcocha, 2012). En el año 2013, se realizó el estudio titulado “Estado trófico y la ecología del fitoplancton de dos lagos en el norte de Ecuador: Yahuarcocha y Mojanda”, donde se estudió el fósforo, clorofila a, nutrientes orgánicos e inorgánicos disueltos y fitoplancton (Mandonx, 2014).

Desde el año 2013, la Universidad Técnica del Norte viene ejecutando el proyecto “Manejo sustentable de lagos del norte del Ecuador y el cambio climático” y uno de los lagos en estudio es Yahuarcocha, con asesoría y financiamiento del VLIR-UOS de Bélgica, este estudio se está llevando a cabo en el Laboratorio de investigaciones ambientales de la UTN, el cual cuenta con instalaciones para el seguimiento de los parámetros físico-químicos y biológicos en los ecosistemas lacustres, de acuerdo a las normas internacionales sobre la evaluación de la calidad ecológica del agua, entre ellos, los protocolos para el análisis de parámetros físico-químicos (batimetría, temperatura, concentración de oxígeno, transparencia, concentración de nutrientes, materia orgánica en los sedimentos) y parámetros biológicos (fitoplancton, zooplancton, macro invertebrados, macrófitas); el objetivo de este trabajo es el monitoreo mensual y la evaluación del estado ecológico del lago mediante la relación entre los parámetros físico-químicos y biológicos (Cabrera, 2015; Caicedo, 2016; Cifuentes, 2016; Escaleras, 2016; Pabón, 2015 y Portilla, 2015).

2.2 Estudios batimétricos realizados en Yahuarcocha

Según Steinitz (1979), en el lago Yahuarcocha se registró una profundidad máxima de 9m, no se registran datos sobre cotas de profundidad y del espejo de agua. En 1992, con la batimetría del lago se obtuvo una cota de profundidad máxima de 2175,5m y una cota del espejo de agua de 2183,9 m (INERHI, 1992), en el año 2001 se registró una cota de

profundidad máxima de 2178,6m y una cota del espejo de agua de 2186,7m (Vilatuña, 2001), y según datos del 2013 en la batimetría del lago se obtuvo una cota de profundidad máxima de 2183,1m y una cota del espejo de agua de 2190m (Portilla, 2015), ver cuadro 1.

Cuadro 1. Profundidades del lago Yahuarcocha

Cotas	1979	1992	2001	2015
Profundidad (m)	-	2175,5	2178,6	2183,1
Espejo de agua (m)	-	2183,9	2186,7	2190
Profundidad (m)	9	8,4	8,1	6,9

Fuente: Cifuentes (2016)

2.3 Batimetría y distribución espacial del agua en otros lagos

Según Farjas, (2009) la batimetría es el levantamiento del relieve de las superficies subacuáticas, tanto los levantamientos del fondo del mar, como del fondo de cursos de agua, embalses y lagos. Al igual que en levantamientos convencionales, en la batimetría la finalidad será la obtención de coordenadas (X, Y, Z) de todos estos puntos, la parte más compleja sin duda es la determinación de la profundidad que es obtenida mediante una operación de sondeo, midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

El método GPS ecosonda es el más utilizado por su fácil aplicación; consiste en la utilización de una antena que recepta la señal GPS para la ubicación que a su vez esté conectado a un ecosonda que emite una frecuencia de sonido para determinar la distancia vertical entre la superficie del agua y el punto en el fondo (Farjas, 2009). El sondeo es la parte definitiva de cualquier batimetría que aporta la información de las profundidades subacuáticas (Peñafiel, 1996).

Los estudios realizados en Etiopia muestran las relaciones entre la profundidad batimétrica y el área lacustre de los lagos; el lago Tana se caracteriza por tener un fondo plano y una rápida caída en profundidad en sus orillas, donde una variación de 1 m en el nivel de agua , es despreciable comparándolo con la superficie del lago, entre los lagos etíopes, el lago Tana tiene relativamente registros hidrológicos más largos de caudal medio mensual y niveles del lago, mostrando su relación y la variabilidad que presentan; ya que el aumento o disminución de nivel depende de la cantidad de agua que ingresa al lago, siendo mínimo el aporte de la

precipitación y evaporación en el balance hidrológico. Dichos resultados se repiten en lagos como Victoria, Abaya y Nilo Azul (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005). Mostrando como característica entre los lagos de estudio la dominancia superficial de las cotas más profundas debido a su fondo relativamente plano y las cotas bajas las que menor superficie ocupan, debido a la disminución de las orillas y la rápida caída en profundidad (Deganovsky y Getahun, 2008). En cuanto al volumen de agua en los lagos etíopes las cotas de profundidad intermedias son las que mayor volumen poseen y las cotas con mayor profundidad las que menor volumen poseen (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005).

En el Ecuador se han realizado estudios batimétricos para determinar la morfología de los cuerpos de agua o la relación que existe entre las distintas profundidades y la distribución de comunidades planctónicas, la determinación de zonas de variación térmica y principalmente la distribución de sedimentos (Casallas, 2005; ETAPA - EP, 2010; Martínez, 2010; Ludueña y Rojas, 2014). En el año 2010, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA – EP), desarrolla un estudio batimétrico en la laguna La Toreadora del Parque Nacional El Cajas, en el que se determina su morfología, volumen y superficie, partiendo de esto se pudo determinar también la distribución espacial del agua en cada una de las cotas de profundidad (ETAPA – EP, 2010). De igual forma en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba se desarrolló un estudio batimétrico en las lagunas de aireación para determinar la distribución de los sedimentos y la relación que existe con las variaciones del nivel de agua (ETAPA – EP, 2010).

2.4 Ciclo y balance hidrológico

Es un proceso que describe el almacenamiento y circulación del agua en el planeta, es un proceso que no tiene principio ni fin, por lo contrario, es un proceso que se desarrolla de forma continua (Chow, 1959), que se produce debido a la existencia de una fuente de evaporación, de energía térmica y de gravitación.

El agua presente en medios acuosos como lagos y ríos y en la superficie terrestre es la fuente de evaporación, los rayos solares son la fuente de energía térmica, que permiten que el agua

se evapore. Mientras que la gravitación la constituye la fuerza misma de gravedad de la tierra, que permite la circulación del agua en la atmosfera (Ordoñez, 2011).

2.4.1 Cuencas hidrográficas y sus tipos

Una cuenca hidrográfica es un área de terreno que drena agua en un punto común, como un riachuelo, arroyo, río o lago cercano. Cada cuenca pequeña drena agua en una cuenca mayor que, eventualmente en un momento determinado desemboca en el océano (Peñafield, 1996). Las cuencas hidrográficas albergan una gran variedad de plantas y animales, y brindan muchas oportunidades de esparcimiento al aire libre. Al conservar las cuencas hidrográficas, podemos preservar y mejorar la calidad de vida de la población y visitantes de la zona (Cifuentes, 2016).

Existen tres tipos de cuencas hidrográficas; exorreicas que drenan sus aguas al mar o al océano; endorreicas que desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar y arreicas donde las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje (Cañón y Valdés, 2011).

La microcuenca del lago Yahuarcocha es una cuenca endorreica ya que el agua se deposita en el lago y no evacua cantidades significativas de agua ni por desagüe superficial ni por infiltración, es decir, que evapora en su superficie toda el agua que colecta de su cuenca hidrográfica. Por definición, un lago endorreico está localizado siempre en el interior de una cuenca endorreica, en un mínimo topográfico local de la misma (Cañón y Valdés, 2011).

2.4.2 Estudios hidrológicos en cuencas y lagos endorreicos

Como referencia para el presente proyecto se tomó en cuenta los estudios hidrológicos realizados en Etiopia; en lagos importantes como el Tana, el Nilo Azul y el Abaya; donde se realizaron estudios de balance, simulación y modelamiento hidrológico, aplicando métodos de cálculo tradicionales para obtener las estimaciones reales de las variables que intervienen en el balance hidrológico como el método del balance de energía y la fórmula de Thornthwaite así como metodología actualizada como la estimación mediante datos meteorológicos obtenidos de estaciones cercanas, con resultados que generan un alto grado

de confianza (Xungang, Sharon y Nicholson, 1998; Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005; Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011).

2.4.3 Balance hidrológico

Herramienta que permite “evaluar de forma correcta los recursos en una cuenca hidrográfica, para lo que es necesario conocer su balance hidrológico en forma cuantitativa, considerando las entradas y salidas del sistema hídrico, el cual debe ser igual, caso contrario existe una alteración en el ciclo del agua” (Gutiérrez, Dávila, De Anda y De Jesús, 2013).

Permite establecer relaciones entre las distintas variables hidrológicas y supone la medición de flujos de agua y almacenamientos de la misma, se pueden establecer balances de forma general o parciales, incluyendo aguas superficiales y subterráneas como lagos, acuíferos y agua del suelo. En cualquier caso, a la hora de establecer el balance se examinarán las entradas y las salidas al sistema analizado (Cañón y Valdés, 2011).

En el cuadro 2, se presenta un esquema del balance hídrico.

Cuadro 2. Esquema general del balance hidrológico

Aportes o entradas	Salidas
Precipitaciones: lluvia o nieve eventualmente rocío y condensación sobre la tierra	Escurrimiento o derrame: Caudal escurrido por el colector de la cuenca
Recursos provenientes del período anterior	Evapotranspiración: Evaporación física y fisiológica de los vegetales en el periodo considerado.
	Recursos acumulados al final del periodo considerado: aguas subterráneas, nieves y glaciares que no entraron en fusión

Fuente: Gutiérrez, Dávila, De Anda y De Jesús (2013).

La información obtenida del balance hidrológico en un lago permite obtener información sobre: la precipitación y evaporación anual, el tiempo o periodo en el que se produce la infiltración y los períodos en los que se produce sequía para así poder establecer la demanda de agua para esa época (Gutiérrez, Dávila, De Anda y De Jesús, 2013).

2.4.4 Ecuación general del balance hidrológico

La ecuación del balance hidrológico, para cualquier zona, cuenca natural o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua (Xungang, Sharon y Nicholson, 1998).

Por tanto, el balance hidrológico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, es representado por la ecuación 1, (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005).

Ecuación 1. Ecuación general del balance hidrológico

$$P + Q_{si} + Q_{ui} - E - Q_{so} - Q_{uo} - I - \Delta S = 0$$

Donde;

P = precipitación

Q_{si} = caudal de entrada de corrientes de agua superficiales

Q_{ui} = caudal de entrada de corrientes de agua subterráneas

E= evaporación

Q_{so} = caudal de salida de corrientes de agua superficial

Q_{uo} = caudal de salida de corrientes de agua subterránea

I = infiltración

ΔS = variación en el volumen de agua almacenada (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005)

2.4.5 Ecuación simplificada del balance hidrológico

Para su aplicación a ciertos cálculos, la ecuación del balance hidrológico puede simplificarse dependiendo de los datos disponibles, del objeto del cálculo, del tipo de masa de agua, de las dimensiones de la masa de agua, de sus características hidrográficas e hidrológicas, de la

duración del balance y de la fase del régimen hidrológico para el cual se calcula el balance hidrológico (Cañón y Valdés, 2011).

En cuencas pequeñas y en lagos endorreicos, tanto el caudal de entrada de corrientes de agua subterránea (Q_{ui}) como los caudales de salida de agua superficial (Q_{so}), subterránea (R_{uo}) y la infiltración, son despreciables; por lo que el balance hidrológico, es representado por la ecuación simplificada 2, (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011).

Ecuación 2. Ecuación simplificada del balance hidrológico

$$P + Q_{si} - E - \Delta S = 0$$

Donde;

P = precipitación

Q_{si} = caudal de entrada de corrientes de agua superficiales

E = evaporación

ΔS = variación en el volumen de agua almacenada (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011).

En el año 2008, en el estudio “Water balance and level regime of Ethiopian lakes as integral indicators of climate change” mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico, determinan la variación del nivel del agua en 13 lagos endorreicos que se caracterizan por su altitud que va entre los 1800 y 2500 msnm y tener una profundidad entre los 5 y 8 metros, en períodos anuales; los datos de precipitación y evaporación fueron tomados de estaciones meteorológicas ubicadas en las cercanías de los lagos en estudio, generando estimaciones reales de dichas variables, en cuanto a los datos de caudal fueron tomados de registros históricos mensuales y anuales. Para los lagos que no contaban con estaciones meteorológicas en la zona de influencia se obtuvo las estimaciones de precipitación y evaporación utilizando el método de Thornthwite y Penman respectivamente, de estaciones cercanas aplicando los polígonos de Thiessen.

Efectuando el cálculo del balance hidrológico se obtuvo la variación positiva o negativa mensual del almacenamiento de agua, mostrando la disponibilidad o déficit de este recurso. La variación del almacenamiento muestra también la relación que existe entre la disponibilidad del agua con el clima de la zona, ya que la precipitación es la variable más influyente para mantener el balance hidrológico positivo en el sistema, debido a que el ingreso de agua por los aportantes es limitado por el uso antrópico de los mismos (Deganovsky y Getahun, 2008).

En el año 2011, en el estudio “Water balance of lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall”, se determinó la relación entre la variación del almacenamiento de agua con las fluctuaciones climáticas de la zona, especialmente con la precipitación, obteniendo como resultado que la variación del nivel de agua es poco sensible a fluctuaciones de precipitación ya que se necesitaría de una disminución constante y prolongada de la precipitación; el aporte de caudal es importante también para mantener positivo el balance del lago. En este caso los datos de precipitación y evaporación fueron tomados de la estación meteorológica que está ubicada en la orilla del lago y los datos de caudal de ingreso de registros anuales. El lago Tana se caracteriza por ser un lago endorreico, oligotrófico, de gran tamaño y poco profundo que no presenta un grado de afectación antrópica elevado sobre el cuerpo de agua del lago, sus aportantes y su microcuenca (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011).

En el año 2013, en el estudio “Monitoring the water balance of lake Victoria”, con el uso de satélites para la teledetección se recopilaron los datos de precipitación y evaporación; los datos de caudal de ingreso de los aportantes se tomaron de registros mensuales. Con la ecuación simplificada del balance hidrológico se determinó la disponibilidad del recurso hídrico en períodos anuales, en base a la variación del almacenamiento de agua, que se mantuvo positivo debido a la ausencia de actividades antrópicas que generen un alto impacto en los aportantes de agua.

En los últimos años debido a la apertura de una salida de agua del lago para la producción de energía se observó una variación en el almacenamiento de agua debido al aprovechamiento del agua, cambiando la relación que existía de la variación del agua con el clima, mostrando una clara afectación del ciclo hidrológico del lago Victoria (Swenson y Wahr, 2013).

2.5 Importancia de la gestión, manejo y conservación de cuencas hidrográficas

Escobar 1995, considera el manejo de las cuencas hidrográficas un proceso para lograr el uso adecuado de los recursos naturales, indica superar el grado de degradación de los recursos existentes, por lo que es necesaria la intervención técnica en el medio biofísico o el ambiente relacionando con los factores socioeconómicos, para contribuir así con el mejoramiento de la calidad de vida del hombre, enfocándose en la calidad de los recursos naturales.

La importancia del manejo integral de las cuencas hidrográficas radica en que son un sistema productor de bienes y servicios múltiples, el manejo es un proceso que trata de formular y aplicar un conjunto de acciones dirigidas a la administración de los recursos biofísicos en el área (Ortega, 2001), proporcionando un instrumento de planificación que le permite a las entidades gubernamentales orientar acciones y ayudar la toma de decisiones que favorezcan el desarrollo integral, con base en la gestión de recursos naturales y la conservación del ambiente para el bienestar socioeconómico de la población (Tituaña, 2011).

2.6 Importancia de la gestión, manejo y conservación de sistemas lacustres

Según Vidal-Abarca (2005), para entender plenamente la limnología hay que estudiar todo tipo de aguas no marinas: aguas continentales superficiales, dulces o saladas, fluyentes o estancadas, de volumen grande o pequeño, naturales o artificiales, costeras o del interior junto con las aguas subterráneas. En este contexto, el hombre juega un papel primordial ya que el hombre no puede sobrevivir sin agua y su uso normalmente no permite volver a usarla. Los problemas relacionados con la contaminación, eutrofización, salinización del agua y la alteración de los hábitats, ciclos hidrológicos y ecosistemas de aguas continentales son de tal magnitud (Novo, 1999), que han pasado a ser objeto de atención prioritaria no solo de limnólogos sino de los gobiernos y gestores locales. La Directiva Marco del Agua (DOCE, 2000), generada en el marco de la Unión Europea, es la prueba más evidente de la necesidad de gestionar correctamente, para conservar los ecosistemas de aguas continentales debido a la experiencia que han tenido en esta temática en toda Europa siendo un ejemplo a seguir en el Ecuador (Grande, Arrojo, & Martínez, 2001).

Investigaciones realizadas dentro del proyecto VLIR-USO, enfocadas en esta necesidad proponen estrategias de conservación con la finalidad del restablecimiento del estado ecológico y de las condiciones hidrológicas del lago Yahuarcocha y su microcuenca; mediante un trabajo coordinado entre la academia, los entes políticos y administrativos para garantizar el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

2.6.1 El dragado, importancia y propuesta de implementación

Se define al dragado como el conjunto de operaciones necesarias para la extracción, transporte y vertido de materiales situados bajo el agua en el medio marino, fluvial o lacustre (Herbich, 1992; Garcia del Jalon, 2007; Cooke, Welch, Peterson, & Nichols, 2005) y deben analizarse con detenimiento para optimizar la operación (Morton, 1977).

El proceso consiste en extraer el material del fondo usando maquinaria específica, las dragas que se diferencian principalmente en la forma de realizar la excavación. A continuación, se debe efectuar el transporte del material desde el punto de extracción hasta la zona de vertido; el tipo de transporte dependerá también de la draga utilizada, pudiéndose efectuar con la misma embarcación, con gánguiles de carga, o mediante tuberías. Finalmente, se debe seleccionar el lugar de vertido y el método para realizarlo, siendo lo más usual el vertido mediante descarga por el fondo o por bombeo a través de una tubería. En la actualidad, la reutilización y el aprovechamiento de los materiales procedentes del dragado es cada vez más frecuente (Herbich, 1992; Garcia del Jalon, 2007; Cooke, Welch, Peterson, & Nichols, 2005).

Cifuentes (2016), propone realizar un dragado en las zonas noroeste, centro y sureste del lago, ya que ahí se presentan dunas de sedimento, formadas por las corrientes internas del lago; utilizando una draga de succión secundaria, ya que es la técnica más adecuada para la profundidad del lago, la finalidad del dragado y el transporte del material dragado.

Se propone también la ejecución de procedimientos previos como la delimitación batimétrica del área de dragado, la caracterización geotécnica y geológica del material a dragar, conocimiento de las condiciones climáticas de la zona y evaluación de la calidad y cantidad de agua del lago y procedimientos continuos y posteriores para el manejo, mantenimiento, limpieza y finalización del dragado (Cifuentes, 2016).

2.6.2 El control de caudales de agua superficial, importancia y propuesta de implementación

Es una herramienta técnica enfocada a la localización, delimitación y cuantificación del caudal de los aportantes de agua superficial de cualquier red hídrica, proporciona una base de datos conformada por la información básica de su hidrología superficial, mediante el levantamiento de información cartográfica de la situación actual de las aguas superficiales de una cuenca (Auvinet y Cázares, 2011). Permite determinar la disponibilidad del recurso, la interacción natural con el sistema, la magnitud e impacto del aprovechamiento que sobre él se realiza y las acciones necesarias para la mitigación y control de los posibles impactos negativos sobre el recurso hídrico (Carabias y Leal, 2016).

Para su implementación en la microcuenca del lago Yahuarcocha, es necesario identificar el tipo de aprovechamiento que la población le da al agua, por parte de las entidades gubernamentales competentes (Mooser y Rangel, 2015), para la ejecución de un trabajo conjunto entre los actores sociales, políticos y administrativos, debido al impacto socioeconómico y ambiental que generará dicha estrategia.

2.7 Marco legal

Para la ejecución del presente proyecto, se tomará en cuenta el siguiente marco legal.

- **Constitución Política de la República del Ecuador**

La investigación realizada se encuentra fundamentada en los artículos de la Constitución Política del Ecuador, como derechos adquiridos por los ciudadanos para un buen vivir en la conservación de los ecosistemas para evitar la propagación de daños ambientales por la contaminación del recurso hídrico.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

Arts. 30 y 31, declaran el derecho de un hábitat saludable y derecho al disfrute de los espacios de las ciudades en un equilibrio sostenible de lo ambiental, y lo social. Art. 71.-Se describe a la Naturaleza y se le otorga el derecho al respeto integral de su existencia, su mantenimiento y sus ciclos vitales. Así mismo, se establece que toda persona puede exigir el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.

- **Plan Nacional del Buen Vivir.**

Objetivo 3. “Mejorar la calidad de vida de la población”: el presente objetivo propone el mejoramiento de las condiciones de vida de la población enfocándose el acceso de los bienes y servicios necesarios para el desarrollo de la vida, entre ellos un ambiente limpio y sano.

Objetivo 7. “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global”: el presente objetivo propone el derecho ciudadano a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación y sustentable, y la garantía de los derechos de la naturaleza, a través de una planificación integral que conserve los hábitats, gestione de manera eficiente los recursos, repare de manera integral e instaure sistemas de vida en una armonía real con la naturaleza.

- **Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria**

Para la normativa ambiental y su cumplimiento con el cuidado y conservación del ambiente, se acoge bajo el Texto Unificado de la Legislación Secundaria con el libro VI Anexo I sobre “La prevención y control de la contaminación ambiental las cuales rigen a todo el territorio nacional”. Establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

- **Ley de Aguas**

La presente ley de aguas garantiza la conservación y el control para la contaminación con el fin de proteger este recurso y sea aceptable, asequible para uso recreacional y doméstico.

Art. 20.- A fin de lograr las mejores disponibilidades de las aguas, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, prevendrá, en lo posible, la disminución de ellas, protegiendo y desarrollando las cuencas hidrográficas y efectuando los estudios de investigación correspondientes.

Art. 21.- El usuario de un derecho de aprovechamiento, utilizará las aguas con la mayor eficiencia y economía, debiendo contribuir a la conservación y mantenimiento de las obras e instalaciones de que dispone para su ejercicio.

Art. 22.- Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.

- **Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización-COOTAD**

Artículo 4.- Fines de los gobiernos autónomos descentralizados. - Dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales son fines de los gobiernos autónomos descentralizados:

La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de un ambiente sostenible y sustentable.

El capítulo III, contiene información del gobierno autónomo descentralizado municipal, y en su sección primera sobre naturaleza jurídica, sede y funciones, señala:

Artículo 55.- Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal: Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Literal k, Preservar y garantizar el acceso efectivo de las personas al uso de las playas de mar, riberas de ríos, lagos y lagunas.

Capítulo IV, del ejercicio de las competencias constitucionales, presenta:

Artículo 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- De acuerdo con lo dispuesto en la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la

corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de las competencias de este sector, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado

Las obras o proyectos que deberán obtener licencia ambiental son aquellas que causan graves impactos al ambiente, que entrañan riesgo ambiental y/o que atentan contra la salud y el bienestar de los seres humanos, de conformidad con la ley.

Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles; protección de las fuentes y cursos de agua; prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión; forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona; y, educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza. Estas actividades serán coordinadas con las políticas, programas y proyectos ambientales de todos los demás niveles de gobierno, sobre conservación y uso sustentable de los recursos naturales.

Los gobiernos autónomos descentralizados regionales y provinciales, en coordinación con los consejos de cuencas hidrográficas podrán establecer tasas vinculadas a la obtención de recursos destinados a la conservación de las cuencas hidrográficas y la gestión ambiental; cuyos recursos se utilizarán, con la participación de los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales y las comunidades rurales, para la conservación y recuperación de los ecosistemas donde se encuentran las fuentes y cursos de agua.

Sección Cuarta, relacionada con las reglas especiales relativas a los bienes de uso público y afectación al servicio público:

Artículo 430.- Usos de ríos, playas y quebradas: Los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales, formularán ordenanzas para delimitar, regular, autorizar y controlar el uso de las playas de mar, riberas y lechos de ríos, lagos y lagunas, de acuerdo a lo dispuesto en la Constitución y la ley.

Artículo 431.- De la gestión integral del manejo ambiental. - Los gobiernos autónomos descentralizados de manera concurrente establecerán las normas para la gestión integral del ambiente y de los desechos contaminantes que comprende la prevención, control y sanción de actividades que afecten al mismo.

Si se produjeren actividades contaminantes por parte de actores públicos o privados, el gobierno autónomo descentralizado impondrá los correctivos y sanciones a los infractores sin perjuicio de la responsabilidad civil y penal a que hubiere lugar y pondrán en conocimiento de la autoridad competente el particular, a fin de exigir el derecho de la naturaleza contemplado en la Constitución.

Artículo 432.- Obras en riberas de ríos y quebradas.- Excepcionalmente y siempre que sea para uso público, se podrá ejecutar, previo informe favorable de la autoridad ambiental correspondiente y de conformidad al plan general de desarrollo territorial, obras de regeneración, de mejoramiento, recreación y deportivas, en las riberas, zonas de remanso y protección, de los ríos y lechos, esteros, playas de mar, quebradas y sus lechos, lagunas, lagos; sin estrechar su cauce o dificultar el curso de las aguas, o causar daño a las propiedades vecinas.

Las obras que se construyan en contravención de lo dispuesto en el presente artículo, serán destruidas a costa del infractor.

El capítulo II, sobre fraccionamiento de suelos y reestructuración de lotes, en la sección primera, Fraccionamientos Urbanos y Agrícolas se hace referencia a:

Artículo 471.- Fraccionamiento agrícola. - Considerase fraccionamiento agrícola el que afecta a terrenos situados en zonas rurales destinados a cultivos o explotación agropecuaria. De ninguna manera se podrá fraccionar bosques, humedales y otras áreas consideradas ecológicamente sensibles de conformidad con la ley o que posean una clara vocación agrícola.

Esta clase de fraccionamientos se sujetarán a este Código, a las leyes agrarias y al plan de ordenamiento territorial cantonal aprobado por el respectivo concejo.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se detallan a continuación los materiales y la metodología utilizados para el desarrollo de la investigación.

3.1 Materiales

A continuación, se detallan los materiales, equipos y softwares utilizados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Materiales de campo y oficina

Materiales	Equipos	Software
Botas de caucho	Bote Sea Eagle 14 SR	ArcMap 10.4
Libreta de campo	Cámara fotográfica	DrDepth
	Computadora (Laptop)	
	Equipos meteorológicos HOBO U30	
	GPS Garmin 64s	
	Impresora	
	Molinete Global Water FP211	
	GPSMap Garmin 526s	
	Eco sonda GPSMap 526s	

Elaboración: El autor

3.2 Métodos

Se describe la metodología empleada para la identificación y georreferenciación de las entradas de agua, así como para el levantamiento batimétrico, la determinación del balance hidrológico del lago y el establecimiento de estrategias para su conservación.

3.2.1 Área de estudio

El lago Yahuarcocha se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, en el cantón Ibarra; se caracteriza por ser un lago urbano debido a la proximidad (3km) que tiene a la zona noreste de la ciudad.

La microcuenca del lago Yahuarcocha se caracteriza por la existencia de páramo y bosque húmedo en la cuenca alta y parte de la cuenca media; la altitud máxima es de 3.820 msnm, donde empieza la microcuenca y la mínima de 2.200 msnm, donde se encuentra el lago. Sus coordenadas geográficas son: latitud N 00°22´30” y longitud O 78°06´10” y está rodeado por las lomas de Priorato, Yuracucito y Piola. Este sector posee una dominancia de clima subhúmedo, mesotérmico templado frío, caracterizado por variaciones térmicas desde 5 a 25°C, se encuentra en el piso altitudinal bosque seco montano bajo, presenta una precipitación anual de 750 mm. Según el diagrama ombrotérmico (INAMHI, 2014), Yahuarcocha presenta dos estaciones o épocas, siendo predominante la lluviosa, tiene lugar dos veces al año: desde enero hasta mayo y desde septiembre hasta diciembre, y la época seca desde junio hasta agosto.

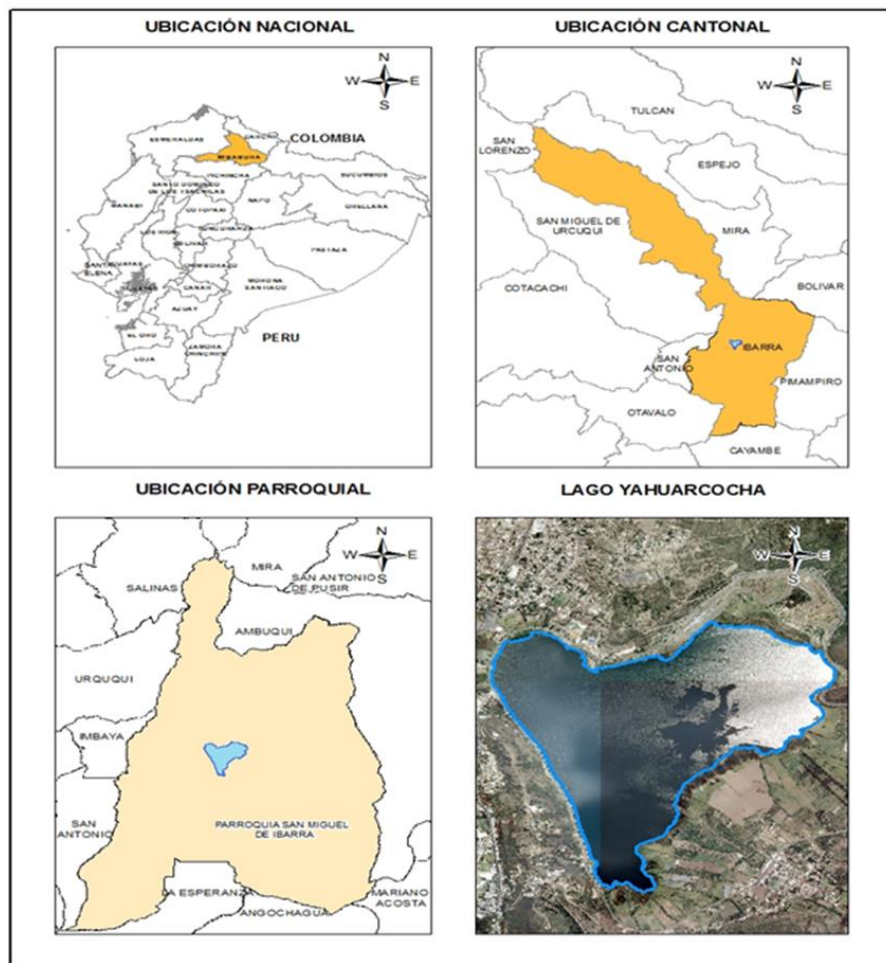


Figura 1. Mapa de ubicación del lago Yahuarcocha
Elaboración: El autor

3.2.2 Análisis de la distribución espacial del agua por cotas de profundidad en el lago Yahuarcocha

Se identificó y georreferenció los puntos de entrada de agua al lago, utilizando un navegador GPS. Los datos fueron registrados en una libreta de campo previamente desarrollada.

Se realizó también la batimetría del lago, utilizando un GPSmap Garmin 526s conectado a un eco sonda de la misma serie y a una computadora de campo Durabook, los equipos funcionan con un suministro de energía de 110 voltios, por lo que se los conectó a una batería de automóvil de 12 voltios mediante un transformador de energía. Para el montaje de los equipos en el bote se implementó una estructura de madera para mantenerlos firmes, garantizando un buen funcionamiento y registro de datos de los equipos. El tiempo empleado para el levantamiento batimétrico fue de una semana, mediante recorridos diarios en los que se cubrió las siguientes zonas: orilla del lago, zona noroeste, zona suroeste, zona sureste y zona noreste, los recorridos se los realizó en la mañana debido a que las condiciones climáticas en especial el viento eran más favorables que en la tarde.

Los puntos batimétricos obtenidos con el programa DrDepth en formato (.dtd) fueron exportados a formato Excel (.xls), para modificar los valores de profundidad positivos a negativos y cargar estos puntos al programa ArcMap 10.4; se cambió las coordenadas geográficas a coordenadas UTM utilizando la herramienta Project, con la herramienta Tin se interpolaron los datos de profundidad para obtener un archivo con las curvas de nivel del lago identificadas por colores, con la herramienta Tin to raster se obtiene un archivo en escala de gris a negro y finalmente con la herramienta reclass se obtiene un archivo con las curvas separadas en rangos o cotas de profundidad, identificadas por una escala de colores.

Con la herramienta Surface volume, es necesario crear un polígono entre las cotas de profundidad y la orilla del lago; creándose un cuadro de texto en el que se detalla el volumen (m^3) y la superficie (m^2) totales del lago.

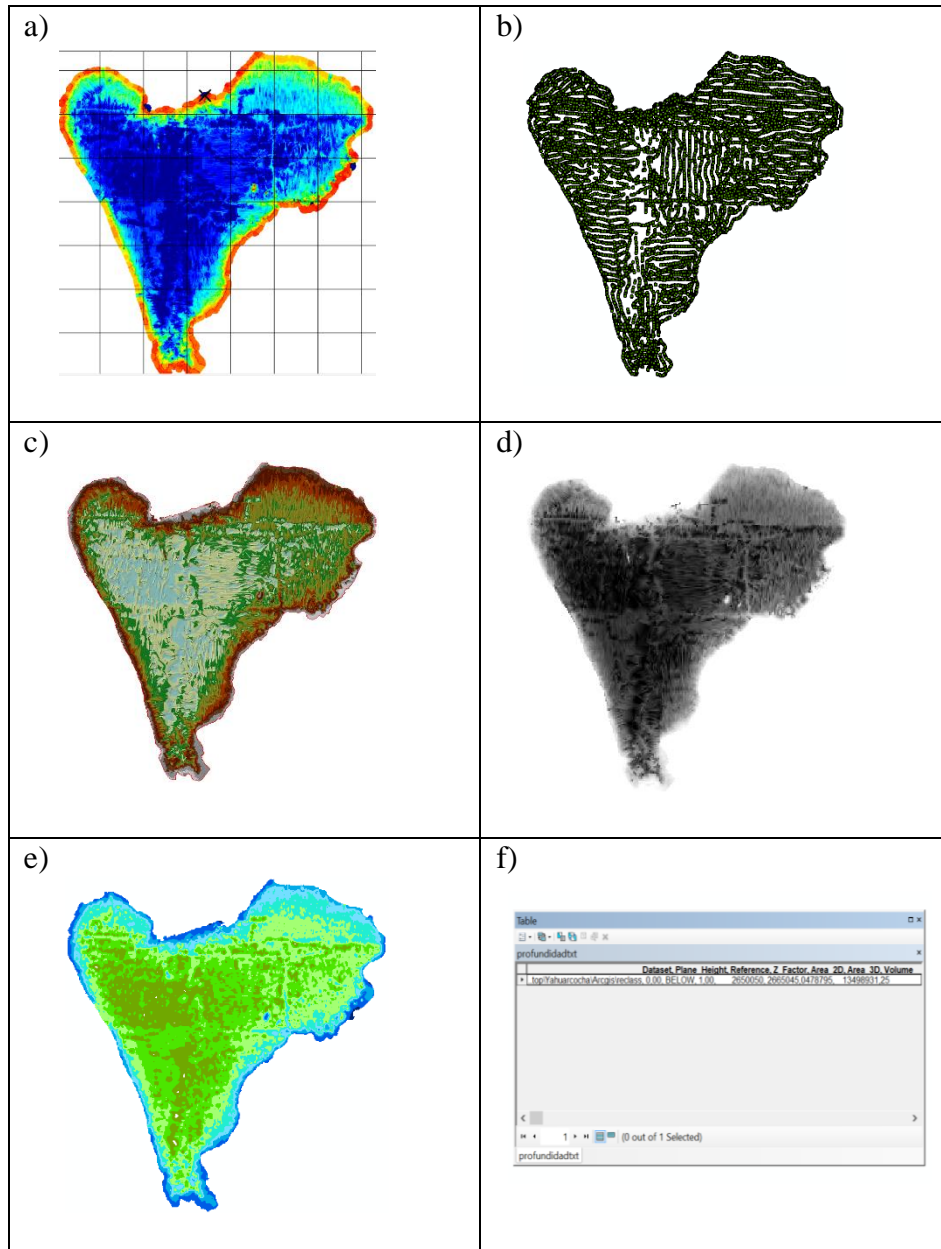


Figura 2. Procedimiento para la obtención del mapa batimétrico del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

- a) Puntos batimétricos obtenidos con el programa DrDepth
- b) Herramienta Project del programa ArcMap
- c) Herramienta Tin del programa ArcMap
- d) Herramienta Tin to raster del programa ArcMap
- e) Herramienta Reclass del programa ArcMap
- f) Herramienta Surface volume del programa ArcMap

3.2.3 Determinar la disponibilidad del agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico

Empleando el método directo de cálculo del balance hidrológico (Cañón y Valdés, 2011), las variables que intervinieron fueron: precipitación, caudal de ingreso y evaporación, del período julio 2015 - junio 2016 (Anexo 3).

Los datos de precipitación fueron tomados de los registros diarios de la estación meteorológica Yuyucocha que pertenece al INAMHI, que está en el área de influencia directa del lago, esto se determinó mediante la aplicación del polígono de Thiessen, para las principales estaciones meteorológicas de la provincia, revisar (Anexo 2). Para su aplicación fue necesario realizar sumatorias mensuales (mm/mes), estos datos corresponden únicamente a un metro cuadrado y para obtener las estimaciones reales es necesario multiplicarlos por la superficie del lago (Guía metodológica para la elaboración del balance hidrológico en américa del sur, 1982).

Los datos de evaporación fueron tomados de 4 estaciones meteorológicas: Yachay (1955 msnm), Yuyucocha (2228 msnm), Otavalo (2550 msnm) y San Gabriel (2860 msnm), todas pertenecientes al INAMHI, en el cuadro 4 se detallan las estaciones meteorológicas, sus coordenadas, la altitud y la distancia que existe hasta el lago. De igual manera para su aplicación fue necesario realizar sumatorias mensuales (mm/mes). Para reducir el error por la variación altitudinal entre la ubicación del lago y las estaciones meteorológicas se realizó una corrección mediante una gráfica de dispersión en excel, siendo la altitud la variable independiente (x) y la evaporación la variable dependiente (y). Con la ecuación de la gráfica ($y = nx + n$) se obtuvo el valor de evaporación mensual que corresponde al lago Yahuarcocha y su altitud (2207 msnm), para determinar la validez estadística se presenta el R cuadrado, obteniendo valores entre 0,7 y 0,9 (Anexo 4). Los valores obtenidos corresponden a un metro cuadrado y para obtener las estimaciones reales es necesario multiplicarlos por la superficie del lago (Guía metodológica para la elaboración del balance hidrológico en américa del sur, 1982).

Cuadro 4. Estaciones meteorológicas

Estación	Coordenadas		Altitud (msnm)	Distancia (lago km)
	X	Y		
Yachay	811810	10046110	1955	10
Yuyucocha	821839	10040364	2228	7
Otavaló	805884	10026560	2550	23
San Gabriel	853844	10066515	2860	60

Elaboración: El autor

Fuente: Anuarios meteorológicos Inamhi 2016

En cuanto a las mediciones de caudal, se las realizó mediante una salida de campo utilizando un molinete o flujometro portátil Global Water FP211 y tomando datos del registro de caudales y escala limnimétrica (l/s) del GAD-Ibarra (Anexo 5) quienes realizan mediciones semanales en las entradas de agua hacia el lago; en este caso se dividió dichos datos para la superficie del lago y se obtuvo la estimación real mm/mes (Guía metodológica para la elaboración del balance hidrológico en América del Sur, 1982).

Con las sumatorias mensuales de precipitación, evaporación y los promedios mensuales totales de caudal (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011), se introdujo estos datos en la ecuación simplificada del balance hidrológico (Cañón y Valdés, 2011).

$$P + Q_{si} - E - \Delta S = 0$$

Se despejó de la ecuación la variable de interés, en este caso la variación de almacenaje (ΔS) y mediante una sumatoria entre las variables precipitación, evaporación y caudal se obtuvo la variación mensual del agua (mm/mes) para determinar la disponibilidad del recurso hídrico (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005).

$$\Delta S = P + Q_{si} - E$$

3.2.4 Propuesta de estrategias de conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha en base al modelo hidrológico obtenido

Una vez desarrollada la ecuación del balance hidrológico, se propusieron estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago, en base a criterios de distribución espacial, superficie, volumen y disponibilidad del agua. Se proponen dos estrategias: el control de caudales de ingreso de agua en su recorrido por la microcuenca hasta el lago y el dragado de sedimentos del fondo con la finalidad de la recuperación de la profundidad y el cuerpo de agua del lago.

- **Control de caudales**

La propuesta se enfoca en el seguimiento y control del uso del agua de quebradas y canales que aportan al lago, por parte de las comunidades que se asientan en toda la microcuenca para conocer el impacto causado sobre el recurso hídrico.

En base a esto se tomarán las decisiones y acciones a ejecutarse, actores sociales y autoridades competentes; cumpliendo con la Legislación Ambiental.

- **Dragado de sedimentos en el lago Yahuarcocha**

En esta propuesta se establecieron las zonas donde se realizará el dragado técnico en las cuales el sedimento ha ido reduciendo la superficie de la cubeta lacustre, el tipo de dragado a realizarse y los requerimientos para la instalación, operación y mantenimiento de la draga, así como la cantidad, transporte y disposición final del material dragado. Se incluyen los actores sociales, Legislación Ambiental y entidades gubernamentales involucradas.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos, acorde a los objetivos planteados para la evaluación del balance hidrológico del lago Yahuarcocha.

4.1 Distribución espacial del agua por cotas de profundidad en el lago Yahuarcocha

En el cuadro 5, se detalla la ubicación de las entradas de agua hacia el lago.

Cuadro 5. Ubicación de las entradas de agua hacia el lago

Nombre del afluente	Coordenadas		Altitud (msnm)
	X	Y	
Hacienda Hidrobo	823779	10041128	2206
Hostería El Totoral	823741	10040963	2204
Quebrada Manzano Huayco	822766	10040081	2205
Quebrada Polo Golo	822752	10039680	2197
Canal Río Tahuando	822621	10039225	2223

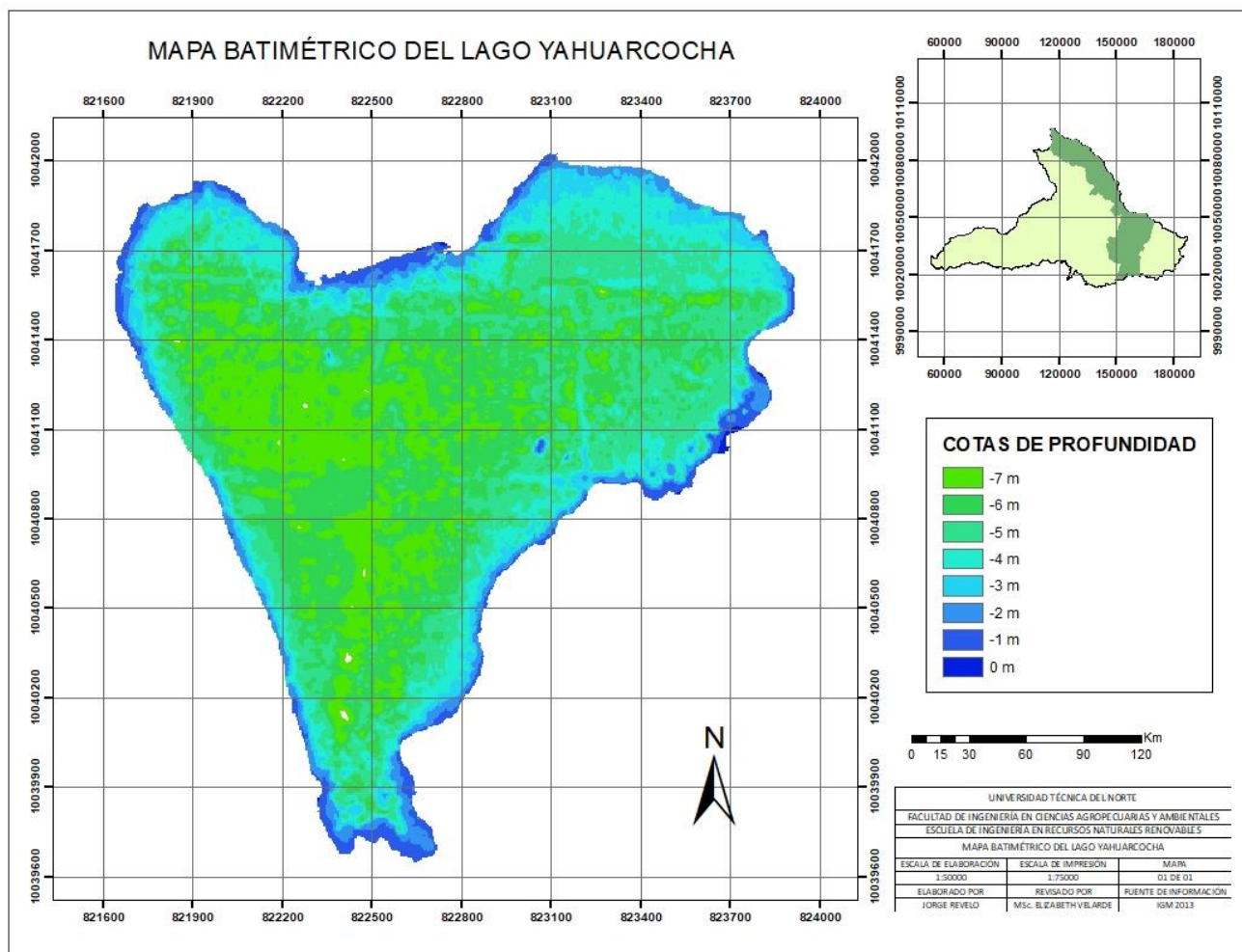
Elaboración: El autor

Se comparó la información de las entradas de agua con los datos de Yépez (2015) y los registros del GAD-I (2016), quienes determinaron que estas entradas aportan caudal de manera constante hacia el lago, ver la ubicación de las entradas de agua en (Anexo 5), la altitud de los puntos en los que se realizó la medición de caudal varía debido a la dificultad de ingreso hacia las zonas en las que las entradas de agua desembocan en el lago, y al estar a una distancia menor a 10 m, son consideradas entradas de agua (Standar methods for the examination of water and wastewater, 2014).

Con los datos de la batimetría se obtuvo un área de 2.795.445,04 m². Se establecieron cotas de profundidad desde 0 m hasta 7 m. La cota entre los 6 m y 7 m ocupa la mayor superficie con 1.812.302,32 m² que representa el 64,83 %, la cota entre los 4 m y 5 m posee 592.527,93 m² que representa el 21,20 %, le sigue la cota entre 2 m y 3 m con 256.807,63 m² que

representa el 9,19 % y finalmente la cota entre 0 y 1 metros con 133.807,16 m² que representa el 4,79 %. En cuanto al volumen, el lago Yahuarcocha posee 13.498.931,25 m³. La cota entre los 2 y 3 metros presenta el mayor volumen con 4.988.479,44 m³ que representa el 36,95 %, seguido por la cota entre los 4 y 5 metros con 4.147.336,23 m³ que representa el 30,72 %, la cota entre los 0 y 1 metros posee 2.650.202,09 m³ que representa el 19,63 % y la cota que menor volumen posee, es la de 6 y 7 metros con 1.712.913,49 m³ que representa el 12,69 %.

Figura 3. Mapa batimétrico del lago Yahuarcocha



Elaboración: El autor

Fuente: Trabajo de campo (Batimetría 2016)

Características similares a los lagos de Etiopia donde se observa que las cotas de mayor profundidad son las que ocupan una mayor área y las cotas superficiales las que menor área ocupan, para el caso del volumen las cotas de profundidad intermedias son las que más volumen de agua poseen y las cotas profundas las que menor volumen poseen, lo que indica que el lago presenta un fondo relativamente plano y una caída rápida en la profundidad de la orilla del lago (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005).

El perímetro del lago es de 7,86 km; en el cuadro 6, se detallan las cotas de profundidad, la superficie que ocupan en el lago y volumen de agua que poseen, también se señala el porcentaje que representan y los valores totales de superficie y volumen.

Cuadro 6. Relación profundidad - superficie - volumen de agua del lago Yahuarcocha

Profundidad (m)	Área (m ²)	Porcentaje (%)	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)
0	68.607,16	2,45	2337,5	0,02
1	65.200	2,33	2.647.864,59	19,62
2	105.820,72	3,79	2.563.378,75	18,99
3	150.986,91	5,40	2.425.100,69	17,97
4	197.267,37	7,06	2.249.919,31	16,67
5	395.260,56	14,14	1.897.416,92	14,06
6	670.988,98	24,00	1.258.875,79	9,33
7	1.141.313,34	40,83	454.037,7	3,36
TOTAL	2.795.445,04	100,00	13.498.931,25	100,00

Elaboración: El autor

Fuente: Trabajo de campo (Batimetría 2016)

Al relacionar los datos obtenidos con los de Portilla (2015), existe una similitud en el tamaño del perímetro del lago; la superficie y volumen aumentaron en 107.126,48 m² y 1'123.540,44 m³ respectivamente, debido posiblemente al proceso de remoción de sedimentos y vegetación macrófita, representando un aumento considerable en la cantidad de agua debido a la superficie pequeña del lago (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005), además permitió cubrir una mayor superficie en el recorrido realizado en la batimetría, que abarca la gran

mayoría de la superficie del lago, obviando únicamente las zonas con profundidad menor a 0,5 metros, ver figura 3.

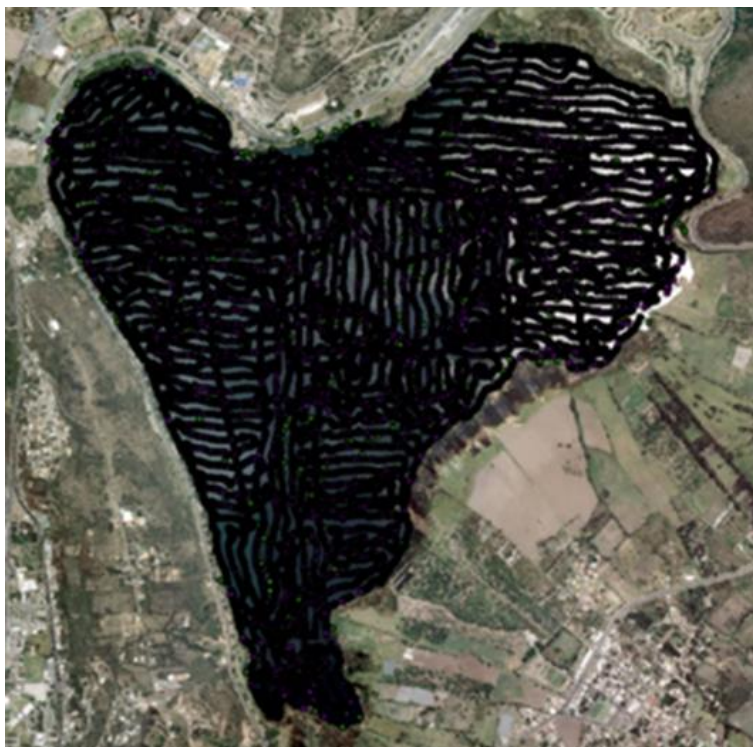


Figura 4. Recorrido batimétrico en el lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

Fuente: Trabajo de campo (Batiimetría 2016)

También es importante la diferencia de la superficie y volumen de la cota de 0 m con respecto a los datos de Portilla (2015), se observa una disminución del 3% y del 0,5% respectivamente, permitiendo el incremento superficial y volumétrico en las otras cotas; es importante también el aumento del promedio mensual de caudal total (todas las entradas) que ingresó al lago; que en el año 2014 fue de 67,4 l/s y en el 2016 de 132,1 l/s, duplicando el volumen de agua que ingresó al lago Yahuarcocha. Otros factores como la ubicación y posición de la sonda y las condiciones climáticas, específicamente la velocidad del viento, pudieron influir en el aumento obtenido (Farjas, 2009).

4.2 Disponibilidad del agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hidrológico

En el cuadro 7, se presentan las variables que intervienen en el balance hidrológico como las sumatorias mensuales de precipitación, evaporación y los promedios mensuales de caudal de ingreso de agua; y la variación mensual del almacenamiento de agua en el lago, que muestra la disponibilidad del recurso hídrico.

Cuadro 7. Balance hidrológico del lago Yahuarcocha

	Julio 2015	Agosto 2015	Septiembre 2015	Octubr e 2015	Noviembre 2015	Diciembre 2015	Enero 2016	Febrero 2016	Marzo 2016	Abril 2016	Mayo 2016	Junio 2016
Precipitación (P) (mm)	35,31	1,67	6,24	62,11	60,71	7,53	116,25	4,20	51,67	134,23	56,94	22,50
Caudal de ingreso (Qsi) (mm)	19,54	0,48	18,64	33,41	96,10	55,54	68,91	39,48	184,79	96,69	89,52	80,24
Evaporación (E) (mm)	135,48	156,41	145,65	130,52	121,93	161,06	135,91	116,39	111,39	125,90	130,59	121,24
Variación de almacenaje (ΔS) (mm)	-80,63	-154,26	-120,76	-35,01	34,88	-97,99	49,25	-72,71	125,07	105,02	15,87	-18,51

Elaboración: El autor

	Disponibilidad
	Déficit

El período de estudio presenta un balance hidrológico anual negativo de 249,78 mm, que representa un déficit de agua, las entradas de agua como la precipitación y el caudal de ingreso aportan con 559,36 mm y con 783,34 mm respectivamente; la evaporación representa la salida de agua con 1592,46 mm, lo que indica que las entradas de agua hacia el sistema son menores que las salidas, siendo la evaporación la variable más influyente. En la figura 4, se muestra la relación entre las variables que intervienen en el balance hidrológico.

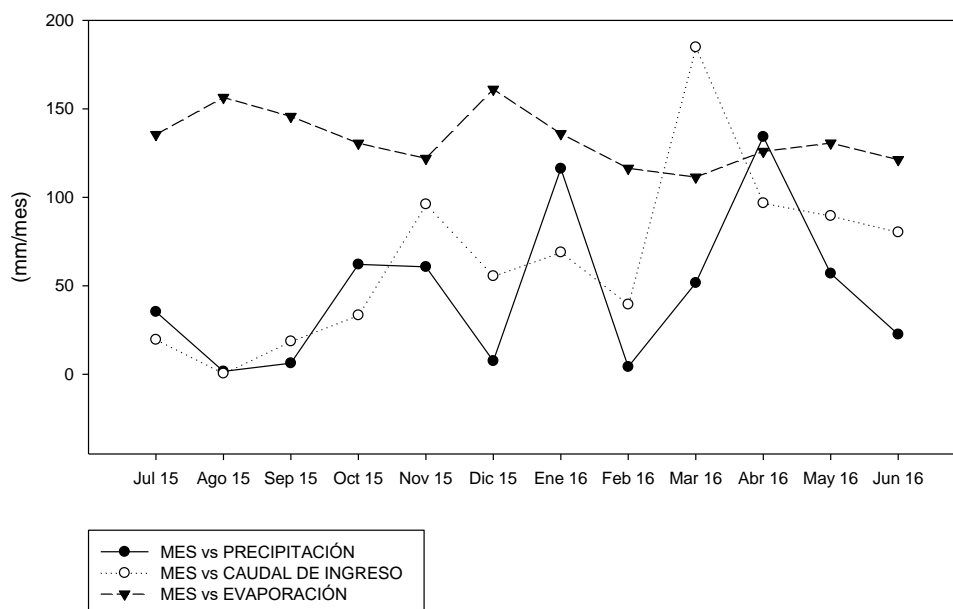


Figura 5. Variables del balance hidrológico del lago Yahuarcocha
Elaboración: El autor

La evaporación representa el 100% de la salida del sistema, el lago Yahuarcocha no presenta salidas de agua debido a su tipología; no existen grandes variaciones mensuales, presenta el nivel más alto en diciembre 2015 con 161,06 mm y el nivel más bajo en marzo 2016 con 111,39 mm, (figura 5). Es mayor que la precipitación durante el período de estudio debido a las características propias de su ubicación, presenta una época seca clara en junio, julio, agosto y septiembre con altas temperaturas y alta radiación solar (Portilla, 2015 y Escaleras 2016).

Existe un aumento importante de la temperatura en meses como diciembre, febrero, marzo y abril, demostrando un incremento en los meses de época seca en el lago Yahuarcocha (INAMHI, 2017), debido a la polimixis no existe estratificación térmica, manteniéndose constante la temperatura del agua, siendo igual o mayor que la temperatura ambiental, en los lagos de Etiopia se obtienen resultados similares, existiendo niveles altos de evaporación y aumentos de temperatura debido al impacto de las actividades antrópicas y al cambio climático (Wetzel, 1981; Scheffer, 2004; Casallas, 2005; Cabrera, 2015).

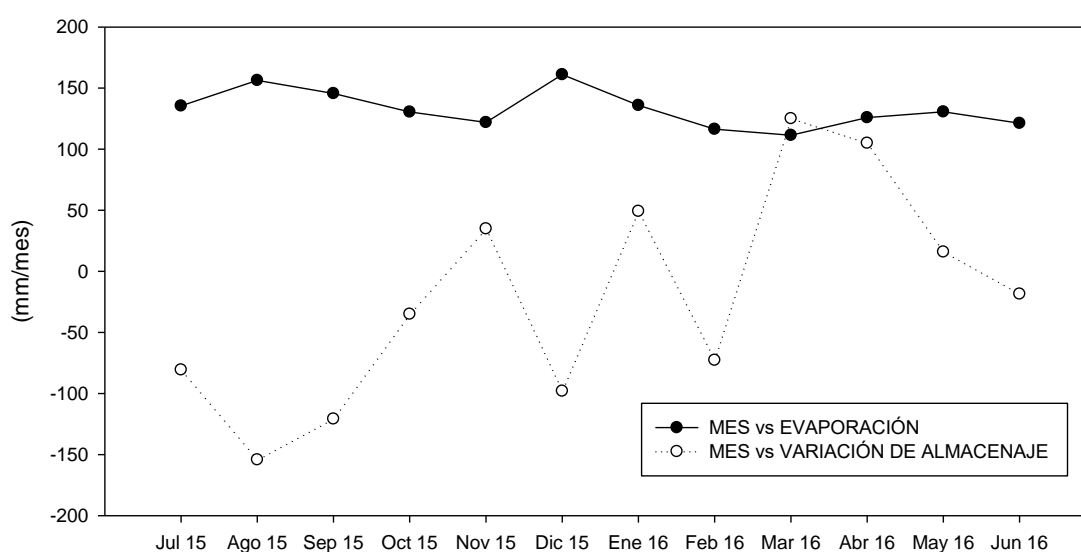


Figura 6. Relación evaporación - variación del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

La precipitación varía constantemente en los meses de estudio, presenta el nivel más alto en abril 2016 con 134,23 mm y el nivel más bajo en agosto 2015 con 1,67 mm; esta variable aporta el 41,66 % de la cantidad de agua que ingresa al sistema, se mantiene menor que la evaporación debido posiblemente al impacto generado por el cambio de uso de suelo y el cambio de la cobertura vegetal constante y prolongado, ocasionando alteración en el ciclo hidrológico natural del lago, resultados similares a los estudios realizados en Etiopia donde las actividades antrópicas condicionan y alteran el ciclo del agua (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011), (figura 6). Se observa también una disminución anual de la precipitación al

comparar con los registros históricos de los últimos 41 años de la ciudad de Ibarra (Portilla, 2015 e INAMHI, 2017).

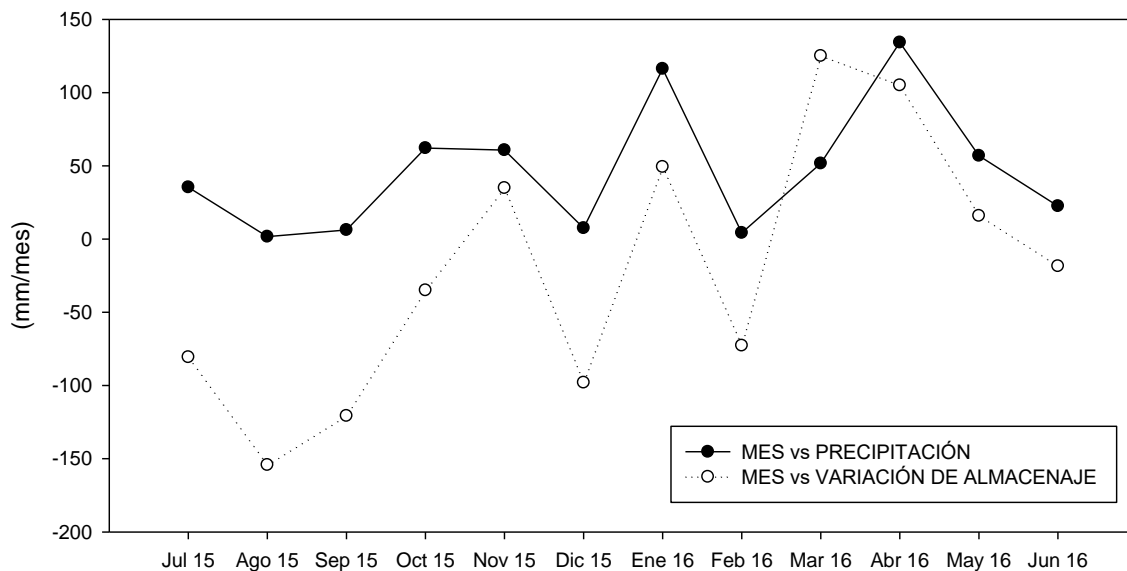


Figura 7. Relación precipitación - variación del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

Las entradas de agua aportan el 58,34 % que ingresa al sistema lacustre, manteniendo el volumen del lago, las afectaciones por el desarrollo de actividades antrópicas alterarían considerablemente el suministro de agua que las entradas brindan, estando la disponibilidad del agua sujeta a las fluctuaciones de caudal, en los lagos de Etiopia se obtuvo resultados similares, las fluctuaciones de caudal determinan cambios en el nivel de los lagos (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011); la información del caudal fue comparada con los registros de la Unidad de Gestión Ambiental del GAD-I que realiza un monitoreo permanente de las entradas del lago, observando una concordancia en los promedios mensuales, (figura 7).

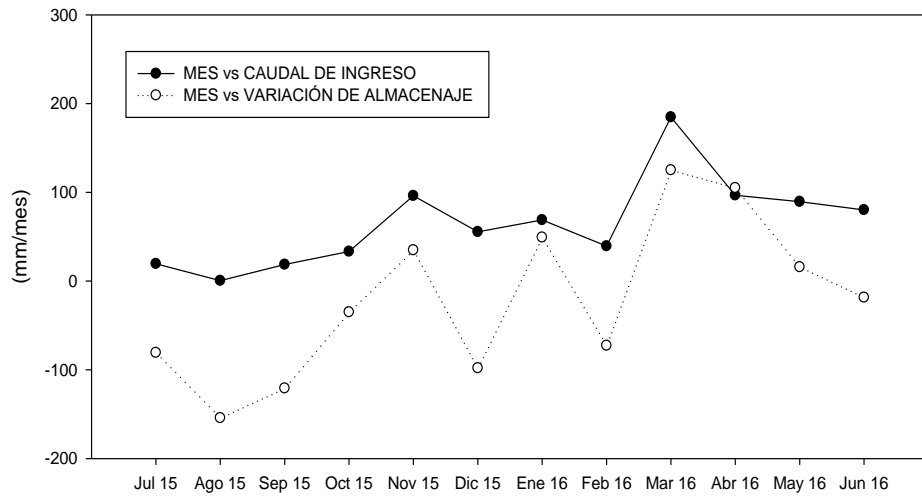


Figura 8. Relación caudal de ingreso - variación del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

El canal del río Tahuando es la principal entrada que constantemente aporta al lago un caudal anual de 599,24 l/s, seguido de la quebrada Polo Golo que aporta con 147,210 l/s, la quebrada Manzano Huayco con 49,92 l/s y la hostería El Totoral con 15,71 l/s, y la entrada que menor caudal aporta es la hacienda Hidrobo con 3,54 l/s al año, ver figura 8.

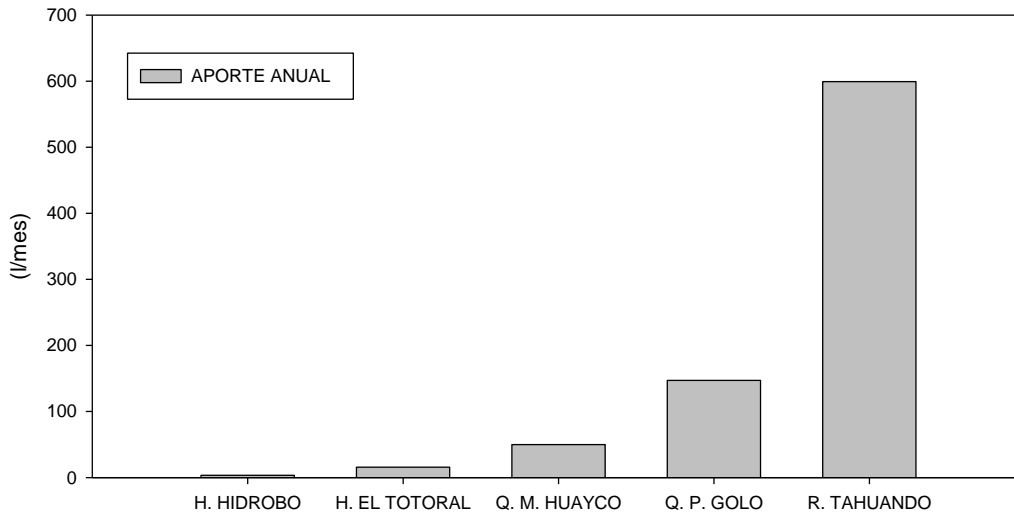


Figura 9. Entradas de agua del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

Existe una variación mensual en el almacenaje de agua a lo largo del periodo de estudio; marzo 2016 presenta el mayor volumen de agua almacenada con 125,07 mm, mostrando la disponibilidad de agua en el lago, debido a las condiciones climáticas favorables y la cantidad de caudal alta de los aportantes permitiendo un balance positivo, agosto 2015 presenta el nivel más bajos con -154,26 mm, siendo negativo el almacenaje de agua, mostrando un déficit o poca disponibilidad de agua, debido a las condiciones climáticas y a las actividades antrópicas que se desarrollan en los aportantes de agua; resultados similares a los lagos de Etiopia donde las condiciones climáticas y las actividades antrópicas condicionan variaciones en el nivel de los lagos y en la disponibilidad de agua almacenada (Deganovsky y Getahun, 2008), (figura 9).

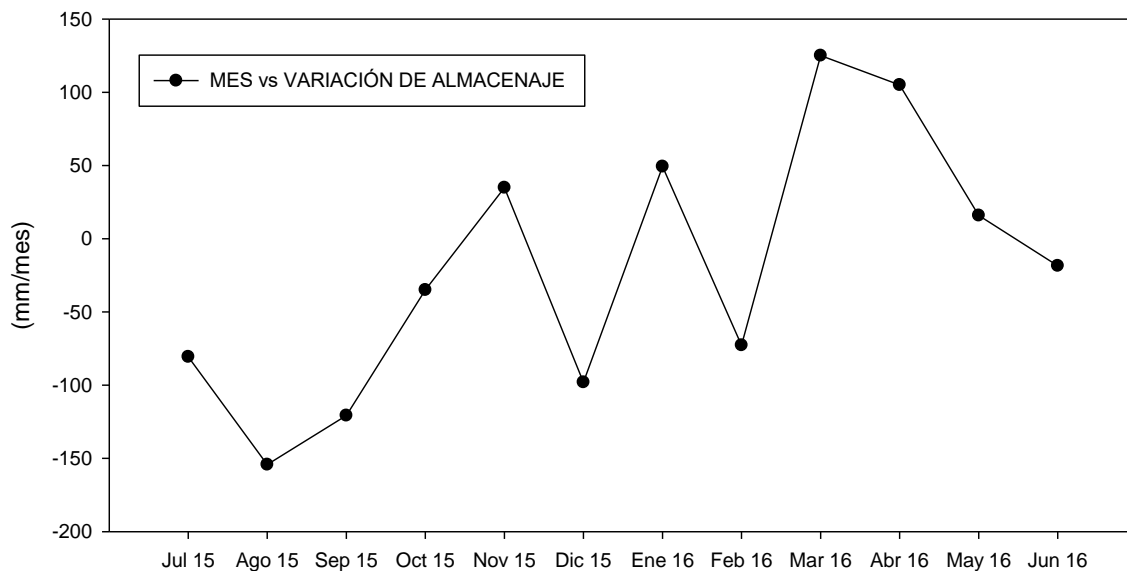


Figura 10. Variación mensual del almacenaje de agua del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

4.3 Estrategias de conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha en base al modelo hidrológico obtenido

Se establecieron dos estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha: la primera en base a criterios de distribución espacial del agua por cotas de profundidad, específicamente a la reducción superficial de las cotas de 0, 1 y 2 m, debido posiblemente a la acumulación de sedimentos en las zonas con estas profundidades; y la segunda en base a criterios de disponibilidad del agua, específicamente a la reducción del caudal de ingreso de agua en las entradas naturales al lago, se enfoca también en la identificación y seguimiento de las quebradas y canales aportantes al lago en el recorrido desde su origen en la cuenca alta hasta la cuenca baja, así como del aprovechamiento por parte de la población.

4.3.1 Control de caudales de la microcuenca del lago Yahuarcocha

Una vez concluido el período de estudio, se elaboró una estrategia de conservación del recurso hídrico mediante el control de caudales de la microcuenca del lago Yahuarcocha, con la finalidad de la recuperación de sus condiciones hidrológicas naturales.

4.3.1.1 Antecedentes

El ciclo hidrológico ha sido afectado por la influencia humana, sumado al efecto del cambio de la cobertura vegetal y el uso del suelo asociado con actividades antrópicas, han tenido una profunda influencia en los procesos hidrológicos en pequeñas cuencas y lagos a nivel regional (Sahagian, 2000). En el Ecuador, este recurso tiene una gran importancia social, cultural, productiva, energética y económica, ocasionando problemas de alteración de los ciclos hidrológicos, ubicación y magnitud de fuentes de agua, hecho que se pudo constatar en la microcuenca del lago Yahuarcocha mediante recorridos realizados para la identificación, georreferenciación y cuantificación del caudal de 19 aportantes de agua en la microcuenca alta y media y la reducción en los puntos de aforo en el lago, donde existen únicamente 5 entradas de agua (Plan de manejo de la Microcuenca del Lago Yahuarcocha, 2012).

4.3.1.2 Objetivo general de la estrategia

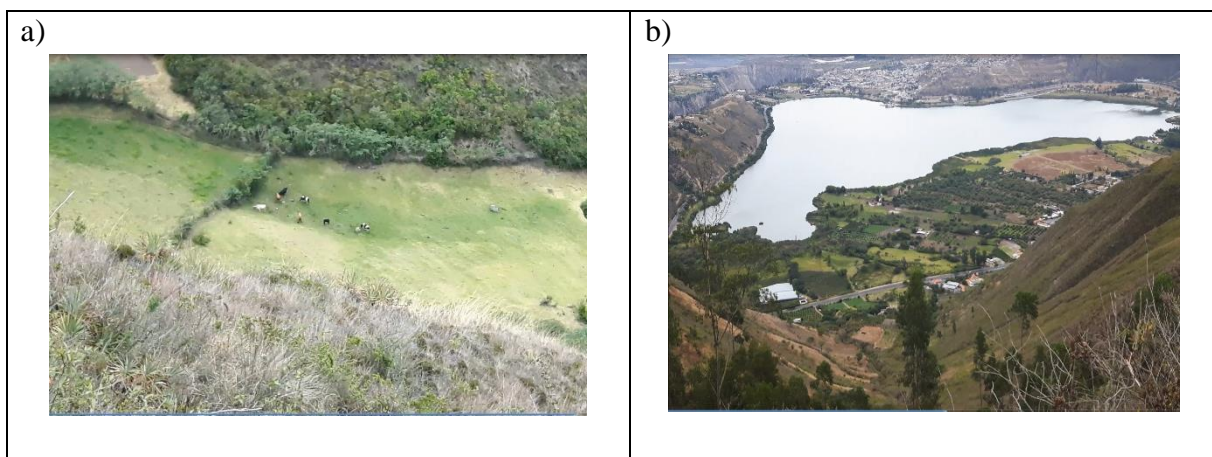
Proponer una estrategia que permita el control y seguimiento del uso del agua en la microcuenca del lago Yahuarcocha, con la finalidad del restablecimiento de sus condiciones hidrológicas naturales.

4.3.1.3 Objetivos específicos de la estrategia

- Identificar el uso y el impacto causado en el recurso hídrico de la microcuenca del lago Yahuarcocha.
- Establecer un protocolo para el control y seguimiento del recurso hídrico de la microcuenca del lago Yahuarcocha.
- Establecer concesiones para el aprovechamiento sostenible del agua en la microcuenca.

4.3.1.4 Problemática del uso de agua

En recorridos realizados por la microcuenca del lago Yahuarcocha se pudo identificar las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan en las distintas partes de la microcuenca, que han alterado el ciclo hidrológico natural. Siendo la principal actividad en la microcuenca baja la agricultura, la ganadería, la expansión de zonas pobladas, el turismo y la recreación; en la microcuenca media se desarrollan la agricultura, la ganadería y el turismo y finalmente en la microcuenca alta se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, (figura 10).



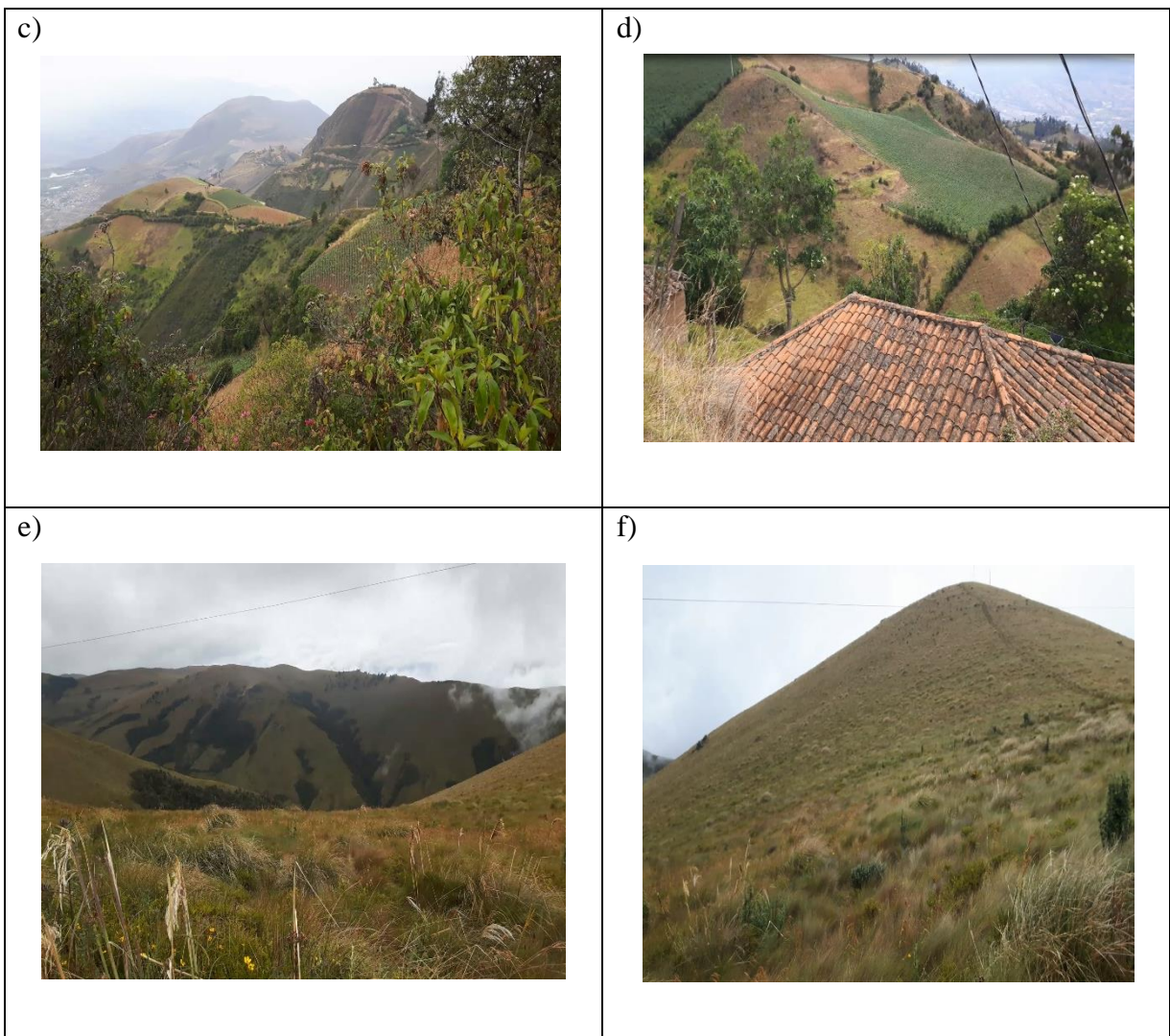


Figura 11. Actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

Fuente: Recorrido microcuenca

- a) Ganadería.
- b) Cambio de uso de suelo en la microcuenca baja.
- c) Cambio de uso de suelo en la microcuenca alta.
- d) Cambio de uso de suelo en la microcuenca media.
- e) Reducción del bosque húmedo en la microcuenca alta.
- f) Reducción de vegetación de páramo.

La carretera Priorato – Yuracruz impide el curso de 13 aportantes, los 6 aportantes restantes cuentan con canales que permiten su curso normal; otro aspecto importante es el aprovechamiento del agua en 7 propiedades privadas de microcuenca baja que captan todo el recurso y minimizan la cantidad de agua que ingresa al lago, hecho evidente según los resultados de esta investigación, (figura 11).

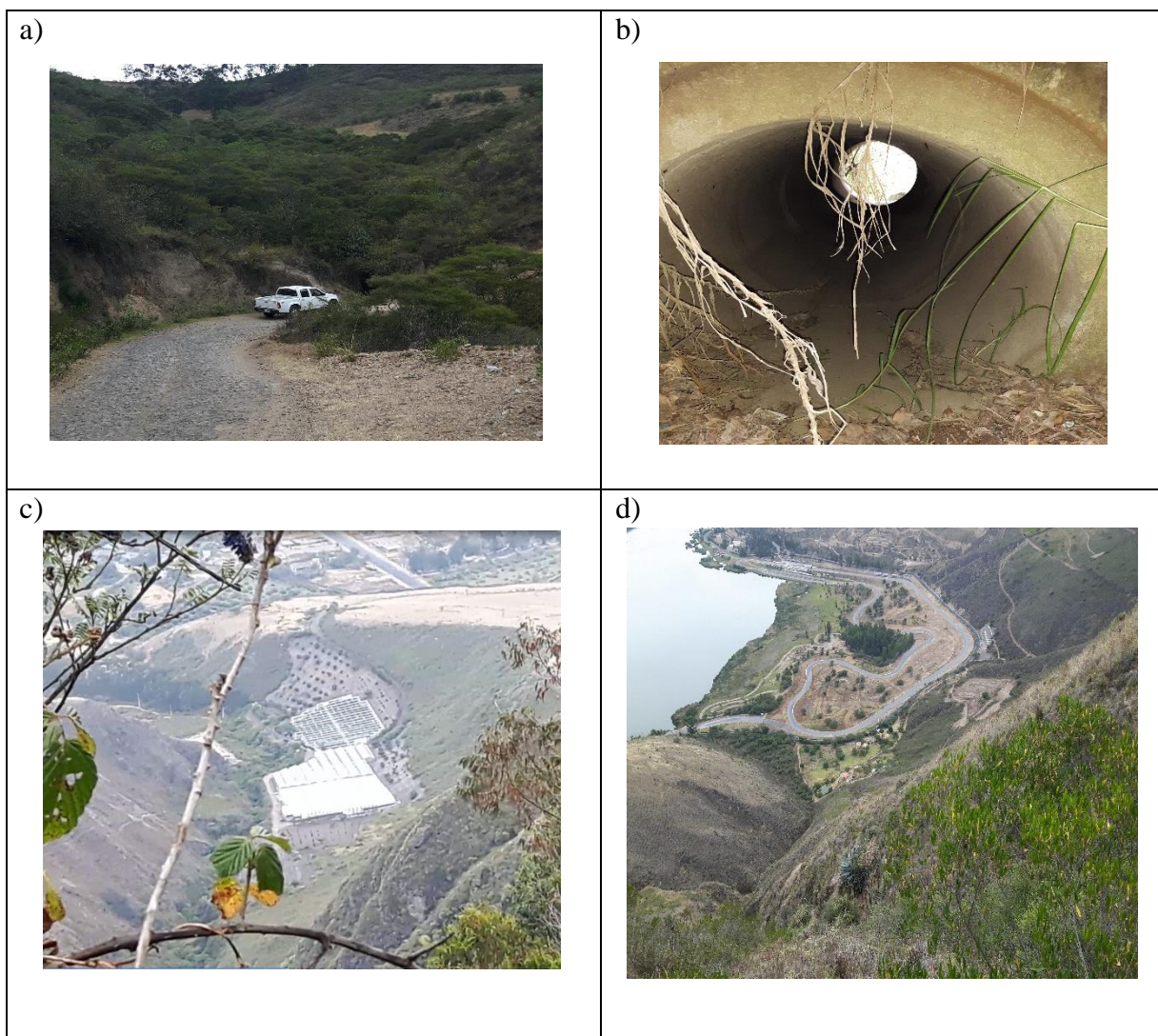


Figura 12. Aprovechamiento del agua en propiedades privadas

Elaboración: El autor

Fuente: Recorrido microcuenca

- a) Aportante de agua seco.
- b) Canal que permite el flujo de agua de un aportante.
- c) Aprovechamiento del agua en una propiedad privada.
- d) Aprovechamiento del agua en una propiedad privada.

4.3.1.5 Identificación de los aportantes de agua

En la figura 12, se puede observar los aportantes de agua existentes en la microcuenca del lago Yahuarcocha.

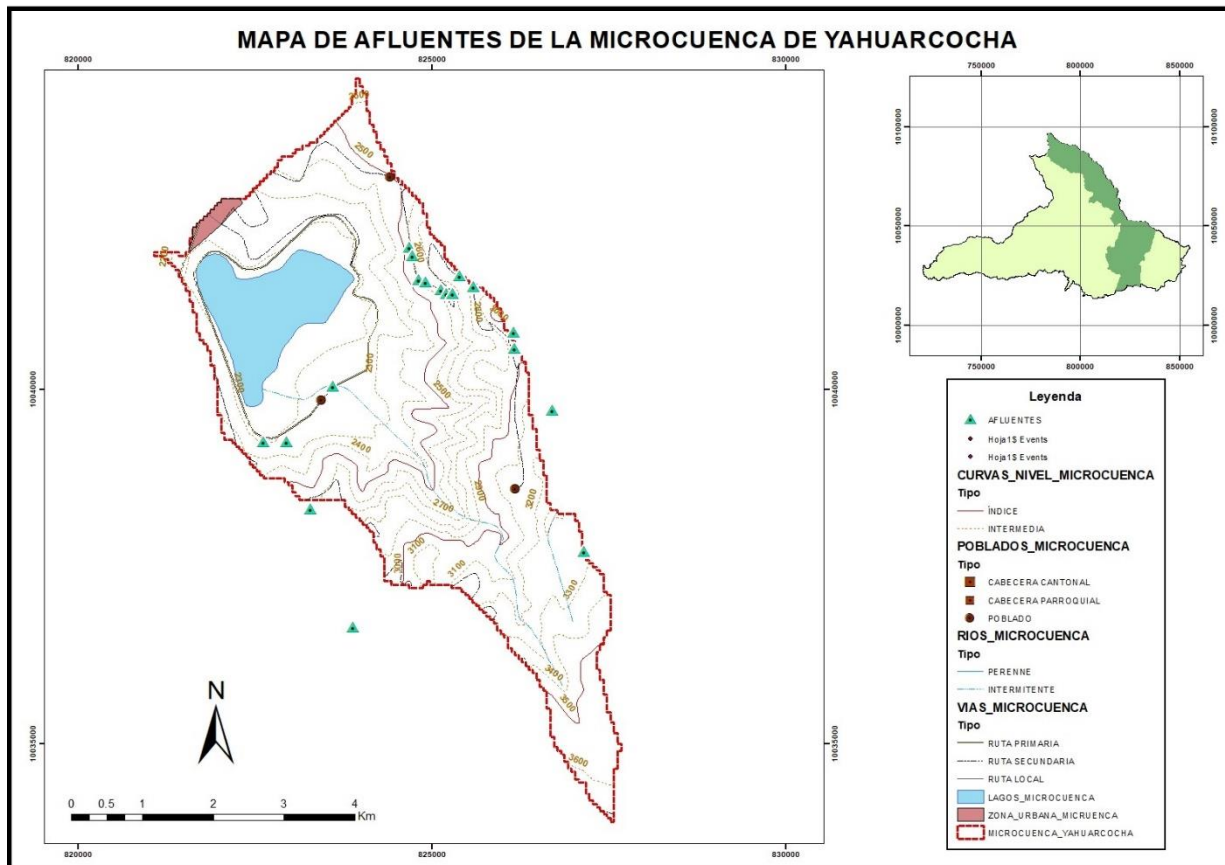


Figura 13. Ubicación de los aportantes de agua en la microcuenca del lago Yahuarcocha

Elaboración: El autor

Fuente: Recorrido microcuenca

4.3.1.6 Principales actores clave

- Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE - Imbabura).
- Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA).
- Unidad de Gestión Ambiental del Gobierno Provincial de Imbabura (UGA - GPI).
- Unidad de Gestión Ambiental Ibarra (UGA - GAD - I).
- Secretaria Nacional de Educación, Ciencia y Tecnología (SENACYT).
- Universidad Técnica del Norte (UTN) y Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra (PUCESI).
- Organizaciones internacionales que promuevan el fortalecimiento de las capacidades locales.
- Población en general.

4.3.1.7 Marco legal ambiental

- Constitución Política de la República del Ecuador.
- Convenio cambio climático.
- Protocolo de Kyoto
- Convenio RAMSAR
- Código Orgánico Integral Penal (COIP)
- Ley de Gestión Ambiental.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- Ley de Aguas.
- Ley de Régimen Municipal.
- Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, Libro VI, Sección I).
- Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental, (TULSMA, Libro VI).
- Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención.
- Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).

4.3.1.8 Matriz de cumplimiento de los objetivos y actividades a desarrollarse

En el cuadro 8, se presenta una matriz en la que se detallan las actividades a desarrollarse y los plazos necesarios para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Cuadro 8. Matriz de actividades y plazos de las estrategias de conservación del lago Yahuarcocha

ESTRATEGIA	ACTIVIDAD	AÑO I				AÑO II			
		1° Trimestre	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre	1° Trimestre	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre
Control de caudales	Delimitación de la cuenca								
	Elaboración de mapas de cobertura vegetal, uso de suelo y producción de agua.								
	Identificación, georreferenciación y delimitación de los aportantes.								
	Medición de caudal en los aportantes agua, en la parte alta, media y baja de la microcuenca.								

	Elaboración de un protocolo para el control y seguimiento de los aportantes de agua.								
	Identificación y caracterización de las zonas de aprovechamiento de agua.								
	Levantamiento de información socioeconómica de la población								
	Establecimiento de concesiones de agua para las distintas actividades antrópicas.								
	Socialización de la estrategia.								
	Monitoreo mensual.								

Elaboración: El auto

4.3.2 Dragado de sedimentos del lago Yahuarcocha

Concluido el periodo de estudio, se elaboró una estrategia de conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha, enfocada en la recuperación de la profundidad y el cuerpo de agua del lago, mediante la zonificación para el dragado técnico de sedimentos.

4.3.2.1 Antecedentes

En el año 2012, en la actualización del Plan de Manejo de la Microcuenca del lago Yahuarcocha, se propone la realización del dragado de sedimentos, para la recuperación de la profundidad del lago, que se ha reducido a un ritmo acelerado debido al ingreso elevado de sedimentos por los afluentes de agua (Portilla, 2015) y a la descomposición de la materia orgánica presente en el lago. En el año 2016, se establecen las zonas, técnica, tipo, operación y mantenimiento para el proceso de dragado, en base a mapas de ubicación de dunas de sedimento ubicados en las zonas de poca profundidad del lago (Cifuentes, 2016). Los resultados obtenidos de la batimetría realizada en el año 2016 en el presente estudio determinan la disminución superficial de las cotas de profundidad de 0, 1 y 2 metros, debido a la disposición de sedimentos en las zonas poco profundas del lago.

4.3.2.2 Objetivo general de la estrategia

Establecer zonas para el dragado técnico de sedimentos del lago Yahuarcocha.

4.3.2.3 Objetivos específicos de la estrategia

- Establecer un protocolo para el muestreo mensual de sedimentos en los afluentes y el espejo de agua del lago.
- Identificar las zonas en las que se debe realizar el dragado de sedimentos.
- Proporcionar una guía que permita a las entidades gubernamentales la gestión y manejo adecuados de los recursos naturales.

4.3.2.4 Principales actores clave

- Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE - Imbabura).
- Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA).

- Unidad de Gestión Ambiental del Gobierno Provincial de Imbabura (UGA - GPI).
- Unidad de Gestión Ambiental Ibarra (UGA - GAD - I).
- Secretaria Nacional de Educación, Ciencia y Tecnología (SENECYT).
- Universidad Técnica del Norte (UTN) y Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra (PUCESI).
- Organizaciones internacionales que promuevan el fortalecimiento de las capacidades locales.
- Población en general.

4.3.2.5 Marco legal ambiental

- Constitución Política de la República del Ecuador.
- Convenio cambio climático.
- Protocolo de Kyoto
- Convenio RAMSAR
- Código Orgánico Integral Penal (COIP)
- Ley de Gestión Ambiental.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- Ley de Aguas.
- Ley de Régimen Municipal.
- Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, Libro VI, Sección I).
- Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental, (TULSMA, Libro VI).
- Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención.
- Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).

4.3.2.6 Matriz de cumplimiento de los objetivos y actividades a desarrollarse

En el cuadro 9, se presenta una matriz en la que se detallan las actividades a desarrollarse y los plazos necesarios para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Cuadro 9. Matriz de actividades y plazos de las estrategias de conservación del lago Yahuarcocha.

ESTRATEGIA	ACTIVIDAD	AÑO I				AÑO II			
		1° Trimestre	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre	1° Trimestre	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre
Dragado de sedimentos	Establecer un protocolo para el muestreo de sedimentos en los afluentes y el espejo de agua del lago.								
	Socialización de la estrategia.								
	Establecer las zonas para el dragado.								
	Levantamiento batimétrico en las zonas de dragado								
	Caracterización del material a dragar								

	Selección de la técnica de dragado.								
	Selección de la zona para el vertido del material dragado.								
	Proceso de dragado.								
	Mantenimiento, control y seguimiento de la draga.								
	Monitoreo mensual.								

Elaboración: El auto

4.3.2.7 Zonificación de los lugares para el dragado de sedimentos

En la figura 13, se muestran las zonas propuestas para el dragado, en base al mapa batimétrico obtenido en el presente estudio. Las elipses de color rojo muestran las zonas en las que las cotas de profundidad de 0, 1 y 2 metros han reducido su superficie y los círculos de color negro muestran las zonas en las que existen dunas de sedimentos identificadas por Cifuentes en el año 2016.

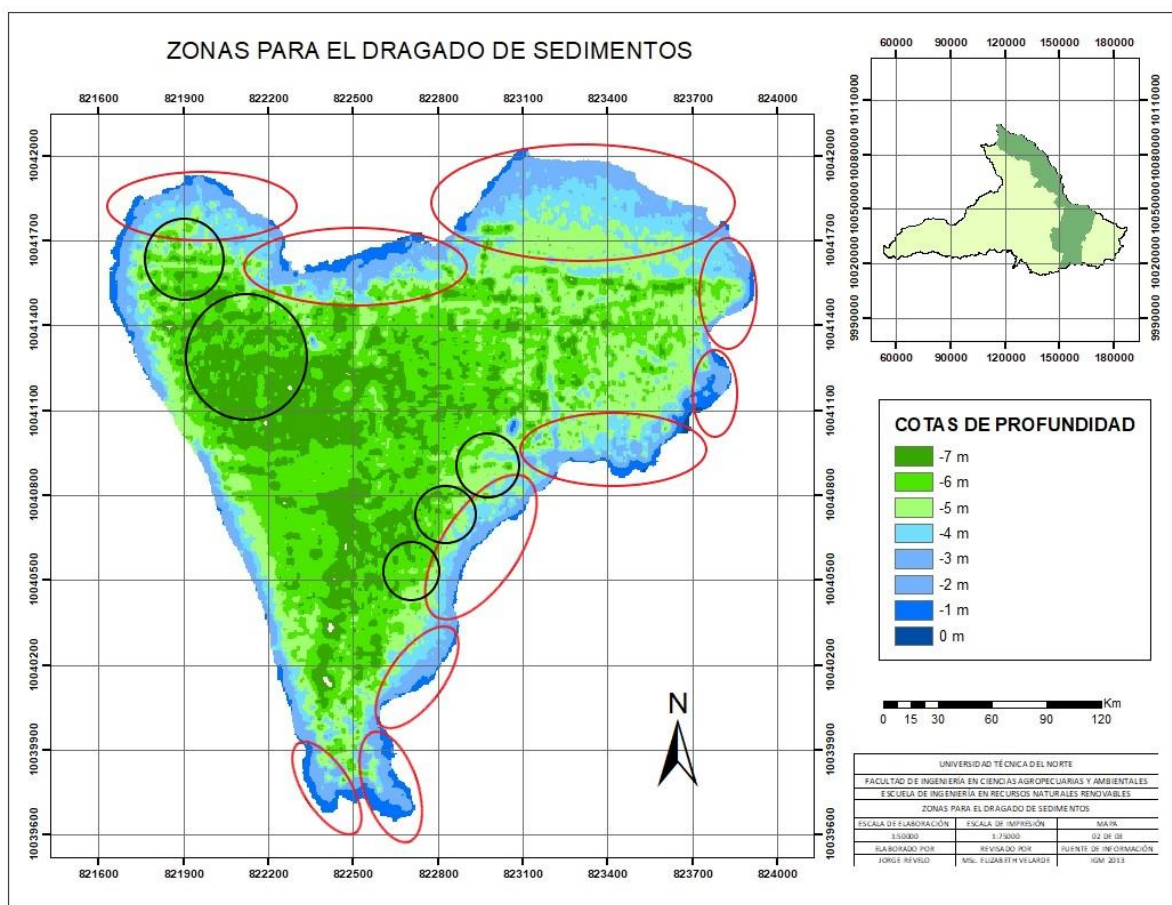


Figura 14. Zonas para el dragado de sedimentos
Elaboración: El autor

4.3.2.8 Técnica a utilizarse

Se propone el uso de una draga estacionaria de succión, ya que realizan el dragado ancladas en un punto, sin desplazarse mientras se produce la succión, las dragas de succión estacionarias no incorporan cántara, y el transporte del material dragado se realiza mediante gánguiles auxiliares, o a través de tuberías hacia la zona de extracción. El tipo de material dragado depende de la capacidad de la bomba de succión y puede dragar productos sueltos no cohesivos hasta arenas de grano medio. La profundidad mínima de operación de estas dragas es de 3 m alcanzando profundidades de hasta 50 m.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta las conclusiones finales de la investigación realizada y de igual manera se exponen recomendaciones que podrían ayudar a futuros investigadores en este parámetro.

5.1 Conclusiones

- El lago Yahuarcocha tiene una cubeta lacustre con un perfil regular, presenta una caída rápida en la profundidad de su orilla y un fondo relativamente plano, concentrándose la mayor distribución espacial del agua en las cotas de profundidad intermedia (3, 4 y 5 m).
- La variación en el volumen de agua en una cota de profundidad representa una variación considerable ($0,40 \text{ m}^3/\text{m}^2$) en las demás cotas de profundidad, debido a la pequeña superficie del lago.
- Las variación superficial y volumétrica que presenta el lago Yahuarcocha en relación a estudios anteriores se debe a la remoción de material vegetal y sedimentario de las orillas del lago y al aumento del caudal total de agua que ingreso, duplicándose respecto a registros de años anteriores (67,4 l/s – 132,1 l/s).
- La evaporación es la variable más influyente en el sistema, mantiene negativo el balance hidrológico anual y para que este varié o se convierta en positivo, debe producirse una alteración prolongada y constante de las condiciones meteorológicas y abióticas de la microcuenca del lago Yahuarcocha.
- La precipitación es la variable que más se ha visto afectada por el desarrollo de actividades antrópicas en la microcuenca del lago Yahuarcocha, que han provocado una clara alteración en su ciclo hidrológico, observando una reducción en el promedio anual comparando con registros de años anteriores.
- El caudal de ingreso de agua hacia el lago es la variable que mantiene el equilibrio en la variación mensual del almacenaje de agua del lago, el canal del río Tahuando es la entrada de agua que mayor caudal aporta al sistema, no es una entrada de agua natural

por lo que se debe enfatizar en su manejo adecuado, ya que contribuye significativamente al mantenimiento hidrológico del lago Yahuarcocha.

- La disponibilidad de agua del lago Yahuarcocha se relaciona con la presión que ejercen las actividades antrópicas sobre el recurso hídrico, por lo que es necesario tomar acciones que permitan la gestión y manejo de este recurso, ante posibles alteraciones del ciclo hidrológico.
- Las estrategias que se proponen con la finalidad de la recuperación de las condiciones hidrológicas del lago Yahuarcocha sirven como una guía en la que se proporciona las actividades necesarias a ejecutarse por parte de las entidades competentes para el manejo integral de los recursos naturales con un enfoque de cuenca hidrográfica.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios batimétricos anuales, para determinar la variación del nivel del agua y la distribución espacial de los sedimentos.
- Analizar la composición química de los sedimentos, para evitar la liberación de los mismos y minimizar el riesgo de contaminación del lago.
- Instalar estaciones meteorológicas en la parte alta, media y baja de la microcuenca para el desarrollo de modelos hidrológicos anuales de la microcuenca del lago Yahuarcocha.
- Se deben establecer zonas de conservación en la orilla del lago, limitando así el impacto directo de las actividades antrópicas que se desarrollan.
- Establecer una zonificación en la microcuenca en base a criterios de pendiente del terreno, tipo de suelo y tipo de cobertura vegetal, que permitan la conservación del recurso hídrico, el desarrollo normal de los ciclos hidrológicos; haciendo énfasis en la zona de producción de agua donde se ha observado la disminución de esta y el desarrollo de actividades económicas por parte de la población.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Cabrera, S. (2015). *Análisis temporal y espacial de comunidades zooplanctónicas en los lagos andinos: Yahuarcocha y Mojanda*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Caicedo, F. (2016). *Evaluation of population dynamics of phytoplankton in relation to the physico-chemical*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Casallas, J. y Gunkel, G. (2002). *Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el Lago San Pablo*, Ecuador. *Limnética* 20(2), pág 215-232.
- Castillo, C., Ortega, N. (2009). *Modelización hidrológica de microcuencas de montaña usando el modelo hidrológico swat*. Cuenca. Ecuador.
- Chow V., Maidment D. y Mays L. (1959). *Hidrología Aplicada*. Colombia.
- Cifuentes, F., (2016). *Evaluación del contenido de materia orgánica en los sedimentos del lago Yahuarcocha y propuesta de recuperación ecológica*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Constitución Política del Ecuador. Registro oficial 449, octubre, 20, 2008.
- Cooke, D., Welch, E., Peterson, S., y Nichols, S. (2005). *Restoration and management of lakes and reservoirs*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- De Bievre, B. y Coello X., (2008). *Caracterización de la Oferta Hídrica. Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito*. Ecuador.
- Deganovsky, P. y Getahun, A. (2008). *Water balance and level regime of Ethiopian lakes as integral indicators of climate change*. Ethiopia
- DOCE. (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. España.
- Dueñas, C., (1997). *Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones, la protección civil ante el riesgo de inundaciones*, Cámara del Senado. Madrid.
- Escaleras, H. (2016). *Determinación de la calidad del agua usando macro invertebrados bentónicos como bioindicadores en el lago Yahuarcocha*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, ETAPA. (2010). *Batimetría de las lagunas de aireación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba*. Ecuador.

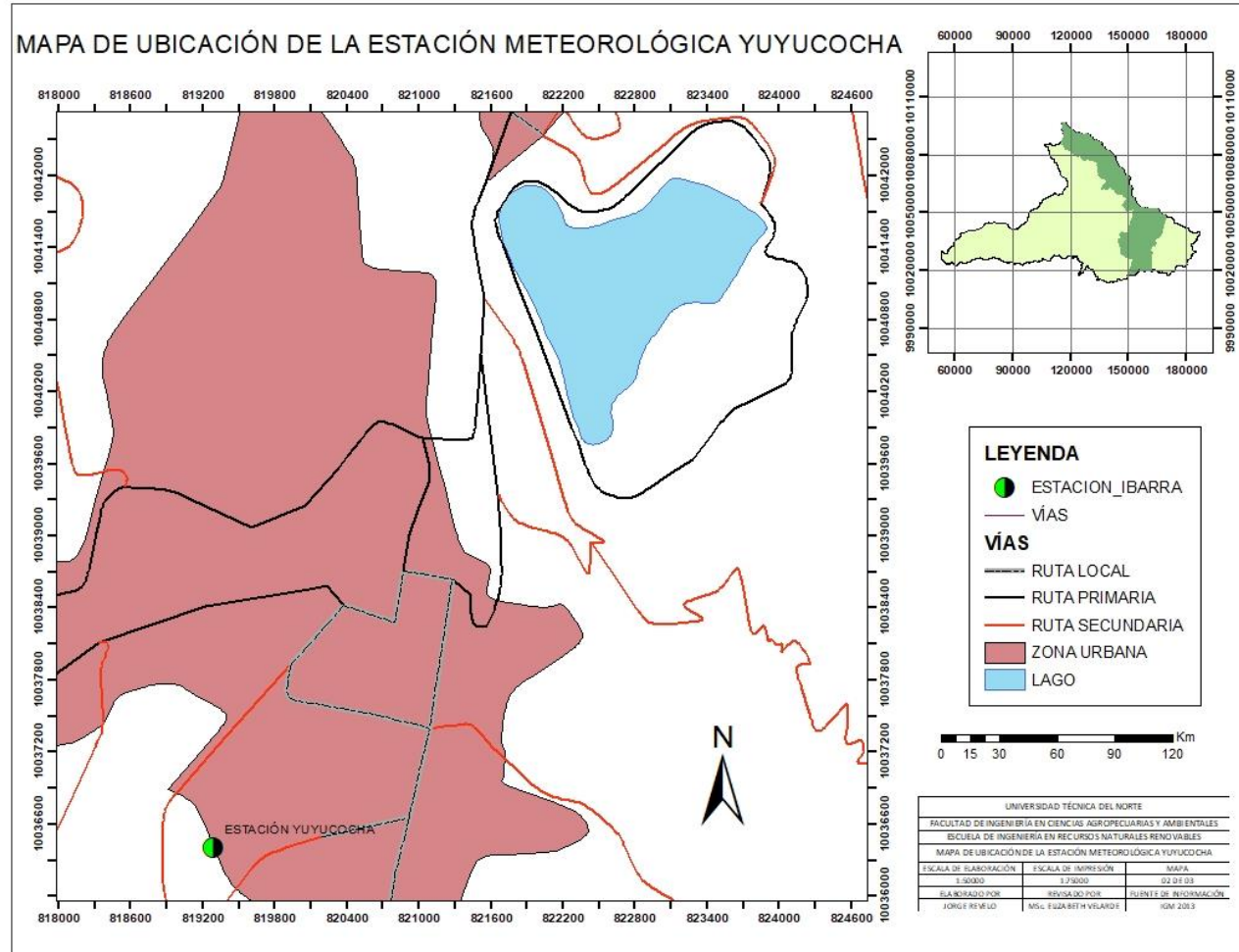
- Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, ETAPA. (2010). *Estudios limnológicos en la laguna La Toreadora*. Ecuador.
- Farjas, J., (2009). *Levantamientos batimétricos en embalses artificiales*. España.
- García del Jalon, D. (1987). *River Regulation in Spain. Regulated Rivers. Research and Management*. 4(1): 343-348. Colombia.
- González, E., Ortaz, M., Matos, M., Mendoza, J., Peñaherrera, C. y Carillo, V. (2002). *Zooplankton de dos embalses neotropicales con distintos estados tróficos*. Colombia.
- Grande, N., Arrojo, P., y Martínez, J. (2001). *Una cita europea con la nueva cultura del agua*. Portugal.
- Gupta, H., Sorooshian, S. y Yapo, P. (1998). *Toward improved calibration of hydrologic models: multiple and non commensurable measures of information, Water Resour.*
- Herbich, J. (1992). *Manual de ingeniería del dragado*. Colombia.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI. (2014). *Estacion meteorológica Ibarra-Aeropuerto*. Ibarra.
- Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, INERHI. (1992). *Levantamiento Batimétrico*. Quito.
- Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, (2005). *Groundwater recharge, circulation and geochemical evolution in the source region of The Blue Nile River*. Ethiopia.
- Lamb, Bates, Coombes y Marshall, (2011). *Water balance of lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall*. Ethiopia.
- Lampert Winfried, U. S. (2007). *Limnology Second Edition The Ecology in Lakes and Streams*. New York: Oxford University.
- Ludueña, A. y Rojas, S. (2014). *Diferencia de las características físico químicas y biológicas de 2 lagunas en el Parque Nacional El Cajas*. Ecuador.
- Maidment, J. (1993). *Handbook of Hydrology*. United States.
- Mandonx, T. (2014). *Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes Yahuarcocha y Mojanda*. Bélgica: Universidad Católica de Lovaina
- Martínez, A. (2011). *Procesos de manejo y gestión del Parque Nacional El Cajas*. Ecuador.
- Mendoza, M. (2002). *Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no instrumentadas*. México.

- Morales, M. (2008). *Caracterización cualitativa del zooplancton del Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC), Océano Pacífico de Costa Rica*. Revista Biología Tropical.
- Morton, J. (1977). *Ecological Effects of Dredged and Dredge Spoil Disposal*. Washington.
- Novo, M. (1999). *Los desafíos ambientales. Reflexiones y propuestas para un futuro sostenible*. 93-140.
- O'Sullivan, P. (2005). *The Lakes Handbook: Lake Restoration and Rehabilitation, Volume 2*. En C. R. P.E. O'Sullivan, *The Lakes Handbook* 246 (págs. 246,-). Australia.
- Pabón, G., Reascos, D., Yépez, L., Oña, T., Velarde, E., Vásquez, L. y Molina P. (2012). *Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha*, Provincia de Imbabura. Reporte Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- Pabon, J. (2015). *Distribución y evaluación de la vegetación macrofítica en el lago de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Pacheco, M. R. M. (2011). *Modelación hidrológica con Hec-Hms en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba*. Cuba: D - Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE.
- Peñañiel, A., (1996). *Operaciones de sondeo para los levantamientos batimétricos*. España.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, provincia Imbabura*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Recalde, Y. (2015). *Modelación cartográfica e hidrológica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba, mediante el uso de sistemas de información geográfica*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Refsgaard, J. (1996). *Terminology, modeling protocol and classification of hydrological models*, En: *Distributed Hydrological Modelling, Science and Technology library*, 4754.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical (Primera ed.)*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- D. Sahagian and S. Zerbini, *Global and Regional Sea-Level Changes and the Hydrological Cycle*, Eos, 81, 364, 2000
- Scheffer, M. (2004). *Ecology of shallow lakes*. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*.

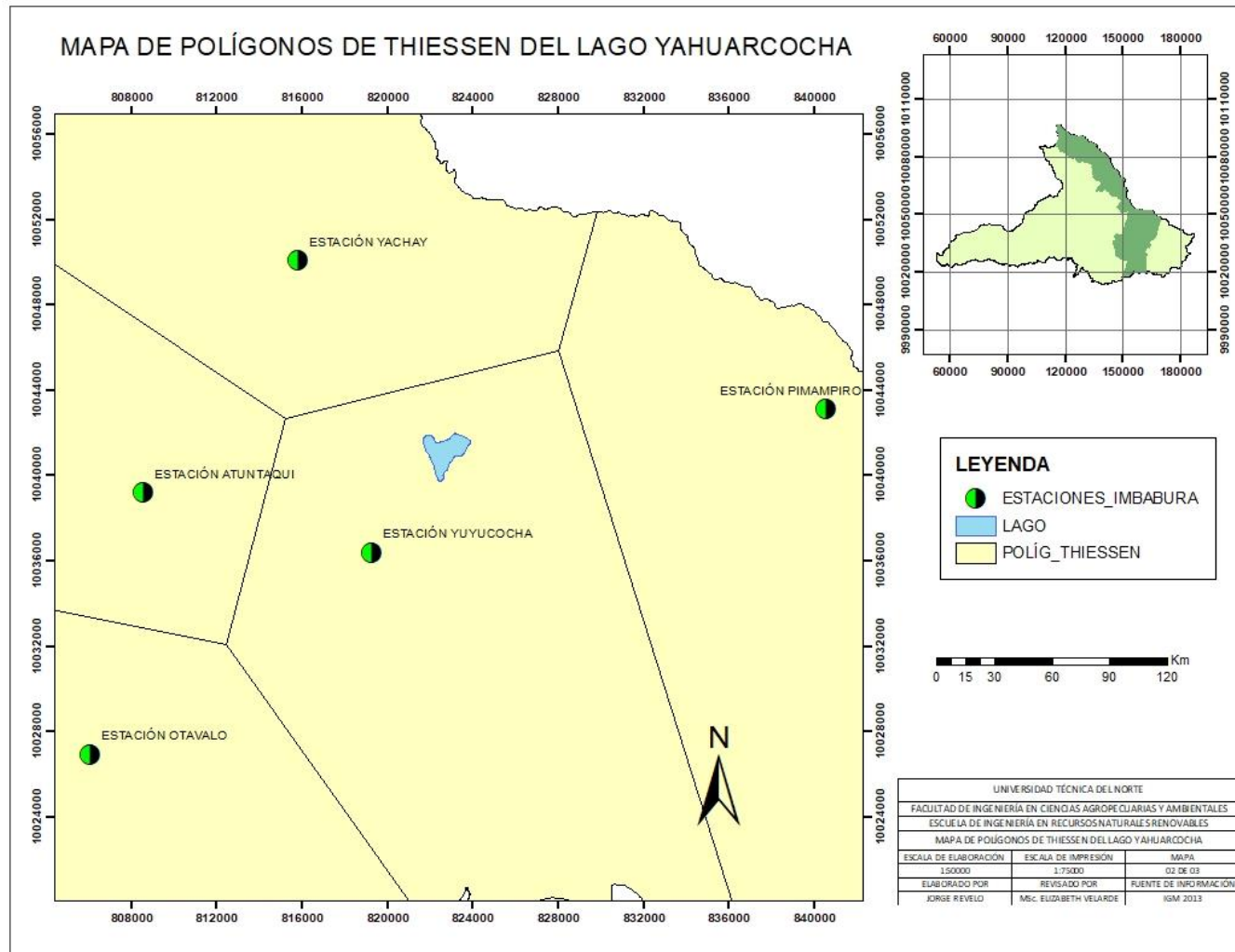
- Sorooshian, S. y Gupta V. (1995). *Model Calibration, In: Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications.* 23-68.
- Steinitz , M. (1979). *Comparative limnology of Ecuadorian Lake. A study of species number and composition of plankton communities of the Galapagos Islands and the Ecuadorian Andes.* Ohio, Estados Unidos.
- Swenson, E. y Wahr, T. (2013). *Monitoring the water balance of lake Victoria.* Ethiopia.
- Vidal-Abarca, R. (2005). *La Limnología, una ciencia de síntesis: Conceptos y Breve historia de la Limnología.* Barcelona, España.
- Vilatuña, H. (2001). *Levantamiento Batimetrico de la Laguna de Yahuarcocha.* Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Vizcaíno, D. (2013). *Situación ambiental de los principales lagos y lagunas de la provincia de Imbabura.* Ecuador.
- Yepez, L. (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.* Ibarra, Imbabura, Ecuador: Universidad Técnica del Norte
- Wetzel, R., y Likens, G. (2000). *Limnological analysis* (Tercera ed.). New York, USA: Springer-Verlag New York. doi:10.1007/978-1-4757-3250-4
- Wetzel, R. (1984). *Detrital dissolved and particulate organic carbon functions in aquatic ecosystems.* BULLETIN OF MARINE SCIENCE, 503-509.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems (Tercera ed.).* San Diego, USA: ACADEMIC PRESS.
- Xungang, Y. y Sharon, E. (1998) *The water balance of Lake Victoria. Hydrological Sciences Journal.* Ethiopia.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de la estación meteorológica Yuyucocha.



Anexo 2. Polígonos de Thiessen



Anexo 3. Datos meteorológicos de la estación Yuyucocha

MES	PRECIPITACIÓN-SUMATORIA (mm)	EVAPORACION-SUMATORIA (mm)
jul-15	33,9	130,06
ago-15	1,6	150,15
sep-15	5,8	139,82
oct-15	57,7	125,30
nov-15	56,4	117,05
dic-15	7	154,62
ene-16	108	130,47
feb-16	3,9	111,73
mar-16	48	106,93
abr-16	124,7	120,86
may-16	52,9	125,37
jun-16	20,9	116,39

Anexo 4. Datos de evaporación utilizados en el lago Yahuarcocha

MES	IBARRA (2228msnm)	SAN GABRIEL (2860msnm)	OTAVALO (2550msnm)	YACHAY (1955msnm)	LAGO (2207msnm)	R CUADRADO
jul-15	118,69	72,20	78,10	168,49	130,06	0,90
ago-15	140,64	60,80	94,50	193,50	150,15	0,98
sep-15	153,92	83,70	82,70	161,60	139,82	0,84
oct-15	120,26	75,80	70,90	159,40	125,30	0,85
nov-15	106,30	95,80	108,80	131,60	117,05	0,78
dic-15	136,51	99,50	72,50	211,10	154,62	0,71
ene-16	143,67	131,30	83,19	141,10	130,47	0,17
feb-16	112,58	80,10	83,49	127,80	111,73	0,92
mar-16	106,94	83,50	83,80	120,20	106,93	0,90
abr-16	103,02	101,00	84,10	152,40	120,86	0,55
may-16	106,80	93,00	84,40	161,20	125,37	0,69
jun-16	101,00	74,10	84,71	147,10	116,39	0,86

Anexo 5. Registros de caudal del lago Yahuarcocha (GAD - I)

ENTRADA	Predio Miguel Hidrobo 1	Predio Miguel Hidrobo 2	Predio Miguel Hidrobo 3	Rancho Totoral	Quebrada Manzano Huayco	Quebrada Polo Golo	El 15 ingreso Laguna
FECHA							
1/7/2015	0	0	0	4,05	0	0	18,72
9/7/2015	0	0	1	2,24	0	0	18,72
15/7/2015	0	0	0	1,4	0	0	0
21/7/2015	0	0	0	1,45	1	2,16	50,4
27/7/2015	1,5	0	0	0,7	0	0	0
2/8/2015	1,5	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	0,75	0	1,05	3,5	0	0	34,65
25/9/2015	0	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	0	0	0	0,28	12,88	0	112,88
6/10/2015	0	0	0	0,17	0	0	0
16/10/2015	0	0	0	0,17	0	0	0
23/10/2015	0	0	0	2,8	10	16,8	15,6
30/10/2015	0	0	0	0,16	0	0	0
5/11/2015	0	0	0	0,3	12,6	0	62,4
13/11/2015	0	0	0	0,29	0	0	85,12
20/11/2015	0	0	0	0,29	0	0	95,04
27/11/2015	1,2	1,08	0,07	1,2	0	14	128,44
4/11/2015	0,8	0,81	0,21	0,28	3,15	0	17,76
11/12/2015	1,2	1,08	0,07	1,2	2,8	0	98
18/12/2015	0,4	0,48	0	1,2	0	0	0
21/12/2015	0,4	0,24	0	0,3	3,12	3,6	98

6/1/2016	0,4	0,24	0	0,3	2	0	0
11/1/2016	0,4	0,24	0	0,6	0	0	190,4
22/1/2016	0,34	0,78	0	1,68	0	0	5,04
26/1/2016	0,56	0,72	0	2,1	15,4	4,69	63,7
5/2/2016	0,56	0,72	0	2,1	15,4	4,69	63,7
12/2/2016	0	0	0	0	31,2	0	0
15/2/2016	0	0	0	0	0	16,8	3,2
22/2/2016	0	0	0	0,25	12	11,2	3,5
4/3/2016	0,13	0,2	0,07	4,32	1,2	74,8	135
10/3/2016	0,13	0,2	0,07	4,32	1,2	113,4	156
16/3/2016	0,6	0,57	0	0	6,5	15,3	204,75
21/3/2016	0,6	0,57	0	0	0	4	82,5
28/3/2016	0,84	0,4	0	2,1	0	13,75	141,75
5/4/2016	0,8	0,36	0	2,8	0	13,75	78
12/4/2016	0,8	0,36	0	2,8	44,1	2,4	22,5
18/4/2016	0,8	0,36	0	2,1	17,6	38,64	66
22/4/2016	0,8	0,36	0	2,1	0	15,75	107,25
29/4/2016	0,8	0,36	0	2,1	17,6	0	66
5/5/2016	0,8	0,36	0	2,1	0	110,5	11,25
11/5/2016	0,8	0,36	0	2,1	4,05	24,78	36
19/5/2016	0,8	0,36	0	2,1	0	60	18
24/5/2016	0,8	0,36	0	2,1	0	37,5	60,75
1/6/2016	0,8	0,36	0	2,1	0	0	67,5
8/6/2016	0,8	0,36	0	1,4	5,4	22,68	67,5
14/6/2016	0,8	0,36	0	1,4	0	24,36	67,5
21/6/2016	0,8	0,36	0	1,4	2,8	4,8	63,75

Anexo 6. Datos de caudal

Mes	Caudal (l/s)
jul-15	20,4
ago-15	0,5
sep-15	19,4
oct-15	34,8
nov-15	100,1
dic-15	57,9
ene-16	71,8
feb-16	41,1
mar-16	192,5
abr-16	100,7
may-16	93,3
jun-16	83,6

Anexo 7. Mapa de ubicación de los afluentes del lago Yahuarcocha

