



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN
CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA
LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO**

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

AUTORAS:

**MAYNAGUEZ LLORÉ ERIKA FERNANDA
TUMBACO BENÍTEZ EVELYN KATHERINE**

DIRECTORA:

ING. DELIA ELIZABETH VELARDE CRUZ MSc

FEBRERO- 2019



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

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN
CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA
LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO”

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

INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Elizabeth Velarde MSc
DIRECTORA

.....
FIRMA

Ing. Melissa Layana MSc
ASESORA

.....
FIRMA

Ing. Oscar Rosales MSc
ASESOR

.....
FIRMA

Ing. Gabriel Jácome MSc
ASESOR

.....
FIRMA

IBARRA-ECUADOR FEBRERO-2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	100338059-7	
APELLIDOS Y NOMBRES	Maynaguez Lloré Erika Fernanda	
DIRECCIÓN:	La Aduana- Ibarra. Imbabura	
EMAIL:	fernandamay042014@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0999284569

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	172447437-2	
APELLIDOS Y NOMBRES	Tumbaco Benítez Evelyn Katherine	
DIRECCIÓN:	Cayambe-Pichincha	
EMAIL:	evekat1993@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0992977900

DATOS DE LA OBRA		
------------------	--	--

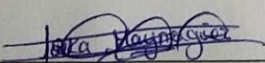
	LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO
AUTORAS:	Maynaguez Lloré Erika Fernanda Tumbaco Benítez Evelyn Katherine
FECHA:	28 de febrero del 2019
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Delia Elizabeth Velarde Cruz. MSc


2. CONSTANCIA

Las autoras manifiestan 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 son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de febrero del 2019

LAS AUTORAS


Maynaguez LLoré Erika Fernanda


Tumbaco Benítez Evelyn Katherine



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotras, ERIKA FERNANDA MAYNAGUEZ LLORÉ, con cédula de identidad Nro. 1003380597 y EVELYN KATHERINE TUMBACO BENÍTEZ, con cédula de identidad Nro. 1724474372, manifestamos la 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 autoras de la obra o trabajo de grado denominado: “ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 26 días de febrero del 2019

Maynaguez Lloré Erika Fernanda

C.I. 100338059-7

Tumbaco Benítez Evelyn Katherine

C.I. 172447437-2

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA – UTN

Fecha: Ibarra, a los 26 días del mes de febrero del 2019

ERIKA FERNANDA MAYNAGUEZ LLORÉ

EVELYN KATHERINE TUMBACO BENÍTEZ

“ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO”

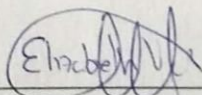
TRABAJO DE GRADO

Ingenieras en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales. Ibarra. **Febrero 2019. 162 pp.**

DIRECTORA: *MSc. Delia Elizabeth Velarde Cruz.*

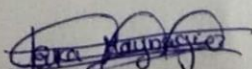
Los lagos altoandinos son fuentes importantes de agua y son considerados ecosistemas frágiles debido a la diversidad de plantas y animales endémicos que poseen. La Laguna Huarmicocha se califica como un cuerpo de agua oligotrófico de alta montaña y de acuerdo con el balance hídrico presenta un déficit en la variación de almacenamiento hídrico de -100,41 l/s en época seca y -203,54 l/s en época de lluvia., además indica un déficit semestral de -303.96 l/s en la capacidad de almacenamiento. Es importante aplicar estrategias que permitan recuperar las condiciones ecológicas de este ecosistema acuático.

DIRECTORA DE TESIS

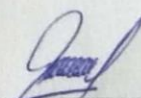


MSc. Delia Elizabeth Velarde Cruz

AUTORAS



Maynaguez LLoré Erika Fernanda



Tumbaco Benitez Evelyn Katherine

PRESENTACIÓN

Nosotras, ERIKA FERNANDA MAYNAGUEZ LLORÉ y EVELYN KATHERINE TUMBACO BENÍTEZ como autoras de la Tesis Titulada “ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO”, nos hacemos responsables de los resultados, discusión, conclusiones y demás parte de la investigación; y ponemos este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a todos los estudiantes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por ser nuestro guía y apoyo durante toda nuestra etapa universitaria, pues gracias a la fortaleza y ayuda que nos a dado hemos podido culminar con éxito nuestra carrera profesional.

También queremos agradecer a nuestros padres quienes con su apoyo moral y sin escatimar esfuerzo alguno, han logrado dejarnos una de las herencias más valiosas llena de principios y valores, la educación superior. A ellos gracias por convertirnos en las personas soñadoras y llenas de metas por cumplir, sin dejar de lado la humildad, sencillez y ética que nos caracteriza.

A la Ing. Diana Domínguez, coordinadora del Fondo de Becas ECOPAR, por su amistad, paciencia, confianza y orientación académica para desarrollar nuestra investigación.

A la Fundación Ambiental Urcu Camas, por su disposición de tiempo en las jornadas de campo y por brindarnos su compañerismo y amistad, en especial al Ab. José Tumbaco y Sr. Fausto Quilumba, quienes nos apoyaron continuamente y sin ellos no hubiera sido posible el desarrollo de este trabajo.

A nuestra directora Ing. Elizabeth Velarde quien nos compartió su conocimiento, ayuda, paciencia y predisposición en cada una de las etapas de esta investigación. A la Ing. Verónica Ríos, Ing. Oscar Rosales, Ing. Tania Oña, Ing. Gabriel Jácome y Ing. Melisa Layana, por su amistad, consejos, tiempo, experiencia, gentileza, por su buena voluntad y valiosos conocimientos que nos transmitieron a lo largo de esta investigación.

Un agradecimiento especial al Dr. Alonso Zuleta por su guía oportuna y su disposición incondicional en colaborar a los procesos de investigación.

Al grupo de personas profesionales quienes forman parte del equipo LABINAM Ing. Lenin Reascos, Ing. Hernesto Ponce, Ing. Hernán Espín, Kevin Patiño, por su colaboración en esta investigación, en especial al Ing. Jorge Revelo por su buena voluntad y por colaborarnos con sus conocimientos.

A nuestros amigos/as Gaby Espinoza, Brenda Ayala, Angélica Días, Gaby Andrade, Marco Camacás, Diego Simbaña, Diego Tocain, William Narvárez, Luis Checa, Bryan Moreno, Fausto Farinango, Cristian Andrango, Gaby Cabascango, Jorge Guagalango, Josselyn Tumbaco, Cristian Changoluisa y Alex Cacuango quienes nos han apoyado en diferentes situaciones durante nuestra etapa universitaria, apreciamos mucho su compañerismo y amistad. Definitivamente son seres humanos grandiosos. Gracias por todo su cariño y aprecio. Los queremos.

Eve y Fer

DEDICATORIA

A Dios, por todo su amor, gracia y misericordia, por ser mi guía y por llenarme de mucha paciencia, fortaleza y sabiduría, para poder enfrentar cada uno de los obstáculos que se presentaron durante este proceso académico. ¡Gracias Padre Celestial por permitirme alcanzar una meta más en mi vida! ¡Todo lo puedo en Cristo que me fortalece! (Filipenses 4:13).

*A las dos personas más importantes, mis padres **Ángel y Margarita**, por ser el pilar fundamenta en mi vida y guiarme por el camino de la humildad, principios, ética y valores. Todo lo que he alcanzado no lo hubiese podido lograr sin su apoyo, esfuerzo y sacrificio. Gracias por todo su amor, por creer en mí, por impulsarme a ser firme y perseverante. ¡La mejor herencia que pueden dejarnos nuestros padres es la educación! ¡Los amo, mis viejitos!*

*A mis hermanas **Esperanza, Marlene, Carlos, Rocío y Elizabeth**, a mis sobrinas/os **Liz, Mela, Tefa y Stalyn** y demás, a mis cuñados, gracias por creer en mí, por sus consejos, cariño y apoyo incondicional durante este tiempo, y por enseñarme que todo lo puedo lograr con dedicación.*

*A **Willy N**, por ser mi compañero de locuras, gracias por todo tu apoyo incondicional, por tu amor, tu paciencia, tus consejos y por enseñarme a creer en mí.*

*A mi amiga y compañera **Evelyn**, gracias por todas y cada una de las cosas que compartimos durante nuestra etapa universitaria y de investigación, por llevar una amistad sincera con altos y bajos, y sobre todo por ser perseverantes para lograr alcanzar este triunfo juntas.*

Este logro se lo dedico a mi familia porque sin su ayuda no lo hubiese conseguido, gracias por creer en mí y enseñarme que las metas, sueños y aspiraciones se las puede lograr con perseverancia y dedicación. ¡Esto es por y para ustedes! y es el momento de decir:

¡No fue fácil, pero lo logré!

Erika Fernanda Maynaguez Lloré

DEDICATORIA

A mi Dios, por darme su amor sin condición, por ayudarme, esforzarme y hacerme valiente en cada reto y prueba que se ha suscitado a lo largo de mi vida universitaria. Este momento importante de mi formación profesional es una bendición y un sueño hecho realidad, todo esto es por Él y para Él.

*A mi madre **Alicia Benítez** quien supo ser padre y madre a la vez, por todo su sacrificio, esfuerzo, entrega y amor, por darme la oportunidad de seguir una carrera universitaria, por incentivar-me siempre a seguir adelante, por creer en mí y en mi capacidad de afrontar mis metas. Por ser el pilar fundamental económico y emocional durante este largo período en mi formación académica. La amo.*

*A mi mamá **Angelita** que ha sido la mejor abuelita, madre, amiga y compañía en los momentos más importantes y difíciles de mi vida. Definitivamente sus canas evidencian toda la sabiduría, amor y entrega para con todos sus nietos. La amo.*

*A mi ñaña **Josselyn Tumbaco**, por ser la persona que da alegría a mi vida con sus ocurrencias y cariño, Por ser mi confidente y mejor amiga. Te amo sista.*

*A mi compañera y amiga **Fernanda**, con quien he pasado momentos de lucha, de alegría, de tristeza, de locuras y de retos que hemos afrontado con madurez para poder lograr ahora un anhelo que inicio desde el día que nos conocimos.*

*A **Jorge G.** por ser un motor más para impulsarme y conseguir mis propósitos, por creer en mí y apoyarme siempre, fuiste, eres y serás una persona demasiado especial en mi vida.*

A todos mis amigos/as que nunca me han negado una mano amiga con sus saberes y cariño, ustedes han formado parte importante de mi formación académica. Aunque no los mencione ustedes saben quiénes son. Los llevo en mi corazón.

Dios los guarde y los bendiga grandemente a todos.

Evelyn Katherine Tumbaco Benítez

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación y Justificación	1
1.2. Objetivos	6
1.3. Pregunta directriz de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1. Marco Teórico.....	8
2.1.1. Lagos altoandinos.....	8
2.1.2. Parámetros morfométricos	9
2.1.3. Parámetros físicoquímicos del agua.....	9
2.1.4. Batimetría y distribución espacial del agua	11
2.1.5. Estudios limnológicos realizados en la Laguna Huarmicocha.....	11
2.1.6. Capacidad de almacenamiento hídrico.....	12
2.1.7. Variables climáticas	12
2.1.8. Hidrografía	13
2.1.9. Ciclo hidrológico.....	14
2.1.10. Balance hídrico	15
2.1.11. Ecuación general del balance hídrico	15
2.1.12. Ecuación simplificada de balance hídrico	17
2.1.13. Importancia de la gestión del recurso hídrico	20
2.1.14. Estudios relacionados con estrategias de monitoreo y conservación en sistemas lacustres	21
2.2. Marco legal.....	22
CAPÍTULO III.....	25
METODOLOGÍA	25
3.1. Área de estudio.....	25
3.1.1. Clima.....	27
3.1.2. Fauna.....	27
3.1.3. Flora	28
3.2. Materiales y equipos	29
3.3. Métodos.....	29
3.3.1. Metodología para determinar la información morfométrica de la cubeta lacustre Huarmicocha.....	29
3.3.2. Metodología para evaluar la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha en dos períodos estacionarios	31

3.3.3. Metodología para plantear estrategias de control y conservación para la Laguna Huarmicocha	42
CAPÍTULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. Descripción morfológica del la Laguna Huarmicocha.....	45
4.1.1. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad de la Laguna Huarmicocha	46
4.1.2. Cortes de la cubeta lacustre.....	48
4.1.4. Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la Laguna Huarmicocha	
51	
4.2. Evaluación de la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha en época seca y lluviosa.....	56
4.2.1. Condiciones climáticas.....	57
4.2.2. Determinación del nivel de agua de la Laguna Huarmicocha a escala limnimétrica y maximétrica	59
4.2.3. Disponibilidad de agua en la cubeta lacustre Huarmicocha mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico	61
4.3. Planteamiento de estrategias de conservación y control del recurso hídrico de la Laguna Huarmicocha en base al modelo hidrológico obtenido	64
4.3.1. Estrategia de conservación y control de la Laguna Huarmicocha	68
CAPÍTULO V	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
5.1. Conclusiones	107
5.2. Recomendaciones.....	109
6. REFERENCIAS	110
ANEXOS	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales parámetros morfométricos.....	9
Tabla 2. Puntos de ubicación de la Laguna Huarmicocha, WGS84, Zona 17 S.....	25
Tabla 3. Especies Predominantes de Fauna en Mojanda	27
Tabla 4. Especies Predominantes de Flora en Mojanda.....	28
Tabla 5. Materiales y Equipos.....	29
Tabla 6 . Parámetros morfométricos	31
Tabla 7. Ubicación de puntos de entrada y salida de agua de la Laguna Huarmicocha, WGS84, Zona 17 S	32
Tabla 8. Estaciones meteorológicas	33
Tabla 9. Parámetros morfométricos de la Laguna Huarmicocha	46
Tabla 10. Balance hídrico de la Laguna Huarmicocha	64
Tabla 11. Criterios de selección para sitios de monitoreo.....	72
Tabla 12. Puntos de muestreo meses de enero a junio 2018.....	74
Tabla 13. Matriz de actividades y duración de las estrategias de control y conservación de la Laguna Huarmicocha	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema lacustre Mojanda.....	14
Figura 2. Esquema del ciclo hidrológico	15
Figura 3. Ubicación de la Laguna Huarmicocha.....	26
Figura 4. a) Ubicación de coordenadas, b) y c) Preparación y Establecimiento del limnómetro, d) Lectura de datos	32
Figura 5. Medición de caudales por el método volumétrico, a) Ubicación caudal pequeño, b) Medición de caudal	36
Figura 6. Medición de caudales por el método de flotador, a) Ancho de sección, b) Distancia de sección, c) Registro del tiempo del recorrido del flotador, d) Profundidad media.....	38
Figura 7. Medición de caudal por el método de vertedero triangular	39
Figura 8. Medición de caudal por el método de vertedero rectangular.....	40
Figura 9. Metodología participativa “Mapas Parlantes”. a) Práctica de batimetría en el lago Yahuarcocha, b) Capacitación a Urcu Camas por tesistas, c) Análisis de mapa parlante, d) Participación de Urcu Camas y exposición de problemas ambientales y posibles soluciones de la Laguna Huarmicocha	43
Figura 10. Relación profundidad (m) vs área de cotas con respecto al área total de la Laguna Huarmicocha (%)	47
Figura 11. Relación profundidad (m) vs volumen de cotas (%)	47
Figura 12. Mapa batimétrico.....	48
Figura 13. Corte transversal de la Laguna Huarmicocha.....	49
Figura 14. Corte longitudinal de la Laguna Huarmicocha.....	50
Figura 15. Curva hipsométrica correspondiente a la Laguna Huarmicocha.....	51
Figura 16. Relación profundidad vs pH de la Laguna Huarmicocha.....	52
Figura 17. Relación profundidad vs Oxígeno disuelto % saturación.....	53
Figura 18. Relación profundidad vs oxígeno disuelto mg/L.....	54
Figura 19. Relación profundidad vs temperatura.....	55
Figura 20. Relación profundidad vs conductividad	55
Figura 21. Diagrama ombrotérmico histórico de 18 años, Interpolación entre estaciones de Tomalón-Tabacundo, Malchingui, Otavalo y Mojanda.....	58
Figura 22. Diagrama ombrotérmico de la estación Mojanda periodo 1998-2015 ..	59
Figura 23. Variación de nivel máximo y escala limnimétrica vs precipitación.....	60
Figura 24. Variabilidad estacional de entradas y salidas	62
Figura 25. Variables del balance hídrico de la Laguna Huarmicocha	63
Figura 26. Problemas identificados dentro del área natural, a) Piscina de truchas, b) senderos de ingreso, c) Concesión de SENAGUA	65
Figura 27. Infraestructura piscícola existente	66
Figura 28. Vías de acceso hacia la Laguna Huarmicocha.....	67
Figura 29. Ubicación de puntos de monitoreo de caudales de entrada y salida.....	72

Figura 30. Medición de caudal por método volumétrico. a) Recoger el agua en un balde de 5 litros, b) Registro de tiempo en la ficha de campo	75
Figura 31. Medición de caudal método de flotador. a y b) Búsqueda de sección recta y medición longitudinal del canal, c) Medición ancho del canal, d) Medición de profundidades	77
Figura 32. Vertedero triangular	78
Figura 33. Vertedero rectangular	79
Figura 34. Medición de caudal método de vertedero. a) Vertedero triangular, b) Vertedero rectangular	79
Figura 35. Forma de instalación del pluviómetro	80
Figura 36. Medición de precipitación	81
Figura 37. Lectura del limnómetro y maxímetro. a) Obtención de dato limnimétrico, b) Obtención de dato maximétrico	82
Figura 38. Mapa del punto de muestreo de los parámetros fisicoquímicos de la Laguna Huarmicocha	83
Figura 39. Equipos utilizados en campo. a) Hidrolab HL4, b) Equipos para batimetría	84
Figura 40. Anclaje y preparación de equipos	84
Figura 41. Ubicación del punto de inicio. a) Encender navegador GPS Garmin 526s, b) Visualización ubicación del punto inicial	85
Figura 42. Recorrido en bote	85
Figura 43. Mapa batimétrico formato (. drd)	85
Figura 44. Ubicación punto profundo. a) Recorrido Batimétrico, b) Punto profundo	86
Figura 45. Medición de parámetros fisicoquímicos del agua. a) Encendido del Multiparámetro, b) Programar el intervalo de tiempo, c) Sumergir lentamente el equipo	87
Figura 46. Medición de turbidez mediante Disco Secchi. a) Bajar el disco de forma vertical en la columna de agua, b) Observar la visibilidad del disco, c) Sumergir hasta ya no poderlo divisar	88
Figura 47. Registro de datos	88
Figura 48. Verificación de datos en la ficha de campo	89
Figura 49. Verificación de equipos	90
Figura 50. a) Infraestructura de 16 piscinas de truchas, b) Vías de acceso y punto focal de arrastre de sedimentos a la Laguna Huarmicocha	91
Figura 51. Taxonomía de las plantas sugeridas para la restauración y cercado. a), b), c) Vegetación de tipo arbustiva, d) Vegetación de tipo arbórea	93
Figura 52. Propagación de especies. a) Recolección de semillas, b) Germinación, c) Adaptación de plántulas	94
Figura 53. Cercas vivas en vías de acceso. a) Estado Actual, b) Estado Esperado	95

Figura 54. Aislamiento de sectores. a) Cercado del área a regenerar., b) Zona de las Piscinas.....	96
Figura 55. Regeneración natural en puntos focales de arrastre de sedimento y escorrentía superficial. a) Selección del suelo, b) y c) Traslado de suelo y tapetes de plantas.	96
Figura 56. Estado actual de la Laguna Huarmicocha.....	97
Figura 57. Restauración en sitios intervenidos por actividades antrópicas. a) Regeneración en piscinas, b) Cercas vivas y regeneración en vías de acceso y pendiente	98
Figura 58. Estado de conservación esperado	99
Figura 59. Laguna Huarmicocha totalmente deteriorado.....	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación general del balance hídrico	16
Ecuación 2. Ecuación simplificada	17
Ecuación 3. Ecuación simplificada del balance hídrico	18
Ecuación 4. Fórmula de interpolación espacial.....	34
Ecuación 5. Fórmula del método IDW	34
Ecuación 6. Fórmula de media aritmética.....	36
Ecuación 7. Fórmula para el cálculo de caudal- método volumétrico	36
Ecuación 8. Fórmula para el cálculo de velocidad.....	37
Ecuación 9. Fórmula para el cálculo del área transversal	37
Ecuación 10. Fórmula para el cálculo de caudal- método flotador.....	37
Ecuación 11. Fórmula de Thomson.....	39
Ecuación 12. Fórmula de Francis	40
Ecuación 13. Aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico	41
Ecuación 10. Fórmula para el cálculo de caudal- método flotador.....	75
Ecuación 11. Fórmula de Thomson.....	77
Ecuación 12. Fórmula de Francis	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Lista de especies de flora del Sistema Lacustre Mojanda.....	121
Anexo 2. Recorrido batimétrico en la Laguna Huarmicocha	127
Anexo 3. Mapa de puntos de caudales de la Laguna Huarmicocha.....	128
Anexo 4. Ficha de datos limnimétricos	129
Anexo 5. Precipitación de Mojanda por método interpolación (IDW) (mm).....	130
Anexo 6. Registro de caudales método Volumétrico y flotador.....	131
Anexo 7. Registro de caudales por método de vertedero triangular y rectangular .	132
Anexo 8. Promedios de precipitación, evaporación y temperatura de Mojanda 2018	133
Anexo 9. Capacitación a la Fundación Ambiental Urkucamas- Empleo de mapas parlantes	133
Anexo 10. Mapa Batimétrico de la Laguna Huarmicocha.....	134
Anexo 11. Diagramas Ombrotérmico estación meteorológica Otavalo 1993-2011 (Andrade, 2016)	135
Anexo 12. Datos de limnómetro	135
Anexo 13. Manual de estrategias de control y conservación Laguna Huarmicocha	135

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

TRABAJO DE TITULACIÓN

Estrategias de Control y Conservación en Relación con la Capacidad de Almacenamiento Hídrico de la Laguna Huarmicocha, cantón Pedro Moncayo.

Nombre de las estudiantes: Erika Fernanda Maynaguez Lloré;
Evelyn Katherine Tumbaco Benítez

RESUMEN

Los lagos altoandinos son fuentes importantes de agua considerados ecosistemas frágiles debido a la diversidad de plantas y animales endémicos que poseen. Sin embargo, a causa de las actividades antrópicas estas áreas naturales están desapareciendo de manera acelerada. Esta investigación se realizó en el sistema lacustre Mojanda, en la Laguna Huarmicocha, la cual posee una extensión de 142.563,14 m². A través de una batimetría se obtuvo datos morfométricos y fisicoquímicos, que califica a la laguna como un cuerpo de agua oligotrófico de alta montaña, poco profundo y de forma oval redondo u oval oblongo. Durante los meses de enero a junio mediante el registro de datos de caudales entrantes y salientes, precipitación, evaporación y el análisis del balance hídrico; se determinó que la cubeta lacustre presenta un déficit semestral de -303,96 l/s con respecto a la capacidad de almacenamiento hídrico esto se debe a que los elementos del balance hídrico de la laguna varían significativamente. Finalmente, se formuló la estrategia de “Conservación y control para la Laguna Huarmicocha” con la finalidad de recuperar las condiciones ecológicas del cuerpo de agua. Con la información generada en el presente trabajo, se espera que los actores locales actúen de forma eficaz, estableciendo políticas públicas que contribuyan con la declaratoria como Área de Conservación y Uso Sustentable (ACUS) a la zona Mojanda; al ser una reserva hídrica de gran importancia para el cantón Pedro Moncayo.

Palabras clave: Lagos altoandinos, balance hídrico, parámetros morfométricos, parámetros fisicoquímicos, monitoreo hidrológico

ABSTRACT

High mountain lakes are important sources of water considered fragile ecosystems due to their diversity of endemic plants and animals. However, these natural areas are disappearing rapidly due to anthropogenic activities. Our research was performed in the Mojanda lacustrine system within Huarmicocha lake which has an area of 142,563.14 m². Morphometric and physicochemical data were obtained with bathymetry and it was identified as a high mountain lake with oligotrophic water, shallow and round oval shape. From January to June, data related to inflows and outflows, precipitation, evaporation and water balance analysis was recorded. Data analysis determined that the lacustrine basin shows a six-monthly deficit of -303,96 l/s in terms of water storage capacity, because the elements of the water balance of the lake vary significantly. Finally, the strategy of "Conservation and control for Huarmicocha Lake" was formulated with the purpose of recovering the ecological conditions of the water body. With the information generated in this research, it is expected that locals act effectively, establishing public policies that contribute to the declaration of Mojanda as Area of Conservation and Sustainable Use (ACUS), since it is a water reserve of great value for canton Pedro Moncayo.

Key words: High Mountain Andean Lakes, water balance, morphometric parameters, physicochemical parameters, hydrological monitoring

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se da a conocer el problema de investigación, justificación y los respectivos objetivos. Además, se hace una revisión de la literatura que sirvió como línea base de la presente investigación.

1.1. Problema de investigación y Justificación

En épocas pasadas los páramos y los sistemas lacustres se han constituido como áreas de vida y territorios sagrados para los pueblos indígenas, por su capacidad de brindar a la población servicios ecosistémicos definidos como beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad, siendo el recurso hídrico de especial importancia en el ámbito cultural, ecológico y espiritual para las poblaciones ancestrales (Maldonado y De Bievre, 2011).

Los humedales de alta montaña cumplen un papel muy importante en el mantenimiento de la salud, regulación hídrica de las cuencas hidrográficas y oferta de bienes y servicios ambientales (Ministerio de ambiente de Colombia, 2001). Sin embargo, estos ecosistemas requieren mayor gestión por parte de gobiernos sectoriales, por lo que al momento se están convirtiendo en ambientes naturales amenazados a causa del desmedido aprovechamiento de agua para uso agrícola, de la extensión de la frontera agrícola, los incendios forestales, la contaminación ambiental, entre otros, que han ocasionado la disminución y desaparición de los sistemas acuáticos altoandinos (World Wildlife Fund, 2005).

El objetivo dos del marco estratégico de la Convención Ramsar en 1971, plantea promover de forma óptima la conservación de la diversidad biológica, refiriéndose a las especies vegetales y animales que se encuentran en etapas críticas de su ciclo biológico o en períodos en que reinen condiciones adversas. Además, propone el uso racional de los humedales definido como “el mantenimiento de sus características ecológicas, mediante la implementación de enfoques por

ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible” a nivel local, subnacional, nacional, supranacional/regional e internacional (Ramsar, 2009).

El valor ecológico de los lagos altoandinos genera interés en investigadores a nivel global, tal es el caso del estudio realizado en el Lago Tana en Etiopía, el cual 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 del agua es despreciable comparándolo con la superficie del lago, entre los lagos etíopes, el lago Tana tiene los registros hidrológicos más largos de caudal medio mensual y niveles. El estudio realizado en este lago muestra la relación entre el caudal y nivel, 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 hídrico, (Kevede, Travi, Alemayehu y Marc, 2005).

En Sudamérica se han realizado investigaciones relacionadas al comportamiento hídrico en lagos altoandinos. En Perú se ha realizado un estudio sobre el “Potencial hídrico del lago Titicaca”, donde se determinó el volumen de agua y el equilibrio ecológico existente en el mismo. Se detalló que el volumen de agua almacenado en el Lago Titicaca está influenciado directamente de los aportes de la cuenca receptora, Además, presentó fluctuación en los valores de las variables que intervienen en el balance hídrico que junto con las actividades antrópicas han llevado que el lago a través del tiempo evidencie cambios en el nivel de agua (Claude y Iltis, 1991).

Ecuador, posee una gran variedad y cantidad de lagunas de alta montaña que tienen gran importancia ecológica, económica y social, debido a los beneficios ecosistémicos que estos proveen (Ministerio de Ambiente de Ecuador, 2015). Sin embargo, los estudios realizados sobre cuerpos de agua son escasos en comparación con el resto de los países en Sudamérica. Las investigaciones limnológicas en el país son dispersas y la falta de información técnica impide realizar estudios aplicables y específicos.

En la provincia de Sucumbíos, se realizó un estudio donde se desarrolló un modelo de Balance Hídrico de la Laguna de Limoncocha ubicada en la Reserva Biológica Limoncocha (Mosquera, 2014). Un estudio similar fue ejecutado en Imbabura, donde se realizó la evaluación del balance hídrico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha (Revelo, 2017). Estos son estudios relacionados con la capacidad de almacenamiento hídrico en lagos altoandinos.

Las estrategias de conservación para ecosistemas acuáticos dentro de un plan de manejo permiten elaborar políticas administrativas y ambientales para mantener a largo plazo los recursos naturales como socioculturales (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2015). Tal es el caso de la Reserva de Biosfera Macizo Cajas con el apoyo de la empresa pública de Cuenca, mediante la compra de predios estratégicos, se pudo recuperar y preservar los ecosistemas altoandinos de esta zona, especialmente del páramo, para mantener la oferta hídrica evitando la erosión y garantizando la calidad de agua. Además, de mantener un monitoreo constante de agua, suelo y biodiversidad, erradicación de especies exóticas, recuperación, restauración de zonas degradadas entre otro (Tapia et al., 2012).

El sistema lacustre Mojanda está conformado por cuatro lagunas, Caricocha, Huarmicocha, Yanacocha y Chiri Yacu, estas lagunas son de origen volcánico y ocupan el cráter del volcán extinto Mojanda. Los páramos y las lagunas de Mojanda tienen gran importancia ecológica, turística y gran valor e identidad cultural, ya que sus recursos hídricos abastecen a los sistemas de agua potable y riego de las diferentes comunidades pertenecientes al cantón Pedro Moncayo y Otavalo (MAE, 2015; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pedro Moncayo, 2015; Tocagón et al., 2012).

El Cantón Pedro Moncayo bajo el respaldo de la Ordenanza Bi-Cantonal en Julio del 2002, declara Zona de Conservación al Sistema lacustre de Mojanda, esta ordenanza rige la protección y conservación de los ecosistemas, biodiversidad, recurso hídrico, bienes y servicios ambientales, manteniendo el equilibrio ecológico de área de conservación municipal (Velarde, 2017).

En la actualidad, las fuentes hídricas del sistema lacustre Mojanda se han visto afectadas por las actividades económicas que se desarrollan en el cantón. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010) el 64% de la población se dedicaba a la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la pesca, siendo éstas las actividades económicas más importantes del cantón Pedro Moncayo. Dando lugar a múltiples problemas como el avance de la frontera agrícola, quema de pajonal, conflictos de tenencia de tierras, deforestación, uso de pesticidas y consumo arbitrario del agua incluso la presencia de infraestructura de producción piscícola que se ha ido deteriorando con el paso de tiempo interrumpiendo los procesos naturales del sistema lacustre (Mendoza, 2017). Desde el punto de vista hidrológico, el Sistema lacustre Mojanda abastece de agua a cerca de un 60% de la ciudad de Otavalo y a más del 80% del requerimiento urbano y rural del cantón Pedro Moncayo (Ruíz, 2015).

La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) el 06 de junio del 2017, otorgó una concesión a la Junta de agua “Mushuk Kawsay” de las parroquias Tocagón, Mariscal Sucre y Caluquí Alto del cantón Otavalo, provincia de Imbabura. El sitio de captación se encuentra en el cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha en la cota de los 3.765 msnm al lado derecho de la Laguna “Huarmicocha”, con un caudal autorizado de 4,05 l/s para consumo de 700 familias del cantón Otavalo. Este proceso se llevó acabo sin ningún acuerdo entre las autoridades de los cantones que se encuentran bajo la jurisdicción del sistema lacustre Mojanda, además, de no disponer de información técnica referente a la capacidad de almacenamiento hídrico, estado ecológico y los impactos negativos que ocasionará sobre de la Laguna Huarmicocha a causa del aprovechamiento del recurso hídrico. Sin embargo, el proceso de uso y aprovechamiento del agua por la Junta “Mushuk Kawsay” actualmente se encuentra detenido por procesos judiciales, debido a que, las lagunas de Mojanda se encuentran compartidas geopolíticamente, lo que conduce a un conflicto social entre las dos partes al no existir una gestión adecuada acerca del manejo, protección y conservación del recurso hídrico en esta zona.

Si bien es cierto que la Laguna Huarmicocha cuenta con información inicial referente a la calidad de agua y según la Guía para la utilización de las Valijas Viajeras Red Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, los valores obtenidos de conductividad, pH, OD y temperatura están dentro de los rangos permisibles que establecen el estado ecológico del cuerpo de agua. Sin embargo, la Laguna Huarmicocha carece de información morfométrica; en este sentido, es importante realizar un levantamiento batimétrico para obtener información de profundidad, volumen, área, longitudes y forma con la finalidad de conocer las características morfométricas superficiales o bajo la superficie del agua; también puede incluir muchos aspectos importantes que influyen en objeto de estudio como lo pueden ser la precipitación, la infiltración, la escorrentía, la evaporación y evapotranspiración, entre otros (Solano, Páez y Aguilar, 2016).

La actual investigación tiene como finalidad determinar el potencial hídrico de la Laguna Huarmicocha donde se requiere conocer la cantidad de agua de entradas y salidas que presenta la cubeta lacustre, generando información acerca de la capacidad de almacenamiento hídrico con alternativas de uso y descartar desde el punto de vista técnico, el impacto de la explotación del recurso hídrico de la cubeta. Además, la Laguna Huarmicocha no dispone de información acerca del almacenamiento de agua y datos morfométricos, debido al difícil acceso por el bosque primario que lo rodea.

En este sentido, la información obtenida servirá para que las autoridades y/u organizaciones tales como la Secretaría Nacional del Agua, Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pedro Moncayo, Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Otavalo, Distrito Metropolitano de Quito, conjuntamente con la Universidad Técnica del Norte mediante el Consejo Interuniversitario Flamenco para la Cooperación Universitaria para el Desarrollo (VLIR-UOS) y del Team Project VLIR-UOS y la Corporación para la investigación, capacitación y apoyo técnico para el manejo sustentable de los ecosistemas Tropicales (ECOPAR), puedan tomar decisiones correspondientes en cuanto al cuidado, gestión, conservación, protección de estos ecosistemas frágiles y a su vez el

aprovechamiento y manejo sustentable del recurso hídrico que se encuentra dentro del Sistema Lacustre Mojanda.

A través del fondo de becas creado por el Programa de Pequeñas Donaciones y con el apoyo técnico y supervisión de ECOPAR, se realizó la investigación que tiene como finalidad de fortalecer el control, conservación, manejo del páramo y recurso hídrico manteniendo la conectividad ecológica dentro del Biocorredor Pisque Mojanda San Pablo; siendo el recurso hídrico importante para la producción de los PITs (Productos de Identidad Territorial) de las comunidades aledañas.

Esta investigación está enmarcada dentro del objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, el cual prioriza el garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, en donde se propone una gobernanza sostenible de los recursos naturales no renovables, a través del establecimiento de prácticas responsables con el ambiente y con la población; y el establecimiento de límites a las actividades extractivas cuando amenacen áreas protegidas, territorios ancestrales sagrados, fuentes de agua, entre otros. La conservación y uso sostenible de los ecosistemas generadores de agua, como los bosques altoandinos, páramos y humedales que proveen del recurso y mantienen el caudal ecológico de quebradas, ríos, acuíferos y manantiales, es prioritaria, ya que son las principales fuentes para consumo humano y riego. Bajo estos lineamientos, se precisa el incremento de la superficie del territorio ecuatoriano destinado a proteger fuentes de agua, con lo que se consolida el enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos, se desarrollan mecanismos de compensación, y la declaratoria de áreas de protección hídrica (Plan Nacional de Desarrollo, 2017).

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Establecer estrategias de control y conservación en relación con la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha, cantón Pedro Moncayo.

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Analizar la morfometría de la cubeta lacustre Huarmicocha
- Evaluar la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha en época seca y época lluviosa
- Establecer estrategias de control y conservación para la Laguna Huarmicocha

1.3. *Pregunta directriz de la investigación*

¿Cuál es la variabilidad estacional de la capacidad de almacenamiento de la Laguna Huarmicocha?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se detalla la información utilizada para el desarrollo de la investigación, se tomó referencias de investigaciones, artículos científicos y estudios de carácter hidrológico y limnológico realizados en lagos de altoandinos.

2.1. Marco Teórico

A continuación, se define el contenido importante de los sistemas lacustres que permitieron interpretar los resultados.

2.1.1. Lagos altoandinos

Los lagos altoandinos o tropicales de montaña se encuentran ubicados en zonas que presentan pocas variaciones de temperatura al año, se sitúan en pisos térmicos de acuerdo con la altura de entre 2000 y 4000 msnm (Casallas y Gunter, 1999). Según (Roldán y Ramírez, 2008) un lago es una extensión de agua estancada rodeada de tierra por todas partes y una laguna es similar, pero en menor tamaño. Los lagos y lagunas no son elementos permanentes del ecosistema y tienden a desaparecer a causa de la acumulación de sedimentos y materia orgánica. Estos carecen de continuidad al mar y se definen tres capas verticales en base a la profundidad de la penetración de la luz: una zona fótica y otra zona afótica. Además, tienen la capacidad de mezclarse frecuentemente, es decir hace que la termoclina o estratificación desaparezca del lago a esto se le llama polimixis o lagos polimícticos fríos (Roldan, 1992). Características adicionales de estos lagos son el aislamiento geográfico, el presentar temperaturas medias por debajo de 20 °C, valores bajos de saturación de oxígeno (< 7 mg/l) (Casallas y Günter, 1999).

Los lagos altoandinos son considerados por la Convención de Ramsar (2005), como ecosistemas de gran fragilidad a causa de del cambio climático, sequías y actividades antropogénicas. Lamentablemente se están perdiendo de manera

acelerada sobre todo por el mal manejo y desconocimiento de su importancia económica y ecológica.

2.1.2. Parámetros morfométricos

El punto de partida de las investigaciones en sistemas lacustres según Montoya (2005), es la caracterización morfométrica del cuerpo de agua, de manera que permiten determinar puntos de muestreo y generar información base sobre el funcionamiento del sistema acuático teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento. La tabla 1 presenta los valores de los principales parámetros morfométricos que se evalúan para el estudio de un cuerpo de agua (Montoya, 2008).

Tabla 1. Principales parámetros morfométricos

PARÁMETROS
Tamaño de la cubeta
Forma
Amplitud
Profundidad
Longitud máxima (l)
Amplitud máxima (b)
Área (km ²) (A)
Volumen (V)
Profundidad máxima (Z_m)
Profundidad media (\hat{Z})
Profundidad relativa (Z_r)
Perímetro
Línea de desarrollo costero (D_L)
Caudal (Q)

2.1.3. Parámetros físicoquímicos del agua

Para determinar la calidad de agua es necesario medir los siguientes parámetros:

- **Conductividad**

Se define como conductividad a la expresión numérica de la capacidad que posee una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de la concentración total, movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición. El incremento de la conductividad y de la salinidad del agua, tiene graves efectos sobre el ecosistema fluvial, llegando incluso a una fuerte reducción de la biodiversidad (APHA, 2012).

- **Oxígeno disuelto (OD) y saturación de Oxígeno (%)**

Es la medida de concentración de oxígeno en el agua, usando como referencia el 100% de saturación de oxígeno en el aire. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua tiene una gran incidencia en el desarrollo de la vida y de muchos procesos que se dan en el medio acuático. Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de agua (APHA, 2012).

- **Temperatura**

Es una medida del grado de calor del cuerpo de agua causada por la absorción de la radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a los procesos naturales como la solubilidad de sales, gases en agua, y en general a todas sus propiedades tanto químicas como su comportamiento microbiológico (Marín, 2003; Aznar y Barba, 2010).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El potencial hidrógeno (pH) es una medida de los iones hidrógeno en la muestra, se determina mediante una escala que varía entre 1 y 14 reflejando así la alcalinidad o acidez de una muestra. El pH influye en la acidez, basicidad o neutralidad, aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se

denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (Carrera, et al., 2015).

- **Turbidez**

La turbidez mide la cantidad de sólidos en suspensión, siendo el resultado una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables; cuanto más turbia sea el agua, más interceptado queda el haz de luz incidente y varía la medida final de la turbidez. La medida de los sólidos en suspensión (mg/l) indica los sólidos retenidos después de pasar por un filtro de 45 μm . Se considera un factor importante para estimar la calidad del agua, está relacionada con el grado de transparencia y limpieza del agua (APHA, 2012).

2.1.4. Batimetría y distribución espacial del agua

La batimetría es una técnica asociada a la obtención de valores de la profundidad, volumen, área, ancho de los cuerpos de agua, la cual puede ser de tipo marina, lacustre o fluvial (CENDHOC, 2005). Se considera a la batimetría como el levantamiento topográfico de un cuerpo hídrico que tiene como finalidad conocer las características morfométricas superficiales o bajo la superficie del agua. A pesar de que la batimetría es considerada como el estudio morfométrico que abarca los cuerpos de agua y está bajo concepto de medición, también puede abarcar muchos aspectos importantes que también influyen en objeto de estudio como lo pueden ser la precipitación, la infiltración, la escorrentía, la evaporación y evapotranspiración, entre otros (Solano, Páez y Aguilar, 2016; ETAPA, 2010; Mandonx, 2014).

2.1.5. Estudios limnológicos realizados en la Laguna Huarmicocha

La Laguna Huarmicocha cuenta con un estudio limnológico realizado en el año 2017 por Oña y Tonato, donde presentan resultados de conductividad, oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH), temperatura. Todos estos parámetros se encuentran dentro de los rangos permisibles de la normativa nacional, además, presentan resultados con respecto a la concentración de clorofila *a*, donde muestran

resultados homogéneos entre el límite máximo que es de 1,70 y el mínimo que es de 0,67. También muestran resultados del Índice del Estado Trófico (TSI) en el cual aseguran que la laguna se encuentra en un estado de eutrofización oligotrófico. Esta investigación seleccionó tres sitios de muestreo y se tomaron muestras superficiales debido a su difícil acceso por ser una laguna pantanosa, la recolección de datos se realizó en dos campañas en los meses de mayo y junio del 2017 (Oña y Tonato, 2017). Hasta el presente, no se han realizado nuevas investigaciones que muestren resultados limnológicos del área de estudio.

2.1.6. Capacidad de almacenamiento hídrico

Para calcular la capacidad de almacenamiento hídrico de una laguna es importante conocer las condiciones físico-naturales, las cuales especifican la ocurrencia y el movimiento del agua superficial y subterránea. Para esto es importante realizar un balance hídrico superficial y subterráneo, para conocer la producción hídrica donde se obtenga los volúmenes de producción referidos al tipo y uso de suelo, condiciones geológicas y condiciones meteorológicas para finalmente poder determinar la producción hídrica de la cubeta lacustre, con el fin de localizar espacialmente las áreas de mayor producción hídrica y trabajar en estrategias para mantener estas áreas y recuperar las zonas que han disminuido su producción por efectos de uso de suelo (Flores y Guatemala, 2012).

2.1.7. Variables climáticas

Para el estudio del potencial hídrico de Laguna Huarmicocha es importante analizar la variación espacial y temporal del ciclo hidrológico del área. Vera, Acuña y Yerrén (1999) mencionan al ciclo hidrológico como aquel que gobierna la presencia de agua, de acuerdo con la latitud, altitud, vegetación, orografía, temperatura, humedad, presión, la influencia de los océanos y también por el tiempo de las actividades humanas. Por lo tanto, para obtener información acerca de la creciente oferta actual y futura sobre el agua es importante considerar ciertas variables que intervienen en el ciclo hidrológico tales como: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, almacenamiento superficial y subterráneo, y flujo de

agua subterránea que son variables que se relacionan directamente con el balance hídrico; el cual, provee información sobre el volumen anual de escurrimiento o excedentes; el período en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero, el período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua para riego en ese período, es decir se examinan las entradas y las salidas en el sistema analizado (Fattorelli y Fernández, 2011).

Para las variables físico-ambientales de la zona Mojanda se cuenta con la siguiente información:

- **Altitud:** Desde los 3.200 msnm hasta los 4.240 msnm.
- **Temperatura:** Por su ubicación la temperatura oscila entre los 4° C a 12,8 °C, (INAMHI, 2015).
- **Heliofanía:** El promedio anual de irradiación solar en el área de estudio es de 5,061 w/m² por día (INAMHI, 2015).
- **Evapotranspiración:** El promedio de evapotranspiración que registra el área de estudio es de 625 mm, por año aproximadamente (INAMHI, 2015).
- **Pluviosidad:** Oscila entre los 1.000 a 1.100 mm por año. Los meses de abril y noviembre son los más lluviosos, mientras que los meses de junio, julio y agosto presentan con los niveles más bajos (SENPLADES, 2013).

2.1.8. Hidrografía

Dentro del sistema lacustre Mojanda se encuentran cuatro fuentes importantes de abastecimiento de agua se las detalla a continuación:

- **Sistema lacustre Mojanda**

Laguna Grande o Caricocha: Espejo de agua con una superficie de 271 hectáreas aproximadamente y 7,7 km de perímetro, siendo la laguna más sobresaliente a la vista en la zona de Mojanda (Figura 1).

Laguna Wuarmicocha: A 1 km de la Laguna Grande se abre paso un espejo de agua de menor superficie, 11,04 hectáreas y un perímetro de 1,37 km.

Laguna Negra o Yanacocha: Ubicada a 3 km, al sur-oriente de la Caricocha, con una superficie de 1,07 hectáreas y 0,37 km de perímetro. Es la más pequeña de las tres lagunas en el área.

Laguna Chiquita o Chiriacu: Ubicada a 9 km de la Laguna Grande. Es un espejo de agua con una superficie de 10 hectáreas (Mendoza, 2017).



Figura 1. Sistema lacustre Mojanda

Fuente: Ruiz, S. (2015). Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda.

2.1.9. Ciclo hidrológico

Lee (1980), define al ciclo hidrológico como un modelo general de circulación que implica un complejo despliegue de movimientos y transformaciones del agua. A través del ciclo hidrológico se realiza el abastecimiento de agua para plantas, animales y el ser humano donde se mantiene continuamente en la naturaleza, dando origen a diferentes fases; que al enlazarse entre ellas generan un verdadero ciclo, su inicio ocurre donde posteriormente concluye.

Es decir, el ciclo hidrológico parte de la nube como elemento de origen, el agua surge partir de las precipitaciones líquidas o sólidas y es ahí donde inicia este ciclo. El agua almacenada en lagos, ríos y superficie terrestre da lugar al escurrimiento superficial; mediante la radiación solar que es fuente de energía térmica permiten que parte del agua se evapore directamente del suelo y otra se infiltre en el suelo satisfaciendo la humedad de este, si existe una saturación produce un flujo subsuperficial (Figura 2). Asimismo, por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. La

circulación del agua en la atmosfera se da mediante la gravitación que constituye la gravedad de la tierra (Ordoñez, 2011; Maderey y Jiménez, 2005).

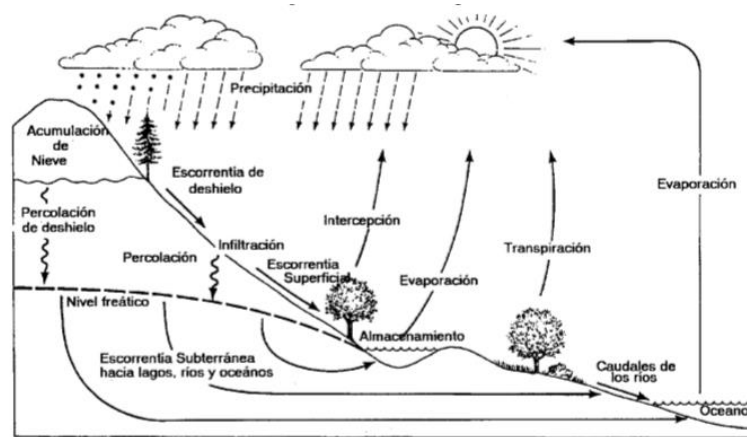


Figura 2. Esquema del ciclo hidrológico

Fuente: Villodas, R. (2008). Guía de estudios para la cátedra de hidrológica,

2.1.10. Balance hídrico

Mediante el balance hídrico, es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural. Además, éste permite calcular la cantidad de agua existente para estudios de oferta y demanda en las microcuencas en un determinado intervalo de tiempo (Ordoñez, 2011).

Para Pladeyra (2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hídrico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

2.1.11. Ecuación general del balance hídrico

La ecuación de balance hídrico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración de las pérdidas

profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llerena, 2003).

Dentro de la hidrología, el balance hídrico es ampliamente usado y en algunos casos puede causar confusión con algunas variables que este requiere al suponer la precipitación es igual a la suma de la escorrentía y la evaporación (Malek, 1982).

Dentro del balance hídrico se establece la parte activa que comprende el escurrimiento y evaporación, es decir las corrientes que salen durante el tiempo y periodo considerado; la parte pasiva considera dos importantes fuentes las precipitaciones (lluvia, nieve entre otros) y las precipitaciones ocultas (pluviómetro, rocío, escarcha entre otros). Sin embargo, no toda el agua que proviene de vertientes superficiales proviene de lluvias, sino también el agua es suministrada por manantiales de reserva subterránea, mediante la infiltración (Maderey y Jiménez, 2005).

Se representa al balance hídrico con una ecuación general que puede ser utilizada para estudios en cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo que sea considerado (Kevede, et al., 2005).

Ecuación 1. Ecuación general del balance hídrico

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

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

La ecuación permite realizar el cálculo del balance hídrico donde se puede conocer la oferta hídrica superficial, de este modo se puede obtener el volumen de agua que presenta un lago, río, embalse en un tiempo determinado (Díaz, Esteller y López, 2005)

2.1.12. Ecuación simplificada de balance hídrico

Dentro del balance hídrico se debe considerar los términos con mayor importancia, de tal manera que la ecuación general del balance hídrico puede simplificarse dependiendo de los datos que se disponga en la investigación como características hidrológicas, duración de balance, parámetros de masa de agua, dimensión entre otras. Para el cálculo, el escurrimiento se lo utiliza con mucho interés de manera que permite conocer la disponibilidad de agua en una cuenca, durante un periodo determinado. Los términos que pueden ser medidos y conocidos son la precipitación y la evaporación; llegando a eliminar el resto de los términos que en ocasiones pueden ser de difícil determinación (I+N); donde I= infiltración, N= Nieve o hielo. Se obtiene a una ecuación simplificada planteada por (Maderey y Jiménez, 2005).

Ecuación 2. Ecuación simplificada

$$Q + E = P$$

Donde;

P = Precipitación en mm por unidad de tiempo

Q = Escurrimiento en base al flujo mm por unidad de tiempo

E = evaporación real o efectiva en mm por unidad de tiempo

Sin embargo, Lam, Bates, Coombes y Marshall (2011), plantean otra ecuación simplificada del balance hídrico, que puede ser utilizado en pequeñas cuencas y lagos endorreicos, tal es el caso de la investigación “Evaluación del Balance hídrico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del lago Yahuarcocha” donde se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Ecuación simplificada del balance hídrico

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

Donde;

P = precipitación

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

E = evaporación

ΔS = variación en el volumen de agua almacenada

Esta ecuación fue empleada en la investigación para determinar la variación mensual de precipitación, evaporación y promedios mensuales de caudal de agua; y la variación de almacenamiento datos que fueron tomados del registro de caudales y escala limnimétrica (l/s), los datos de precipitación fueron tomados de las estaciones más cercanas al área de influencia; de tal manera poder determinar la disponibilidad agua que presenta el lago (Revelo, 2017).

Dentro de los estudios hidrológicos se han realizado investigaciones con la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico. En el estudio, “Water Balance and Level Regime of Ethiopian Lakes as Integral Indicators of climate Change”; realizado en el año 2008, se emplea la ecuación simplificada donde se pretende determinar la variación del nivel de agua en 13 lagos endorreicos. Los datos utilizados para el análisis y cálculo del balance hídrico fueron tomados de la base de datos de la Agencia Nacional de Servicios Meteorológicos y del Ministerio de recursos hídricos de Etiopía de las estaciones más cercanas a los lagos en estudio. La base de datos obtenida de estaciones cercanas caracteriza la cantidad de agua del lago, la cantidad promedio de agua se estima con el método de Theisen. Sin

embargo, a pesar de obtener datos provenientes de estaciones cercanas, en algunos lagos por falta de esta información fue necesario obtener estimaciones de precipitación y evaporación utilizando el método de Thornthwite y Penman respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que en la variación del almacenamiento existe una relación entre la disponibilidad de agua y el clima, la variable influyente en el estudio se considera que es la precipitación para mantener el balance hídrico positivo dentro del sistema (Deganovsky y Getahun, 2008).

Vázquez- Prada Baillet, D et al, (2008), realizó el “Estudio Hidrogeológico de la Laguna de Apoyo (Nicaragua) y Propuesta para su Gestión”, donde se determinó la evolución del nivel de agua mediante el empleo del balance hídrico. El estudio, muestra el déficit de agua y el desequilibrio existente en la Laguna de Apoyo. Para determinar el balance hídrico y calcular la disponibilidad de agua para ser recargada en el acuífero se consideró datos de ensayos de infiltración mediante el método de Porchet, capacidad de carga y punto de marchitez permanente. Se cuantificó las entradas y las salidas del sistema y se igualó la diferencia existente entre ambas a la variación en el almacenamiento para el periodo de tiempo determinado. En este estudio se consideró una serie de 20 años que fueron obtenidos de las estaciones más cercanas al área de estudio. Los resultados obtenidos en el estudio arrojan valores que indican el desequilibrio existente entre las entradas y las salidas de agua del lago, evidenciando el continuo descenso de nivel de agua. Las variaciones de volumen están estrechamente relacionadas al balance precipitación- evaporación, de tal manera que el nivel de agua irá disminuyendo hasta que los aportes de agua subterránea compensen el déficit de precipitación- evaporación; por lo que básicamente la evolución del nivel de agua depende del factor climático.

El estudio “Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space”; realizado por Swenson y Wahr (2009), determinó la disponibilidad del recurso hídrico en períodos anuales con la utilización de la ecuación simplificada del balance Hídrico. Para este estudio se utilizó satélites de teledetección que permitieron la recopilación de datos de precipitación y evaporación, se tomaron registros mensuales de caudales aportantes al lago. Con los resultados obtenidos en

base a la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico obtuvieron la variación de almacenamiento de agua.

De manera que, en el año 2006 el déficit almacenamiento de agua acumulado durante los últimos años se vio reducido significativamente debido aumento de la precipitación lo que implica que las entradas son utilizadas netamente en actividades antrópicas, provocando alteraciones en el ciclo hidrológico del Lago Vitoria. A pesar de que en el año 2003 el Lago Victoria logro su recuperación al igual que los lagos Tanganyika y Malawi, todavía mantiene niveles bajos de agua desde el año de 1960.

2.1.13. Importancia de la gestión del recurso hídrico

Global Water Partnership (2009) define a la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) como “el proceso que define el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y recursos asociados, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”. La GIRH es importante dentro de un tema de gobernanza y claras responsabilidades sobre la conservación de los recursos hídricos, de tal manera que al ser gestionada de la forma correcta permitirá dar solución a los problemas ambientales generados en fuentes hídricas tales como ríos, humedales, manantiales, entre otros.

En algunas partes del mundo la mala administración del recurso hídrico ha provocado conflictos a nivel social, económico y ambiental; el déficit de agua genera problemas de disponibilidad y abastecimiento de agua generando malestar sobre la calidad de vida de la población y sus actividades económicas alterando el desarrollo de un país (Rojas, 2016).

Por ello, la adecuada gestión del agua debe estar orientada bajo un enfoque participativo y multisectorial, donde las entidades públicas, sectores productivos y usuarios del recurso hídrico deben estar incluidos en el desarrollo de forma transparente garantizando una equidad social entre sectores. La gestión realizada sobre el recurso hídrico se debe a grupos de planificación, administrativos,

seguimiento, monitoreo y manejo de conflictos; mediante la elaboración de planes de gestión ambiental regional, plan de ordenamiento territorial, planes de manejo de ecosistemas importantes que sirvan de abastecimiento de recurso hídrico, manejo de cuencas hidrográficas, entre otros que estén netamente vinculados con el recurso hídrico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

2.1.14. Estudios relacionados con estrategias de monitoreo y conservación en sistemas lacustres

Las estrategias son mecanismos que permiten la protección y conservación de los recursos naturales, culturales, históricos y arqueológicos, manteniendo la permanencia de material genético, regulación ambiental, recurso hídrico y perpetuación de la diversidad de especies; de tal manera que, las estrategias de un plan de manejo que se encuentren vinculadas con políticas administrativas y ambientales permitan mantener a largo plazo los recursos naturales como socioculturales y sean un resultado de recuperación para el disfrute de los mismos (MAE, 2015).

En tal sentido, los humedales altoandinos son lugares importantes que requieren un adecuado manejo por parte de los gobiernos sectoriales. Sin embargo, estos ecosistemas se han visto amenazados a causa de la extracción de agua para uso agrícola, extensión de la frontera agrícola, incendios, contaminación entre otros lo que ha llevado a la fragmentación de los sistemas acuáticos. Por lo tanto, se plantea la “Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos”, que tiene como finalidad la conservación y uso racional de los humedales altoandinos y a través de procesos regionales fortalecer la participación de organismos gubernamentales, no gubernamentales, comunidades indígenas, academia e investigación; considerando los principios establecidos en el marco de la Convención Ramsar 1971, Convenio de Diversidad Biológica y demás convenios relacionados. En efecto estos deben contener una visión de largo plazo que busque mantener las funciones, valores y servicios, así como las dinámicas de los

ecosistemas y sus procesos ecológicos (Ramsar Convention Kampala, 2005; Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008).

También, una de las estrategias más importantes es la conservación de las fuentes hídricas dentro de la Reserva de Biosfera en el Macizo Cajas, con el apoyo de la empresa pública de Cuenca mediante la compra de predios estratégicos, tiene como finalidad recuperar y preservar los ecosistemas altoandinos, especialmente páramo para mantener la oferta hídrica evitando la erosión y garantizar la calidad de agua; las zonas de retención de agua son fundamentales debido a la prestación de servicios ambientales, que son necesarios para el desarrollo económico de la población cuencana. Además, de mantener un monitoreo constante de agua, suelo y biodiversidad, erradicación de especies exóticas, recuperación, restauración de zonas degradadas entre otros (Tapia et al., 2012).

2.2. Marco legal

Para la realización de esta investigación, es necesario conocer la normativa que rige la protección, cuidado, manejo y uso de los recursos naturales, considerando a la vez el bienestar de los seres humanos. Por lo tanto, se tomó en consideración el siguiente marco legal.

- **Constitución de la República del Ecuador**

La investigación realizada esta fundamentada en la Constitución Política de la República del Ecuador (2008), donde se garantiza la protección de los ecosistemas y se establece los derechos de los ciudadanos de poder vivir en un ambiente ecológicamente saludable, a disfrutar de espacios con equilibrio ambiental y socialmente sostenible, respetando los ciclos vitales y los derechos de la naturaleza. Así como también, tomar en cuenta que, el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos serán regulados por el estado y a la vez, cumplirán la función de controlar, reservar y expropiar estas áreas hídricas para su conservación si así fuere el caso Art. 14, Art. 15, Art. 30, Art. 31, Art. 74 y Art. 376.

- **Tratados Internacionales**

Convenio relativo a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas o Convención Ramsar, aprobado el 2 de febrero de 1971 a orillas del Mar Caspio, en la ciudad iraní de Ramsar, El convenio tiene como objetivo principal “la conservación y el uso racional de los humedales, a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional, a fin de contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”.

La Convención de Ramsar provee una herramienta vinculante para la conservación de humedales de importancia mundial. Los países miembros tienen la responsabilidad de mantener el carácter ecológico de los humedales, desarrollar acciones para la conservación y uso sostenible de los humedales, así como de dar cuidado especial a una selección de humedales designados en la lista de “Humedales de Importancia Internacional” (Ramsar, 2005).

- **Código Orgánico del Ambiente**

El Código Orgánico Ambiental (2017) menciona en los artículos 29, 37,40 y 191 considera que para la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos se sebera adoptar un enfoque integral entre los aspectos social, económico y ambiental, además, garantizan que para la conservación de las fuentes hídricas es necesario que se encuentren integradas en los subsistemas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, y también establecen un monitoreo y seguimiento constante de la calidad de agua, aire y suelo por parte de la Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado.

- **Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua**

Los Art, 63, 64 y 66 mencionan que las zonas de protección hídrica tienen una extensión de 100 m de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce o de la máxima extensión ordinaria de la lámina de agua en los embalses superficiales. Además, para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los

ecosistemas asociados, así como de la que se recoja en los embalses superficiales, se establece una zona de protección hídrica para evitar que se otorguen en ellas nuevas autorizaciones de aprovechamiento. En el Art 71 determina que para llamar a un lugar área de protección hídrica, deberá ser declarada como de interés público para su mantenimiento, conservación y protección, que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria. Sin embargo, las autoridades competentes, establecerán y delimitarán las áreas de protección hídrica, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del agua en riberas, lechos de ríos, lagos, lagunas, embalses, estuarios y mantos freáticos (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Para cumplir con la metodología, se requirió materiales y equipos que se emplearon durante el desarrollo de la investigación, así como también la aplicación de métodos que se llevaron a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1. Área de estudio

El sistema lacustre Mojanda está conformado por las lagunas Caricocha, Huarmicocha, Yanococha y Chiri Yacu, se ubican entre 2500 msnm a los 3730 msnm (Tocagón et al., 2012; GAD Pedro Moncayo, 2015). Presenta formaciones ecológicas de bosque siempreverde montano de cordillera occidental de los Andes, siempre Verde de páramo y herbazal de páramo (MAE, 2009). Geográficamente se encuentra localizado en la Sierra Norte del Ecuador a 60 km de la ciudad de Quito (Ruíz, 2015) (Tabla 2).

Por otra parte, la geomorfología del lugar tiene relieves producidos por sucesos de actividad volcánica producidos en volcán extinto “Mojanda” con flujos de lava y piroclastos constituidos de las rocas volcánicas que cubrieron gran parte de esta área (GAD Pedro Moncayo, 2015; Mendoza, 2017) (Figura 3).

Tabla 2. Puntos de ubicación de la Laguna Huarmicocha, WGS84, Zona 17 S

PUNTO	COORDENADAS		ALTITUD msnm
	X	Y	
N	805511	10014601	3760
S	805670	10014137	3759
E	805756	10014466	3749
W	805354	10014388	3735

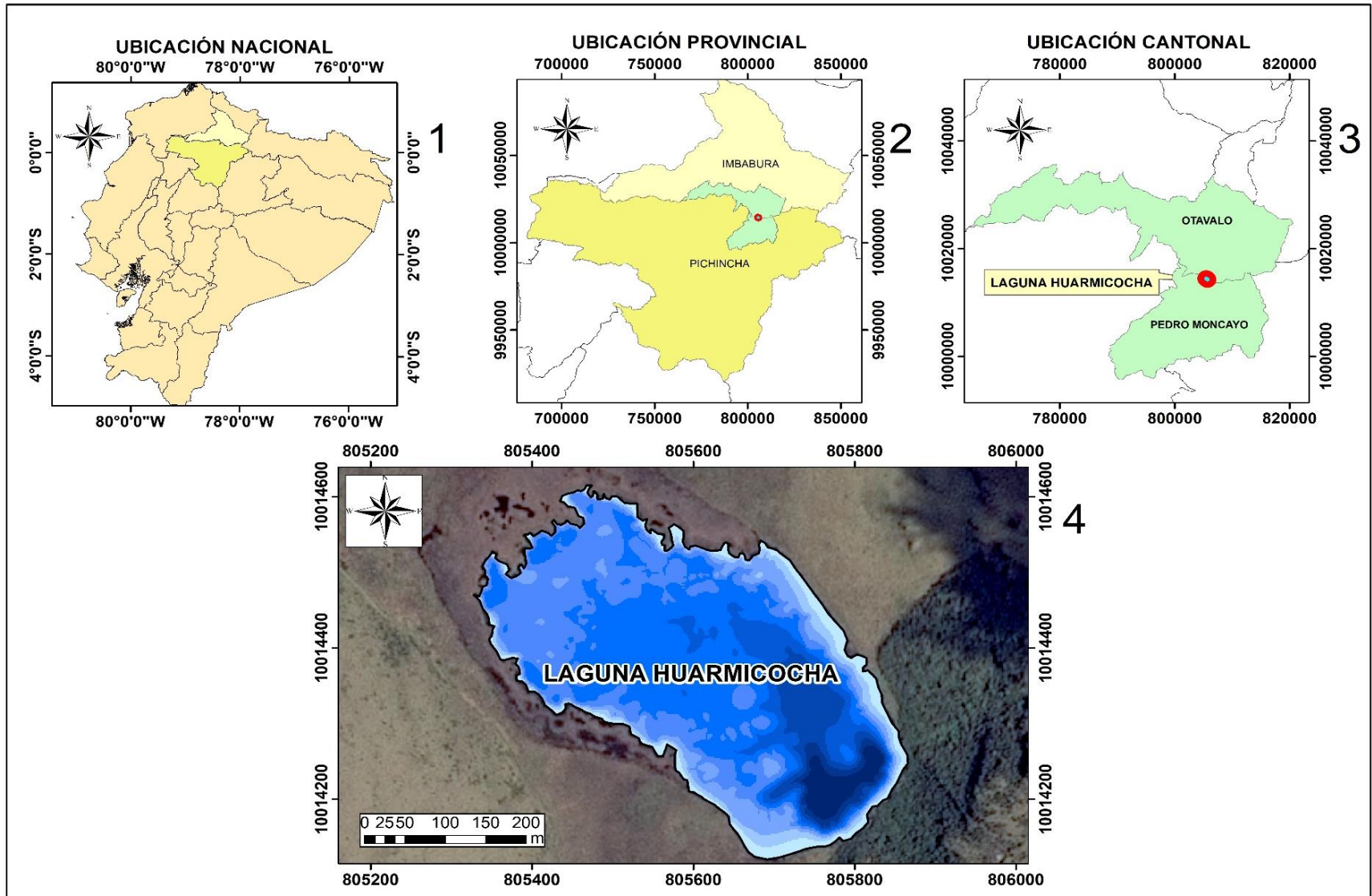


Figura 3. Ubicación de la Laguna Huarmicocha

3.1.1. Clima

El sistema lacustre Mojanda presenta un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña que se caracteriza por variaciones térmicas de 4 a 12 °C y precipitaciones desde 1.000 hasta 1.500 mm, la franja sur entre Tupigachí y Malchinguí, presenta un clima mesotérmico templado cálido, con variaciones térmicas de 10 a 15 °C y precipitaciones desde 750 hasta 1.000 mm (INAMHI, 2005; citado por Oña, y Tonato, C. 2017; GAD Pedro Moncayo, 2015).

3.1.2. Fauna

A continuación, se presenta un listado de la fauna del páramo Mojanda y de la zona de transición entre el bosque andino de altura, siendo atrayente potencial ecoturístico de la zona lacustre (Tabla 3).

Tabla 3. Especies Predominantes de Fauna en Mojanda

Nombre Común	Nombre científico
Mamíferos	
Ardilla	<i>Sciurus granatensi</i>
Armadillo	<i>Dasybus novemcinctus</i>
Cervicabra	<i>Mazama Rufina</i>
Conejo	<i>Sylvia gusbrasiliensis</i>
Lobo o Zorro de páramo	<i>Lycalopex culpaeus</i>
Puma	<i>Puma concolor</i>
Venado	<i>Odocoileus virginianus</i>
Zarriguella	<i>Caluromys dervianus</i>
Herpetofauna	
Cutines	<i>Pristimantis sp</i>
Ranas Marsupiales	<i>Gastrotheca sp</i>
Lagratijas Negras	<i>Tropiduros sp</i>
Aves	
Colibrí	<i>Agleae actiscupripensis</i>
Gavilán	<i>Accipiter ventralis</i>
Guairagechuro	<i>Pheucticus sp</i>
Mirlo	<i>Turdus merula</i>

Pava de monte	<i>Penelope mantagni</i>
Perdiz	<i>Notoprocta sp</i>
Torcaza	<i>Columba fasciata</i>
Tórtola	<i>Zenaida auriculata</i>
Cóndor Andino	<i>Vultur gryphus</i>
Gralaria	<i>Grallaria quitensis</i>
Gabiota de sierra	<i>Larrus sp</i>
Curiquinque	<i>Falco boenus carunculatus</i>

Fuente: GAD Pedro Moncayo (2015). *Mojanda-Propuesta declaratoria de área protegida municipal: Expediente Técnico.*

3.1.3. Flora

Según Mendoza (2017), el sistema lacustre Mojanda, presenta una alta diversidad de briofitas, líquenes y epifitas especies que forman el ecosistema de Bosque siempre verde del páramo (Tabla 4) (Anexo 1).

Tabla 4. Especies Predominantes de Flora en Mojanda

Nombre Común	Familia	Nombre científico
Pajonal de Páramo	Poácea	<i>Stipa ichu</i>
Yagual	Rosacea	<i>Polylepis sp</i>
Chuquiragua	Asteraceae	<i>Chuquiragua jussieui</i>
Pluya	Bromeliaceae	<i>Puya clava-herculis</i>
Chocho de Páramo	Fabaceae	<i>Lupinus Pubescens</i>
Romerillo	Hypericaceae	<i>Hypericum laricifolium</i>
Paja de páramo	Poaceae	<i>Calamagrostis intermedia</i>
S/N	Asteraceae	<i>Monticalia peruviana</i>
S/N	Asteraceae	<i>Senecio chionogeton</i>
S/N	Asteraceae	<i>Senecio tephrosioides</i>
S/N	Alstroemeriaceae	<i>Bomarea glaucescens</i>
S/N	Asteraceae	<i>Senecio formosus</i>
Boménea	Alstroemeriaceae	<i>Bomarea cal dasii ssp, Caldasii</i>
S/N	Polygalaceae	<i>Monina crassifolia</i>
S/N	Asteraceae	<i>Bidens andicola</i>
S/N	Rosacea	<i>Lachemilla sp</i>
S/N	Scrophulariaceae	<i>Buddleja pichinchensis</i>
S/N	Scrophulariaceae	<i>Castilleja fissifolia</i>

Fuente: Patzelt (2002). *Flora del Ecuador*, 24-53.

3.2. Materiales y equipos

Para la realización del trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales y equipos (Tabla 5):

Tabla 5. Materiales y Equipos

Materiales	Equipos	Software
<ul style="list-style-type: none"> • Libreta de campo • Formulario de campo • Base de datos INAMHI Digitales 	<ul style="list-style-type: none"> • GPS Garmin 64s • Camara digital • Computador • Ecosonda GPSmap 526s • Hidrolab HL4 • GPSMap Garmin 526s • Limnometro • Flash memory • Bote Sea Eagle 14S • Bateria 110 voltios • Disco secchi 	<ul style="list-style-type: none"> • Software ArcMap 10.4 • Microsoft Excel

3.3. Métodos

De acuerdo con las características del tema de investigación, el problema, objetivos y pregunta directriz, se seleccionaron los procesos y las técnicas metodológicas que se detallan a continuación.

3.3.1. Metodología para determinar la información morfométrica de la cubeta lacustre Huarmicocha

- a) Levantamiento de información batimétrica de la Laguna Huarmicocha

Se realizó un recorrido batimétrico en la Laguna Huarmicocha empleando una ecosonda GPSMap 526s conectada a un navegador GPSMap Garmin 526s y una computadora de campo Durabook, los cuales fueron montados en el bote Sea Eagle

14S y sujetos a una estructura de madera colocada con anterioridad para mantenerlos firmes garantizando el buen funcionamiento de los equipos y una recolección de datos óptima. Los equipos funcionaron con un suministro de energía de 110 voltios, por lo que fueron conectados a una batería de automóvil de 12 voltios mediante un transformador de energía (Anexo 2).

El levantamiento batimétrico se realizó el día 27 de enero del 2018, el recorrido cubrió la totalidad de la cubeta lacustre empezando desde la zona litoral hasta la zona más profunda. Los puntos batimétricos obtenidos mediante el software DrDepth en formato (.drd) fueron exportados a formato Excel (.xls). Después las coordenadas geográficas fueron transformadas en coordenadas UTM utilizando la herramienta Project, lo que permitió la modificación de los valores de profundidad positivos a negativos y posteriormente cargar estos puntos al software ArcMap 10.4. Mediante la herramienta Tin se interpolaron los datos de profundidad para lo cual se requería obtener un archivo con las curvas de nivel del lago, identificadas por colores. Con ayuda de la herramienta Tin to raster se obtuvo un archivo en escala de gris a negro y finalmente con la herramienta reclass se obtuvo el archivo con las curvas separadas en rangos o cotas de profundidad, identificadas por una escala de colores.

Utilizando la herramienta Topo to Raster se interpolaron los datos de profundidad para obtener curvas de nivel digitalizadas de la laguna, plasmando un modelo de elevación (DEM), lo que permitió obtener información para describir de manera adecuada la superficie de la cubeta lacustre. Empleando la herramienta Surface volumen, se calculó los valores de área y volumen, creando un cuadro de texto en el que se vio detallado los parámetros en m^2 y m^3 (ArcGIS Pro, 2018). Además, se estableció cotas de profundidad para determinar el área y volumen en un rango de cero (0) m a 8 m de profundidad y finalmente se realizó el cálculo de los parámetros morfométricos expresados en la Tabla 6.

Tabla 6 . Parámetros morfométricos

Parámetro	Simbología	Unidades
Área	N	m ²
Perímetro	L	Km
Longitud máxima total	L	m
Volumen	V	m ³
Profundidad máxima	Zm	m
Profundidad media	Z	m
Línea de desarrollo costero	DL	m
Latitud	N	m
Longitud	W	m
Altitud	M	msnm
Amplitud máxima	B	m
Forma de la laguna	F,L	-

b) Obtención de la línea base de parámetros físico- químicos de la Laguna Huarmicocha

El 27 de enero del 2018, se realizó un monitoreo en el punto más profundo cuyas coordenadas UTM WGS84, Zona 17 S, son X= 805736 y Y= 10014184 y con ayuda del Hidrolab HL4 se obtuvieron los parámetros de potencial de hidrogeno (pH), conductividad, temperatura (T°), oxígeno disuelto (OD), oxígeno disuelto saturación (OD%) y presión barométrica *in situ*, desde 1 m hasta 4 m de profundidad.

Al mismo tiempo, para la obtención del parámetro de turbidez se empleó el Disco Secchi, el cual se sumergió del lado sombreado del bote hasta que el patrón en blanco y negro del disco sea visible, luego se sumergió un poco más hasta que no se pudo visualizar los colores, se registró los dos valores de profundidad en la ficha de campo y se calculó el promedio de las profundidades. De esta manera se obtuvo la medida de transparencia del agua o trasparencia Secchi (Goyenola, 2017).

3.3.2. Metodología para evaluar la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha en dos períodos estacionarios

A continuación, se detalla el proceso metodológico que se efectuó con el fin de cumplir el objetivo específico 2.

a) Identificación de puntos de aforo

En el mes de diciembre del 2017, se realizó la geo-referenciación e identificación de los puntos de entrada y salida de agua de la Laguna Huarmicocha (Tabla 7), utilizando un navegador GPSmap 76CSx (Anexo 3). Los datos obtenidos fueron registrados en una libreta de campo previamente desarrollada.

Tabla 7. Ubicación de puntos de entrada y salida de agua de la Laguna Huarmicocha, WGS84, Zona 17 S

PUNTOS	COORDENADAS		ALTITUD msnm
	X	Y	
PS1	805185	10014984	3740
PS2	805167	10014986	3733
PSE3	805187	10014961	3747
PE1	805658	10013936	3768
PEE2	805901	10014335	3540
PEE3	805901	10014325	3542
PEE4	805883	10014343	3752

b) Implantación de un limnómetro

Se fabricó un limnómetro de hierro resistente previamente graduado, considerando los estándares de la Guía de prácticas hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011).



Figura 4. a) Ubicación de coordenadas, b) y c) Preparación y Establecimiento del limnómetro, d) Lectura de datos

Con un navegador GPSmap Garmín 526x se identificó un punto estratégico en las coordenadas UTM WGS84, Zona 17 S, x= 805825; y= 10014363, lugar donde fue colocado el instrumento de medición para el registro de datos correspondientes al nivel de agua de la Laguna Huarmicocha. El sitio identificado es de difícil acceso y al mismo tiempo se evitan daños o robos por los turistas y personas ajenas al lugar.

c) Determinación de condiciones climáticas

Para determinar las condiciones climáticas de las épocas ecológicamente seca y lluviosa, se consideraron los registros meteorológicos de las estaciones: Tomalón, Malchingui, Otavalo y Mojanda entre los años de 1998 a 2015 (Tabla 8) de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2016), la información diaria de precipitación (mm) y temperatura (T°), se resumió en promedios mensuales mm/mes y T°/mes.

Tabla 8. Estaciones meteorológicas

NOMBRE DE ESTACIÓN	ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD Msnm
		X	Y	
Mojanda	MPV	805010	10014856	3740
Tomalón-Tabacundo	M1094	807744	10003321	2790
Malchingui	M0111	796727	10005780	2840
Otavalo	M0105	805884	10026560	2550

- Método de interpolación espacial (Inverse Distance Weighted-IDW) o Distancia Inversa Ponderada

Para la obtención de datos de precipitación, temperatura y evaporación de la estación de Mojanda fue necesario la utilización del método de interpolación distancia inversa ponderada (IDW). La interpolación espacial permite utilizar puntos con valores conocidos para estimar valores desconocidos entre estaciones meteorológicas cercanas. El valor del atributo Z en una posición no es conocido, pero es un promedio de los valores de los puntos vecinos, donde los puntos más

cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados. El estimado se calcula como la media ponderada de los valores registrados en las estaciones cercanas, a las cuales se les asigna un peso o influencia (Andrade y Moreano, 2013; Santos, 2014). Se calcula empleando la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Fórmula de interpolación espacial

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

Donde, $Z(S_0)$ es el valor que se intenta predecir para el lugar (S_0), N es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán tenidos en cuenta en el cálculo, λ_i es el peso asignado a cada punto muestra y $Z(S_i)$ es el valor observado del lugar S_i . El método IDW se determina mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 5. Fórmula del método IDW

$$\lambda_i = \frac{d_i^p}{\sum_{i=1}^N d_i^p}$$

Donde, d_i es la distancia entre el lugar de predicción (S_0) y cada lugar muestreado (S_i), a medida que la distancia se hace más grande, el peso es reducido a un factor p es la distancia entre el lugar de predicción S_0 y cada lugar de la muestra S_i , a medida que la distancia se hace más grande el peso es reducido por un factor p , $Z(S_0)$ es el valor que se intenta predecir para el lugar (S_0), N es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán considerados para el cálculo, λ_i es el peso asignado a cada punto muestral y $Z(S_i)$ es el valor observado del lugar S_i (Torrecilla, Domínguez y Jiménez, 2010; Buitrago y Barbosa, 2016).

El proceso de interpolación se realizó con ayuda del software ArcGIS 10.4 donde, la base de datos fue guardada en un libro de Excel en formato 97-2003 (.xls) con la herramienta Display XY data se agregó los datos de coordenadas de las tablas de Excel de precipitación y temperatura de los años 1998-2015 de las estaciones

meteorológicas para luego proceder a crear capas shapefile que sirvió para el cálculo de la interpolación.

Finalmente utilizando la herramienta IDW (Distancia Inversa Ponderada), en el campo Input point features se selecciona el año que se desea interpolar (Ej, 1998), en Output Raster se selecciona el valor desconocido de Z (Ej, enero), en Output Raster se selecciona la carpeta de destino y en Output Cell Size (optional) se agrega el tamaño de la celda en metros para esta interpolación se utilizó el tamaño de celdas a 25 metros. Una vez interpolados los datos se cargan los Shapefile correspondiente a la estación de Mojanda y con la herramienta Identify se conoció los valores de atributos de los Raster creados, obteniendo así los datos de precipitación y temperatura de los años 1998-2015 respectivamente (Anexo 5).

Para el caso de la interpolación de la evaporación se realizó el mismo procedimiento, tomando en cuenta los datos de las estaciones Otavalo y Tomalón-Tabacundo de los meses enero-junio 2018.

d) Medición de caudales

A continuación, se detalla los métodos empleados en la medición de caudales:

- Método volumétrico

La medición de los caudales de entradas y salidas se realizó mediante la aplicación del método volumétrico expuesto por Bustamante (2006), utilizado generalmente para medir caudales pequeños (Figura 5). Se midió el tiempo que la corriente tarda en llenar un balde de 5 y 10 litros, para obtener una mayor precisión en la medición de caudales se realizó cinco repeticiones en cada monitoreo y se obtuvo un promedio de los resultados (Anexo 6).



Figura 5. Medición de caudales por el método volumétrico, a) Ubicación caudal pequeño, b) Medición de caudal

El registro de caudales se realizó durante los meses de enero a mayo del 2018, cada quince días. Se aplicó la fórmula de media aritmética para obtener los resultados de las cinco repeticiones de tiempo (s):

Ecuación 6. Fórmula de media aritmética

$$\bar{t} = \frac{t1 + t2 + t3 + t4 + t5}{5}$$

Para el cálculo del caudal se empleó la fórmula:

Ecuación 7. Fórmula para el cálculo de caudal- método volumétrico

$$Q = v/t$$

Donde:

Q = caudal en litros por segundo, (l/s)

v = Volumen en litros, (l)

t = Tiempo en segundos, (s)

- Método del flotador

Durante los meses de abril a junio del 2018, se aplicó el método de flotador para caudales mayores donde se determinó la velocidad superficial del flujo de agua (Figura 6). Se utilizó un trozo de goma EVA (Foamy) en los afluentes de entrada y salida, luego se tomó el tiempo que tarda en recorrer la goma EVA en una determinada distancia (1,50 m a 3 m). Se realizaron cinco repeticiones para luego un valor promedio de velocidad.

Ecuación 8. Fórmula para el cálculo de velocidad

$$v = \frac{\chi}{t}$$

v = Velocidad de la superficial, (m/s)

χ = Longitud recorrida por el elemento flotante, (m)

t = Tiempo en segundos, (s)

El área se calculó de la siguiente manera:

Ecuación 9. Fórmula para el cálculo del área trasversal

$$A = a \times p$$

Donde:

A = área trasversal promedio, (m²)

a = ancho del canal, (m)

p = Promedio de la profundidad del área mojada, (m)

Para calcular el caudal se utilizó:

Ecuación 10. Fórmula para el cálculo de caudal- método flotador

$$Q = A \times v \times n$$

Q = Caudal en metros sobre segundo, (m³/s).

A = Área trasversal promedio, (m²).

v = Velocidad superficial, (m/s).

n = Factor que depende del material del fondo del canal y que corrige el valor de velocidad superficial por un valor de velocidad media representativa del flujo. Se consideró el factor de correlación 0,90 de acuerdo con la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM, 1994).



Figura 6. Medición de caudales por el método de flotador, a) Ancho de sección, b) Distancia de sección, c) Registro del tiempo del recorrido del flotador, d) Profundidad media

Además, se empleó el método del vertedero, utilizado para corrientes de bajo caudal y se lo puede aplicar en el caso de que el método volumétrico sea inoperante. Un vertedero resulta ser un medidor sencillo pero efectivo de caudales en canales abiertos; su aplicación permite interceptar la corriente del canal, causando una elevación del nivel aguas arriba, haciendo que el agua superficial retroceda un poco y fluya a través o sobre ella, permitiendo el control de los niveles para medir los caudales (IDEAM, 2010; Marbello, 2005; Monsalve, 2009). En el presente estudio se utilizaron dos tipos de vertederos, el vertedero triangular y rectangular.

- Método de vertedero triangular

Este tipo de vertedero se utilizó en los meses de enero-marzo del 2018, el mismo que consistió en una lámina metálica previamente elaborada con dimensiones 40 x

40 cm y una incisión en V de 15 cm con un ángulo de 90°. El vertedero fue colocado en los canales de salida, de manera que permitió obstruir el paso del agua logrando una elevación del nivel y dar paso a la circulación del agua por medio de la incisión en V. Con ayuda de una regla se logró conocer la carga o cabeza (H) de la corriente sobre el vertedero (Figura 7) con el valor de la medición y aplicando la fórmula de Thomson siendo la más usada, se logró determinar el caudal del canal (Bello y Pino, 2000; IDEAM, 2007; Rocha, 2015) (Anexo 7).

Ecuación 11. Fórmula de Thomson

$$Q = 1,4 \times H^{5/2}$$

Donde:

Q = Gasto (m³/s)

H = Altura o carga de agua (m), abarcando cargas 0,05<H<0,25 m



Figura 7. Medición de caudal por el método de vertedero triangular

- Método del vertedero rectangular

El vertedero rectangular se encontraba construido en uno de los canales de salida con material de hormigón con 59 cm de longitud, fue utilizado en los meses de abril

y junio del 2018. Este tipo de vertedero es uno de los más sencillos para construir y más usados a nivel predial. Su margen de error fluctúa entre 3 y 5 % (Bello y Pino, 2000). Para la medición se utilizó una regla graduada (cm) la que permitió conocer la profundidad del área mojada donde, además, se tomó valores de los extremos y medio para luego calcular un promedio total de profundidad del área mojada (Figura 8); con el valor obtenido y aplicando la fórmula empírica de Francis se logró determinar el caudal del canal.

Ecuación 12. Fórmula de Francis

$$Q = 1,84 \times (L - 0,2H) \times H^{3/2}$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s)

H = Altura o carga leída en el punto de referencia (m)

L = Largo de la cresta del vertedero en (m)



Figura 8. Medición de caudal por el método de vertedero rectangular

- e) Determinación de la disponibilidad de agua de la cubeta lacustre mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico

Para el cálculo del balance hídrico, las variables empleadas fueron precipitación, caudal de ingreso, caudal de salida y evaporación del periodo comprendido entre

enero y junio del 2018. Los datos utilizados fueron promedios mensuales de precipitación y evaporación en mm del periodo enero 2018 – junio 2018. Estos datos corresponden únicamente a un metro cuadrado y para obtener las estimaciones reales se realizó una multiplicación con la superficie de la laguna según indica en la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico en américa del sur (1982).

Los datos de precipitación de la estación Mojanda fueron obtenidos de los registros mensuales del proyecto VLIR-UOS de la Universidad Técnica del Norte, la cual se encuentra en el área de influencia directa de la laguna en estudio. En cuanto a los datos de evaporación se tomaron los registros del INAMHI de las estaciones Tomalón Tabacundo y Otavalo de los meses enero-junio del 2018. Para obtener el valor de la evaporación mensual de la Laguna Huarmicocha se determinó, mediante el método de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) en el software ArcGIS (Anexo 8), donde la superficie que se interpola debe ser la variable dependiente de la ubicación, es decir, que interpola datos de una muestra dando mayor peso a los valores que se ubican más cerca y menos a los lejanos (Santos, 2014).

En cuanto a las variables de caudal, una vez obtenido los registros de entradas y salidas de los meses de enero a junio se procedió a realizar los cálculos correspondientes de los métodos utilizados para luego obtener un caudal promedio total mensual. Finalmente, para el cálculo del balance hídrico con los datos promedios mensuales de precipitación, evaporación y los promedios mensuales de caudal, se aplicó los datos en la ecuación simplificada expuesta por Lam, Bates, Coombes y Marshall (2011).

Ecuación 13. Aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico

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

Donde:

P =Precipitación

Q_{si} = Caudal de ingreso

E = Evaporación

Q_{ui} = Caudal de salida

ΔS = Variación de almacenamiento de agua

Para determinar el balance hídrico se selecciona de la ecuación una variable de interés. En el presente estudio se desea conocer el volumen de agua almacenada (ΔS) y mediante una sumatoria y una resta entre variables como precipitación, evaporación, caudal de entrada y salida se obtuvo el volumen mensual de agua almacenada (mm/mes) (Kevede, et al, 2005). El balance hídrico permitió conocer la disponibilidad del recurso presente en la Laguna Huarmicocha.

3.3.3. Metodología para plantear estrategias de control y conservación para la Laguna Huarmicocha

Se plantea estrategias de control y conservación en base a investigaciones bibliográficas de estudio de caso con estrategias de conservación en lagos y manuales de técnicas de conservación, para así lograr sugerir los adecuados medios que permitan la sustentabilidad del ecosistema, en función de los resultados obtenidos en el balance hídrico y parámetros morfométricos de la Laguna Huarmicocha.

- a) Obtención de información preliminar a través de la aplicación de "Mapas parlantes"

La investigación participativa es caracterizada por Hoffmann et al. (2014), como métodos sencillos y relevantes para caracterizar información otorgada por actores locales claves de comunidades originarias y campesinas. Tal es el caso del estudio realizado por Tibaná (2017), donde menciona que el instrumento "Mapa Parlantes", que forma parte de la investigación participativa, constituye una fuente primaria que permite analizar diferentes situaciones y actividades que se presentan en la comunidad en relación con su territorio a partir de factores sociales, económicos y ambientales.

Se realizó una capacitación a los miembros de la Fundación ambiental Urcu Camas del cantón Pedro Moncayo, encargados del monitoreo, cuidado y conservación del Sistema lacustre Mojada. Se trató temas de limnología, monitoreo hidrológico y batimetría, las cuales fueron expuestas de forma práctica y teórica. De este modo, se empleó la técnica de mapas parlantes para la recopilación de información y elaboración de una línea base acerca de los problemas ambientales y posibles soluciones para la Laguna Huarmicocha (Anexo 9). La aplicación de esta técnica tuvo como finalidad sistematizar la información necesaria para la elaboración de estrategias. Se efectuó el día 2 de junio del año 2018, con la participación de 11 personas, entre estudiantes, educadores y guarda páramo. Los participantes presentaron sus experiencias, recomendaciones acerca de los problemas identificados entorno a la Laguna Huarmicocha (Figura 9).



Figura 9. Metodología participativa “Mapas Parlantes”. a) Práctica de batimetría en el lago Yahuarcocha, b) Capacitación a Urcu Camas por tesistas, c) Análisis de mapa parlante, d) Participación de Urcu Camas y exposición de problemas ambientales y posibles soluciones de la Laguna Huarmicocha

La información obtenida se analizó y se comparó con otras fuentes referentes al mismo tema, donde se deriva un conjunto de indicadores seleccionados para dar

seguimiento y realizar una evaluación sistemática de los impactos negativos o positivos y los diferentes tipos de intervención por parte de las comunidades o instancias públicas locales (Pereira, 2014). La investigación participativa apunta a la producción de un conocimiento propositivo y transformador, mediante un proceso de debate, estimula la participación en un diagnóstico y resolución de necesidades y constituye una fuente primaria que permite analizar diferentes situaciones en relación con los diferentes factores sean sociales, económicos y ambientales (Tibaná, 2017).

b) Formulación de estrategia de control y conservación

Se formuló una estrategia adecuada a la realidad del ecosistema, de acuerdo con el esquema cinco S: Sistemas (systems), presiones (stresses), fuentes (sources), estrategias (strategies) y Éxito (success) propuesto por The Nature Conservancy (Rodríguez y Fuenmayor, 2012).

1. Identificar a las personas involucradas en el proyecto
2. Evaluar la viabilidad de los elementos de conservación focales (Sistemas)
3. Identificar amenazas críticas (Presión y Fuentes)
4. Realizar un análisis de situación (Estrategias)
5. Desarrollo de estrategias: Objetivos y acciones (Estrategias)
6. Establecer metas (Éxito)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el tiempo de ejecución del proyecto investigativo, en base a cada uno de los objetivos específicos propuestos.

4.1. Descripción morfológica del la Laguna Huarmicocha

La información morfológica de la Laguna Huarmicocha, descrita a partir del levantamiento de información batimétrica se detalla en la Tabla 9, donde se registró la longitud máxima total (l) con 561,08 m y 299,67 de ancho máximo (AM) m, los cuales cubren el área total de la laguna. El área lagunar fue de 142.563,14 m² y el volumen total de 816.464,02 m³ de agua, la profundidad máxima fue de 8 m, la profundidad media de 3,65 m. El perímetro lagunar fue de 2,13 kilómetros y la línea de desarrollo costero fue de 0,1 m. Estos datos determinan que es una laguna poco profunda con forma oval redondo u oval oblongo de acuerdo la clasificación de O'Sullivan (2005).

Los lagos altoandinos según Campo de Ferreras, et al., (2004), se caracterizan por poseer un clima templado de transición, con isotermas entre valores de 14 y 15 ° C y con precipitaciones anuales que oscilan entre 700 a 1000 mm. Estudios similares (Contreras y Paira, 2015; Benjumea, Wils y Aguirre, 2017; Fomerón, Piccolo y Carbone, 2010; Rivera, Zapata y Donato, 2010) aseguran que los parámetros morfométricos pueden variar en función de las precipitaciones y la evaporación del área en estudio. Del mismo modo, Montoya, Velez y Aguirre (2014); Buytaert, Célleri, De Bièvre y Cisneros (2012), manifiestan que el gradiente altitudinal, la variabilidad de temperatura, las precipitaciones, las actividades antrópicas, la escorrentía, la infiltración, las propiedades del suelo y el cambio climático son factores que constituyen una fuente de variación en la morfología de las cubetas lacustres.

Tabla 9. Parámetros morfométricos de la Laguna Huarmicocha

Parámetro	Unidad	Valor
Área (N)	m ²	142.563,14
Perímetro (L)	km	2,13
Longitud máxima total (l)	m	561,08
Volumen (V)	m ³	816.464,02
Profundidad máxima (Zm)	m	8
Profundidad media (Z)	m	3,65
Línea de desarrollo costero (DL)	m	0,1
Coordenada X	m	10014363
Coordenada Y	m	805825
Altitud (m)	msnm	3752
Amplitud Máxima (AM)	m	299,67
Forma de la Laguna (F,L)	-	Oval redondo u oval oblongo

4.1.1. Distribución espacial del agua por cotas de profundidad de la Laguna Huarmicocha

Los datos del levantamiento de información batimétrica mostraron que el cuerpo de agua tiene una superficie total de 142.563,14 m². Para ilustrar la distribución de volumen y superficies de agua almacenada a distintas profundidades en la laguna, se establecieron cotas de profundidad, desde 1 m hasta 8 m para determinar el área y volumen por cada cota de profundidad y el volumen total (Wetzel, 1981). En la Figura 10 se muestra la cota entre los 6 m y 7 m, ocupando la mayor superficie con 54.368,26 m² que representa el 38,14%, seguido de la cota entre los 5 m y 6 m con 26.707,18 m² que representa el 18,73% y finalmente la cota de 1 m a 2 m posee la menor superficie de la cubeta lacustre con 998,44 m² que representa el 0,70%. Según Poi y Galassi (2013), superficies < 500 ha son características propias de lagunas pequeñas que generalmente se recargan de lluvias.

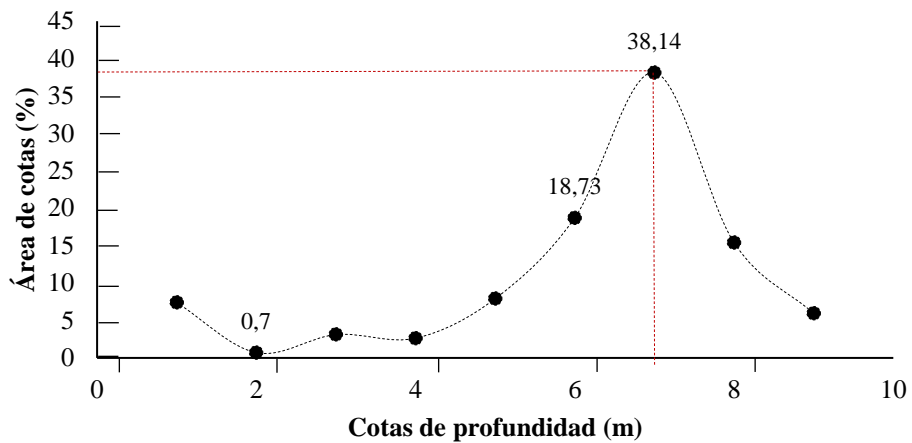


Figura 10. Relación profundidad (m) vs área de cotas con respecto al área total de la Laguna Huarmicocha (%)

El volumen total de la Laguna Huarmicocha fue de 816.464,02 m³, la cota con mayor volumen esta entre los 6 y 7 m con 353.394,0 m³ representa un 43,3%, seguido por la cota entre los 7 y 8 m con 164.683 m³ lo que equivale al 20,2%. La cota entre los 5 y 6 m tiene 14.688,9 m³ con un 18,0%, y la cota con menor volumen es la de 1 y 2 m con 1.497,67 m³ que representa el 0,2%. Estos volúmenes presentan valores similares a los lagos de Etiopía donde se observa que las cotas de profundidad intermedias son las que mayor volumen poseen y las cotas profundas las que menor volumen ocupan (Kevede, et al., 2005) (Figura 11).

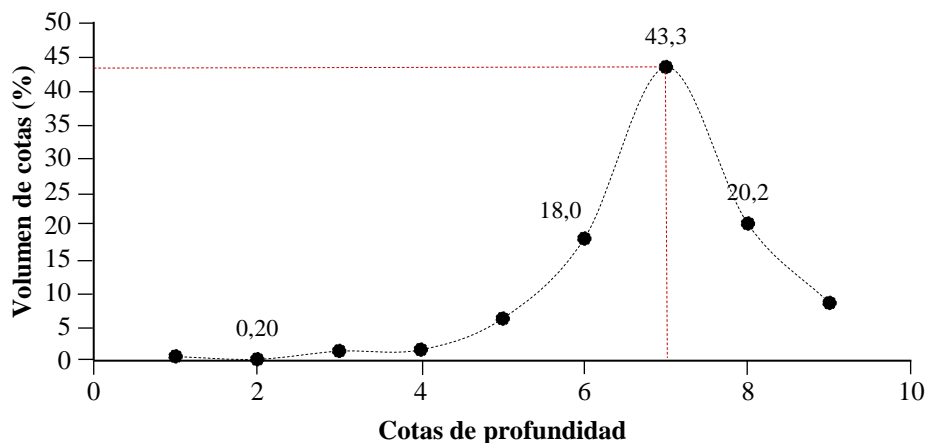


Figura 11. Relación profundidad (m) vs volumen de cotas (%)

A continuación, se detalla la información morfológica de la laguna a partir del mapa batimétrico (Anexo 10), el cual presenta la diferencia de profundidades por cotas

(Figura 12). Se estableció cotas desde 0,5 m hasta la cota con mayor profundidad de 8 m. Los datos obtenidos por el Software ArcGIS 10,4 dieron como resultado que la máxima profundidad de la Laguna Huarmicocha es de 8,43 m que según Roldan y Ramírez (2008) es características de cuerpos de agua poco profundos, por lo que la laguna es más vulnerable durante los períodos extremadamente secos (Quirós, 2004).

4.1.2. Cortes de la cubeta lacustre

De acuerdo con el mapa batimétrico, el corte longitudinal o amplitud máxima es de 299,67 m y el corte transversal o longitud máxima es de 561,08 m se muestra en la Figura 12.

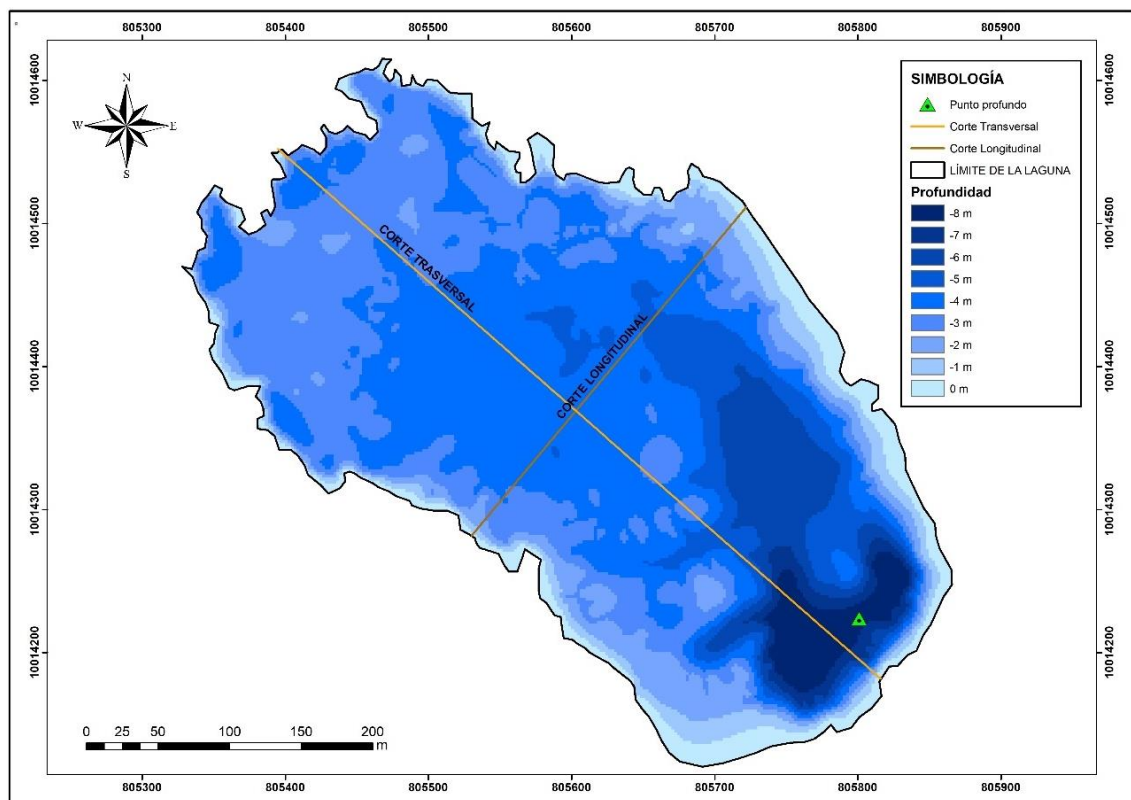


Figura 12. Mapa batimétrico

a) Corte transversal o vertical: El corte transversal o vertical mostró que la profundidad máxima se localiza en la parte Sureste (SE) del cuerpo de agua, zona donde desemboca el único caudal de entrada permanente, alcanzando una profundidad de 8 m por lo que no se evidenció sedimentación. En cuanto a las

profundidades mínimas se ubican en la parte Noreste (NO) de la Laguna Huarmicocha, área donde se encuentran las cuatro descargas de la laguna y se evidencia sedimentación debido a sus profundidades y reducción de la velocidad del agua (Figura 13).

Varios estudios aseguran que la presencia de sedimentos procede de la rápida erosión de las sub-cuencas como consecuencia de las prácticas agrícolas poco acertadas, actividades antrópicas, precipitaciones y viento conduce partículas ajenas al sistema lacustre y se acumulan en el fondo de los cuerpos de agua (Ramírez y Noreña, 2004; Pérez-Rojas, et al., 2000).

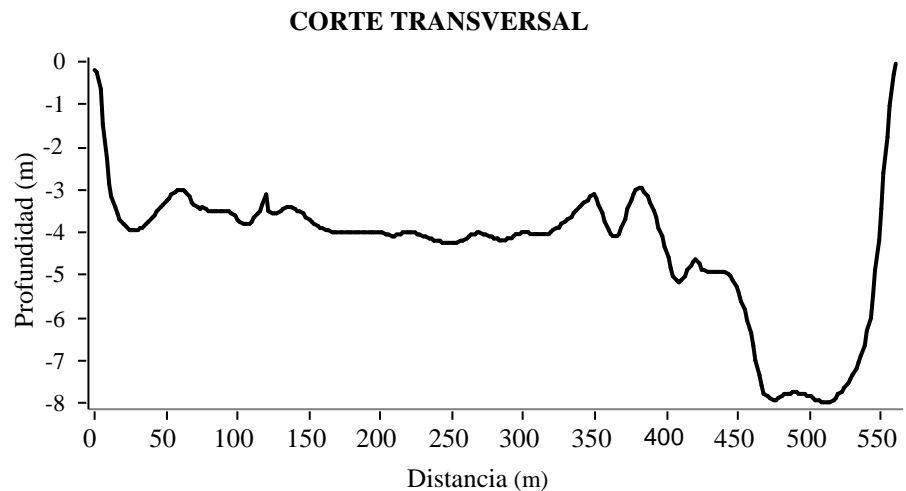


Figura 13. Corte transversal de la Laguna Huarmicocha

- a) **Corte longitudinal u horizontal:** En el corte longitudinal u horizontal se localizaron profundidades desde 0,5 m hasta 5,2 m. Encontrándose la profundidad máxima en el centro del cuerpo de agua, parte Suroeste (SO) de la laguna (Figura 14). En esta imagen se visualiza la escasa profundidad (5,2 m) que posee la laguna con relación a la amplitud máxima de 550 m².

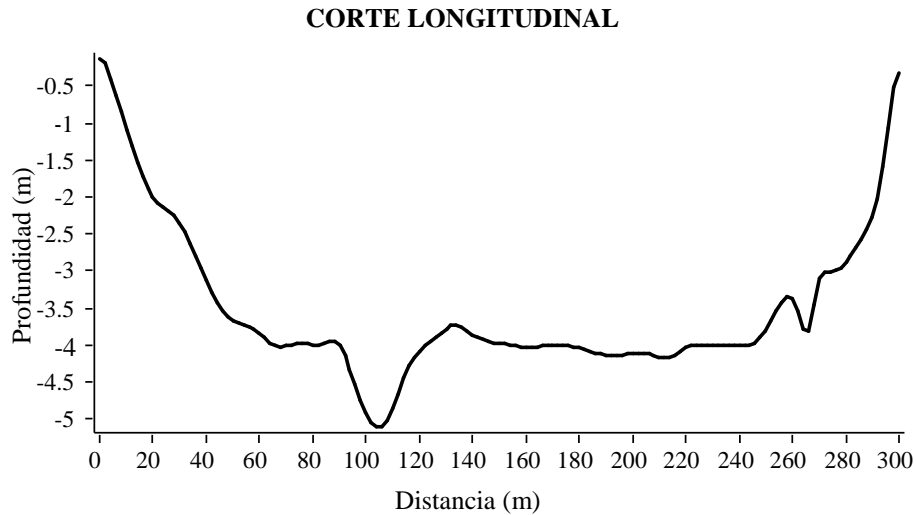


Figura 14. Corte longitudinal de la Laguna Huarmicocha

4.1.3. Análisis de la curva hipsométrica de la Laguna Huarmicocha

De acuerdo con la forma de la curva hipsométrica de la Laguna Huarmicocha (Figura 15), corresponde a una laguna de edad adulta o fase de madurez, este parámetro permite evaluar el nivel de erosión y el grado de equilibrio dinámico de la laguna (Strahler, 1964). Se puede evidenciar que el área de drenajes superficiales ocupa un 0, 6% presenta mayor sedimentación, además, de acuerdo con la convexidad de la curva indica un fuerte potencial erosivo; lleva a definirla teóricamente como una laguna cercana al equilibrio morfogenético (Mardones, Jara y Vargas, 2007). Es decir, los procesos morfogenéticos fluviales se modifican rápidamente cuando se producen variaciones de pendiente. Debido a movimientos tectónicos de solevamiento que pueden intensificar las actividades erosivas de aluvionamiento logrando provocar cambios en la dirección del drenaje (Mardones, Jara y Vargas, 2007).

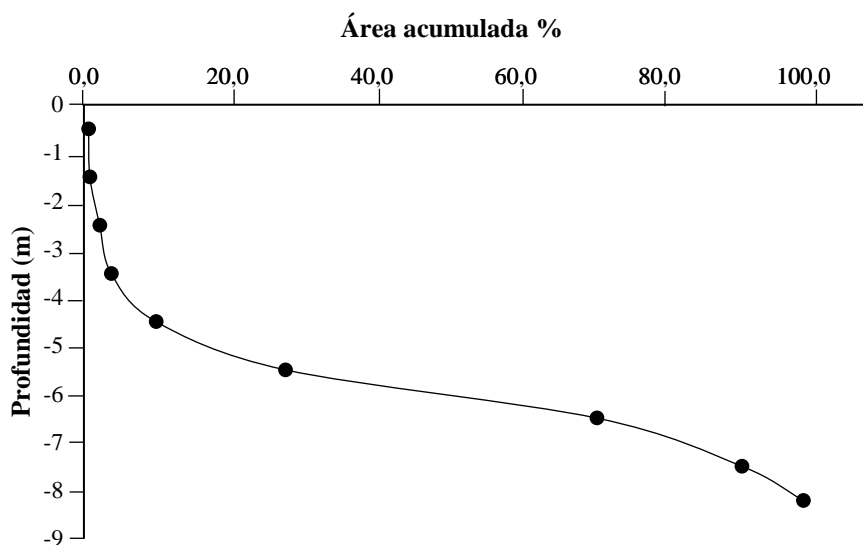


Figura 15. Curva hipsométrica correspondiente a la Laguna Huarmicocha

4.1.4. Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la Laguna Huarmicocha

Portilla (2015) recalca la importancia de obtener datos acerca de los parámetros fisicoquímicos para determinar el estado trófico de un cuerpo de agua, por lo cual fue importante determinar en qué estado se encuentra la Laguna Huarmicocha actualmente.

a) Potencial de hidrógeno (pH)

Los resultados obtenidos de pH a lo largo de la columna de agua desde la superficie hasta una profundidad de cuatro metros, indican un valor de 7,73 a cero (0) m, 7,61 a 1 m, 7,51 a 2 m, 7,43 a 3 m y 7,11 a 4 m respectivamente. Con la profundidad, el pH varía poco en lagos polimícticos y oligomícticos de altas montañas tropicales (Roldan y Ramirez, 2008). El valor de pH, presenta una tendencia a la alcalinidad en el sistema oscilando entre 7,11 y 7,73 unidades. El valor mínimo (7,11) se registró a 4 m de profundidad, mientras que el valor máximo (7,73) a la profundidad de cero (0) m. Los datos registrados son considerados normales para un agua natural y de alta montaña; no supone ningún problema para la vida acuática, por lo tanto, es considerado aceptable por encontrarse dentro de los rangos de 6,5 y 8,5 unidades (Figura 16) (Cooke, Welch, Peterson y Nichols, 2015).

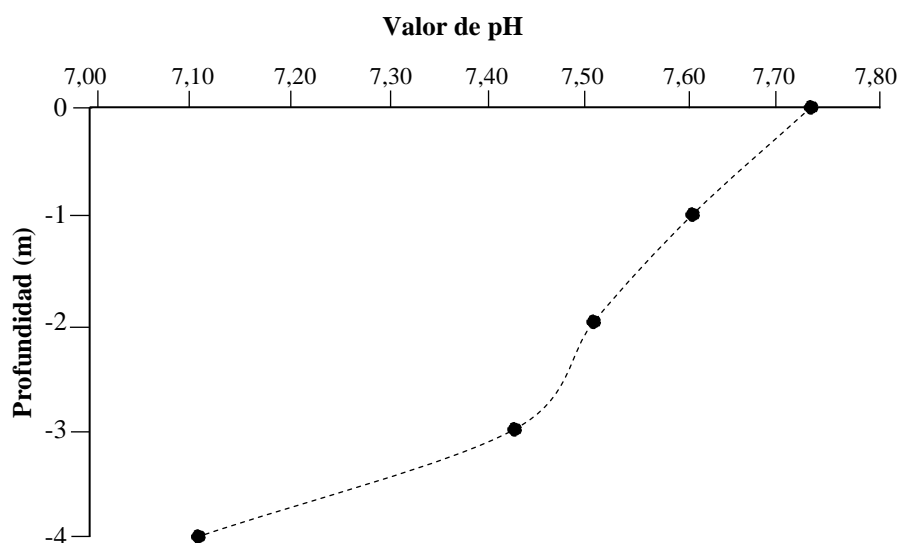


Figura 16. Relación profundidad vs pH de la Laguna Huarmicocha

El valor de pH se ha mantenido constante ya que el promedio superficial para el año 2017 fue 7,23 (Oña y Tonato, 2017) y en el año 2018 es de un valor promedio de pH de 7,48, lo que indica que se encuentra dentro de los rangos establecidos de 6,5 y 7,5 unidades para sistemas lénticos y con abundante materia orgánica en descomposición (Roldan y Ramírez, 2008). El incremento está asociado con la disminución del dióxido de carbono y aumento de oxígeno disuelto (Portilla, 2015). Por lo tanto, se deduce que la Laguna Huarmicocha presenta un pH ligeramente básico o alcalino (Palau y Caputo, 2013), característica principal de los lagos tropicales de alta montaña.

b) Saturación (%) y oxígeno disuelto (OD)

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores máximos de oxígeno disuelto (OD) indican 6,23 mg/l con un 58,58 % de saturación a una profundidad superficial de 0 m, los 5,91 mg/l con una saturación de 55,08% se localizan en la profundidad de 3 m, entre las profundidades 1 y 2 m se obtuvieron valores semejantes de 5,61 mg/l y 5,63 mg/l con una saturación de 52,45 y 52,57 % respectivamente (Figura 17). Mientras tanto, en la profundidad de 4 m se tienen valores mínimos de OD 3,80 mg/l que representa una saturación de 35,33%, estos valores expresan que la cantidad de oxígeno disuelto en agua es muy baja y que el aumento de temperatura incide en la

disminución de este valor, es decir el porcentaje de saturación óptimo de un cuerpo de agua requiere más oxígeno a mayor temperatura y menos a temperaturas más bajas (Roldán y Ramírez, 2008; Roldan, 1992; Quiroz et al, 2004).

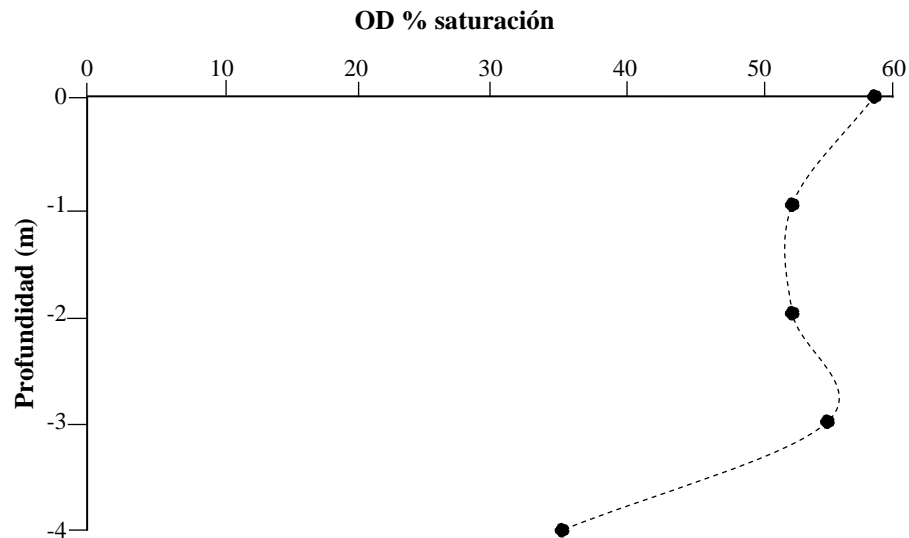


Figura 17. Relación profundidad vs Oxígeno disuelto % saturación

El oxígeno disuelto fluctuó entre 7,61 mg/l a 5,44 mg/l durante el periodo de un año (Oña y Tonato, 2017), es decir presento una disminución de 2,17 mg/l. La disminución fue notoria en el monitoreo realizado en enero del año 2018 (Figura 18), estos cambios se deben a que la temperatura fue menor por el movimiento de la superficie (presencia de viento) (Andrade, 2016). Al comparar los resultados con los rangos establecidos en la Guía para la utilización de las valijas viajeras Red de Monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos indican que las condiciones son aceptables debido a que presentan valores de 5 a 8 mg/l, por lo tanto, se puede dar un desarrollo normal de la vida acuática (Goyenola, 2007). La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras que el consumo dependerá de la respiración y descomposición de sustancias orgánicas principalmente (Forsberg, 2013). El nivel de OD es un indicador que determina la contaminación del agua y si dentro de ella se puede generar vida animal o vegetal (Peña, 2007; Quiroz, et al., 2004; Moya y Ramon, 1984). Se deduce que el agua de la Laguna Huarmicocha presenta oxígeno disuelto óptimo para el crecimiento de

vida acuática, ya que se encuentra entre los rangos establecidos por Goyenola, (2007).

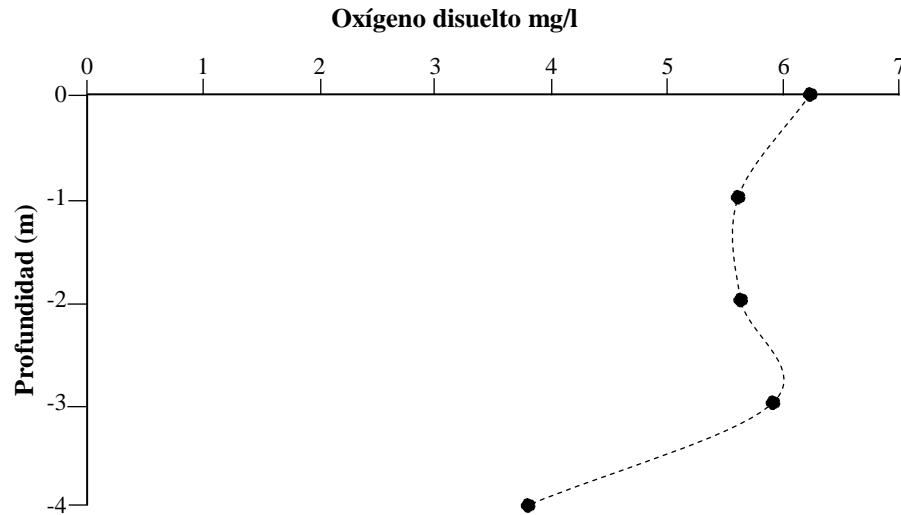


Figura 18. Relación profundidad vs oxígeno disuelto mg/L

c) Temperatura

La temperatura de la Laguna Huarmicocha a los cero (0) m de profundidad presenta un valor de 9,09 °C, la profundidad a 1 m fue de 8,89 °C, en la profundidad de 2 m fue de 8,8 °C, en cuanto a la profundidad de 3 m se obtuvo 8,75 °C y finalmente a los 4 m de profundidad fue de 8,74 °C. Estos resultados indican que a lo largo de la columna de agua existe casi total homogeneidad de temperatura, debido a esto no muestra diferencia significativa entre la superficie y el fondo en este tipo de lagos (Figura 19) (Andrade, 2016; Roldan y Ramirez, 2008). Además, se encuentran relacionados con la altitud a la que se ubica la Laguna Huarmicocha (3.740 msnm), a mayor altitud presenta una temperatura baja; esta influye en el comportamiento de otros indicadores, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas (Portilla, 2015). Es necesario indicar que una característica de los lagos tropicales altoandinos es presentar temperaturas con poca variación a lo largo del año (Oña y Tonato, 2017; Roldan, 1992).

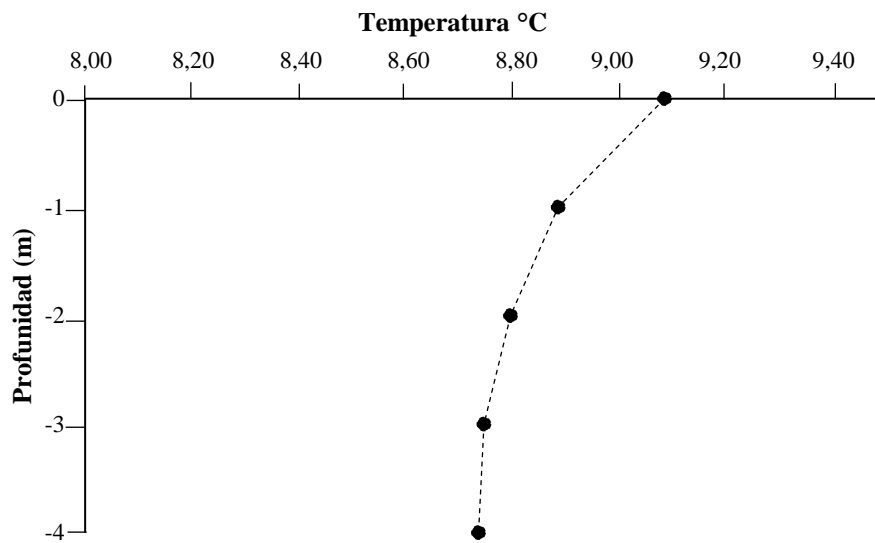


Figura 19. Relación profundidad vs temperatura

d) Conductividad

La Figura 20 muestra los valores de conductividad en un rango de profundidad de cero (0) m hasta 4 m, donde a una profundidad de cero (0) m se obtuvo un resultado de 49,81 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a una profundidad de 1 m fue de 64,49 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a los 2 m de profundidad se obtuvo 65,87 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en la profundidad de 3 m 63,79 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y por ultimo 81,68 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 4 m de profundidad.

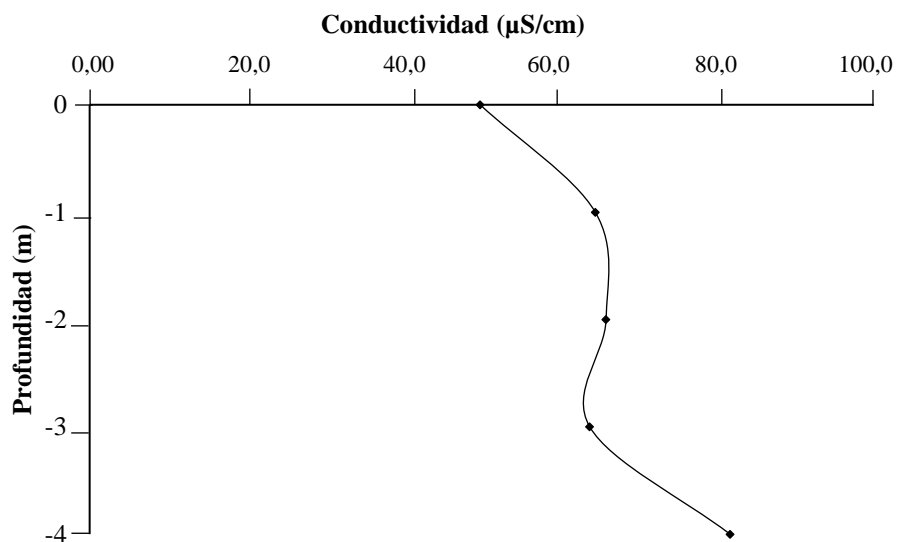


Figura 20. Relación profundidad vs conductividad

La conductividad presenta un valor promedio de 65,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comparando este dato con los límites establecidos se considera que el agua presente en las lagunas es pura al tener valores inferiores a $<280 \mu\text{S}/\text{cm}$; los resultados bajos de conductividad son una característica de los lagos tropicales oligotróficos de altas montañas (Roldán y Ramírez ,2008; Massol, 2010). La mayoría de los lagos oligotróficos tienen baja salinidad, pH variable, buena disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua, baja concentración de nitrógeno total y aguas transparentes colonizadas por vegetación sumergida y palustre (Poi y Galassi, 2013). Por otra parte, los datos obtenidos por Oña y Tonato, (2017) el valor de conductividad de la Laguna Huarmicocha fue de 36,73 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la variación existente durante el periodo 2017- 2018 se debe a la baja cantidad de iones disueltos en el agua.

e) Turbidez

Este estudio muestra un valor promedio de transparencia de 2,50 m, datos obtenidos mediante el disco secchi, el cual brinda información en cuanto a los sólidos disueltos en los sistemas acuáticos, los lagos oligotróficos poseen por lo general transparencias altas. Para definir el estado trófico de un cuerpo de agua lenticó a partir de la transparencia se indica que la Laguna Huarmicocha es oligotrófica y está dentro del rango establecido $\geq 1,60 \text{ m}$ (Roldan y Ramirez, 2008).

f) Presión barométrica

El promedio de la presión barométrica fue de 702 mmHg en toda la columna de agua, este valor está dado en función de la altitud, latitud y longitud del área de estudio, a mayor altitud menor presión barométrica. El registro se presentó en el punto más profundo en el punto cercano al bosque primario.

4.2. Evaluación de la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha en época seca y lluviosa

Para determinar la capacidad de almacenamiento hídrico de la Laguna Huarmicocha es necesario la obtención de las variables que interfieren en el balance

hídrico. De tal manera que se recolectaron datos meteorológicos e hidrológicos entre los meses de enero a junio del 2018, para estimar la variabilidad de almacenamiento entre las épocas ecológicamente lluviosas y secas.

4.2.1. Condiciones climáticas

Según Herrera, Bautista y Valdez (2010) es importante seleccionar estaciones meteorológicas que se ubiquen en una zona que represente una atmósfera homogénea y que registre mediciones muy similares entre ellas. En el presente estudio la obtención de las condiciones climáticas se basó en el análisis de los parámetros de precipitación y temperatura teniendo en cuenta la proximidad y la representatividad de las estaciones al área de estudio. La investigación realizada por Portilla (2015), afirma que con la información resumida de las estaciones meteorológicas en este caso la de Malchingui, Tomalón-Tabacundo, Otavalo y Mojanda, es posible llegar a elaborar diagramas obrotérmicos con la finalidad de determinar la época seca y lluviosa del área de estudio.

- **Diagrama Ombrotérmico histórico de las estaciones meteorológicas Otavalo, Malchingui, Tomalón-Tabacundo y Mojanda en un promedio de 18 años**

De acuerdo con el diagrama ombrotérmico histórico elaborado en base a los datos de las estaciones Otavalo, Malchingui, Tomalón-Tabacundo y Mojanda, correspondientes a los años 1998 al 2015, la zona de estudio presenta un promedio anual de precipitación de 377 mm. La época ecológicamente lluviosa es bimodal, presentándose en los meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre, siendo abril el mes con mayor precipitación (promedio de 55,81 mm. Por otra parte, los meses de junio a agosto, pertenecen a la época ecológicamente seca, en donde la temperatura promedio anual es de 14,8 °C, siendo agosto el mes más seco con 6,66 mm de precipitación (Figura 21). La distribución de los meses ecológicamente secos y lluviosos coinciden con el diagrama ombrotérmico histórico de la estación

Otavalo de los años (1993-2011) (Anexo 11) presentando un comportamiento bimodal en ambos (Andrade, 2016).

Según la clasificación de los climas del Ecuador, la zona de estudio corresponde a un clima ecuatorial meso térmico semi-húmedo (Pourrut, 1983). Este clima es típico de zonas ubicadas por encima de los 3.200 msnm, donde las temperaturas mínimas descienden rara vez a menos de 0 °C y las máximas no superan los 30 °C, lo cual es característico de la zona de Mojanda (Pourrut, Róvere, Romo y Villacés, 1995).

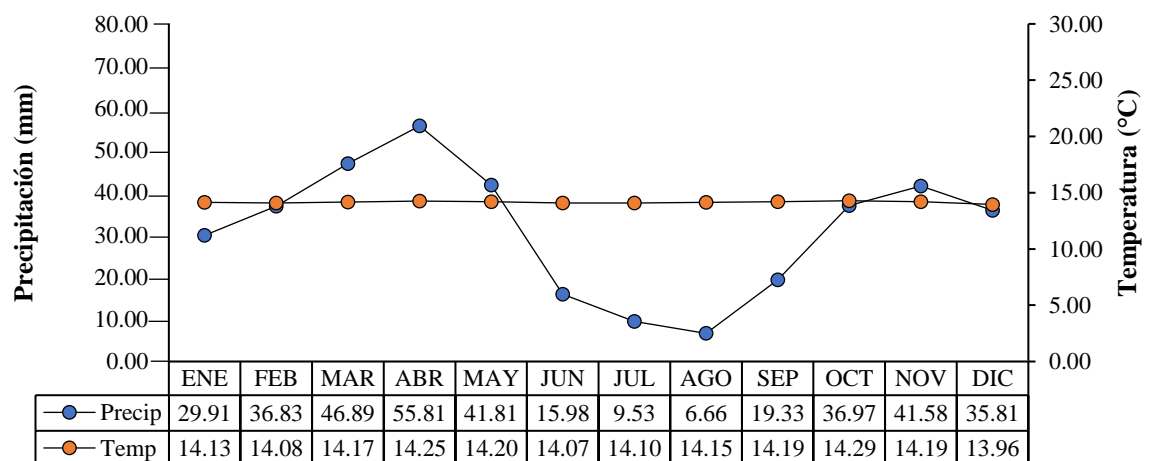


Figura 21. Diagrama ombrotérmico histórico de 18 años, Interpolación entre estaciones de Tomalón-Tabacundo, Malchingui, Otavalo y Mojanda
Fuente: Base de datos hidrometeorológicos, INAMHI (2016)

- **Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica Mojanda año 1998-2015**

Según el diagrama ombrotérmico de la estación Mojanda determinó los meses secos: junio, julio y agosto, con precipitaciones que varían de 21,97 mm, 14,15 mm y 10,14 mm respectivamente, con una temperatura promedio de 12,42 °C, el mes con menor precipitación es el mes de agosto con 10,14 mm. Los meses restantes corresponden a los meses lluviosos con precipitaciones que varían de 40,89 mm a

57,56 mm con una temperatura promedio de 12,19 °C. El mes con mayor precipitación es abril con 75,35 mm. El promedio anual de precipitación en el área de Mojanda es de 518,86 mm (Figura 22). Según (Pourrut, Róvere, Romo y Villacés, 1995), en el área de Mojanda las precipitaciones fluctúan entre 500 y 2000 mm y están claramente diferenciadas en dos estaciones lluviosas, meses febrero a mayo y octubre y noviembre y los meses secos junio a septiembre.

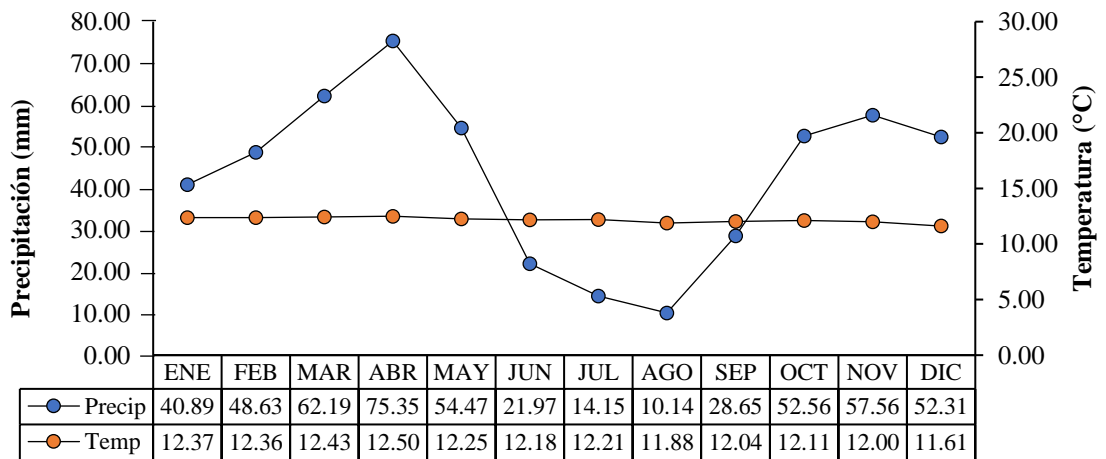


Figura 22. Diagrama ombrotérmico de la estación Mojanda periodo 1998-2015
Fuente: Datos de gabinete

4.2.2. Determinación del nivel de agua de la Laguna Huarmicocha a escala limnimétrica y maximétrica

Kennedy et al, (1992) mencionan que la implantación del limnómetro en una cubeta lacustre permite determinar las variaciones del nivel del agua en el tiempo. Se empleó este instrumento de medición en la orilla de la Laguna Huarmicocha cerca del punto de mayor profundidad con el fin de obtener el nivel de agua en cada medición en la época ecológicamente seca y lluviosa.

En el mes de enero la lectura del limnómetro fue de 0,64 m como valor inicial. Durante los meses de enero, febrero, marzo y junio correspondiente a la época ecológicamente seca, las precipitaciones fueron menores existiendo una variación de 0,2 m y en los meses abril y mayo debido a precipitaciones mayores corresponde

a la época ecológicamente lluviosa se determinó una variación de 0,5 a 0,6 m del valor inicial (Figura 23). La relación existente entre precipitación y escala limnimétrica muestra que en el mes de mayo hubo 148,06 mm de precipitación por lo que la escala limnimétrica registró un valor de 0,66 m/mes. Por otra parte, el mes de junio presento 10,12 mm de precipitación, el nivel registrado fue de 0,64 m/mes. El valor inicial del máxímetro en el mes de enero fue 0,75 m/mes, llegando registrar 0,78 m/mes en los meses de abril y mayo (época ecológicamente lluviosa y en el mes de junio se registró 0,73 m/mes con una precipitación de 10,12 mm (Figura 23), es necesario considerar que los procesos de evaporación del agua son lentos y graduales, asociados con la superficie del cuerpo de agua (Ordoñez, 2011; Mederey y Jiménez, 2005). El aumento en el mes de mayo representa el máximo nivel alcanzado en el periodo de monitoreo. Los valores analizados presentan una estrecha relación debido a que el limnómetro registra puntualmente el nivel de agua de la cubeta lacustre respecto a un valor de referencia ya sea la época ecológicamente seca o lluviosa (INAMHI, 2010). Estos resultados son representativos para lagos tropicales altoandinos ya que se observa una concordancia en sus promedios mensuales entre el limnómetro y la precipitación (Revelo, 2017) (Anexo 12).

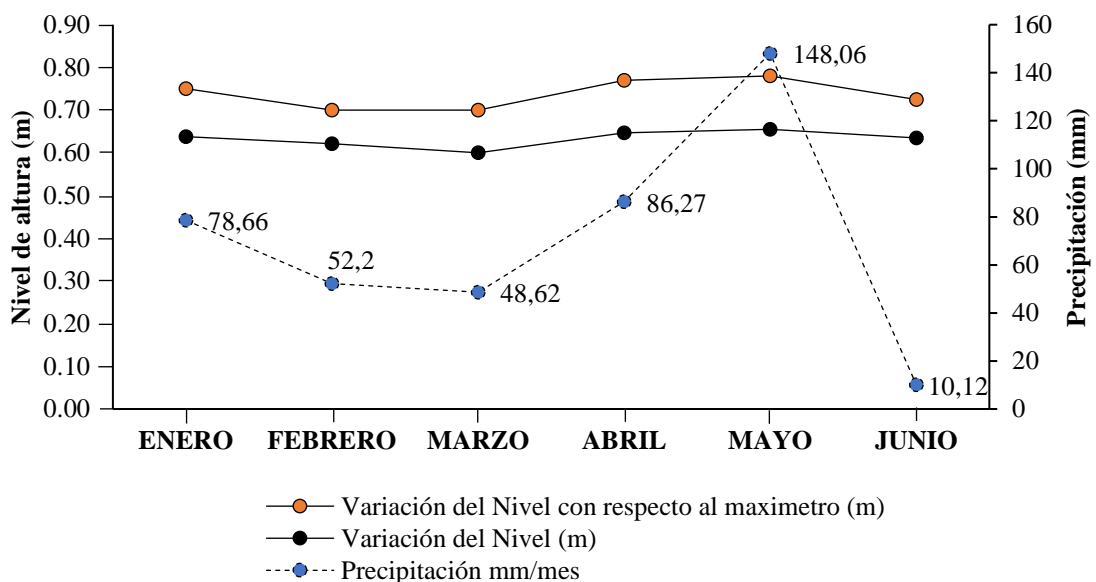


Figura 23. Variación de nivel máximo y escala limnimétrica vs precipitación

4.2.3. Disponibilidad de agua en la cubeta lacustre Huarmicocha mediante la aplicación de la ecuación simplificada del balance hídrico

El presente estudio generó información acerca de la disponibilidad del agua de la cubeta lacustre Huarmicocha mediante la ecuación simplificada del balance hídrico, según Lamb, Bates, Coombes y Marshall (2011) indican que, la ecuación simplificada se aplica para lagos endorreicos como en el caso de la Laguna Huarmicocha. La investigación realizada por Revelo (2017) prioriza la aplicación de tres variables que intervienen en el balance hídrico, como la sumatoria mensual de precipitación y los promedios mensuales de caudal de ingreso de agua y evaporación.

Los datos obtenidos durante los seis meses de monitoreo en el área de estudio indican que los meses de enero, febrero, marzo y junio representan la época seca por presentar menor precipitación. Las entradas aportan 15,4 l/s lo que corresponde un 9,52% de precipitación y 15,37 l/s de caudal de ingreso se tiene un 9,49%, dando un total de 30,79 l/s con 19,01%. En cuanto a las salidas, la evaporación fue de 20,42 l/s equivale al 12,61% y el caudal de salida fue 110,78 l/s con 68,39%, dando una salida total de 131,20 l/s con un 81%. Estos resultados indican que las entradas son menores al volumen de pérdida o salida de agua que requiere la laguna para reestablecerse, siendo la variación de almacenamiento la diferencia entre entradas y salidas igual -100,41 l/s, que corresponden al déficit de volumen de almacenamiento de la laguna para la época ecológicamente seca (Figura 24).

Por otra parte, los meses de abril y mayo pertenecientes a la época lluviosa, aportan al sistema con 12,63 l/s que equivale un 4,03% de precipitación y un caudal de ingreso con 42,31 l/s que representa el 13,42% dando un total de 54,94 l/s con 17,53%, mientras que, las variables correspondiente a las salidas muestran resultados de evaporación con 5,35 l/s que representa el 1,71% y 253,13 l/s corresponde a un 80,76% de caudal de salida dando un total de 258,48 l/s que corresponde al 82,47%, lo que indica que las entradas hacia el sistema lacustre siguen siendo menores que las salidas aún en época de mayor precipitación. De esta manera, la variación de almacenamiento entre las entradas y salidas es de -203,54

l/s, que corresponden al déficit de volumen de almacenamiento de la laguna para la época ecológicamente lluviosa (Figura 24).

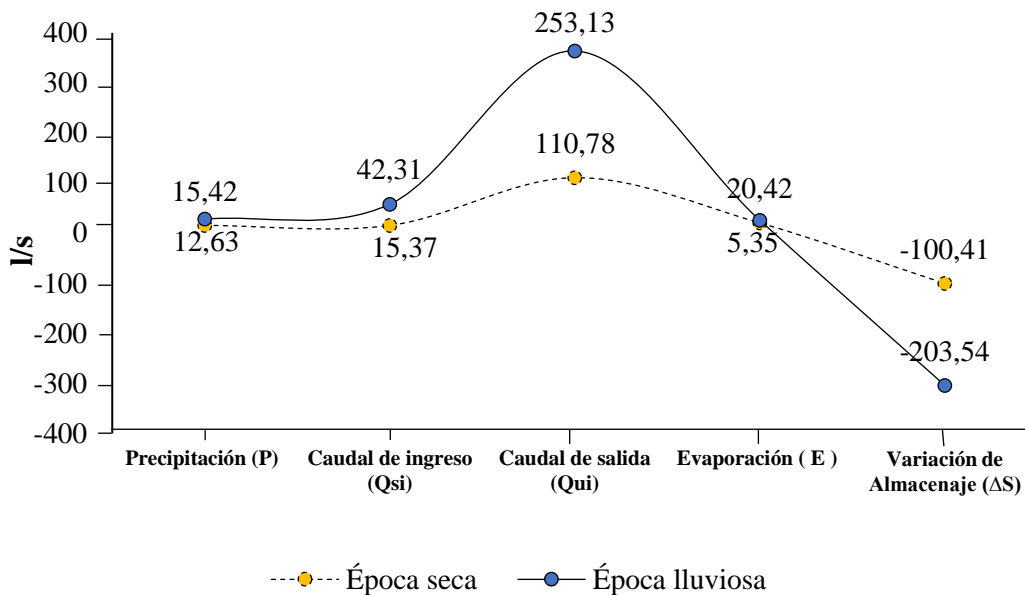


Figura 24. Variabilidad estacional de entradas y salidas

Las pérdidas de agua en la Laguna Huarmicocha se da a lo largo de todo el semestre, tanto en época de lluvia como de estiaje, siendo el caudal de salida con 63,32% la variable más influyente en ambos periodos. Debido a la infraestructura piscícola abandonada y a la existencia de canales cercanos a la laguna, conducen el agua de la laguna hasta las piscinas ocasionando que la laguna no pueda mantener su nivel de almacenamiento hídrico, por lo que muestra un descenso progresivo a través del tiempo.

Smith y Romero (2009) establecen que los humedales urbanos (cercaos a las ciudades) están continuamente sujetos a disturbios antrópicos como el aprovechamiento hídrico para consumo humano, uso agrícola o pecuario y uso recreacional provocando la contaminación, fragmentación del hábitat. Las cifras entregadas por la Convención RAMSAR (2005), señalan que en el último siglo más de la mitad de la superficie de humedales en el mundo ha desaparecido. En este sentido, las actividades antrópicas son las principales causas de la modificación de cuerpos de agua generando alteración del ciclo hidrológico, variación en

profundidad del agua y cambios en la estructura y composición de la vegetación (Kusch, Cárcamo y Gómez, 2008).

En la Figura 25, se muestra la relación entre las variables que intervienen en el balance hídrico, las cuales representan un balance semestral negativo de 303,96 l/s, representando un déficit en la disponibilidad de agua durante el periodo de la investigación.

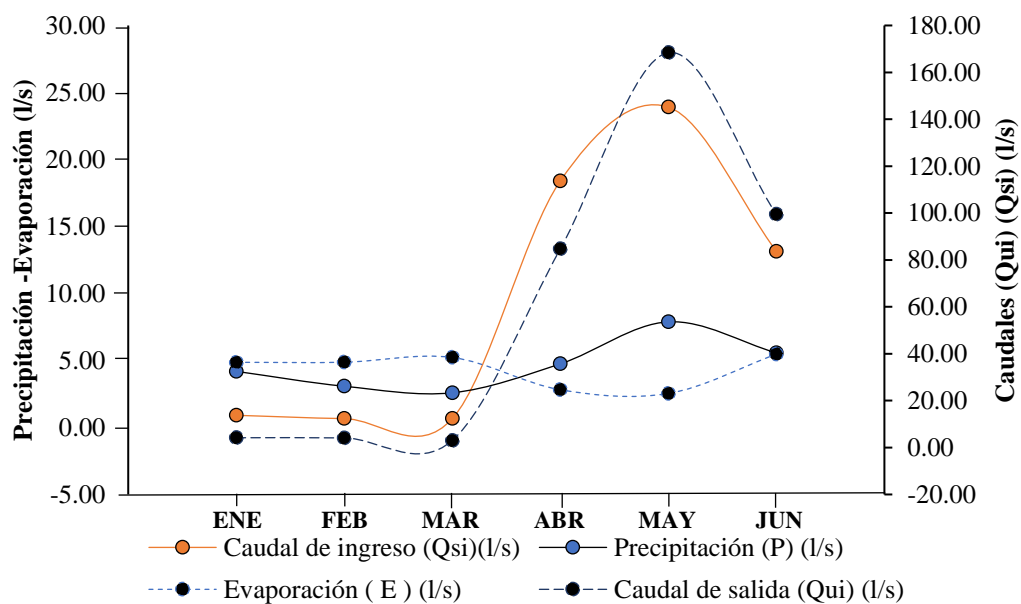


Figura 25. Variables del balance hídrico de la Laguna Huarmicocha

La precipitación presentó variaciones en el mes de febrero y marzo donde se obtuvo un nivel bajo con 3,08 l/s y 2,59 l/s y el mes más alto en mayo con 7,88 l/s, lo que significa un aporte de 9,22% de cantidad de agua; en cuanto al caudal de ingreso se tiene un aporte de 0,66 l/s para ambos meses, mientras que en el mes de mayo se obtiene 23,91 l/s lo que indica un 18,98% de aporte al sistema lacustre.

Por otro lado, la variable de evaporación representa 8,48% de salida del sistema, en los meses de abril y mayo presenta menor evaporación 2,81 y 2,54 l/s respectivamente siendo junio el mes con mayor evaporación 5,47 l/s. Las variables de evaporación y precipitación se ven influenciadas con la temperatura, donde, a mayor temperatura mayor evaporación y menor precipitación o viceversa, se puede

diferenciar claramente las épocas de lluvia y sequía, en los lagos de Etiopía se obtienen resultados similares existiendo niveles altos de evaporación en algunos meses del año y aumentos de temperatura debido al impacto de las actividades antrópicas y al cambio climático (Wetzel, 1981; Casallas, 2002) (Tabla 10).

Tabla 10. Balance hídrico de la Laguna Huarmicocha

MESES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL
Precipitación (P) (l/s) (mm)	4,19	3,08	2,59	4,74	7,88	5,57	28,04
Caudal de ingreso (Qsi)(l/s)(mm)	0,91	0,66	0,66	18,40	23,91	13,15	57,69
Caudal de salida (Qui) (l/s) (mm)	4,18	4,11	3,05	84,73	168,40	99,44	363,91
Evaporación (E) (l/s) (mm)	4,86	4,87	5,22	2,81	2,54	5,47	25,77
Variación de Almacenaje (ΔS) (l/s) (mm)	-3,95	-5,24	-5,02	-64,39	-139,15	-86,20	-303,96

Sin embargo, la variable que mayor influencia tiene sobre el sistema es el caudal de salida que representa un 63,32%, al igual que las demás variables en el mes de mayo se puede determinar que los caudales aumentan significativamente debido a las precipitaciones en la zona, resultados similares a los estudios realizados en Etiopía donde las actividades antrópicas condicionan y alteran el ciclo del agua (Lamb, Bates, Coombes y Marshall, 2011; Casallas, 2002).

4.3. Planteamiento de estrategias de conservación y control del recurso hídrico de la Laguna Huarmicocha en base al modelo hidrológico obtenido

De acuerdo con la información otorgada por la Fundación Ambiental Urcu Camas no todos los integrantes conocen las problemáticas, planificación o acuerdos existentes para la conservación natural del páramo y de la Laguna Huarmicocha. De esta manera se recopiló y sistematizó toda la información obtenida de los mapas parlantes, donde se logró identificar los principales problemas antrópicos y naturales dentro, y alrededor de la Laguna Huarmicocha. Esta información fue

utilizada para el planteamiento y elaboración de la propuesta de estrategias de conservación y control de la Laguna Huarmicocha; a su vez permite que los gobiernos locales actúen de manera eficaz promoviendo la declaratoria como Área de Conservación y Usos Sustentable (ACUS) a la zona de Mojanda que, por su belleza paisajística, radica en ser una reserva hídrica de gran importancia para el cantón Pedro Moncayo.

La Laguna Huarmicocha ha visto alterada debido a las actividades antrópicas y naturales a través del tiempo. Los problemas identificados se observan a continuación (Figura 26):

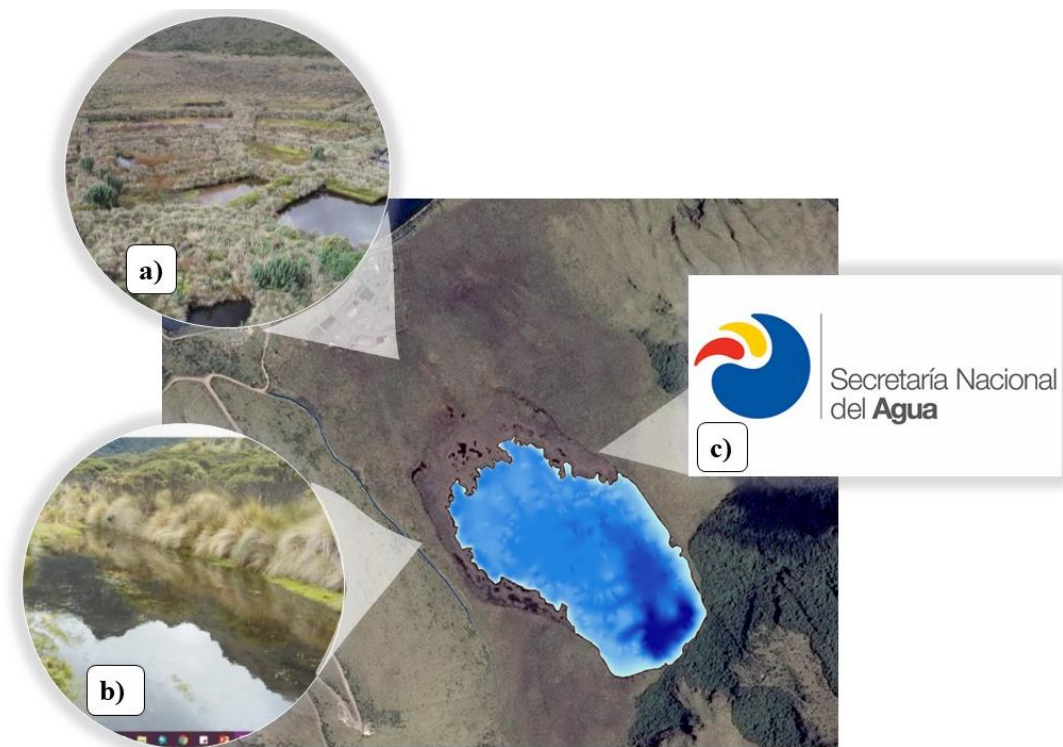


Figura 26. Problemas identificados dentro del área natural, a) Piscina de truchas, b) senderos de ingreso, c) Concesión de SENAGUA

Se identificó como problema antrópico principal, la infraestructura de las piscinas de truchas, las cuales se encuentran ubicadas en la parte Noroeste de la Laguna Huarmicocha ocupando un área de 3,57 hectáreas; piscinas que funcionaron por más de una década en las inmediaciones del sistema lacustre Mojanda (Figura 27). En la actualidad, debido a la construcción de canales artificiales se puede evidenciar

el daño ambiental ocasionado a la Laguna Huarmicocha. La construcción de los canales ha hecho que la escorrentía superficial no sea de forma natural provocando la disminución del espejo de agua de la laguna. Esta disminución se debe a la gran cantidad de agua que surge por los canales artificiales hacia el lago Caricocha, lo que impide que la cubeta lacustre se recupere y llegue a su estado natural.



Figura 27. Infraestructura piscícola existente

Otro de los problemas identificados es la apertura de la vía de acceso hacia la laguna ubicado en la parte Suroeste de la laguna Huarmicocha (Figura 28). A lo largo del tiempo la apertura de la vía de acceso hacia la laguna ha generado impactos negativos sobre el sistema lacustre Mojanda principalmente en la laguna Huarmicocha; siendo el arrastre de sedimentos uno de los principales factores que afecta a esta área natural, debido a la baja vegetación, a la pendiente escarpada y erodabilidad moderada y a una mayor escorrentía superficial que arrastra el suelo rico en nutrientes. Además, el acceso de los turistas por senderos no construidos lo que ha provocado el deterioro de la cobertura vegetal de la zona.



Figura 28. Vías de acceso hacia la Laguna Huarmicocha

Actualmente, la Secretaria Nacional del Agua otorgó una concesión en el 06 de junio del 2017 a la Junta de agua “Mushuk Kausay” (provincia de Imbabura) para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico de la Laguna Huarmicocha, siendo este un caudal de 4,05 l/s para consumo. Este proceso se llevó a cabo sin ningún tipo de conversatorio entre las autoridades de los cantones de Otavalo y Pedro Moncayo, además, no se consideró el impacto que ocasionará a la Laguna Huarmicocha a causa del aprovechamiento del recurso Hídrico para uso doméstico, bebederos de ganado, y riego. Así también, de no disponer información técnica sobre la cantidad de almacenamiento hídrico de la laguna para la debida gestión.

Finalmente, atendiendo a los problemas ambientales presentes en la Laguna Huarmicocha, los entes ponderantes determinaron posibles soluciones que se consideraron para el planteamiento de las estrategias de conservación y control, se detallan a continuación:

- a) Retirar la infraestructura de las piscinas de truchas y los canales artificiales logrando la retención de agua, aumentando el espejo de agua y volumen de la Laguna Huarmicocha. Además, de proveer la regeneración natural en el área para evitar el drenado, escorrentía y arrastre de sedimentos hacia el lago Caricocha.
- b) Realizar una restauración ecológica en las zonas de pendiente y un cercado con plantas nativas como el *Polylepis sp*, *Buddleja pichinchensis*, *Hyperecum laricifolium*, especie arbustiva, ideal para colocar en senderos y

camino de acceso hacia la Laguna Huarmicocha. Las cercas vivas ayudarán a controlar el arrastre de sedimentos y el deterioro de cobertura vegetal a causa de turistas.

- c) Para el aprovechamiento del recurso hídrico de la cubeta lacustre Huarmicocha se debe realizar estudios técnicos previos por parte de las autoridades, academia, ONGS y demás organizaciones competentes, que permitan lograr un adecuado manejo, protección y uso sustentable del cuerpo de agua.

4.3.1. Estrategia de conservación y control de la Laguna Huarmicocha

Los humedales se siguen degradando a un ritmo alarmante como resultado de las actividades humanas, es necesario mantener un conocimiento claro de los beneficios que proporcionan estos ecosistemas; para detener la pérdida de los humedales altoandinos es importante la aplicación de estrategias de conservación y control de manera que permita su permanencia en el tiempo (Anexo 13).

- **Antecedentes**

A través del tiempo el sistema lacustre Mojanda ha presentado impactos negativos a causa de las actividades antrópicas, tal es el caso de la construcción de piscinas de truchas que funcionaron por más de una década en las inmediaciones de las lagunas de Mojanda, ubicadas en la parte noroeste de la Laguna Huarmicocha ocupando un área de 3,57 hectáreas. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se determinó que existe un déficit en la capacidad de almacenamiento de la Laguna Huarmicocha debido al alto impacto que ocasiona la infraestructura de las piscinas de truchas presentes en el área natural. Se ha evidenciado la baja retención de agua a causa de la escorrentía superficial que circula por los canales artificiales hacia la laguna Caricocha provocando la disminución del espejo de agua de la cubeta lacustre Huarmicocha.

Además, la apertura de vías de acceso ha generado impactos negativos provocando el deterioro de la laguna, siendo los turistas, el arrastre de sedimentos, pendiente y baja vegetación lo que ha ocasionado una grave afectación en este ecosistema. En este caso es importante la implementación de técnicas hidrométricas como un monitoreo hidrológico en sistemas lacustres con el fin de mantener un registro constante de datos con mayor precisión para poder analizar y valorar de forma correcta la dinámica de la laguna a través del tiempo (Gonzales, 2010; Perevochtchikova y García ,2005) considerando los resultados de esta investigación muestran que es cuestión de tiempo para que pueda llegar a extinguirse.

Otra de las técnicas importantes es la restauración ecológica, que de acuerdo con la Convención de Ramsar define a la restauración como las actividades que ayudan a mejorar el funcionamiento del humedal que han sido disturbados por acción del hombre permitiendo la recuperación del ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, sin necesariamente devolverlo a su estado natural (Ramsar, 2012; La Sociedad para la Restauración Ecológica, 2004).

De acuerdo con la metodología "El esquema cinco S: Sistemas (systems), presiones (Stresses), fuentes (sources), estrategias (strategies) y Éxito (sucess)" propuesto por The Nature Conservancy, se formuló una estrategia adecuada a la realidad del ecosistema.

- **Objetivo general de la estrategia**

Plantear la estrategia de conservación y control “Monitoreo hidrológico, calidad de agua y restauración ecológica”, para la preservación local de la Laguna Huarmicocha.

- **Objetivos específicos de la estrategia**

- Establecer un protocolo de monitoreo hidrológico para la Laguna Huarmicocha

- Aplicar técnicas de restauración natural en áreas focales entorno a la Laguna Huarmicocha
- Monitorear el estado de los espacios de restauración ecológica periódicamente en la Laguna Huarmicocha
- **Principales actores clave**
- Ministerio del Ambiente Ecuatoriano MAE - Pichincha).
- Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA).
- Unidad de Gestión Ambiental del Gobierno Provincial de Pichincha (UGA – GPP).
- Unidad de Gestión Ambiental Pedro Moncayo (UGA - GADPM).
- 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.
- **Marco legal ambiental**
- Constitución Política de la República del Ecuador
- Convenio cambio climático.
- 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.

- Código Orgánico Ambiental (COA).
- Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención.
- Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).
- **Actividades por desarrollarse**

A continuación, se detallan las actividades a desarrollarse:

- **Protocolo de monitoreo hidrológico de caudales entrantes y salientes dentro de la Laguna Huarmicocha**

El agua es un elemento esencial para los seres vivos, está involucrado en todas las actividades e interacciones en los ecosistemas. Por lo tanto, es de vital importancia la conservación y recuperación de las fuentes de este elemento, que se ve amenazado por actividades provocadas por el ser humano. Elemento que ha presentado una disminución de la cantidad disponible y deterioro en las características fisicoquímicas (ASOCAÑA, 2012).

Con la finalidad de conocer los impactos provocados, surge la necesidad de implementar un protocolo de seguimiento de manera cualitativa y cuantitativa del recurso hídrico en la Laguna Huarmicocha. El protocolo de monitoreo hidrológico servirá como una herramienta para la recolección de datos y a largo plazo poder inferir sobre los cambios efectuados en este ecosistema acuático.

a) Selección de sitios de monitoreo

Los puntos de muestreo deben estar debidamente georreferenciados para ser establecidos como puntos de monitoreo permanente, con un código que los identifique con la finalidad de permitir el acceso rápido de información una vez almacenada. Se han identificado ocho puntos de monitoreo fuera de la laguna, siendo tres puntos de caudal de salida, dos permanentes y un estacionario, cuatro puntos de caudal de entrada, un permanente y tres estacionarios; y un punto de monitoreo dentro de la laguna (Figura 29). El sitio de monitoreo debe cumplir los requerimientos enunciados en la Tabla 11.

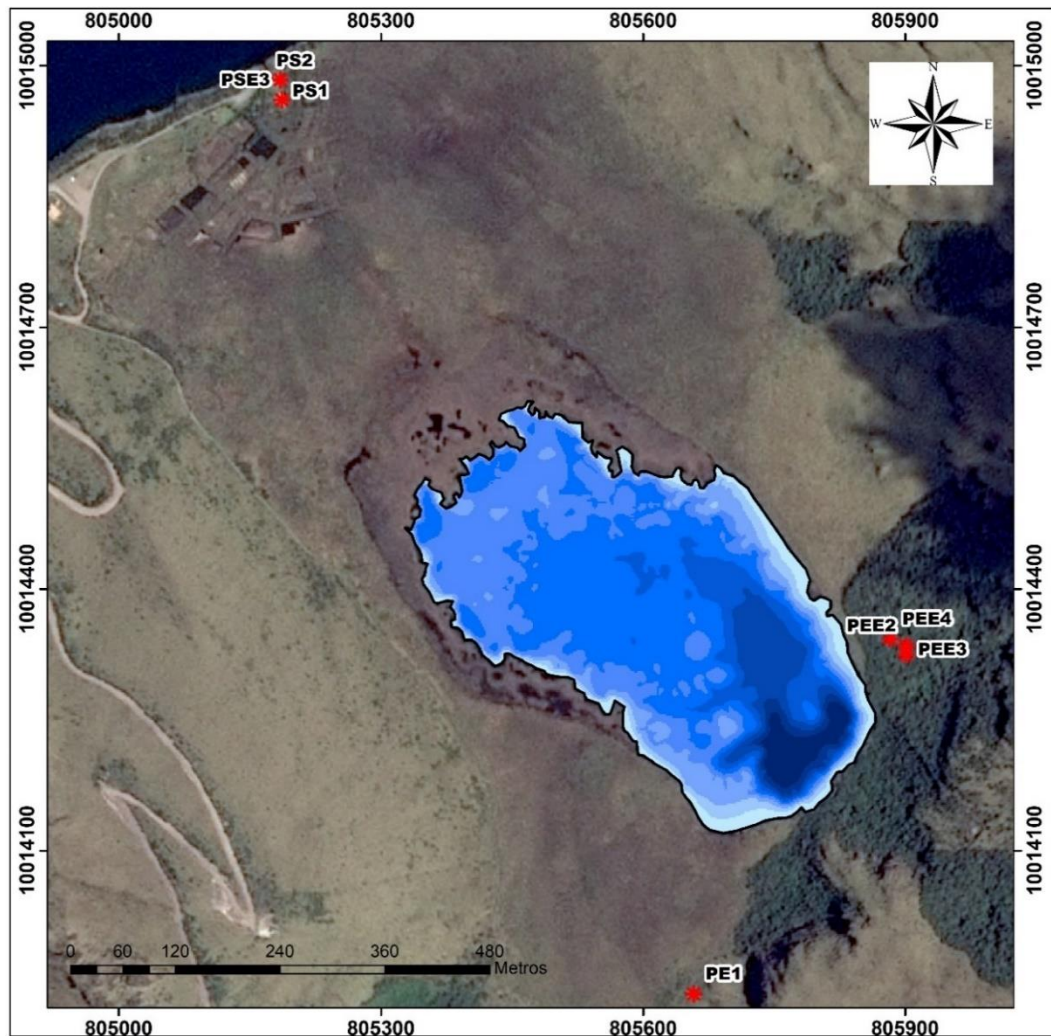


Figura 29. Ubicación de puntos de monitoreo de caudales de entrada y salida
Tabla 11. Criterios de selección para sitios de monitoreo

INDICADOR	VARIABLE	CRITERIO
CANTIDAD DE AGUA	Nivel	Limnómetro graduado de hierro resistente Accesibilidad Finalidad de observaciones Tramo recto de canal
	Caudal	Métodos adecuados de monitoreo de acuerdo con la cantidad de agua del canal, río, acequia, etc; Método del vertedero triangular dimensiones 40 x 40 cm, incisión V 15 cm con un ángulo de 90 ° El canal no debe tener relleno, libre de plantas acuáticas

		Orillas libres de hojarasca y arbustos
		Fácil acceso para la medición
		Lecho del canal uniforme y estable
		Evitar los canales con pendientes
		Corriente con régimen natural
		Ubicación de punto profundo
		Recorrido en bote
		Empleo de equipos para monitoreo en lagos como Ecosonda GPSMap526s, GPSMap Garmín 526s, portátil de campo Durabook, software DrDepth, Hidrolab HL4,
		Fijación del equipo de monitoreo, para un mejor funcionamiento
CALIDAD DE AGUA	Parámetros fisicoquímicos y morfológicos	Accesibilidad y Asequibilidad
		Mano de obra disponible, fondos, medios para el proceso de datos
		Condiciones climáticas
		Trasporte de personal
		Muestreos con turbulencias suelen no ser representativos

b) Frecuencia de monitoreo

Para medir las fluctuaciones de los niveles de agua de un punto determinado de un cuerpo de agua se debe realizar la lectura del limnómetro o del maxímetro en crecidas; es importante realizar los registros dos veces al día y en horas fijas, según lo establece las normas internacionales dictadas por la OMM (2011).

En cuanto a la calidad de agua, se debe realizar el monitoreo dos veces al año considerando los recursos y el personal que se disponga. Es importante realizar el pronóstico de las variaciones de los parámetros fisicoquímicos que ocurren en el cuerpo de agua; se debe realizar una evaluación de los resultados para determinar la necesidad de incluir o suprimir parámetros o variar la frecuencia de monitoreo si algún parámetro debe ser analizado con menor o mayor frecuencia. Los cambios que se realicen deben estar dados de acuerdo con los datos y observaciones de campo (Portilla, 2015).

c) Medición de caudales de entrada y salida

El monitoreo hidrológico fue establecido mediante salidas de campo, considerando la ubicación de puntos de muestreo relevantes como entradas y salidas de agua. Se estableció 7 puntos de muestreo de acuerdo con el referente de ubicación como bosque, canales de piscinas de truchas y vertientes naturales que se encuentran de forma permanente en el área (Tabla 12).

Tabla 12. Puntos de muestreo meses de enero a junio 2018

PUNTOS	COORDENADAS		ALTURA msnm
	X	Y	
PS1	805185	10014984	3740
PS2	805167	10014986	3733
PSE3	805187	10014961	3747
PE1	805658	10013936	3768
PEE2	805901	10014335	3540
PEE3	805901	10014325	3542
PEE4	805883	10014343	3752

a. Caudal método volumétrico

Para determinar el caudal de volumen pequeño como riachuelo, tubo de captación o grifo, es preferible medirlo por este tipo de método.

Se requiere:

- 1) Balde de 5 o 10 litros
- 2) Cronometro
- 3) Calculadora

• Procedimiento de medición

- 1) Llenar el balde con agua hasta la marca de 5 o 10 litros y tomar el tiempo que tarda en llegar a la marca (Figura 30).
- 2) Dividir el volumen de agua (5 o 10 litros) para el tiempo (segundos) que tomo en llenarse el balde.
- 3) Repetir el procedimiento de 3 a 5 veces para mayor exactitud.

4) El caudal registrado debe ser como litros/ segundo.



Figura 30. Medición de caudal por método volumétrico. a) Recoger el agua en un balde de 5 litros, b) Registro de tiempo en la ficha de campo

b. Caudal método flotador

Para medir la cantidad de agua de un caudal que pasa por un punto determinado durante un tiempo determinado, se emplea el método de flotador. La cantidad de agua que pasa por un punto se mide en litros/segundos o en m^3 por segundo. Para determinar el caudal total se aplica la fórmula:

Ecuación 14. Fórmula para el cálculo de caudal- método flotador

$$Q = A \times v \times n$$

Donde:

Q = caudal en metros sobre segundo (m^3/s).

A = Área transversal promedio, (m^2), se obtiene multiplicando el ancho del canal por el promedio de la profundidad.

v = Velocidad superficial (m/s), se obtiene dividiendo la longitud recorrida por el elemento flotante por el tiempo en segundos.

n = Factor depende del material del fondo del canal y corrige el valor de velocidad superficial por un valor de velocidad media representativo (0,8 para ríos de base rocosa, 0,9 para ríos sedimentados o canales de riego).

Se requiere utilizar:

- 1) 4 estacas de 30 cm para fijar el inicio y final del segmento del transecto.
- 2) Un flexómetro o cinta de 10 metros.
- 3) Una regla de 60 cm de metal para medir la profundidad.
- 4) Un flotador, puede ser pelota ligera, una hoja, foamy etc.
- 5) Cronómetro.
- 6) Una calculadora.
- 7) Hilo o piola plástica

- **Procedimiento**

- a) Buscar una sección del río o canal que sea recta y uniforme.
- b) Marcar una sección de 2 metros si el canal es pequeño, caso contrario debe ser de 10 metros (Figura 31).
- c) Al inicio de la sección se libera el flotador y con el cronómetro tomamos el tiempo que tarda en llegar al final. Se realizan de 3 a 5 repeticiones para mayor exactitud.
- d) Se mide el ancho del río al inicio del transecto y al final del transecto (2 transectos).
- e) Se mide la profundidad en los puntos de forma transversal (laterales y centro).
- f) Se llenan los datos en el formulario de campo para realizar los cálculos correspondientes.



Figura 31. Medición de caudal método de flotador. a y b) Búsqueda de sección recta y medición longitudinal del canal, c) Medición ancho del canal, d) Medición de profundidades

c. Caudal método de vertedero

Existen diferentes tipos de vertederos entre los más utilizados tenemos el vertedero triangular y rectangular, los cuales permiten obstruir el paso del agua logrando una elevación del nivel y dar paso a la circulación del agua por medio de la incisión que estos presentan.

Para el cálculo del caudal por vertedero se emplean las fórmulas:

Ecuación 15. Fórmula de Thomson

$$Q = 1,4 \times H^{(5/2)}$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s).

H = Altura o carga de agua (m), abarcando cargas $0,05 < H < 0,25$ m.

Ecuación 16. Fórmula de Francis

$$Q = 1,84x (L - 0,2 H)x H^{(3/2)}$$

Donde:

Q = Gasto (m^3/s)

H = Altura o carga leída en el punto de referencia (m)

L =Largo de la cresta del vertedero en (m)

Para medir el caudal se requiere:

- 1) Una estructura de madera o metal de 40 x 40 cm, la cual contenga una incisión en V de 15 cm, (Figura 32).

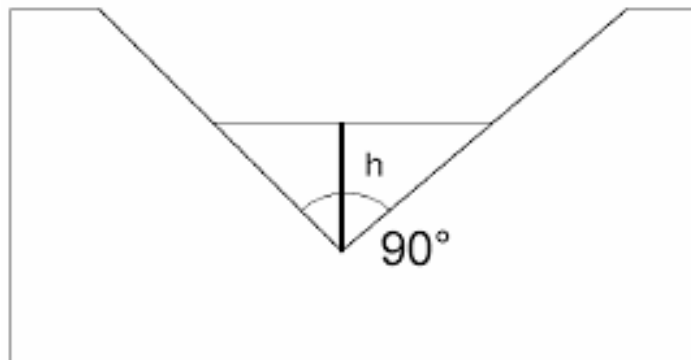
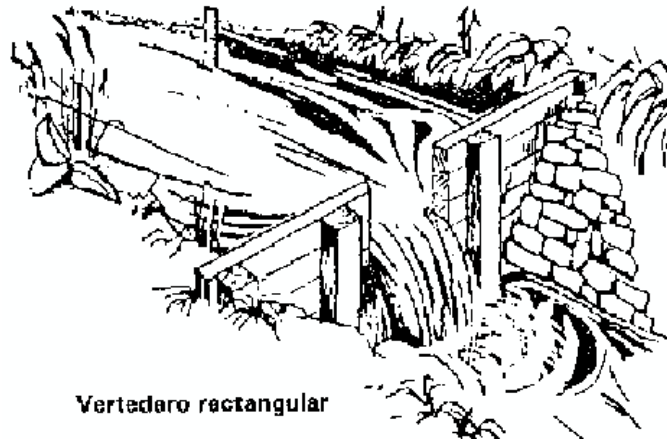


Figura 32. Vertedero triangular

- 2) Una estructura de madera, cemento o metal, con una incisión en rectángulo.
Las dimensiones varían según el ancho del canal (Figura 33).
- 3) Una regla metálica de 60 cm.
- 4) Plastilina.



Vertedero rectangular

Figura 33. Vertedero rectangular
Fuente: Morales, A. (2002)

- **Procedimiento**

- 1) Buscar una sección de canal que sea recta.
- 2) Colocar el vertedero en el canal, procurando evitar fugas de agua por los laterales (Figura 34).
- 3) Con la plastilina tratar de rellenar los laterales para evitar fugas, esto se lo realiza si el vertedero se encuentra en un canal de cemento.
- 4) Se espera hasta que el agua retenida pase por la incisión y con la regla se mide la carga o cabeza (H) de la corriente sobre el vertedero.
- 5) En el caso del vertedero rectangular se mide el largo de la cresta (L), y la altura (H) de la corriente sobre el vertedero.
- 6) Se registra los datos en el formulario de campo.



Figura 34. Medición de caudal método de vertedero. a) Vertedero triangular, b) Vertedero rectangular

d. Frecuencia de monitoreo

El monitoreo hidrológico de caudales se debe realizar dos veces al mes con el objetivo de recopilar la mayor cantidad de información que permita realizar un análisis claro para la gestión, conservación y protección de la cubeta lacustre. Es importante realizar el monitoreo hidrológico en diferentes épocas del año, por ejemplo, en la época de lluvia y en la época seca, para poder observar la variación de las condiciones ambientales. Además, se debe considerar las condiciones ambientales de cada sitio.

d) Medición de precipitación

Debido a la importancia de obtener información se presenta una descripción general de cómo realizar las mediciones para determinar la cantidad de agua disponible en los sitios de muestreo, además se debe considerar que la precipitación, evaporación y temperatura son variables meteorológicas que deben ser medidas en el área de estudio (Calles, 2015; GLOBE, 2005).

Para obtener datos de precipitación es necesario la utilización de pluviómetros, sean estos manuales o totalizadores.

a. Instalación de pluviómetro totalizador

Se debe colocar en una zona abierta sin vegetación alrededor. Colocar el pluviómetro adherido a una estaca de 1,5 metros de altura (Figura 35).

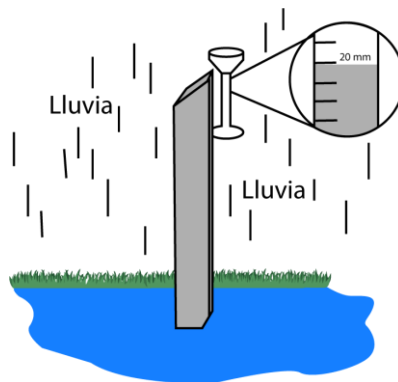


Figura 35. Forma de instalación del pluviómetro
Fuente: Programa GLOBE

b. Procedimiento pluviómetro totalizador

Para medir la precipitación en el sitio de monitoreo se debe realizar lo siguiente:

- 1) Poner agua retenida en la botella en la probeta de medición (Figura 36).
- 2) Anotar el total de mm de agua acumulada en el recipiente.
- 3) Registrar la cantidad de agua en el formulario de campo.
- 4) En el caso no haber lluvia el registro debe ser cero (0) como dato, y si no se tomó el dato colocar como NO leído.

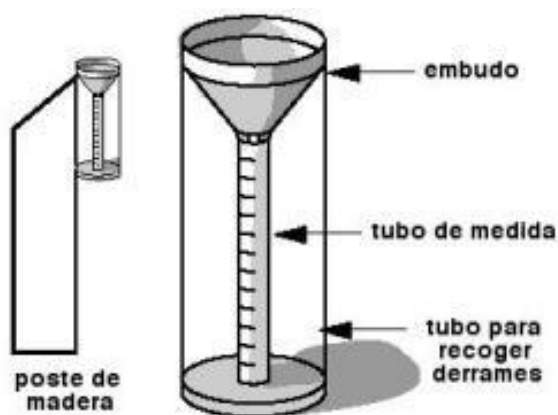


Figura 36. Medición de precipitación

Fuente: Programa GLOBE

c. Frecuencia de registro

El registro de datos de precipitación debe ser diariamente de ser posible, caso contrario el registro se lo puede realizar una vez al mes o cada dos semanas.

e) Lectura del limnómetro

La lectura del limnómetro o del maxímetro es importante realizar los registros dos veces al día y en horas fijas, según lo establecen las normas internacionales dictadas por la OMM (2011).

• Procedimiento de medición

1. Leer el dato de la regleta del limnómetro.

2. Retirar los testigos del maxímetro.
3. Observar el color de la primera tapa testigo que se encuentre húmeda (arriba hacia abajo).
4. Ubicar nuevamente los testigos en el interior del maxímetro.
5. Proceder a la lectura del nivel del maxímetro de acuerdo con el color de la tapa testigo.



Figura 37. Lectura del limnómetro y maxímetro. a) Obtención de dato limnimétrico, b) Obtención de dato maximétrico

- **Protocolo de muestreo de parámetros fisicoquímicos y biológicos**

Guía de campo

Esta guía está basada en el protocolo de monitoreo establecido por el proyecto VLIR-UOS Iniciativa del Sur en el año 2013 (Portilla, 2015).

a) Selección de punto de muestreo

Se determinó el punto de muestreo para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos, que corresponde al punto más profundo cercano al remanente de bosque y este se encuentra en las coordenadas en X= 10014184 y Y= 805736 (Figura 38).

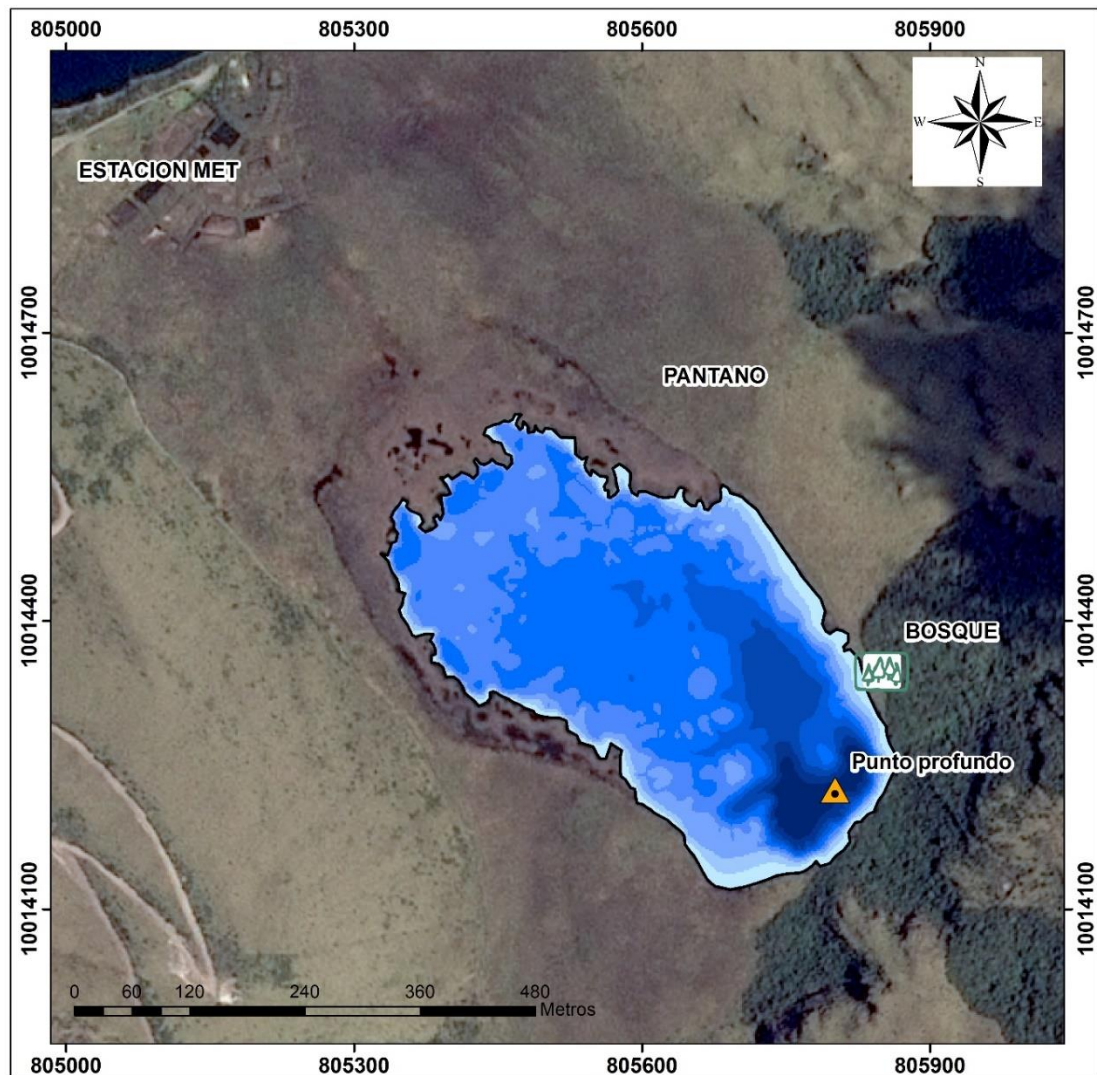


Figura 38. Mapa del punto de muestreo de los parámetros fisicoquímicos de la Laguna Huarmicocha

- **Fase de campo**

Esta fase corresponde a la obtención de datos morfométricos, fisicoquímicos y biológicos por medio de equipos de campo como Hidrolab HL4, Disco secchi, Ecosonda, Trampa Schidler Patalas, Navegador GPSGarmin 526S, entre otros. Todos los equipos a ser utilizados durante el monitoreo deben estar colocados y asegurados dentro del bote, considerando que no haya peligro de que se puedan caer al agua durante el monitoreo (Figura 39).



Figura 39. Equipos utilizados en campo. a) Hidrolab HL4, b) Equipos para batimetría

a. Batimetría

- 1) Anclar los equipos al bote, los cuales deben estar asegurados para el registro de datos con mayor precisión.



Figura 40. Anclaje y preparación de equipos
Fuente: Registro fotográfico VLIR-UOS

- 2) Al iniciar el monitoreo se debe marcar el punto de inicio con el navegador GPS Garmin 526s.



Figura 41. Ubicación del punto de inicio. a) Encender navegador GPS Garmin 526s, b) Visualización ubicación del punto inicial

3) Continuar con el recorrido tratando de cubrir toda el área de la laguna.



Figura 42. Recorrido en bote

4) Una vez terminado el monitoreo se guarda el archivo en un formato (.drd), para procesarlo posteriormente.



Figura 43. Mapa batimétrico formato (. drd)

b. Parámetros fisicoquímicos

Para iniciar el muestreo, se debe navegar hacia la ubicación y localizar con el navegador GPS Garmín 526s el punto más profundo (Figura 44). El bote debe estar anclado al fondo de la cubeta, procurando evitar que se aleje del punto señalado. En la plantilla de muestreo se debe registrar la información como día, hora, condiciones del agua entre otros.



Figura 44. Ubicación punto profundo. a) Recorrido Batimétrico, b) Punto profundo

Para la toma de mediciones se debe utilizar un sensor debidamente calibrado. Los parámetros por monitorear son la conductividad, pH, oxígeno disuelto, temperatura, presión barométrica, turbidez, en la columna de agua a una profundidad de cuatro metros, tomando en consideración que el oleaje sea menor. A continuación, se debe encender el equipo multiparámetro y se debe programar el intervalo de tiempo (segundos) que los datos serán tomados, con ayuda de un cable se sumerge lentamente el equipo en la cubeta lacustre para el registro y se espera alrededor de ocho minutos mientras los valores de las mediciones se vuelvan estables (Figura 45).

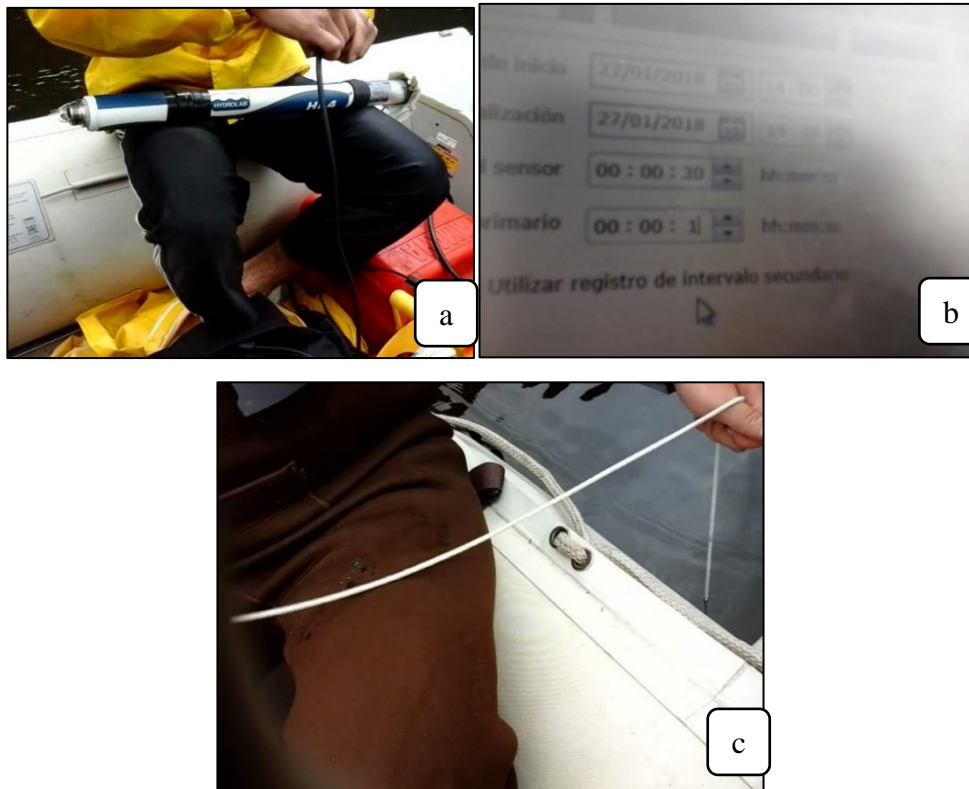


Figura 45. Medición de parámetros fisicoquímicos del agua. a) Encendido del Multiparámetro, b) Programar el intervalo de tiempo, c) Sumergir lentamente el equipo

Se recomienda leer las instrucciones de uso del multiparámetro, además, el equipo debe ser calibrado para cada monitoreo, se debe crear un mapa multiparámetro para cada lago para lecturas posteriores. Además, se debe registrar en la ficha de campo las coordenadas, las condiciones climáticas y la profundidad que a sido sumergido el equipo.

c. Transparencia del agua: Disco Secchi

Para determinar la profundidad de luz visible en el cuerpo de agua se utiliza el Disco Secchi, es recomendable realizar la medición entre las 10 am y las 3 pm. Este parámetro en lo posible debe ser tomado por la misma persona durante el periodo de estudio, el cable unido al disco debe ser lo más vertical posible en la columna de agua. Se baja lentamente el disco hasta que el patrón en blanco y negro en el disco sea invisible y luego se baja el disco un poco más, hasta que no se lo pueda divisar. En lo posible debe ser tomado por la misma persona durante el periodo de estudio,

los resultados. Adicionalmente, se debe realizar un respaldo de la ficha de campo, con ayuda de una cámara fotográfica.

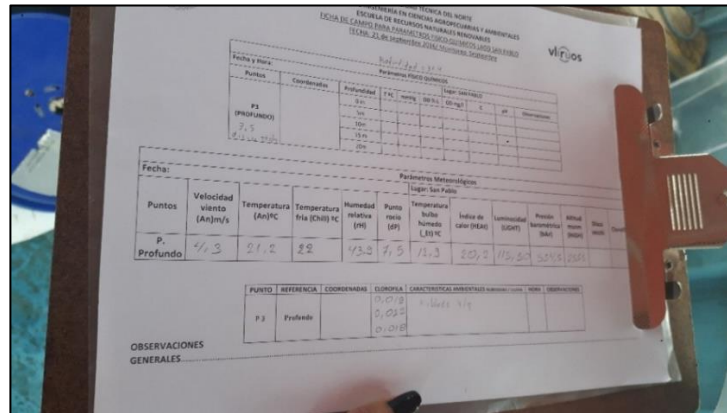


Figura 48. Verificación de datos en la ficha de campo
Fuente: Registro fotográfico Proyecto VLIR UOS.

Finalizado el monitoreo se debe limpiar los sensores del multiparámetro con agua destilada, una vez concluido este proceso los sensores deben ser guardados de acuerdo con las instrucciones del manual y procurando evitar daños en cada uno de los equipos.

d. Frecuencia

- 1) El monitoreo batimétrico se lo debe realizar de una vez al año, considerando los recursos necesarios como personal, equipos de campo entre otros.
- 2) El monitoreo de parámetros físicoquímicos se recomienda realizar una vez al mes, en caso de no ser posible, se debe realizar dos veces al año. Este monitoreo es muy importante para la obtención de información que servirá para determinar el estado en que se encuentra la cubeta lacustre Huarmicocha.

- **Fase de laboratorio**

Corresponde a las actividades de antes y después del monitoreo, al iniciar se debe verificar los puntos de muestreo en el GPS, con la tabla de las coordenadas, verificación de baterías de los equipos a utilizar, las mismas deben contener la suficiente energía para realizar el trabajo de campo. En el campo se debe registrar los puntos GPS con un código que sea de fácil identificación.



Figura 49. Verificación de equipos
Fuente: Registro fotográfico proyecto VLIR UOS.

Se debe realizar la calibración y limpieza de los sensores multiparámetro antes de la salida de campo en el laboratorio LABINAM, con agua destilada y utilizando guantes quirúrgicos se procede a eliminar las impurezas y evitar la acumulación en áreas sensibles. Se debe calibrar las mediciones de pH, conductividad y oxígeno disuelto siguiendo las instrucciones del manual de fábrica utilizando las soluciones buffer de cada sensor (Portilla, 2015). Y se coloca la protección antes de salir al campo en cada uno de los equipos, además se debe verificar las fichas de campo.

- **Factores de presión antrópica en la Laguna Huarmicocha**

De acuerdo con la metodología de The Natural Conservance se establece factores de presión antrópica a la antigua infraestructura de producción de truchas y a la vía de ingreso a la laguna Huarmicocha (Figura 50) (Andrade, 2016; Vargas y Velasco, 2011).

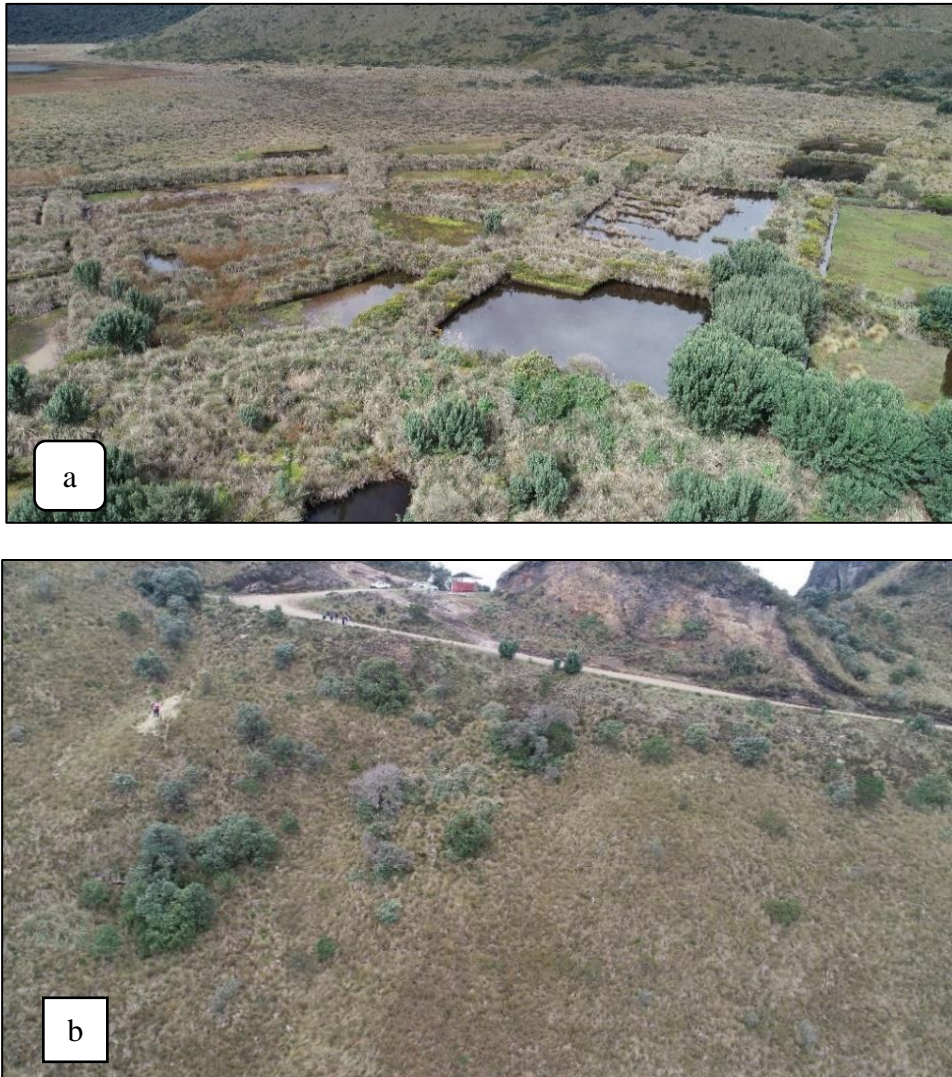


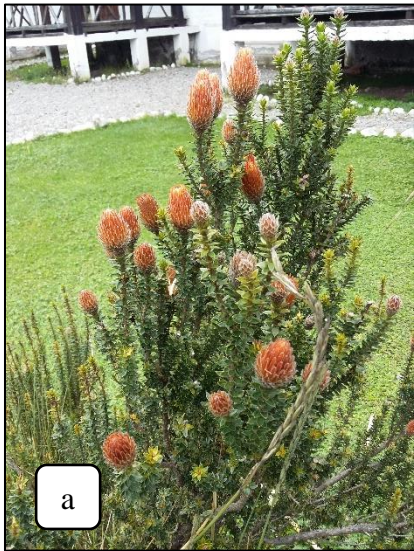
Figura 50. a) Infraestructura de 16 piscinas de truchas, b) Vías de acceso y punto focal de arrastre de sedimentos a la Laguna Huarmicocha

- **Restauración ecológica en factores de tensión antrópica**

La restauración ecológica esta defina como la aplicación de técnicas y estrategias que permiten el restablecimiento parcial o total de estructura y función de los ecosistemas disturbados. Una estrategia, está integrada por una serie de acciones que nos permite obtener un determinado resultado, es decir, que es un camino que se ha probado y se pretende llegar al punto deseado (Aguirre, Torres y Velasco, 2013; Vargas y Velasco, 2011).

a. Cobertura vegetal

En base al análisis multitemporal de cobertura vegetal realizado por Andrade, (2016) y una revisión bibliográfica se establece el tipo de vegetación ideal para la conservación (Figura 51), siendo de tipo arbustiva (*Chuquiraga jussieui*), (*Buddleja pichinchensis*), (*Hypericum laricifolium*), (*Monnina crassifolia*) y arbórea (*Polylepis sp*) debido a su fisiología y por estar presente en remanentes de bosque alrededor del sistema lacustre Mojanda, que ayudan con la retención e infiltración del agua lluvia (Guerrero, 2012; Aguirre, Torres y Velasco, 2013).



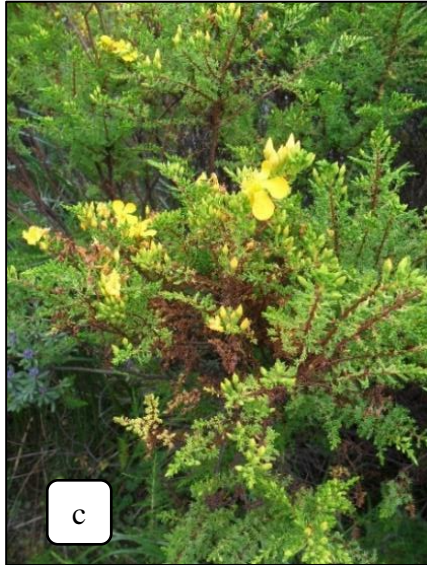
TAXONOMÍA

Reino: Plantae
Filo: Tracheophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Asterales
Familia: Asteraceae
Género: *Chuquiraga*
Nombre científico: *Chuquiraga jussieui*



TAXONOMÍA

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Equisetopsida
Orden: Fabales
Familia: Polygalaceae
Género: *Monnina*
Nombre científico: *Monnina crassifolia*



TAXONOMÍA

Reino: Plantae
 División: Magnoliophyta
 Clase: Manoliopsida
 Orden: Malpighiales
 Familia: Hypericaceae
 Género: *Hypericum*
 Nombre científico: *Hypericum laricifolium*



TAXONOMÍA

Reino: Plantae
 División: Magnoliophyta
 Clase: Magnoliopsida
 Orden: Rosales
 Familia: Rosaceae
 Género: *Polylepis*
 Nombre científico: *Polylepis sp*

Figura 51. Taxonomía de las plantas sugeridas para la restauración y cercado. a), b), c) Vegetación de tipo arbustiva, d) Vegetación de tipo arbórea
Fuente: Henrik, Navarrete, De la Torre., y Macia. (2008). Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador; Patzelt (2002). Flora del Ecuador. 24-53.

b. Propagación de plantas nativas

Una vez seleccionadas las plantas indicadas para la restauración, es necesario la identificación de remanentes de bosque que pueden ser útiles para la recolección de semillas. La propagación se debe realizar en un vivero sea este comercial o

comunal, tomando en consideración el tipo de reproducción de cada planta sea esta por semillas, estacas entre otras (Torres y Velasco, 2013).



Figura 52. Propagación de especies. a) Recolección de semillas, b) Germinación, c) Adaptación de plántulas

Fuente: Proyecto páramo andino

c. Cercas vivas

Es una técnica empleada para delimitar un área de terreno, estas son líneas de árboles o arbustos, que bloquean el paso, sea este de ganado, personas entre otros. Se plantea el cercado de la vía de acceso con plantas nativas como Polylepis, Chuquiragua, Romerillo para impedir el ingreso de turistas y arrastre de sedimentos evitando así el daño y deterioro de la Laguna Huarmicocha (Figura 53).



Figura 53. Cercas vivas en vías de acceso. a) Estado Actual, b) Estado Esperado

d. Aislamiento de sectores para regeneración natural

El aislamiento de sectores consiste en construir cercas, empleando postes de madera, alambre de púa o cualquier otra barrera, evitando el ingreso a sitios destinados para la protección (Figura 54). Con la aplicación de esta estrategia se busca evitar la destrucción de la vegetación en el área a regenerar. Por este motivo, para obtener resultados positivos en esta área, es necesario realizar la remoción de la infraestructura piscícola (Vargas y Velasco, 2011).



Figura 54. Aislamiento de sectores. a) Cercado del área a regenerar., b) Zona de las Piscinas

e. Traslado de suelo y de “Tapetes de plantas”

Con la infraestructura de las piscinas retirada y mediante un trabajo conjunto se debe proceder a la aplicación de la técnica de traslado de suelo, el cual consiste en trasladar suelo proveniente de páramos en buen estado, a páramos muy deteriorados (Figura 55). Esta técnica permite promover la colonización de especies pioneras y mediante el enriquecimiento de nutrientes lograr que las especies facilitadoras ejerzan un efecto positivo sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otras especies, llegando a formar núcleos con fisonomía típica del páramo (Vargas y Velasco, 2011; Torres et al., 2011; Ávila et al., 2013, Torres et al., 2013). Mediante esta técnica se puede lograr recuperar 3,57 hectáreas de páramo.

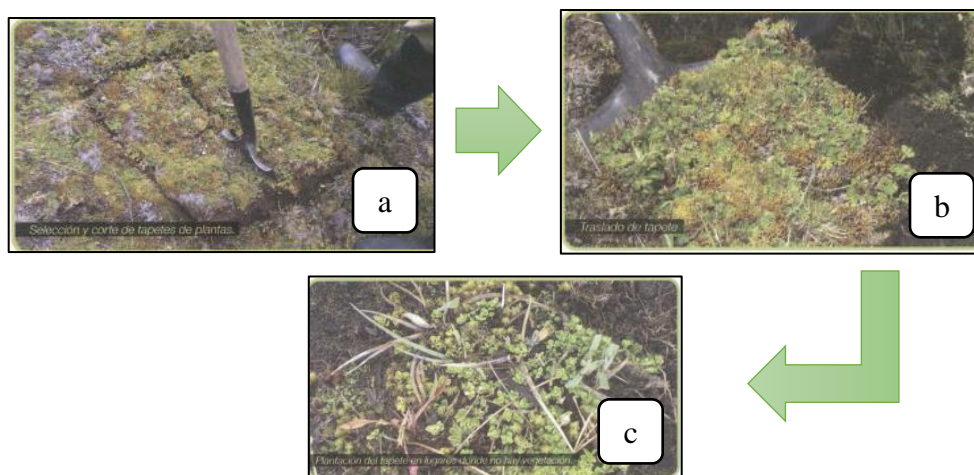


Figura 55. Regeneración natural en puntos focales de arrastre de sedimento y escorrentía superficial. a) Selección del suelo, b) y c) Traslado de suelo y tapetes de plantas.

Fuente: Proyecto páramo andino

f. Monitoreo y evaluación del proceso de restauración

Es necesario, realizar un seguimiento y evaluación en forma permanente del proceso de restauración, así se puede tomar decisiones que permitan hacer cambios en los procedimientos o estrategias que se están utilizando (Vargas y Velasco, 2011). Además, de recopilar información necesaria para conocer detalladamente el desempeño que han tenido estas estrategias (Cabrera y Ramírez, 2014).

g. Proyección del estado de cobertura vegetal y conservación de la Laguna Huarmicocha

Es necesario realizar una proyección el estado de conservación que se encuentra la cubeta lacustre y que a través del tiempo puede verse afectada si no se realiza la debida gestión por parte de los gobiernos sectoriales. A continuación, se presentan tres escenarios de la Laguna Huarmicocha.

- **Estado actual de la Laguna Huarmicocha**

Actualmente se observa el deterioro que ha sufrido la Laguna Huarmicocha a través del tiempo, debido a los impactos negativos producidos por el ser humano. Para lograr conservar este cuerpo de agua es importante el empleo de estrategias que garanticen la permanencia de este en el tiempo para el disfrute de futuras generaciones (Figura 56).



Figura 56. Estado actual de la Laguna Huarmicocha

Fuente: Laboratorio de Geomática

- **Estrategia aplicada en la Laguna Huarmicocha**

La estrategia de cercas vivas permitirá disminuir y controlar la cantidad de sedimentos que ingresan al cuerpo de agua. Además, con el empleo de técnicas enfocadas con la restauración ecológica, se logrará recuperar al alrededor de 38,01 hectáreas de cobertura vegetal, que en los últimos años se ha visto afectada (Figura 57 y 58).

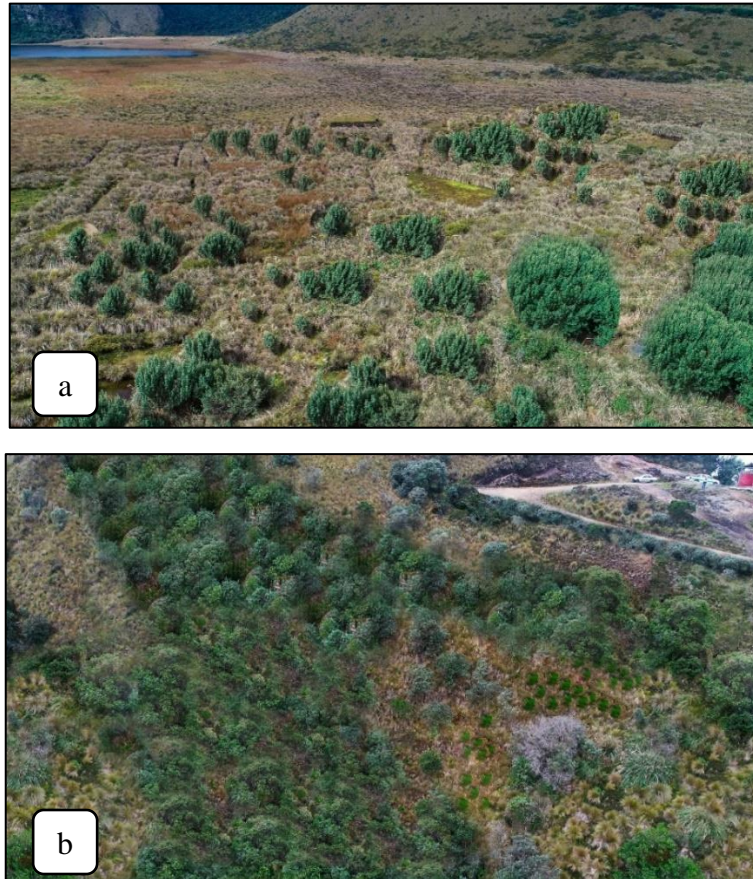


Figura 57. Restauración en sitios intervenidos por actividades antrópicas. a) Regeneración en piscinas, b) Cercas vivas y regeneración en vías de acceso y pendiente

La aplicación de las estrategias de conservación y control permitirá que la Laguna Huarmicocha aumente el volumen del espejo de agua, de esta manera se podrá conservar en el tiempo este entorno natural.



Figura 58. Estado de conservación esperado

- **Estrategia no aplicada en la Laguna Huarmicocha**

La Laguna Huarmicocha se verá afectada negativamente si la concesión de agua es otorgada a la Junta de agua “Mushuk Kausay”, y si los canales artificiales no son controlados el espejo de agua se disminuirá en su totalidad. Debido a la baja densidad de cobertura vegetal y áreas de acceso al no ser controladas, el arrastre de sedimentos por lluvias aumentará llegando a afectar la morfología, composición química y estado ecológico del cuerpo de agua (Figura 59).



Figura 59. Laguna Huarmicocha totalmente deteriorado

h. Detalle de actividades a realizar

A continuación, se detalla un resumen de las actividades, tiempo, presupuesto y actores claves que se requiere en la propuesta para la conservación de la cubeta lacustre Huarmicocha (Tabla 13)

Tabla 13. Matriz de actividades y duración de las estrategias de control y conservación de la Laguna Huarmicocha

ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN Y CONTROL DE LA LAGUNA HUARMICOCHA							
OBJETIVO GENERAL		Plantear la estrategia de conservación y control “Monitoreo hidrológico, calidad de agua y restauración ecológica”, para la preservación local de la Laguna Huarmicocha,					
OBJETIVO ESPECÍFICO	ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	FRECUENCIA	MARCO LEGAL AMBIENTAL	ACTORES RESPONSABLES	TIEMPO	PRESUPUESTO REFERENCIAL
	Selección sitios de monitoreo: Cantidad de agua	Geo-referenciación de caudales de entrada y salida	Cada 3 meses		ACADEMÍA UTN-PUCE, ECOPAR, URCUCAMAS	Corto plazo (6 meses)	\$800,00
	Medición de caudales método volumétrico	Marcar el punto con poco caudal	Cada 3 meses		ACADEMÍA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, ECOPAR, SENAGUA	Corto plazo (6 meses)	
		Registro de las cinco repeticiones en la ficha de campo	2 o 2 veces al mes			Mediano plazo (5 años)	

Establecer un protocolo de monitoreo hidrológico para la Laguna Huarmicocha		Cálculo de caudal aplicando la fórmula respectiva		Constitución de la República del Ecuador, Tratados Internacionales : Convenio cambio climático, Convenio RAMZAR, Ley de Gestión Ambiental, Reglamento Ley Orgánica de Recurso Hídrico, Uso y Aprovechamiento del agua, Código Orgánico Ambiental (COA), Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)		Mediano plazo (5 años)	\$20.900,00
	Medición de caudales método flotador	Señalar punto y tramo de medición	1 o 2 veces al mes		ACADEMÍA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, ECOPAR, SENAGUA	Mediano plazo (5 años)	
		Registro de las cinco repeticiones en la ficha de campo				Mediano plazo (5 años)	
		Cálculo de caudal aplicando la fórmula respectiva				Mediano plazo (5 años)	
	Medición de caudales método del vertedero	Construir el vertedero triangular con madera o lata	1 o 2 veces al mes		ACADEMÍA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, ECOPAR, SENAGUA	Mediano plazo (5 años)	
		Señalar el punto de monitoreo				Mediano plazo (5 años)	
		Cálculo de caudal aplicando la fórmula respectiva				Mediano plazo (5 años)	

	Medición nivel de agua	Medición de nivel máximo (maxímetro) y escala nivel (limnómetro)	1 o 2 veces al día		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Mediano plazo (5 años)	
		Registro de datos en ficha de campo				Mediano plazo (5 años)	
	Medición de precipitación	Implementación de un totalizador	Diaria / 1 o 2 veces al mes		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO	Mediano plazo (5 años)	
		Registro de precipitación			Mediano plazo (5 años)		
Selección punto de monitoreo: Calidad de agua	Georreferenciación del punto profundo para parámetros morfométricos	Cada 3 meses	ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Corto plazo (6 meses)	\$300,00		
Muestreo de parámetros fisicoquímicos	Monitoreo batimétrico	Mensual o semestral	ESTUDIANTES UTN-PROYECTO VLIR UOS, GAD PEDRO MONCAYO, ECOPAR, URCUCAMAS	Mediano plazo (5 años)	\$60.938,780		

	Batimetría	Recorrido en bote	1 vez al año		ESTUDIANTES UTN-PROYECTO VLIR UOS, GAD PEDRO MONCAYO, ECOPAR, URCUCAMAS	Mediano plazo (5 años)	
Identificar sitios de arrastre de sedimentos y áreas que provocan mayor escorrenría en la Laguna Huarmicoc ha	Ubicación de sitios	Geo-referenciación	1 vez al año		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Corto plazo (6 meses)	\$3.500,00
	Cobertura vegetal	Elaboración de mapas de cobertura vegetal	1 vez al año		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Mediano plazo (5 años)	\$500,00

Aplicar técnicas de restauración natural en áreas	Restauración Ecológica	Identificación de plantas para restauración	Cada 2 meses		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Corto plazo (1 año)	\$1.700,00
		Propagación de plantas nativas	Cada 3 meses		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Largo plazo (10 años)	\$20.450,90
		Cercas vivas	1 vez al año		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Corto plazo (1 año)	\$5.500,00
		Aislamiento de sectores de regeneración	Cada 2 meses		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Mediano plazo (5 años)	\$8.650,00

focales entorno a la Laguna Huarmicoc ha		Traslado de suelo y "Tapetes de plantas"	Cada 2 meses		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Mediano plazo (5 años)	\$7.800,00
		Monitoreo y evaluación del proceso de restauración	1 o 2 veces al mes		ACADEMIA UTN-PUCE, URCUCAMAS, GAD PEDRO MONCAYO, SENAGUA, ECOPAR	Largo plazo (10 años)	\$15.800,00
		Señalización	2 veces durante 6 meses		GAD PEDRO MONCAYO, ECOPAR, URCUCAMAS	Corto plazo (6 meses)	\$1.800,00
						Subtotal	\$148,639.68
						10% Imprevistos	\$14,863.97
						Total	\$163,503.65

	Corto plazo (6 meses a 1 año)
	Mediano plazo (5 años)
	Largo plazo (10 años)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta las conclusiones de la investigación, además, se exponen recomendaciones que podrían ayudar a futuras investigaciones en la Laguna Huarmicocha.

5.1. Conclusiones

- La Laguna Huarmicocha es de forma oval redondo u oval oblongo con perfil regular (299,67 metros de amplitud máxima y 561,08 metros de longitud máxima) y una profundidad máxima de 8 metros en la parte Sureste (SE), concentrándose la mayor distribución espacial del agua en las cotas de mayor profundidad (5, 6 y 7 metros).
- El análisis de los parámetros fisicoquímicos de la cubeta lacustre Huarmicocha indica que el valor promedio pH de 7,48, OD de 5,44 mg/L, Temperatura de 8,85 °C, conductividad de 65,13 $\mu\text{S/cm}$. Turbidez por disco secchi de 2,50 metros, todos los parámetros se encuentra entre los rangos establecidos de manera que las condiciones que presenta son aceptables e indica que se puede dar un desarrollo normal de la vida acuática y se clasifica a la laguna como Oligotrófica característica principal de lagos de alta montaña.
- La fluctuación del almacenaje de agua de Laguna Huarmicocha de acuerdo con la escala limnimétrica se registró un valor máximo de 0,66 metros en el mes de mayo y en el mes de junio hubo un registro de 0,64 metros. Por otra parte, el maxímetro presenta un nivel máximo en el mes de mayo con 0,78 metros de manera que tanto en época seca y lluviosa se relaciona directamente con la cantidad de precipitación.
- De acuerdo con el diagrama ombrotérmico histórico de las estaciones Otavalo, Malchingui, Tomalón- Tabacundo y Mojanda (promedio 18 años), la época ecológicamente lluviosa se da entre los meses de marzo a mayo y

de octubre a diciembre, es decir tiene un comportamiento bimodal, siendo el mes de abril con mayor precipitación (75,35 mm). Los meses de junio a agosto pertenecen a la época ecológicamente seca, siendo agosto el mes con menor precipitación (10,4 mm).

- Durante el periodo de monitoreo se evidenció la época ecológicamente seca al mes de junio con una precipitación de 10,12 mm mensuales, mientras tanto, los meses abril y mayo corresponden a la época ecológicamente lluviosa, siendo mayo el mes con mayor precipitación con 148,06 mm mensuales, la variación estacional se debe a los cambios de los patrones meteorológicos.
- El balance hídrico obtuvo un déficit en la variación de almacenamiento hídrico de -100,41 l/s en época seca y -203,54 l/s en época de lluvia. Por lo tanto, la Laguna Huarmicocha no se encuentra en la capacidad de otorgar el caudal de 4,05 l/s a la junta de agua “Mushuk Kausay”.
- Los caudales de salida semestrales son mayores a la precipitación y caudales de entrada semestrales en los dos periodos estacionarios (época seca y lluviosa), lo que hace que el balance hídrico de la cubeta sea negativo (-303,96 l/s). Por lo tanto, impide que la Laguna Huarmicocha se estabilice.
- La escasa disponibilidad de agua en la Laguna Huarmicocha se relaciona directamente con la presencia de la infraestructura piscícola antigua en la parte Noroeste (NO) del sistema lacustre, cuyos caudales concluyen a la Laguna Caricocha, lo cual ocasiona pérdida de volumen de forma acelerada.
- La estrategia de control y conservación planteada en esta investigación son prácticas, medibles y tienen como finalidad la recuperación de las condiciones hidrológicas de la Laguna Huarmicocha. Además, de involucrar a las entidades competentes de las provincias de Pichincha e Imbabura para ejercer un manejo integral con enfoque de cuenca hidrográfica de los recursos naturales que posee en general el Sistema lacustre Mojanda.

5.2. Recomendaciones

- Continuar con el registro periódico del limnómetro y el maxímetro para tener una base de datos que permitan determinar con mayor exactitud la fluctuación del nivel de agua de la Laguna Huarmicocha a través del tiempo.
- Realizar el cálculo anual del balance hídrico de la cubeta lacustre y así poder analizar la dinámica y variación del almacenamiento hídrico.
- Efectuar estudios del componente biótico que posee la laguna para determinar el tipo de organismos que existen en este medio acuático y lograr conocer las condiciones químicas y físicas que determinan la supervivencia de estas especies.
- Medir las fluctuaciones del nivel de agua, distribución espacial de los sedimentos y condiciones morfométricas, a través de un monitoreo batimétrico anual.
- Se debe capacitar a los guardaparques de Mojanda en temas de monitoreo y climatología, con el objetivo de obtener más información de las condiciones meteorológicas del lago.
- Realizar un inventario detallado de la vegetación presente en el área de Mojanda, a fin de proponer nuevas estrategias de restauración ecológica.

6. REFERENCIAS

- Aguirre, N., Torres, J., y Velasco, P. (2013). *Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana*. FONAG, Quito.
- Andrade, L. y Moreano, R. (2013). Sistema de Información para la interpolación de datos de temperatura y de precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica*, 32(1), 70-75.
- Andrade, E. (2016). *Determinación del estado trófico del lago de Mojanda en relación con los parámetros físico-químicos*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- APHA, 2012. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Washington D.C: Díaz de Santos S.A.
- ArcGIS Pro. (2018). *Volumen en superficie*. Esri.
- ASOCAÑA. (2012). Protocolos elaborados para medir el impacto de las intervenciones del fondo agua por la vida y sostenibilidad. Cali. Colombia.
- Ávila, L., Castiblanco, O., Rojas, J., Torres, O. y Vargas. (2013). *Control de gramíneas exóticas y reubicación de plantas para conformar núcleos de restauración ecológica en pastizales de páramo*. Bogotá, Colombia.
- Aznar y Barba, 2010. *Determinación de los Parámetros Físico-Químicos de la Calidad de las Aguas*. Madrid, España: Universidad Carlos.
- Bello, M. y Pino, M. (2000). *Medición de Presión y Caudal*. Punta Arenas, Chile: Centro Regional.
- Berjumea, H., Wils, A. y Aguirre, N. (2017). Principales aspectos morfométricos de la ciénaga de Cachimbero, Santander-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 11(2), I-VIII.
- Buitrago, N., y Barbosa, N. (2016). *Estimación del nivel freático del municipio de Paipa Boyacá, a partir de imágenes satelitales y datos de medición geoelectrica, analizando la multitemporalidad de variaciones hidrológicas*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá: Colombia.
- Bustamante, R. O. (2006). *Manual Básico para Medir Caudales*. FONAG. Ecuador.

- Buytaert, W., Célleri, B., De Brièvre, F. y Cisneros, F. (2012). Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. 2: 8-27.
- Cabrera, M., y Ramírez, W. (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogota, D.C. Colombia.
- Calles, J. A. (2015). Manual participativo en sitios piloto del programa Socio Bosque-Capítulo Socio Ppáramo. Programa ProCamBio-GIZZ. Quito.Ecuador.
- Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffenes, A. y Díez, P. (2004). *El Clima del Suroeste Bonaerense*. Bahía Blanca. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geografía y Turismo.
- Carrera, D., Guevara, P., Crisanto, T. y Maya, M., (2015). Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación en la cuenca del Río Grande, Chone, Ecuador. *ENFOQUEU*, 6(1, pp. 2-5).
- Casallas, J. E. y Günter, G. (1999). *Algunos aspectos limnológicos del lago San Pablo, Ecuador*. San Pablo: Ecuador.
- Casallas, J. y Gunkel, G. (2002). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el Lago San Pablo, Ecuador. *Limnética* 20(2).
- CENDHOC. (2005). *Fundamentos de la Batimetría. Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile. Servicio Hidrográfico y Océano gráfico de la Armada (SHOA)*. Chile. Autor.
- Código orgánico del ambiente. (2017). *Registro oficial N° 983 del 12-abril-2017*. Quito.
- Cooke, D., Welch, E., Peterson, S., y Nichols, S. (2005). *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs, Third Edition*. New York: Taylor & Francis Group.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro oficial N° 449 del 20-octubre-2008*. Montecristi.
- Contreras, F. y Paira, A. (2015). Comparación morfométrica entre lagunas de la planicie aluvial del río Paraná Medio y La Lomada Norte (Corrientes,

- Argentina). Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 24 (1), 6171.
- Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA. (2008). *Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de Humedales Altoandinos. Gobiernos de Ecuador y Chile*. CONDESAN y TNC.Chile.
- Claude, D. y Iltis, A. (1991). *El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz, Bolivia: ORSTOM.
- Deganovsky, P. y Getahun, A. (2008). *Water balance and level regime of Ethiopian lakes as integral indicators of climate change*. Ethiopia.
- Díaz, C., Esteller, M. y López, F. (2005). *Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Montevideo. Uruguay: Piriguazú.
- ETAPA. (2010). *Batimetría de las lagunas de aireación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba*. Ecuador.
- Fattorelli, S., y Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico*. París. Edición Digital.
- Fomerón, C., Piccolo, M. y Carbone, M. (2010). Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas, volumen* (14), 11-30.
- Forsberg, B. (2013)- Limnología de la cuenca Inambari. *Wildlife conservation society*.
- Flores, Y. y Guatemala, J. (2012). *Potencial Hídrico de las Microcuencas del Río Viejo*. Nicaragua. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pedro Moncayo. (2015). *Mojanda-Propuesta declaratoria de área Protegida municipal: Expediente Técnico*. Pedro Moncayo, Ecuador. Autor.
- González, A. (2010). *Cálculo de caudales de crecida, caso de estudio cuenca del río Cabra, Panamá*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Goyenola, G. (2017). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras Red Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Santiago de Chile, Chile: RED MAPSA.

- Guerrero, B. (2012). *Evaluación de plantaciones protectoras de yagual (Polylepis sp.) sitio carbonería - Parroquia Sagrario – Provincia de Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Global Water Partnership. (2009). *Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas*. Londres: Reino Unido.
- Herrera, S., Bautista, R. y Valdez, A. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia*. 26 (1), 65-80.
- Hoffmann¹, D., Tarquino, R., Corro, J., y Lavadenz¹, L. (2014). Métodos para caracterizar la dinámica de los sistemas socioecológicos asociados a los bofedales altoandinos (Cordillera Real, Bolivia). *Ecología en Bolivia*, 49(3): 132-140.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, (2010). *Resultado de Censo 2010. Población y vivienda una historia para ver y sentir*. Ecuador. Autor.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010). *Anuarios Hidrológicos*. (INAMHI). Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Base Nacional de Datos Hidrometeorológicos*. INAMHI, Ecuador.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Georreferenciación hidrometeorológica*. INAMHI, Ecuador.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Guía para el Monitoreo y Seguimiento del agua*. IDEAM, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del agua*. IDEAM, Colombia.
- Kennedy, A., Fragoza, F., Peña, E. y Moreno, E. (1992). *Manual de Aforos*. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Kevede, Y., Travi, T., Alemayehu, y Marc. V. (2005). Water balance of lake Tana and its sensitivity to fluctuations in rainfall, Blue Nile basin, Ethiopia. *Elsevier, Volumen* (316), 1-4.
- Kusch, A., Cárcamo, J. y Gómez, H. (2008). Aves acuáticas en el humedal urbano de tres puentes, Punta Arenas (53° s), Chile Austral. *Anales del instituto de la Patagonia*, 36(2), 45-51.

- Lamb, Bates, Coombes y Marshall, (2011). *Water balane of lake Tana and its sensivity to fluctuations in rainfall*. Ethiopia.
- Lee, R. (1980). *Forest Hidrology* Columbia University Press. New York, EEU.
- Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). *Registro oficial N° 305 del 06-agosto-2014*. Quito.
- Llerena, C. (2003). Servicios ambientales de las cuencas y roducción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. Tercer Congreso Latinoamericano del Manejo de Cuencas Hidrográficas. Foro regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales. FAO. Arequipa, Perú.
- Maderey Rascón, L. y Jiménez Román. (2005). Principios de Hidro geografía: Estudio del Ciclo Hidrológico. México.
- Maldonado, G. y Bievre, B. (2011). *Segundo Congreso Mundial de Páramos. Memorias*. Quito, Ecuador: CODESAN.
- Malek Gustavo. (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo, Argentina.
- Mandonés, M., Jara, J., y Vargas, J .(2007). El patrón hidrográfico de la cuenca del Río Blanco: control tectónico y geomorfológico. *Revista de Geografía Norte Grande*. (38), 79-98. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022007000200005>
- Mandonx, T. (2014). Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in norther Ecuador: Yahuarcocha y Mojanda. FACULTY OF SCIENCE, 1-86.
- Marbello, R. (2005). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín, Colombia.
- Marín, M. (2003). *Físicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Massol, A., (2010). “Parámetros Físico-quimicos” en Curso ecología microbiana.
- Mendoza, S. (2017). *Plan de Manejo de uso público para las lagunas de Mojanda, parroquia Tabacundo, provincia de Pichincha*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.

- Ministerio del ambiente de Colombia. (2001). *Política Nacional para humedales interiores de Colombia: Estrategias para su conservación y uso racional*. Bogotá, Colombia. Autor.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2009). *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito DMQ*. Quito: MAE.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C: Colombia.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Humedales del Ecuador. Lagunas de Mojanda*. Pedro Moncayo y Otavalo, Ecuador. Autor.
- Monsalve, G. (2009). *Hidrología en la Ingeniería*. 2a edición. Impreso en Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 382.
- Montoya, Y. (2005). Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia. *Caldasia* 30 (2): 413-420.
- Montoya, Y. (2008). Variaciones nictemerales de algunas variables climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé (Antioquia), *Colombia Actual. Biol.*, 30 (88): 83-96.
- Montoya, Y., Vélez, F. y Aguirre, N. (2014). Características morfométricas de un lago de plano inundable tropical (ciénaga Hoyo, Los Bagres, Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (59), 203-214.
- Mosquera, M. (2014). *Desarrollo de un Balance Hídrico de la Laguna de Limoncocha*. (Tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Moya, G. y Ramón, G. (1984). Evolución del contenido de oxígeno disuelto en las aguas de los embalses de la sierra de Tramuntana (Mallorca). Estudio comparado. *Boll. Soco Hist. Nat. Balears*. 28:81-94.
- Oña, J. y Tonato, C. (2017). *Determinación del estado trófico de las lagunas de Mojanda a través de la cuantificación de clorofila "A"*: (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- O'Sullivan, P. y Reynolds, C. (2005). *The Lakes Handbook: Lake Restoration and Rehabilitation, Volume 2*. Australia: Blackwell Publishing.

- Ordoñez, J. (2011). *Balance Hídrico superficial. Cartilla técnica “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico”*. Lima- Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de Practicas Hidrológicas*. EEUU. Autor.
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas, Vol (1)*, EEUU. Autor.
- Palau, A. y Caputo, L. (2013). *Caracterización limnológica de las masas de agua continentales de Huinay (X Región de los lagos, Chile)*. Chile: Edesa.
- Patzelt, E. (2002). *Flora del Ecuador*. Quito, Ecuador: Imprefepp.
- Peña, E. (2007). *Calidad de agua. Manuscrito no publicado*, Escuela de Ingeniería en auditoría y Control de Gestión. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil.
- Pérez-Rojas, A., Torres-Orozco B., Morales-Gutierrez, E. y Perez-Mendez, E. (2000). Textura, composición y contenido de materia orgánica de los sedimentos recientes de un lago tropical de México. *Hidrobiológica*, 10 (1), 41-50.
- Pereira, R. (2014). *Indicadores de línea de base: pautas para su elaboración*. Bolivia, La Paz: Programa de Investigación Estratégica.
- Perevochtchikova, M. y García J. (2005). Análisis cualitativo de la red hidrométrica actual del estado de Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, (61), 24-37.
- Poi, A. y Galassi, M. (2013). Humedales de los grandes esteros de la provincia de Corrientes. Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de humedales del corredor Fluvial Paraná, Paraguay. *Proyecto GEF*, 10(3) 223-232.
- Portilla, K. (2015). *Evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador- Fundamentos explicativos*. Quito, Ecuador.

- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I. y Villacés, H. (1995). *El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Posada, G., Roldán-Pérez., G. y Ramírez, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de las aguas de la Cuenca de la Quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev. Biol. Trop*, 48 (1): 59-70.
- Pladeyra, A. (2003). *Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala*, México.
- PDOT del Cantón Pedro Moncayo. (2015). Actualización 2015-2025. Tabacundo: Autor.
- Plan Nacional de Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida.
- Programa GLOBE. (2015). *Un vistazo a la investigación de hidrología; Protocolo de hidrología*.
- Quirós, R. (2004). *Morfología de las Lagunas Pampeanas y serie de Documentos de Trabajo del Área de Sistemas de Producción Acuática*. (Tesis de pregrado) Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Quiroz, H., Mora, M., Molina, I. y García, J. (2004). Variación de organismos Fitoplanctónicos y la Calidad del Agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. *Acta universitaria*, 14:47-55.
- Ramsar. (2005). *Estrategia Regional de Conservación y Uso Sostenible de los Humedales Altoandinos*. Kampala, Uganda. Autor
- Ramsar. (2009). *Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*. Irán. Autor.
- Ramsar. (2012). *Nota informativa: Los beneficios de la restauración de humedales*.
- Ramírez, R. y Noreña. (2004). Caracterización del sedimento de una laguna tropical Rasa. *Caldasia*. 26(1). 173-184.
- Revelo, J. (2017). *Evaluación del Balance Hídrico y establecimiento de estrategias para la conservación del recurso hídrico del Lago Yahuarcocha*. (Trabajo de pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra. Ecuador.
- Rivera, R., Zapata, A. y Donato, R. (2010). Estudio Morfométrico del Lago Guatavita (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 15 (3), 131-144.

- Rocha, A. (2015). *Fórmulas de Vertederos*. Manual de la Construcción- Agenda.
- Rodríguez, J., y Fuenmayor, Q. (2012). Proyecto de Gestión Integrada de Ecosistemas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola. Costa Rica: The Nature Conservancy.
- Rojas, M. (2016). *Importancia Ambiental y Socioeconómica de la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia*. Colombia.
- Roldan, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía.
- Roldan, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía.
- Ruíz, S. (2015). *Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda*. Pedro Moncayo, Quito: GADPP.
- Santos, J. (2014). *Aplicación de Método de Interpolación Para el Cálculo de Precipitación por Modelamiento Geoestadístico y Análisis Espacial Para el Departamento de Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Información para la Planificación y Ordenamiento Territorial*. SEMPLADES. Quito.
- Sociedad Internacional para la restauración ecológica. (2004). *Principios de SER Internacional Sobre la Restauración Ecológica*. Corbis.
- Solano, E., Páez, C. y Aguilar, J. (2016). *Sistema de Información Geográfica Batimétrico (SIGB) como herramienta para elaboración del ordenamiento territorial en el municipio de Gachalá Cundinamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Smith, P. y Romero, H. (2009). Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de geografía Norte Grande*, (43), 81-93.
- Strahler, A. (1964) Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*. Section 4 - I, p. 39-76.
- Swenson, S y Wah, J. (2009). Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space. *Elsevier*. 370. 163-176.
- Tapia, S., Rodríguez, S., Rodas, F., Pesantes, M., Cabrera, S., Romero, M. y Vallejo, S. (2012). *Propuesta para la declaratoria de la Reserva de*





Biósfera dirigida a la UNESCO denominada: Área de biósfera macizo del cajas. Cuenca: Ecuador.

- Tibaná, B. (2017). *Análisis de la percepción y uso del páramo el tablazo por la comunidad de la vereda pantano de arce y su relación con las estrategias del desarrollo sostenible contempladas en el Eot de Subachoque, Cundinamarca.* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Tocagón, R., Rivadeneira, J., Chiles, A., Puetate, K., Falconí, O. y Cando, K. (2012). *Buenas prácticas para la gestión de los páramos de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú: Inclusión del enfoque ambiental en los reglamentos comunitarios indígenas para los páramos de Mojanda: Una Experiencia de incidencia política del Proyecto Páramo Andino.* Quito. CONDESAN.
- Torrecilla, R. C., Domínguez, M. J., & Jiménez, A. M. (2010). Interpolación Espacial y Visualización Cartográfica Para el Análisis de la Justicia Ambiental: Ensayo Metodológico Sobre la Contaminación por Partículas Atmosféricas en Madrid. *Tecnologías de la Información Geográficas: la información Geográfica al Servicio de los Ciudadanos*, 691 - 699.
- Torres, J., Gómez, O., Rojas, C., Cardenas, O. y Vargas. (2011). *Estrategias para la restauración ecológica en áreas afectadas por pastoréo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia).* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Torres, J., Gómez, O., Rojas, C., Cardenas, O. y Vargas. (2013). *Estrategias para la restauración ecológica en áreas de páramo transformadas por ganadería: bases para la restauración ecológica, Colombia).* Universidad Nacional de. Bogotá, Colombia.
- Vargas, O., y Velasco, P. (2011). *Reviviendo Nuestro Páramos: Restauración Ecológica de Páramos.* Proyecto Páramo Andino.
- Velarde, D. (2017). *Aplicación del SIG para uso y manejo sustentable de las Zonas Ecoturísticas del área de conservación municipal Zona Lacustre Mojanda, Cantón Pedro Moncayo* (Tesis de Maestría en Ecoturismo en Áreas Protegidas). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

- Vera, H., Acuña, J., & Yerrén, J. (1999). *Balance Hídrico superficial de las Cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla*. Perú. Autor
- Villodas, R. (2008). *Guía de estudio para las cátedras de Hidrología I y II*. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería Civil.
- Wetzel, R. (1981). *Limnología*. España. Ediciones Omega, S.A.
- World Wildlife Fund. (2005). *Los Humedales Altoandinos. Ecosistemas estratégicos y frágiles que ofrecen servicios ambientales para el bienestar de millones de personas*. Costa Rica. Autor.

ANEXOS

Anexo 1. Lista de especies de flora del Sistema Lacustre Mojanda

ESPECIE	FOTOGRAFÍA
CHOCHO DE PÁRAMO 	PAJA DE PARAMO 
<i>Lupinus Pubescens,</i> FABACEAE	<i>Calamagrostis sp</i> POACEAE
CHUQUIRAGUA 	YAGUAL 
<i>Chuquiraga jussieui</i> STERACEAE	<i>Polylepis sp</i> ROSACEAE

SENECIO



Senecio chionogeton

ASTERACEAE

MANTICALLA



Monticalia peruviana

ASTERACEAE

SENECIO



Senecio tephrosioides

ASTERACEAE

BOMAREA



Bomarea glaucescens

ALSTROEMERACEAE

ROMERILLO

SENECIO



Hypericum laricifolium HYPERICACEAE



MORADO

Senecio formosus
ASTERACEAE



PUYA

Puya clava-herculis
BROMELIACEAE



Hypochaeris sessiliflora ASTERACEAE



Bomarea multiflora
ALSTROEMERIACEAE



Monnina crassifolia
POLYGALACEAE



Castilleja fissifolia
SCROPHULARIACEAE



Bidens andicola
ASTERACEAE



Lachemilla sp
ROSACEAE



Buddleja pichinchensis
SCROPHULARIACEAE

SIGSE



Cortaderia nitida
POACEAE

VALERIANA



Valeriana plantaginea CAPRIFOLIACEAE



Calceolaria crenata CALCEOLARIACEAE



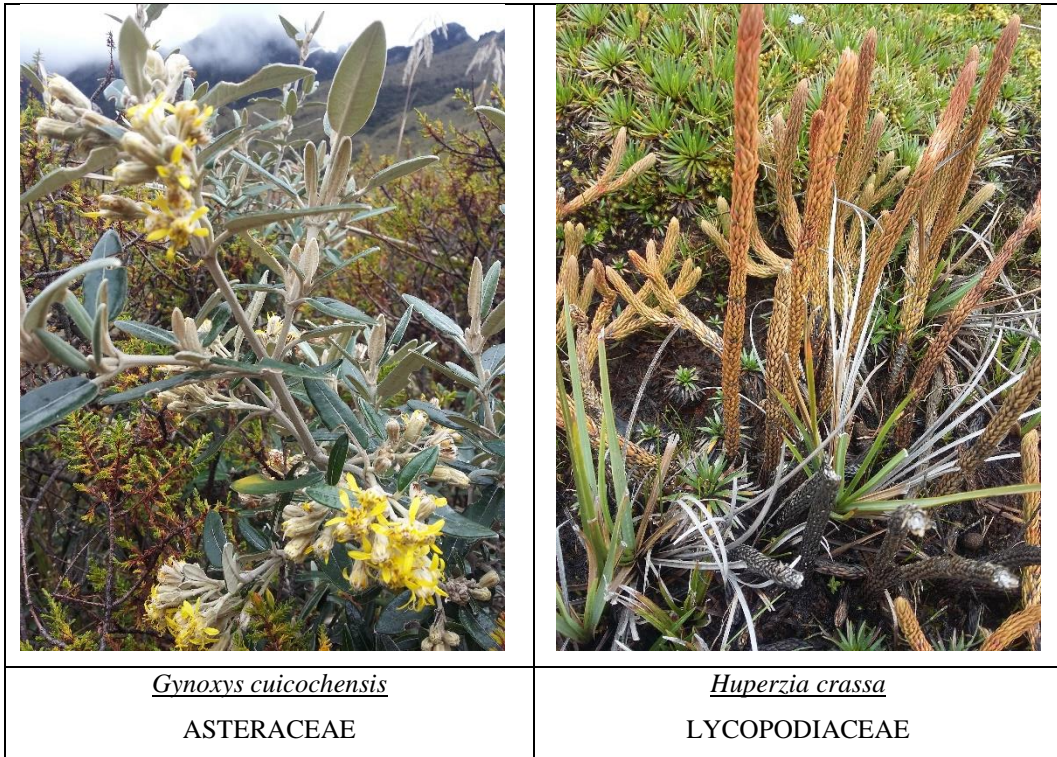
Diplostegium glandulosum
ASTERACEAE



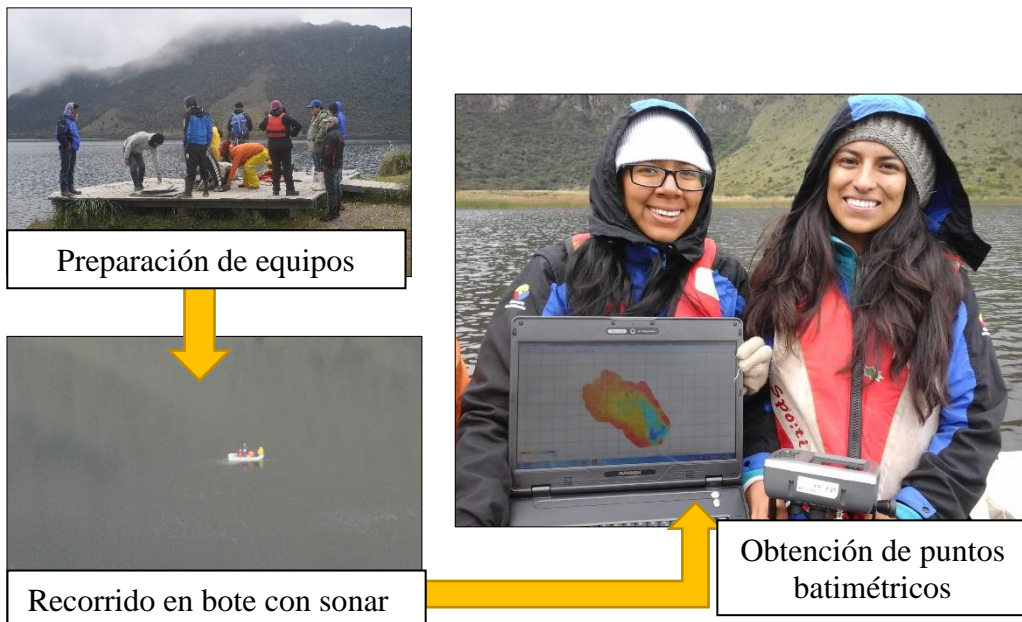
Elaphoglossum engelii
DRYOPTERIDACEAE



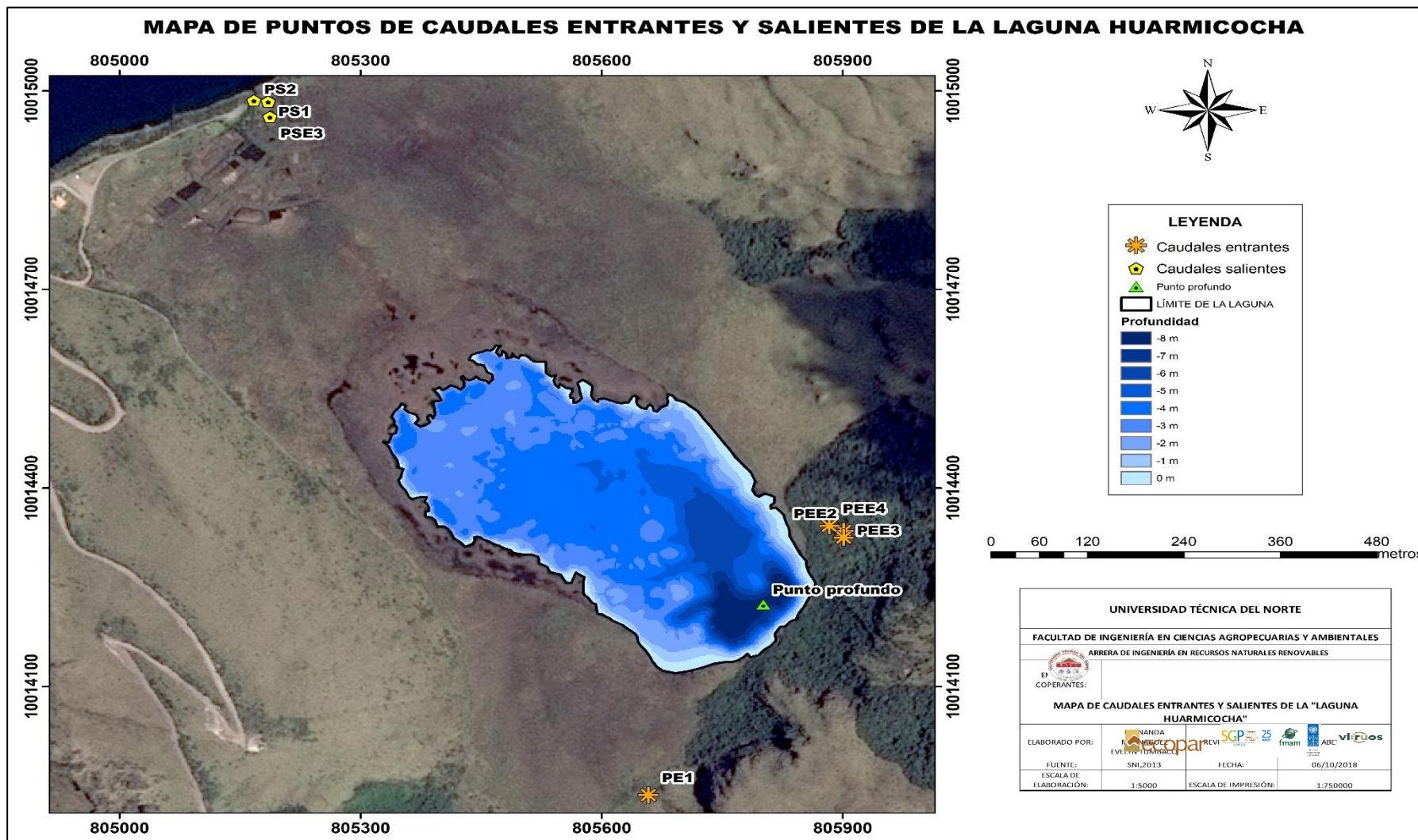
Campyloneurum solutum POLYPODIACEAE



Anexo 2. Recorrido batimétrico en la Laguna Huarmicocha



Anexo 3. Mapa de puntos de caudales de la Laguna Huarmicocha



Anexo 4. Ficha de datos limnimétricos

Sector:		Fecha revisión:	Año:	
Responsable:				
Fecha	Hora	Lectura maxímetro (cm)	Lectura de limnómetro (cm)	Observaciones
06/01/2018	10:30	70	64	
27/01/2018	10:30	80	63,5	
10/02/2018	10:30	70	62	Lluvia
28/02/2018	10:30	70	62,3	
10/03/2018	10:30	70	61	
17/03/2018	10:30	70	59	
07/04/2018	10:30	85	67	Lluvia
14/04/2018	10:30	70	64	
21/04/2018	10:30	75	63	
05/05/2018	11:00	70	64	
19/05/2018	10:30	85	67	Lluvia
03/06/2018	10:30	75	65	
17/06/2018	10:30	70	62	

Anexo 5. Precipitación de Mojanda por método interpolación (IDW) (mm)

Estacion	Coord x	Coord y	año	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12
Mojanda	805010	10014856	1998	12,24	44,26	54,90	68,39	85,25	13,89	16,39	10,99	15,09	40,94	50,91	24,04
Mojanda	805010	10014856	1999	64,77	113,51	51,72	79,89	45,38	41,76	5,06	7,55	62,64	42,44	36,71	87,94
Mojanda	805010	10014856	2000	67,77	79,51	84,13	93,10	133,62	12,73	12,68	6,88	57,28	31,55	29,49	36,75
Mojanda	805010	10014856	2001	42,94	36,80	73,44	22,00	45,02	8,69	16,79	2,73	47,25	13,09	50,27	30,54
Mojanda	805010	10014856	2002	23,76	24,22	29,33	90,50	26,59	34,29	3,78	6,03	16,60	99,92	60,82	70,71
Mojanda	805010	10014856	2003	17,15	43,64	28,65	88,16	17,69	27,44	22,86	2,79	27,98	66,39	77,49	39,79
Mojanda	805010	10014856	2004	28,80	14,24	20,79	64,81	68,86	4,76	5,75	3,17	42,74	25,87	62,55	61,08
Mojanda	805010	10014856	2005	24,87	49,96	57,66	45,24	30,75	14,17	15,96	8,46	27,87	43,89	38,96	95,19
Mojanda	805010	10014856	2006	43,53	50,14	116,42	97,59	39,17	42,87	7,32	7,30	8,23	48,26	116,21	107,45
Mojanda	805010	10014856	2007	24,47	20,85	88,22	116,31	47,33	25,40	12,19	20,44	8,08	80,67	56,06	50,19
Mojanda	805010	10014856	2008	68,24	67,53	116,65	89,64	91,69	45,28	8,05	22,02	54,35	71,01	66,95	44,48
Mojanda	805010	10014856	2009	67,09	56,56	96,63	45,53	22,57	33,27	5,39	5,87	13,90	33,81	38,39	65,69
Mojanda	805010	10014856	2010	10,64	21,59	21,64	90,72	80,81	38,49	50,96	20,59	44,85	43,75	113,16	67,37
Mojanda	805010	10014856	2011	42,95	105,73	56,42	163,48	40,10	24,85	43,70	29,19	32,18	56,24	45,35	74,77
Mojanda	805010	10014856	2012	74,93	50,96	46,89	106,39	13,69	7,23	4,94	6,23	10,24	51,16	72,31	20,48
Mojanda	805010	10014856	2013	26,81	80,17	40,05	43,36	94,13	4,12	7,21	21,26	14,55	73,49	42,50	47,73
Mojanda	805010	10014856	2014	72,97	22,17	78,98	34,33	115,19	20,46	5,67	4,42	36,05	99,53	61,63	39,43
Mojanda	805010	10014856	2015	41,94	39,30	84,84	51,31	16,33	6,99	20,10	3,14	8,83	50,72	59,10	6,96
Mojanda	805010	10014856	2016	20,95	2,74	34,25	40,86	20,68	10,83	4,10	3,57	15,60	25,87	14,81	23,36
Mojanda	805010	10014856	2017	45,35	26,64	91,27	86,27	101,41	45,99	1,87	35,99	7,04	99,75	49,68	89,46

Anexo 6. Registro de caudales método Volumétrico y flotador

Fecha	Método volumétrico				Método por flotador							
	Punto de entrada #1				Punto de salida #3							
	Cantidad (L)	tprom=(s)	Q=L/s	m3/s	Distancia (m)	ancho (m)	Prof(m)	tprom=(s)	V=d/t	Área=a*prof	Q (m3/s)=V*A*0,90	Q=L/s)
10/01/2018	4	4,41	0,91	0,000907029								
18/02/2018	4	10,11	0,40	0,000395648								
28/02/2018	4	4,32	0,93	0,000925926								
10/03/2018	4	10,75	0,37	0,000372093								
17/03/2018	4	4,22	0,95	0,000947867								
07/04/2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14/04/2018	4	5,32	0,75	0,00075188	3	0,85	0,1100	6,490	0,462	0,094	0,039	38,898
21/04/2018	4	1,82	2,20	0,002197802	3	0,85	0,0667	5,400	0,556	0,057	0,028	28,348
05/05/2014					3	0,85	0,1130	5,76	0,521	0,096	0,045	45,023
19/05/2018	4	1,28	3,13	0,003125	3	0,85	0,1130	5,76	0,521	0,096	0,045	45,023
03/06/2018	4	2,03	1,97	0,001970443	3	0,85	0,0766	5,35	0,561	0,065	0,033	32,859
17/06/2018	4	5,83	0,69	0,000686106	3	0,85	0,0621	6,09	0,493	0,053	0,023	23,402

Anexo 7. Registro de caudales por método de vertedero triangular y rectangular

Fecha	Método vertedero rectangular-formula empírica de Francis				Método vertedero triangular formula- empírica de Thomson			
	Punto de salida #4(1-2)				Punto de salida #1		Punto de salida #3	
	Longitud cresta (m)	H= Cebeza en (m)	$Q=1,84(L-0,2(H)H^{1,5}$ (m ³ /s)	Q=L/s	H=cabeza (m)	$Q=1,4x H^{5/2}$	H=cabeza (m)	$Q=1,4x H^{5/2}$
10/01/2018					0,085	0,0029	0,076	0,0022
18/02/2018					0,080	0,0025	0,032	0,0003
28/02/2018					0,100	0,0044	0,093	0,0037
10/03/2018					0,045	0,0006	0,072	0,0019
17/03/2018					0,063	0,0014	0,084	0,0029
07/04/2018	0,59	0,09	0,0284	28,42				
14/04/2018								
21/04/2018	0,59	0,02	0,0030	3,05				
05/05/2014	0,59	0,05	0,0119	11,93				
19/05/2018	0,59	0,102	0,0341	34,14				
03/06/2018	0,59	0,036	0,0073	7,32				
17/06/2018	0,59	0,045	0,0102	10,20				

Anexo 8. Promedios de precipitación, evaporación y temperatura de Mojanda 2018

Meses	Temperatura (°C)	Precipitación mm/mes	Evaporación mm/mes
ENERO	6,00	78,66	91,34
FEBRERO	10,36	52,2	91,46
MARZO	5,50	48,62	98,13
ABRIL	7,15	86,27	51,16
MAYO	6,98	148,06	47,69
JUNIO	6,61	10,12	76,18

Anexo 9. Capacitación a la Fundación Ambiental Urkucamas- Empleo de mapas parlantes

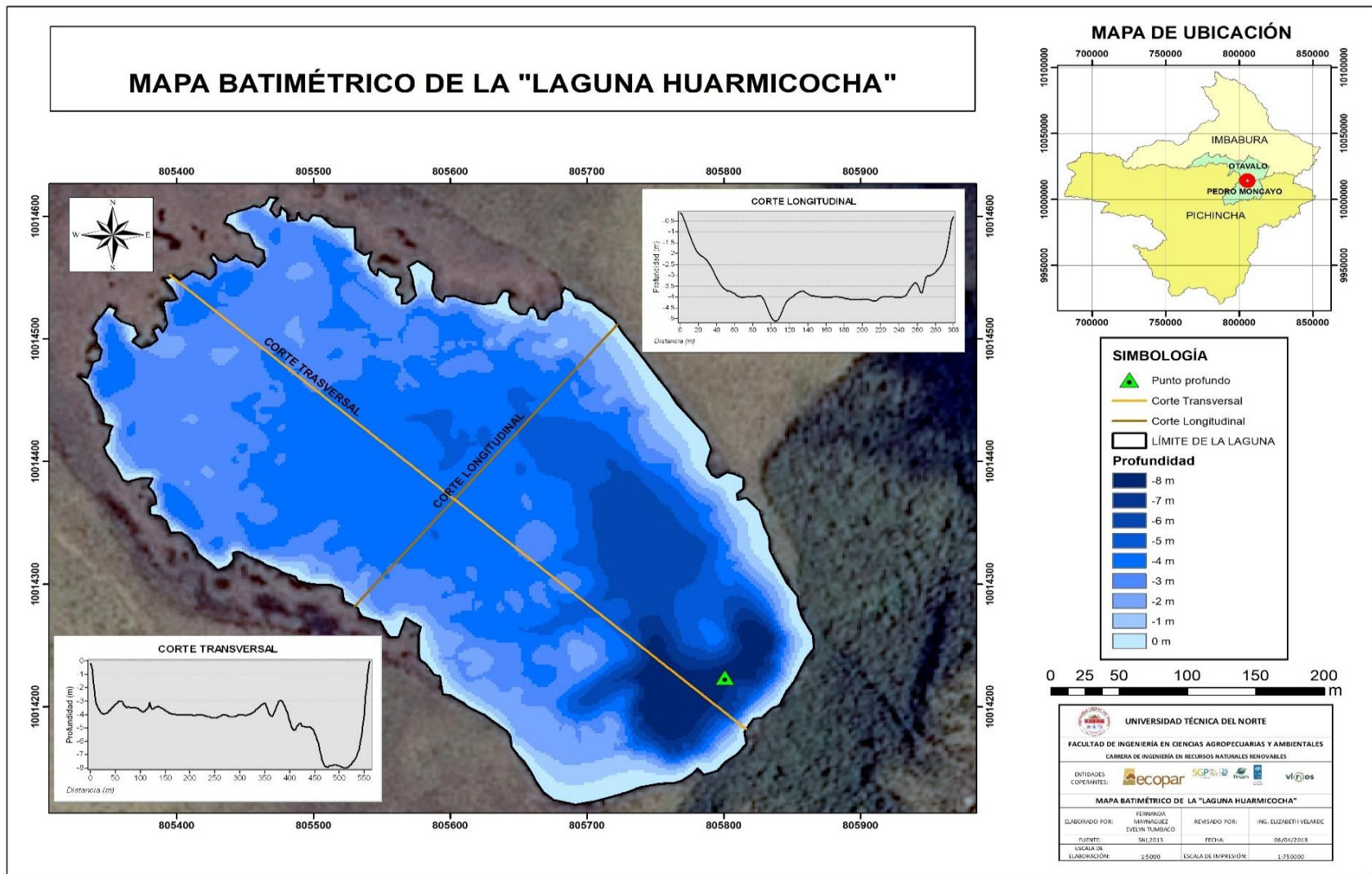
1. Elaboración mapa parlante

2. Participación de grupo focal

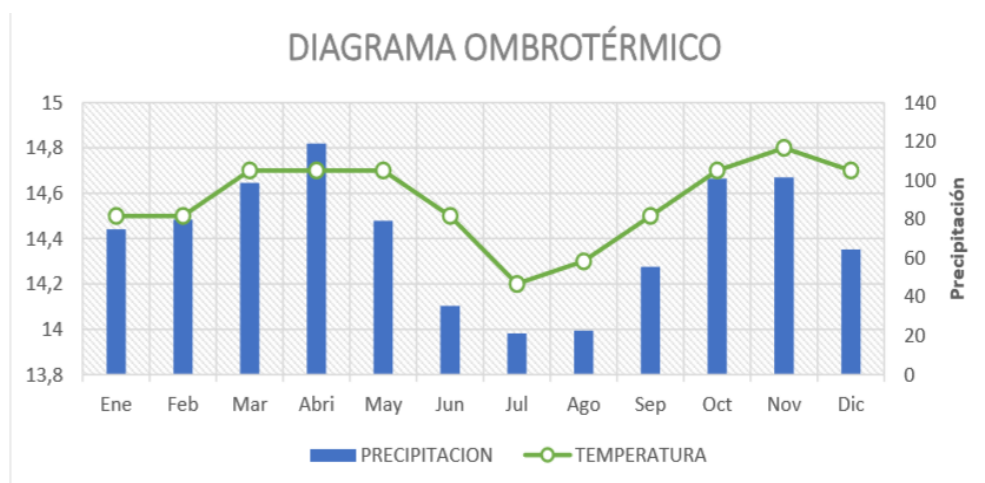
3. Identificación de problemas ambientales

3. Conversatorio de posibles soluciones

Anexo 10. Mapa Batimétrico de la Laguna Huarmicocha



Anexo 11. Diagramas Ombrotérmico estación meteorológica Otavalo 1993-2011 (Andrade, 2016)



Fuente: Gobierno Provincial de Imbabura. Sistema Ambiental, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. (2004)

Elaboración: (Andrade, 2016)

Anexo 12. Datos de limnómetro

MESES	Variación del Nivel con respecto al máxímetro (m)	Variación del Nivel (m)	Precipitación mm/mes
ENERO	0,75	0,64	78,66
FEBRERO	0,70	0,62	52,2
MARZO	0,70	0,60	48,62
ABRIL	0,77	0,65	86,27
MAYO	0,78	0,66	148,06
JUNIO	0,73	0,64	10,12

Anexo 13. Manual de estrategias de control y conservación Laguna Huarmicocha