



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

Evaluación de la calidad del agua de la Laguna de Cuicocha mediante el uso de la herramienta
ICA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LÍNEA 4: GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES.

SUBLÍNEA:

AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

AUTORA: INGRID ALEJANDRA PUENTE IZA

ASESORA: MGS. MORAIMA MERA AGUAS

Ibarra, diciembre de 2021

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

Ibarra, diciembre de 2021

Mgs. Moraima Mera Aguas

ASESORA

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f):

Mgs. Moraima Mera Aguas

C.C.: 1001743721

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f):

Mgs. Moraima Mera Aguas

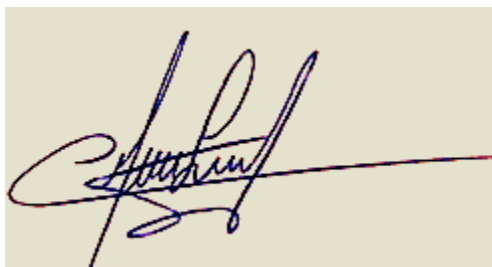
C.C.: 1001743721



(f):

Mgs. Santiago Mafla

C.C.: 1002658399



(f):

Mgs. María Fernanda López

C.C.: 1002509600

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Ingrid Alejandra Puente Iza, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, diciembre de 2021



(f):

INGRID ALEJANDRA PUENTE IZA

C.C.: 1050178985

AUTORÍA

Yo, INGRID ALEJANDRA PUENTE IZA, portador de la cédula de ciudadanía N° 1050178985, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



(f):

INGRID ALEJANDRA PUENTE IZA

C.C.: 1050178985

DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo: Ingrid Alejandra Puente Iza, con CC: 1050178985, autor del trabajo de grado intitulado: *Evaluación de la calidad del agua de la Laguna de Cuicocha mediante el uso de la herramienta ICA*, previo a la obtención del título profesional de Licenciatura en Ciencias Ambientales y Eco Desarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, diciembre de 2021



(f.).....

INGRID ALEJANDRA PUENTE IZA

C.C. 1050178985

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN,
DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: *“Evaluación de la calidad del agua de la Laguna de Cuicocha mediante el uso de la herramienta ICA”* lo propuesto en el Código de Ética de la Investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 15 de enero de 2018.

Para constancia firma:



INGRID ALEJANDRA PUENTE IZA

C.C.: 1050178985

Carrera: Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Ibarra, diciembre de 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado principalmente a Dios que con su guía y amor incondicional a estado conmigo sin duda alguna, la cual me enorgullece ya que siempre siento su compañía a lo largo del camino, también a mis padres que con su gran esfuerzo, amor y dedicación son fuente de ayuda y guía en el transcurso de este recorrido para lograr la meta que tanto he anhelado, demostrando que son unos padres maravillosos depositando toda su confianza en mí para salir adelante, sin su ayuda este objetivo no sería posible; y también dedicar a mis hermanas y sobrinos que todos los días han estado acompañándome en esta ardua labor, razón por la cual todos son mi pilar fundamental y mi apoyo incondicional.

Con cariño Ingrid

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todos los docentes de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, principalmente a la Mgs. Moraima Mera mi asesora, quienes me impartieron sus conocimientos en toda la trayectoria universitaria, demostrando conmigo una gran paciencia e inculcándome la pasión por esta carrera, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes y a su inmensa bondad lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos, por esto, hago presente este afecto a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra que fue como mi segundo hogar, enseñándome a ser una persona llena de valores tanto personal como profesionalmente.

Debo mencionar de igual manera a las personas que he conocido durante este tiempo transcurrido, demostrado el significado de la palabra amistad y apoyo, por ayudarme cuando sentía la presión de esta carrera, en los desvelos, en los viajes realizados y en las tareas en general, mi grupo de amigas las cuales han sido un soporte fundamental en este camino, que gracias a ellas lo difícil se ha tornado menos complicado.

Mi familia, son parte fundamental de mi formación tanto personal como profesional, este agradecimiento queda pequeño y las palabras no son suficientes para demostrar mi gratitud hacia ellos y recalcar que, sin cada una de las personas a quienes con orgullo puedo llamar familia, no podría cumplir este sueño.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS	1
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	2
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	3
AUTORÍA.....	4
DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN.....	5
DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN	6
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I.....	19
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO II.....	21
OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo general.	21
2.2 Objetivos específicos.	21
2.3 Pregunta directriz de la investigación.	21
CAPÍTULO III.....	22
ESTADO DEL ARTE.....	22

3.1. Flora y Fauna.	22
3.2. Formación del lago.....	22
3.3 Hidrografía del Parque Nacional Cotacachi - Cayapas.....	23
3.4 Propiedades organolépticas de la Laguna de Cuicocha.	25
3.4.1 Olor	25
3.4.2 Color.....	25
3.4.3 Material flotante.....	25
3.5 Importancia del PNCCa como prestadora de servicios ambientales.	25
3.6 Calidad de Agua en la Laguna de Cuicocha.	26
3.7 Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.	28
3.8 Índice de Calidad de Agua National Sanitation Foundation (NSF – ICA).....	29
CAPÍTULO IV.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
4.1. Materiales.....	30
4.2. Ubicación del área de estudio.	15
4.3 Métodos.....	17
4.3.1 Diagnóstico del área de estudio	17
4.4 Etapa de muestreo en el área de estudio.	17
4.5 Puntos de recolección de muestras.....	17
4.6 Análisis físico, químico y biológico.	18
4.6.1 Determinación de parámetros basados en el índice de calidad del agua (ICA).....	19
4.7 Análisis del Índice de Calidad del Agua.....	24
4.8 Análisis estadístico.....	27

4.9 Clasificación trófica por el Índice de Carlson o índice de estado trófico (IET)	28
4.10 Conversión de Fosfatos a Fósforo total.	29
CAPÍTULO V	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5.1 Plan de muestreo para la Laguna de Cuicocha en zonas de mayor contaminación.	30
5.2 Propiedades organolépticas de la Laguna de Cuicocha	33
5.3 Resultados obtenidos de sulfatos y penetración de luz.....	34
5.4 Resultados promedio de los parámetros del Índice de Calidad del Agua (ICA)	36
5.5 Resultados obtenidos del Índice de Calidad de Agua por puntos.....	40
5.6 Análisis estadístico de los resultados del Índice de Calidad del Agua.	49
5.7 Clasificación Trófica de la Laguna de Cuicocha.	50
5.8 Comparación de datos con el Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.	52
5.9 Medidas para reducir los impactos ambientales generados por los habitantes de la zona.	72
CAPÍTULO VI	76
CONCLUSIONES	76
CAPÍTULO VII	77
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	85
REGISTRO FOTOGRÁFICO	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Promedio total de los valores fisicoquímicos obtenidos del agua de la laguna Cuicocha	27
Tabla 2 Límites de turbiedad	29
Tabla 3 Parámetros del Índice de Calidad de Agua.....	19
Tabla 4 Pesos relativos para cada parámetro del ICA	25
Tabla 5 Estimación del índice de calidad de agua “ICA”	26
Tabla 6 Criterios de aplicación del Índice de Estado Trófico (IET).....	29
Tabla 7 Puntos de muestreo seleccionados para la investigación	32
Tabla 8 Resultados propiedades organolépticas	34
Tabla 9 Resultados promedio de sulfatos	34
Tabla 10 Resultados de penetración de luz.....	35
Tabla 11 Resultados promedio parámetros ICA.....	37
Tabla 12 Resultados parámetros ICA punto N°1.....	41
Tabla 13 Resultados parámetros ICA punto N°2.....	42
Tabla 14 Resultados parámetros ICA punto N°3.....	43
Tabla 15 Resultados parámetros ICA punto N°4.....	44
Tabla 16 Resultados parámetros ICA punto N°5.....	45
Tabla 17 Resultados parámetros ICA punto N°6.....	46
Tabla 18 Resultados parámetros ICA punto N°7.....	47

Tabla 19 Resultados del Índice de Calidad del Agua de la Laguna de Cuicocha.....	48
Tabla 20 Resultados del nivel de eutrofización	51
Tabla 21 Problemáticas y medidas de mitigación.....	73
Tabla 22 Resultados de sulfatos.....	90
Tabla 23 Resultados de penetración de luz.....	90
Tabla 24 Resultados primer muestreo parámetros ICA	91
Tabla 25 Resultados segundo muestreo parámetros ICA	92
Tabla 26 Resultados tercer muestreo parámetros ICA.....	93
Tabla 27 Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua de Perú, categoría 4: conservación del ambiente acuático.....	97
Tabla 28 Parámetros de calidad de agua para la protección y conservación de comunidades acuáticas de Chile.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la Laguna de Cuicocha	16
Figura 2. RStudio.....	27
Figura 3. Puntos de muestreo seleccionados para la investigación. Tomado de Google Earth.....	31
Figura 4. Test Shapiro-Wilk, prueba de normalidad.....	49
Figura 5. Análisis de varianza.....	49
Figura 6. Coeficiente de variación	50
Figura 7. Análisis parámetro pH	52
Figura 8. Análisis parámetro pH	53
Figura 9. Análisis parámetro Oxígeno disuelto	54
Figura 10. Análisis parámetro Oxígeno disuelto	55
Figura 11. Análisis parámetro Nitratos	56
Figura 12. Análisis parámetro Nitratos	57
Figura 13. Análisis parámetro Fosfatos	58
Figura 14. Análisis parámetro Fosfatos	59
Figura 15. Análisis parámetro Coliformes fecales.....	60
Figura 16. Análisis parámetro Coliformes fecales.....	61
Figura 17. Análisis parámetro temperatura.....	62
Figura 18. Análisis parámetro temperatura.....	63
Figura 19. Análisis parámetro Sólidos disueltos totales.....	64

Figura 20. Análisis parámetro Sólidos disueltos totales	65
Figura 21. Análisis parámetro turbidez.....	66
Figura 22. Análisis parámetro turbidez.....	67
Figura 23. Análisis parámetro DBO ₅	68
Figura 24. Análisis parámetro DBO ₅	69
Figura 25. Análisis parámetro sulfatos	70
Figura 26. Análisis parámetro sulfatos	71
Figura 27. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales	85
Figura 28. Valoración de la calidad de agua en función de Potencial de hidrógeno	85
Figura 29. Valoración de la calidad de agua en función de DBO ₅	86
Figura 30. Valoración de la calidad de agua en función de Nitratos.....	86
Figura 31. Valoración de la calidad de agua en función de fosfatos	87
Figura 32. Valoración de la calidad de agua en función de Temperatura.....	87
Figura 33. Valoración de la calidad de agua en función de turbidez.....	88
Figura 34. Valoración de la calidad de agua en función de SDT	88
Figura 35. Valoración de la calidad de agua en función de O.D.	89
Figura 36: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.....	94
Figura 37: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.....	95
Figura 38. Tabla de conversión de resultados de la placa Petrifilm a NMP.	99

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Gráficas para el cálculo del ICA.....	85
Anexo 2: Tablas generales de todos los parámetros analizados	90
Anexo 3: Tablas sobre parámetros y sus LMP en las normativas correspondientes de Ecuador, Chile y Perú.....	94
Anexo 4: Gráfica de conversión de Petrifilm a NMP	99
Anexo 5: Registro fotográfico.....	100

RESUMEN

La laguna de Cuicocha es un sistema lacustre de origen volcánico que en la actualidad presenta zonas de riesgo que contaminan el lugar, es así que se evaluó su calidad del agua mediante análisis físicos, químicos y biológicos para establecer su estado actual, para ello fue necesario: un plan de muestreo en los puntos de mayor contaminación mediante una cartografía temática, comparar los resultados de la caracterización del agua con la normativa vigente, determinar el Índice de Calidad del Agua para comprobar el grado de afectación, y plantear una propuesta para reducir los impactos ambientales que se generan en este lugar. Se realizaron 3 monitoreos (período entre febrero y abril 2021), en los que se analizaron parámetros in-situ y ex situ en laboratorio de Química suelos y aguas de la PUCE-SI. Los resultados promedios de los parámetros analizados fueron: sulfatos $9,85 \text{ mg. L}^{-1}$, penetración de luz $7,23 \text{ m}$, pH $6,67$, oxígeno disuelto (OD) $92,28\%$, nitratos $1,66 \text{ mg.L}^{-1}$, fosfatos $0,35 \text{ mg.L}^{-1}$, coliformes fecales $5,12 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$, temperatura $17,04 \text{ }^{\circ}\text{C}$, turbidez $0,64 \text{ NTU}$, DBO_5 $8,55 \text{ mg.L}^{-1}$. Para comparar los resultados con la normativa, se hizo referencia a la de Ecuador, Perú y Chile, los parámetros que cumplieron fueron: pH, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, coliformes fecales y temperatura y los que no cumplieron sólidos disueltos totales y turbidez. Luego de finalizar esta investigación se pudo determinar que el índice de calidad de agua (ICA) de la Laguna de Cuicocha es de $72,50$, por lo tanto, se encuentra dentro del rango de calidad “buena” según la escala propuesta por Brown, lo que se considera apta para la preservación de la flora y la fauna del Parque Nacional Cotacachi Cayapas.

Palabras clave: Índice de calidad de agua, contaminación de la laguna, Cuicocha, Características fisicoquímicas.

ABSTRACT

The Cuicocha lagoon is a lake system of volcanic origin that currently presents risk areas that contaminate the place, so its water quality was evaluated through physical, chemical and biological analyzes to establish its current state, for this it was necessary a sampling plan in the points of greatest contamination, determined through a thematic mapping, compare the results of the characterization of the water with the current regulations, determine the Water Quality Index to verify the degree of affectation, and make a proposal to reduce the environmental impacts that are generated in this place. 3 monitoring was carried out (period between February and April 2021), in which in-situ and ex-situ parameters were analyzed in the soil and water chemistry laboratory of the PUCE-SI. The average results of the analyzed parameters were: sulfates 9.85 mg. L^{-1} , light penetration 7.23 m, pH 6.67, Dissolved Oxygen (DO) 92.28%, Nitrates 1.66 mg.L^{-1} , Phosphates 0.35 mg.L^{-1} , Fecal coliforms 5.12 NMP / 100 ml, Temperature $17.04 \text{ }^{\circ} \text{C}$, Turbidity 0.64 NTU, BOD5 8.55 mg.L^{-1} . For the comparison of the regulations with the results, reference was made to that of Ecuador, Peru and Chile, the parameters that met were: pH, dissolved oxygen, nitrates, phosphates, fecal coliforms and temperature and those that did not meet total dissolved solids and turbidity. After completing this research, it was determined that the water quality index (ICA) of the Cuicocha Lagoon is 72.50, therefore, it is within the range of "good" quality according to the scale proposed by Brown, is why it is considered suitable for the preservation of the flora and fauna of the Cotacachi Cayapas National Park.

Keywords: Water quality index, lagoon pollution, Cuicocha, Physicochemical characteristics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Cuicocha es una importante contribución al conocimiento biológico del Ecuador, y un respaldo para la conservación de esta área protegida menciona Peñafiel, (2003). Presenta un excelente estado de conservación, convirtiéndose en un ecosistema frágil a agentes externos, requiriendo un monitoreo permanente que permitan advertir sobre posibles actividades antropogénicas que cambien su calidad, es así que en este proyecto se propondrá estrategias contra los principales impactos ambientales generados por los habitantes de la zona que conlleven al deterioro de esta laguna y a la difícil conservación de la misma.

El principal aspecto que acarrea para la disminución de la calidad de la Laguna de Cuicocha es evidentemente el turismo, aunque no se evidencian niveles preocupantes de contaminación del cuerpo de agua, sin embargo, el alto número de visitantes con fines turísticos, principalmente el tráfico no regulado de numerosos botes fuera de borda, puede provocar impactos adversos sobre las aves acuáticas y su hábitat (Sánchez, 2011).

De acuerdo a MAE, (2020) y las evidencias en el campo, se puede indicar que las principales amenazas al turismo son: Afectaciones al agua de la laguna por descargas orgánicas y de combustibles, sobrecarga de actividades en el espejo de agua, considerando que la mayoría de visitantes llegan al lugar para disfrutar del sitio, perturbación a la fauna silvestre por actividades antrópicas (temporada de anidación de aves acuáticas, disturbios por presencia de fauna doméstica en el área protegida), deterioro de la infraestructura turística del PNCCa, presencia de residuos sólidos, cometimiento de infracciones turísticas y ambientales sobre la naturaleza del lugar.

Existen evidencias que revelan que el volcán aún se encuentra activo debido a la presencia de una alta concentración de CO₂, dado a que las condiciones de conductividad del agua, pH, salinidad y gases disueltos son altas, este aspecto es importante a considerar porque aumenta a la baja calidad del agua a causa natural. Otro aspecto relevante es la generación de aguas residuales que viene de la Hostería “Cuicocha”, esta infraestructura asociada a la atención al cliente y servicio al turista, genera una media diaria de 20m³, obtenido a partir de un registro diario de bombeo del agua de la laguna (Sánchez, 2011).

En este proyecto se evaluaron los principales focos que contaminan de la laguna, con la finalidad de preservar este espacio que contiene grandes índices de biodiversidad tanto de flora como de fauna. Conjuntamente con el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, encargada de la política ambiental se propone tomar medidas que mitiguen y controlen los impactos negativos que generan las actividades antropogénicas y aumentan su afectación dentro de este ecosistema lacustre, así mismo tener un registro de la calidad de agua con información técnica para futuros estudios que pueden utilizarse como una línea base.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.

Evaluar la calidad del agua de la laguna de Cuicocha mediante análisis físicos, químicos y biológicos para el índice ICA.

2.2 Objetivos específicos.

- Establecer un plan de muestreo del agua de la laguna en puntos de mayor contaminación determinados mediante una cartografía temática.
- Evaluar la calidad de agua mediante el uso de la herramienta (ICA) para su comparación con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.
- Proponer medidas para reducir los impactos ambientales que generan los habitantes de la zona, mediante estrategias de mitigación y control.

2.3 Pregunta directriz de la investigación.

¿El agua de la Laguna de Cuicocha cumple con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, para preservar la flora y fauna del mismo?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

El Parque Nacional Cotacachi - Cayapas se encuentra en la región del Chocó Biogeográfico en el noroccidente del Ecuador, en las provincias de Esmeraldas e Imbabura. Cubre una superficie de 260.961 ha, en un rango altitudinal comprendido entre los 37 m.s.n.m., en las riberas del río San Miguel, y los 4895 m.s.n.m., en el volcán Cotacachi (MAE, 2020).

3.1. Flora y Fauna.

La vegetación del PNCCa no ha sido suficientemente estudiada. El último inventario de vegetación del área protegida realizado como parte del Plan de Manejo de 2007, reporta un total de 2.225 especies en su base de datos, de las cuales 2.096 están identificadas con nombre científico, que corresponden al 13,8% del número total de las plantas vasculares (15.306 especies) registradas en el catálogo para Ecuador. Para el PNCCa se han registrado un total de 1.258 especies de vertebrados: 139 de mamíferos, 845 de aves, 111 de reptiles, 124 de anfibios y 39 de peces. Del total de especies, 178 son endémicas, resaltando la gran cantidad de aves endémicas (96 especies). Se han registrado 136 especies incluidas en la Lista Roja de Especies de la UICN, en las categorías CR (en peligro crítico), EN (en peligro) y VU (vulnerable) (MAE, 2020).

3.2. Formación del lago.

Según un estudio basado en la Universidad de Costa Rica, (2014) la laguna de Cuicocha es de origen volcánico ya que es el almacenamiento de agua por precipitaciones dentro de un cráter, estos tipos de lagos se catalogan en dos categorías:

- Lagos de temperatura fría que puede estar por debajo de la temperatura del ambiente, en esta también puede entrar lagos de temperatura caliente.
- En esta categoría de formación de los lagos, así mismo se subdivide en tres factores como son: la existencia de un cráter, el fondo de un cráter sea impermeable debido a características de su suelo que no permitan la filtración del agua y la acumulación de agua proveniente de precipitaciones sea mayor a la que se evapora.

Los volcanes pueden generar espacios propicios para que se acumule el agua al erupcionar, ya que el material que expulsan forma cráteres en el suelo, los mismos pueden ser de hasta unos 1,6 kilómetros de diámetro. Muchas veces las definiciones de lago y laguna se confunden, llegando a creer que la simple diferencia que existe entre ambos es de tamaño, lo cual es totalmente erróneo ya que existen ciertas características que debe tener una extensión acuífera para ser considerada una cosa o la otra (López, s. f.).

Siendo así que el agua de la laguna de Cuicocha es dura, con una concentración promedio de 137,5 mg.L⁻¹ de dureza total. El lago es alcalino con un pH de 7,8 y alto en electrolitos, con bajas concentraciones de fosfatos y sílice menciona Romero, (2011), debido a que, en la superficie el oxígeno disuelto fue de 6 mg.L⁻¹ en 1977 y 6,2 mg.L⁻¹; lo que resulta en un 90 a 94% de saturación siendo así estos valores se encuentran dentro de los rangos encontrados para lagos oligotróficos (Romero, 2011).

3.3 Hidrografía del Parque Nacional Cotacachi - Cayapas.

Cotacachi - Cayapas está emplazado en las cuencas de los ríos Mira, Cayapas y Esmeraldas. Abarca siete subcuencas y 37 microcuencas, siendo las más representativas las de los ríos Santiago (51%) y Agua Clara (23%). Dentro del Parque se registran alrededor de 957 km de cauces de agua, los mismos que canalizan 2.538,6 m³/año, lo que equivale a 9.727,8 m³/año (MAAE, 2017).

Las cuencas de los ríos Cayapas, Esmeraldas y Mira son sistemas hidrográficos que nacen fuera del PNCCA, pero muchos efluentes nacen de aquí, la cuenca del río Cayapas tiene un área de 6421 Km², la disponibilidad en el régimen natural y disponibilidad total en la cuenca, el río Esmeraldas nace de las estribaciones de los volcanes Iliniza, como es el río Blanco, después denominado río Jambelí, al atravesar la ciudad de Machachi se llama río San Pedro, que al juntarse con río Pita se forma el río Guayllabamba el cual recibe varios afluentes que nacen en el PNCCA y de otras áreas, para luego ser conocido como río Esmeraldas (Martinez, 2010).

El río Mira se considera uno de los cursos más importantes del Ecuador, conformado por: el río Ambi, río Mataquí, río Chota, río Mira y el río Apaquí, este curso hídrico tiene un área de aproximadamente de 5598 km², su elevación sobre el nivel del mar es de 530 m.s.n.m, en su minoría y en su altura sobrepasa los 4000 m.s.n.m. (Almeida, 2014).

El autor Martínez, (2010) señala que las subcuencas hidrográficas dentro del PNCCa, es la subcuenca del río Santiago con una superficie (56.66%) dentro del mismo se localiza en la parte occidental y drena su caudal a la zona baja. La subcuenca del río Cayapas tiene muy poco territorio dentro del PNCCa, pero es uno de los más importantes con el objetivo de prevenir el avance de la frontera y deforestación hacia el PNCCa.

Las microcuencas que alimentan los sistemas de uso de agua se localizan especialmente en la parte occidental del PNCCa, unas forman parte de esta y otras se hallan en el límite y en el área de amortiguamiento. La micro cuenca de mayor superficie es la del Río Puniyacu que tiene el 19.6% de la superficie del PNCCa, otros ríos de gran importancia son los ríos de Agua Clara, Barbudo y Las Piedra estas cuencas cubren el 69% de la superficie.

Las cuencas que forman parte del PNCCa, nacen de partes altas los caudales recorren las microcuencas y se distribuyen para diferentes usos estas son: Río Barbudo, Río Agua Clara, Río Puniyacu drenajes menores, Río Las Piedras, Río Lachas, Río San Miguel, Río Pitura, Río Pantavi, Río Cariyacu, Río Irubí, Río Yanayacu, Río Palacara, Río Salado, Río Meridiano, Río Toabunichi, Río Bravo Grande, Río Cajones, Río Azabí, Río Negro, Río Naranjal, Río San Vicente, Río Blanco y Río Francisco.

Las microcuencas nacen de la parte alta y norte del PNCCa y se alimentan de la provisión de agua originada a su alrededor, las cuales forman un complejo de montañas con pendientes superiores a 35%, estas drenan a la cuenca hidrográfica del Río Esmeraldas que se localiza en la parte sur del PNCCa, forma parte de las microcuencas de los Ríos Blanco, Toabunichi, Irubí, Pataví, Pitura, Nangulví, Magdalena, Cajones, Naranjal, Bravo Gande. Este sistema se abastece de vertientes que se encuentran a una altitud que va desde 4.500 m.s.n.m. En la zona baja la formación de mayor importancia es la del Bosque de Neblina Montano Bajo y Bosque de Neblina Monatano Intervenido, esta formación se ubica en las microcuencas de los ríos: Agua Clara, Barbudo y Piedras. Las microcuencas que drenan a la cuenca hidrográfica del Río Cayapas se alimentan de la zona alta del PNCCa, este sistema proviene del río Agua Clara, San Miguel, Barbudo, Lachas, Piedras y Puniyacu, seis microcuencas localizadas en el occidente del PNCCa.

3.4 Propiedades organolépticas de la Laguna de Cuicocha.

3.4.1 Olor

El autor DIGESA, (s. f.) indica que “El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido”, en la Laguna de Cuicocha se identificó como inolora, en promedio de todos los puntos analizados a excepción de uno, la cual tenía un olor característico fuerte a heces por el mismo hecho de que en esta zona reposa el ganado a orillas de estas aguas.

3.4.2 Color

DIGESA, (s. f.) señala que “El presente parámetro en aguas superficiales suele parecer sumamente coloreadas debido a la presencia de materia pigmentada en suspensión, cuando se sabe que el agua no presenta un color”. El agua este ecosistema en los resultados que se identificó, no tiene color en casi todos los puntos expuestos, menos en uno que es en el área de las fumarolas ya que aquí se encuentra grandes cantidades de algas que alteran a su color y lo hacen más oscura.

3.4.3 Material flotante

Según DIGESA, (s. f.) dice que “Los materiales flotantes de menor densidad que el agua son originados por fuentes antrópicas que va apareciendo a medida que el hombre comienza a interactuar con el medio ambiente”. En las muestras se apreció baja cantidad de material flotante a excepción de la zona de fumarolas donde evidentemente existen aglomeraciones de algas y en el área donde reposa el ganado, conteniendo material de diferente tamaño.

3.5 Importancia del PNCCa como prestadora de servicios ambientales.

Según Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2007) indica que el Parque Nacional Cotacachi Cayapas posee una gran biodiversidad en páramos, cuencas y subcuencas hidrográficas, así como lugares apreciados nacional e internacionalmente por su belleza paisajística, dentro de su territorio cuenta con bosques nativos y andinos, por la diversidad que tiene es un banco genético importante para el Ecuador y el mundo en general, en la cual se destaca la Laguna de Cuicocha.

Una de las riquezas del PNCCa son sus cuencas hidrográficas, sus ríos como el Guayllabamba, Mira, Chota, El Ángel que están ubicados en la zona alta, el Cayapas y el Esmeraldas en la Zona

Baja, que garantizan el agua a las poblaciones que se ubican dentro y fuera de este sitio; además posee otras subcuencas que son de suma importancia ya que radica en el drenaje de agua al área de uso de agua y de importancia futura de riego.

La subcuenca del río Cayapas, por su parte, tiene muy poco territorio dentro del PNCCa, pero es una de las más importantes debido a su drenaje de agua, sin embargo, se advierten amenazas alrededor de la tala indiscriminada del bosque de las cuencas hidrográficas (erosión), incendios forestales, quema y sobrepastoreo de páramo, desaparición y mal manejo de fuentes de agua, mala distribución del agua y ausencia de agua potable en varias zonas.

Es así como en la zona alta de ese sitio, es actualmente uno de los destinos turísticos más importantes de Ecuador, visitada por distintas personas de distintos lugares del planeta. Esta diversidad cultural se conjuga igualmente con una variedad de ecosistemas que encierran una diversidad biológica muy importante y representativa de la región tropandina, repartida entre las montañas, lagunas, ríos, quebradas y vertientes, que, vistos desde la cosmovisión local, tienen vida y energía.

En la zona baja debido a la influencia climática y su ubicación geográfica se encuentra una gran variedad de recursos vegetales, la confluencia de varios factores da origen a un sinnúmero de microclimas y ecosistemas, cada uno con diferentes características en cuanto a biodiversidad.

3.6 Calidad de Agua en la Laguna de Cuicocha.

De acuerdo a la investigación realizada por Alarcón, (2019) destaca que no todos los parámetros del Índice de Calidad del Agua (ICA) fueron analizados, los más importantes: temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 1

Promedio total de los valores fisicoquímicos obtenidos del agua de la laguna Cuicocha

Parámetro	Promedio
Temperatura	9,70°C
pH	7,28
Conductividad Eléctrica	833,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Oxígeno Disuelto	7,09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Fuente: Adaptado de Alarcón, D. (2019).

En los análisis fisicoquímicos del agua in-situ, la temperatura promedio en el agua de la laguna fue de 9,7°C se debe considerar que la temperatura de las aguas puede variar dependiendo de la época del año en la que se realice la medición. La temperatura de esta determinada en mayor medida por la relación entre la cantidad del ingreso de energía proveniente de la actividad volcánica y el área superficial del lago a través de la cual se da la disipación del calor.

El parámetro de pH promedio en el agua en este documento fue de 7,28 aunque el agua en algunos puntos de la laguna tiende a ser básica, menciona Alarcón.

Otro de los parámetros estudiados fue la conductividad eléctrica obteniendo así un valor de 833,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto influye mucho en el tiempo que las variables fueron analizadas lo que quiere decir que las sales disueltas en la laguna han aumentado o, por otra parte, que las mediciones se realizaron en época de lluvia, donde por un efecto de dilución pudiera disminuir este parámetro.

También se analizó el oxígeno disuelto el cual tiene un resultado de 7,09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ indicando que se puede dar un desarrollo normal de la vida acuática.

3.7 Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

La Norma de calidad ambiental se rige bajo la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental en lo que respecta al recurso agua, esta norma es indispensable y por lo tanto está vigente en todo el territorio ecuatoriano.

La norma tiene como objeto la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua, su objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general, las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente norma (TULSMA, 2015).

A su vez este apartado se divide en lo que respecta a criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas y en aguas marinas y de estuarios, esta normativa debe estar bajo condiciones apropiadas para su uso en conservación, así como también el empleo a actividades para mantener la vida natural de los ecosistemas, esto sin causar alteraciones en sí, también es indispensable para actividades varias como, por ejemplo: adaptabilidad, desarrollo, beneficio, entre otros, siendo así las especies como son las bioacuáticas y puede ser en casos de pesca y acuicultura (TULSMA, 2015).

Además de los parámetros indicados dentro de esta norma (ver figura 36 y 37), se tendrán en cuenta los siguientes criterios (ver tabla 2):

La turbiedad de las aguas de estuarios debe ser considerada de acuerdo a los siguientes límites:

Tabla 2

Límites de turbiedad

Condición natural más 5%	Turbiedad natural entre 0 y 50 UTN
Condición natural más 10%	Turbiedad natural entre 50 y 100 UTN
Condición natural más 20%	Turbiedad natural >100 UTN

Fuente: Adaptado de Ministerio del Ambiente, (2015).

3.8 Índice de Calidad de Agua National Sanitation Foundation (NSF – ICA)

Según Ramírez, (2010) indica que los Índices de calidad del agua son una herramienta simple que evalúan el recurso hídrico en diferentes procesos decisivos de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos, existen distintos ICA, el más destacado es el de la National Sanitation Foundation que fue desarrollado por Brown en 1970 para ríos de Estados Unidos. Este ha sido empleado, validado o adoptado en varios estudios internacionales.

La NSF recomienda el empleo de una ecuación de tipo multiplicativo, ya que a diferencia de la ecuación de tipo aditivo o suma ponderada, se puede decir que es más sensible a valores extremos en los subíndices de calidad asociados principalmente a variaciones fuertes en la calidad de agua.

La calidad del agua se puede clasificar en muy buena, buena, media, mala y muy mala en función del valor ICA-NSF, también el tipo de calidad de agua se define en función de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que se mencionan a continuación:

Turbiedad, temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno (5 días), fosfato total, nitratos, sólidos totales y coliformes fecales.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales y reactivos descritos a continuación:

Materiales y equipos:

- Frascos Boeco
- Frascos ámbar
- Vasos de precipitación
- Lámpara de alcohol
- Pipeta
- Placas Petrifilm
- Ejemplares de agua
- Cartuchos de plástico
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Turbidímetro
- Colorímetro
- Oxitop
- Balanza analítica
- GPS
- Disco Secchi

Reactivos:

- Cloruro férrico
- Cloruro de calcio
- Agua destilada
- Sulfato de magnesio
- Solución tampón de fosfato
- Kit para analizar fosfatos
- Kit para analizar nitratos
- Kit para analizar sulfatos

4.2. Ubicación del área de estudio.

El área de investigación se encuentra dentro del Parque Nacional Cotacachi – Cayapas que es la Laguna de Cuicocha, está ubicada en la cordillera noroccidental de los Andes Ecuatorianos, sector Quiroga cantón Cotacachi en la provincia de Imbabura, localizada en las coordenadas $0^{\circ}18'4.3''N$ y $78^{\circ}21'41.9''O$, en una altitud de 3064 m.s.n.m. y una temperatura de 13 a $14^{\circ}C$ (Troya, 2017).

La laguna es un profundo cráter volcánico de 4 km de largo y 3 km de ancho conformando un área de 243.630 hectáreas, un perímetro de 14, 4 km y una profundidad aproximadamente de 200 m.

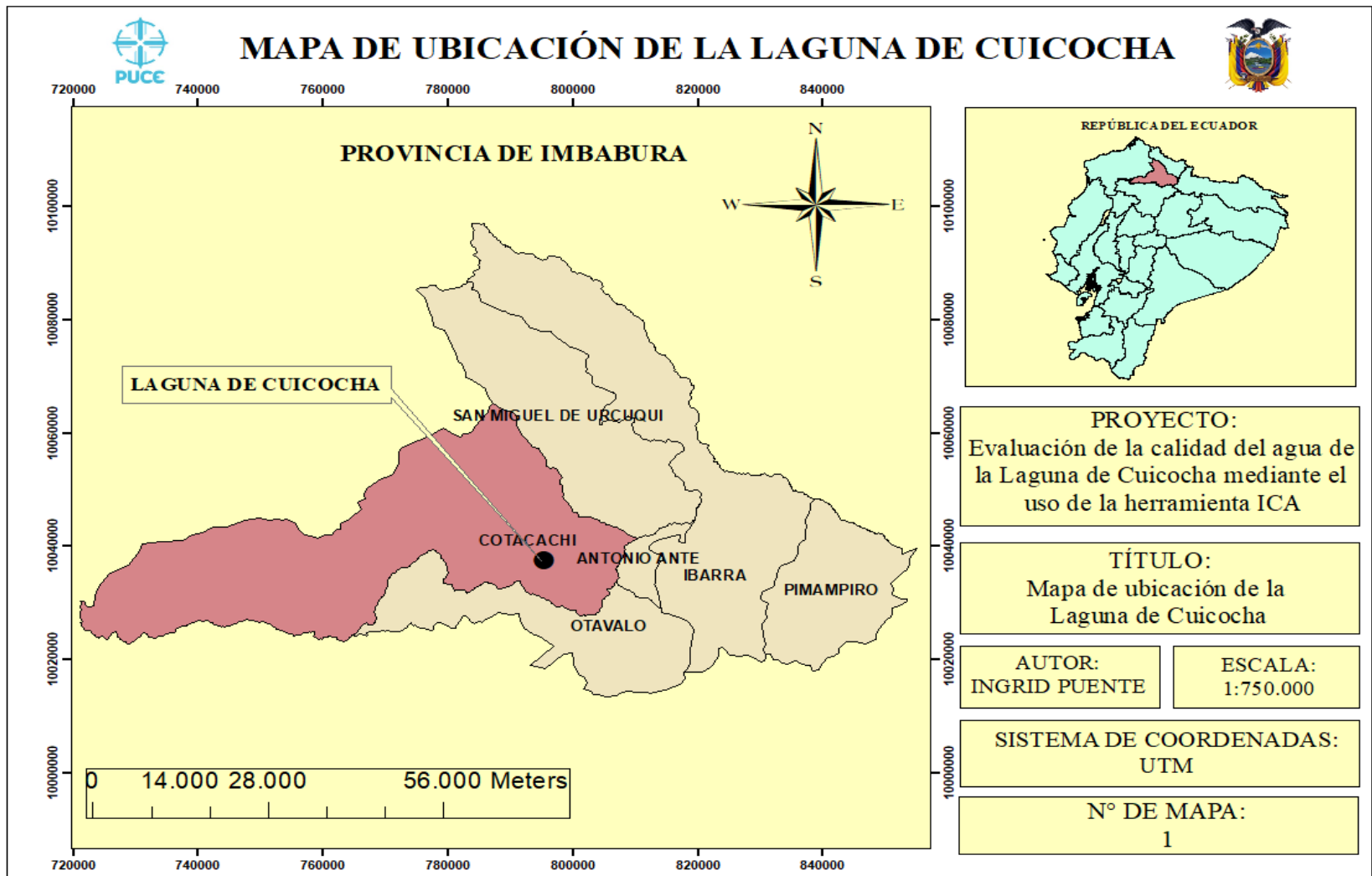


Figura 1. Mapa de ubicación de la Laguna de Cuicocha

Fuente: Puente, I. (2021)

4.3 Métodos

El diseño de esta investigación se realizó mediante trabajo de campo e investigación ya que es un proyecto de forma descriptiva, del cual se tomó en cuenta métodos de observación, comparación y análisis.

4.3.1 Diagnóstico del área de estudio

Para el diagnóstico inicial sobre el área de estudio que corresponde a la Laguna de Cuicocha, se tomó a consideración los aspectos importantes como son: los puntos estratégicos de contaminación que afectan directamente a la laguna, cuáles son las causas de contaminación y los espacios aptos para la toma de muestras.

4.4 Etapa de muestreo en el área de estudio.

Según Cirelli, (2012) “La toma de muestras o muestreo debe ser estadísticamente representativa del conjunto total que se quiere medir, para que los resultados que se obtengan de su análisis permitan conclusiones objetivas y defendibles”.

El muestreo se realizó en los alrededores de la Laguna de Cuicocha, cada 21 días comenzando desde el mes de febrero, hasta el mes de abril de 2021. La recolección de muestras en la laguna de Cuicocha, en los meses de análisis, correspondió a la estación de verano por lo que se incrementó la temperatura a su promedio habitual, así como las precipitaciones que aumentaron considerablemente, siendo además época de lluvia. Se tomó las muestras según lo estipulado en la normativa ambiental vigente y las normas INEN 2169:98 y 2176:98, que detallan los materiales y procedimientos a seguir para la toma, conservación, transporte y entrega al laboratorio.

4.5 Puntos de recolección de muestras.

Para definir el monitoreo y recolección de muestras, se realizó 4 visitas al lugar, en la primera entrada se establecieron los 7 puntos más representativos e importantes para realizar el estudio, esto se tomó en cuenta, debido a que, en estas zonas hay afectaciones antropogénicas, naturales y sin alteraciones para poder tener datos a profundidad. La segunda, tercera y cuarta visita se desarrollaron con asistencia técnica de los encargados de la laguna de Cuicocha, quienes brindaron ayuda con el transporte adecuado y también al momento de realizar el muestreo y recolección en los puntos estipulados. Para poder diferenciar mejor las zonas que se consideraron como

representativas, se nombraron de la siguiente manera: P1: Muelle de la Laguna de Cuicocha, P2: Punto bajo del pozo séptico, P3: Zona donde reposa el ganado, P4: Playita de Chumaví, P5: Zona habitada por preñadillas, P6: Fumarolas de la laguna y P7: Zona de anidación de garzas.

4.6 Análisis físico, químico y biológico.

El análisis fisicoquímico de un cuerpo de agua es un requisito indispensable ante la función de suministrar el agua para consumo humano y abrevado de animales, riego, industria, fines recreativos o para la vida acuática. La administración sustentable de nuestros recursos hídricos esta por lo tanto íntimamente unida con la habilidad de garantizar tanto su cantidad y su calidad física, química y biológica. La calidad del agua establece un conjunto de condiciones, entendidas como los niveles aceptables que deben cumplirse para asegurar la protección del recurso hídrico y la salud de los seres vivos (Ministerio de Desarrollo Sostenible, 2017).

La determinación de los parámetros de calidad del agua debe realizarse en base a criterios físicos, químicos y biológicos, que consideran la dinámica de los procesos y elementos que los afectan, así como la capacidad del recurso o del ecosistema para soportar presiones y de su poder de autodepuración. Estos parámetros de calidad se fijan de manera diferenciada de conformidad con los diversos usos a los que se va a destinar el recurso como se ha hablado anteriormente. La manera más sencilla y practica de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o relaciones de las medidas de determinados parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que se encuentra definida por ciertos estándares o criterios (Ministerio de Desarrollo Sostenible, 2017).

Según Cruz, (2017) menciona que los parámetros fisicoquímicos de mayor importancia en la determinación de la calidad de los cuerpos de agua y que se consideraron en la presente investigación son:

- Turbiedad (expresada en NTU)
- Oxígeno disuelto (expresado en %)
- pH. (expresado en unidades de pH)
- Sólidos disueltos totales (expresados en mg.L^{-1})
- Nitratos (expresados en mg.L^{-1})
- Fosfatos (expresados en mg.L^{-1})

- Sulfatos (expresados en mg.L^{-1})
- Demanda bioquímica de oxígeno por 5 días (expresados en mg.L^{-1})
- Penetración de luz (expresados en m)
- Coliformes fecales (expresados en NMP/100mL)

4.6.1 Determinación de parámetros basados en el índice de calidad del agua (ICA)

La meta de un análisis químico de aguas es generar resultados correctos y confiables, siendo la validación de ensayos uno de los aspectos más importantes para conseguir este propósito; además constituye un factor clave para la prestación de servicios analíticos (Severiche y González, 2012). Los parámetros a medir se indican en la tabla 3.

Tabla 3

Parámetros del Índice de Calidad de Agua

Parámetros	Unidad
pH	Unidades de pH
Oxígeno disuelto	% de saturación
Nitratos	mg.L^{-1}
Fosfatos	mg.L^{-1}
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	mg.L^{-1}
Coliformes fecales	NMP/100mL
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$
Sólidos disueltos totales	mg.L^{-1}

Fuente: Adaptado de SNET, (s. f.).

Determinación de pH. (Método NTE INEN-ISO 10523:2014)

En cada uno de los puntos establecidos para la toma de muestras en la laguna de Cuicocha, se enciende el equipo Potenciómetro de marca (EXTECH INSTRUMENTS PH100 ExStik), luego se coloca en la muestra a analizar, finalmente se espera a que no cambie el número que se indica en la pantalla y se toma nota del resultado.

El método que se utilizó en el análisis es el potenciométrico que según Trujillo et al., (2014) menciona que es un método analítico electroquímico basado en la medida de la diferencia de potencial entre electrodos sumergidos en una solución, siendo el potencial de uno de los electrodos función de la concentración de determinados iones presentes. La medida de los potenciales de electrodo permite obtener de forma directa la concentración de una sustancia o seguir su evolución a lo largo de una reacción química.

Determinación de oxígenos disueltos. (Método NTE INEN 1106:2013)

Se toma la muestra de agua como lo establece las normas INEN 2169:98 y 2176:98 en las cuales se detallan los materiales y procedimientos a seguir para la toma de muestras de agua, su conservación, transporte y entrega al laboratorio, se vierte una cantidad considerable en otro frasco para no alterar el resultado final de otros parámetros, se enciende el medidor de oxígeno disuelto de marca (YSI Pro20) y se lo inserta en la muestra de agua, finalmente se espera a que no cambie el número que se indica en la pantalla y se toma nota del resultado. El método utilizado en este análisis es el electrométrico que el autor Navarro, (2007) dice que este método se basa en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana plástica permeable al oxígeno, que recubre el elemento sensible de un electrodo y actúa a la vez como una barrera de difusión contra muchas impurezas que interfieren en los otros métodos para la determinación del oxígeno disuelto.

Determinación de Nitratos. (Estándar método 4500-NO₃⁻(4-134))

Con ayuda del equipo de Laboratorio de aguas Smart 24 Lamotte 1951-0, se mantiene presionado hasta que encienda el colorímetro, se selecciona en el equipo el método 064 Nitrate-N, que permitirá leer los nitratos en las muestras de agua en el equipo de marca (Lamotte Smart2), se bisela un tubo limpio con una muestra de agua, se llena hasta la línea de 10 mL con muestra, se inserta el tubo en la cámara y escanea el blanco, se retira el tubo del colorímetro y se vierte 5 mL en un cilindro graduado o similar. Se desecha la muestra restante, luego se vierte la muestra de 5

mL en un tubo. Se mide 5 mL de Reactivo Ácido Mixto (V-6278) y se agrega al tubo, se mezcla y espera dos minutos, se utilizó la cuchara de 0,1 g para añadir dos medidas de Reductor de nitratos, Reactivo (V-6279), se mezcla toda la solución, espera 10 minutos y se inserta el tubo en la cámara, finalmente anota los resultados.

El método empleado en este análisis es por colorimetría, según Aparicio, (2017) menciona que se basa en la medida de la absorción de radiación de la zona visible por sustancias coloreadas. En algunas ocasiones la muestra que deseamos determinar no posee color por sí misma; en tal caso, es preciso llevar a cabo un desarrollo de color empleado reactivos que den lugar a sustancias coloreadas con la muestra que interesa estudiar.

Determinación de Fosfatos (Método HACH-8191)

Se empleó el equipo de Laboratorio de aguas Smart 24 Lamotte 1951-01 para el análisis correspondiente para comenzar se mantiene presionado hasta que encienda el colorímetro de marca (Lamotte Smart2), se selecciona en el equipo el método 080 Fosfato ppb que permitirá leer los fosfatos en las muestras de agua, luego se bisela un tubo limpio con una muestra de agua, se llena hasta la línea de 10 ml con muestra, después se inserta el tubo en la cámara y escanea el blanco, se retira el tubo del colorímetro, usando una pipeta de 1.0 ml para agregar 1.0 ml de Reactivo de ácido fosfato (-6282). Se tapa y mezcla, se usa la cuchara de 0.1 g agregando una medida de Reductor de fosfato Reactivo (V-6283). Se agita hasta que el polvo se disuelva, se espera 5 minutos para el revelado a todo color. La solución se volverá azul si hay fosfatos presentes, al final del periodo se espera 5 minutos, se inserta el tubo a la cámara y anota los resultados. En este análisis se utilizó el método de colorimetría mencionado anteriormente.

Determinación de Demanda bioquímica de oxígeno (5 días) (Método NTE INEN 1202:2013)

En frascos ámbar de vidrio se ponen 43 ml de muestra de agua, esto depende del total de las muestras obtenidas en el estudio, en este caso son 7, previamente puesto en cada frasco un imán en forma de balón, dentro de cada uno se coloca 1 ml de cada solución nutritiva; que son A (Cloruro férrico), B (Cloruro de calcio), C (Sulfato de magnesio) y D (Solución tampón de fosfato). Esta solución debe caer por las paredes del frasco evitando en lo posible que burbujee, se añade 0,5 g de hidróxido de sodio en los cartuchos de plástico y se procede a tapar cada frasco con lo anteriormente realizado, se receta el oxitop de marca (VELP Científica B.O.D. sensor)

presionando A y B, se presiona B para ver que se ha encendido y se coloca herméticamente en los frascos, se inserta en la incubadora a una temperatura de 20 °C y se pone en los agitadores, los resultados se obtienen al final de 5 días seguidos.

Para la determinación de DBO₅ se utilizó el método respirométrico este se basa en medir el consumo de oxígeno, o la producción de CO₂, en una botella respirométrica. Este objetivo se logra entre otras formas (método manométrico) midiendo la variación de la presión en la botella, mediante un manómetro lo suficientemente sensible. Otros métodos respirométricos propiamente dichos miden la producción dentro de la botella de CO₂ u otros gases como metano, anhídrido sulfhídrico, etc. (Angulo, 2012).

Determinación de coliformes fecales. (Estándar método 9211)

Con una pipeta se coloca 1 mL de muestra de agua en Placas Petrifilm de E. Coli, se tapa y se presiona la placa con la plancha para que se mantenga hermético, se pone en la estufa todas las placas a muestrear durante 24 h hasta obtener los resultados.

Determinación de temperatura. (Estándar método 2550 2-74)

Se establece la zona de estudio, en este caso los puntos establecidos para la toma de muestras en la laguna de Cuicocha, se prende el equipo denominado Potenciómetro de marca (EXTECH INSTRUMENTS PH100 ExStik). (El equipo previamente utilizado tiene la unidad de temperatura para medirla directamente), se coloca en la muestra a analizar y se anota los resultados.

Determinación de sólidos disueltos totales. (Estándar método 2540 2-69)

Se establece la zona de estudio, en este caso los puntos establecidos para la toma de muestras en la laguna de Cuicocha, se prende el equipo denominado Conductímetro de marca (EXTECH INSTRUMENTS EC400 ExStik II), luego se mantiene presionado el botón MOD para cambiar de unidades a ppm que es la unidad que mide sólidos disueltos totales (TDS), se coloca en la muestra a analizar, finalmente se espera a que no cambie el número que se indica en la pantalla y se toma nota del resultado.

Determinación de turbidez (Estándar método 2130 2-13)

Se coloca en un tubo 10 mL de muestra de agua, después se enciende el turbidímetro de marca (Sper Scientific, Turbidity Meter), se coloca el blanco y se lo escanea, se retira el blanco y se procede a poner la muestra de agua en el equipo, se escanea y anota el resultado. El método utilizado para este análisis es por nefelometría. Según Carpio, (2007) la turbiedad se detecta mediante luz dispersa localizada a 90° del haz incidente, su precisión, sensibilidad y aplicabilidad sobre un rango de turbiedad amplio hace que el método nefelométrico sea preferible a los métodos visuales.

Determinación de sulfato (Estándar método 4500-SO₄²⁻ (4-199))

Se empleó el equipo de Laboratorio de aguas Smart 24 Lamotte 1951-01 para el análisis correspondiente, primero se mantiene presionado hasta que encienda el colorímetro de marca (Lamotte Smart 2), se selecciona en el equipo el método 089 Sulfato HR que permitirá leer los sulfatos en las muestras de agua, se bisela un tubo limpio con una muestra de agua, se llena hasta la línea de 10 mL con muestra, se inserta el tubo en la cámara y escanea el blanco, se retira el tubo del colorímetro, usando una cuchara de 0.1 g agregando una medida de reactivo de Sulfato (V-6277) y se lo mezcla vigorosamente hasta que se disuelva el polvo. Se desarrolla un precipitado blanco si hay sulfatos presentes esperando 5 minutos, se inserta el tubo en el colorímetro y se escanea la muestra, finalmente se anota el resultado obtenido. El método empleado en este análisis es por colorimetría como se explicó anteriormente.

Determinación de propiedades organolépticas.

Para medir estas propiedades es necesario que no haya pasado mucho tiempo desde su toma desde la zona en estudio, para identificar con mayor exactitud lo que corresponda a: color, olor, sabor. Todos estos parámetros se desarrollaron mediante la observación y la utilización de los sentidos de la persona. El método aplicado en esta determinación es por análisis sensorial (Mérieux Nutrisciences, s. f.).

Uso del disco de Secchi. (Método Disco Secchi)

Según Guzmán, (2016) “El disco Secchi se sumerge del lado sombreado de la embarcación hasta el momento que este deja de ser visible y mediante la cuerda graduada se anota la profundidad a

la cual dejó de ser visible”, este proceso se lo aplicó en cada salida de campo, la cual fueron 3 veces en los distintos meses que se mencionan anteriormente, para obtener una medida dependiente de la transparencia del agua.

4.7 Análisis del Índice de Calidad del Agua

Según Vizcaíno, (s. f.) menciona que “La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown et al. (1973), obteniéndose a partir de una media geométrica:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Donde W_i son los pesos específicos asignados a cada parámetro la cual son ponderados entre 0 y 1 dando como resultado su sumatoria 1. Sub_i es la calidad del parámetro, en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, PI representa la operación multiplicativa de las variables Sub elevadas a la W . Finalmente el ICA que arroja la ecuación es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación (Vizcaíno, s. f.).

Para determinar Sub_i se ayuda conjuntamente con las gráficas (ver figura de la 27 a la 35), donde se procede a buscar el valor en el eje de las X y posteriormente se procede a interpolar al valor en el eje de las Y. El valor encontrado es Sub_i , dependiendo de cada parámetro cambiará el valor de W_i para su resultado final. Los Pesos relativos para cada parámetro del ICA son los siguientes:


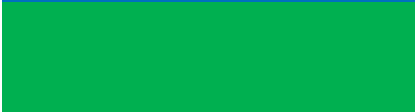
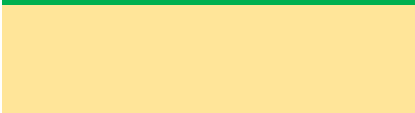


Tabla 4*Pesos relativos para cada parámetro del ICA*

i	Sub _i	W _i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Fuente: Adaptado de SNET, (s. f.).

Para la estimación del índice de calidad de agua ICA es necesario adoptar condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla: (SNET, s. f.).

Tabla 5*Estimación del índice de calidad de agua "ICA"*

Calidad de agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: Adaptado de SNET, (s. f.).

Según (SNET, s. f.) Los pasos a seguir para calcular los Sub_i del Índice de Calidad General son:

- Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub1) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/100 mL recurrir al gráfico. (Ver figura 27)
- Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub2) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub2) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 28)
- Si la DBO5 es mayor de 30 mg/L el (Sub3) es igual a 2. Si la DBO5 es menor de 30 mg/L buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 29)
- Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub4) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 30)
- Si el Fosfato es mayor de 10 mg/L el (Sub5) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 31)

- Se debe primero calcular la diferencia entre la T ambiental y la de la muestra. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub5) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 32)
- Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub7) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 33)
- Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 34)
- Si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub9) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en la gráfica. (Ver figura 35)

4.8 Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de los datos de esta investigación se realizó mediante el programa estadístico “RStudio”

Este software permite interactuar con R de forma amigable, es el lenguaje de programación con un entorno de desarrollo integrado, este programa se usa para hacer análisis estadísticos y graficas de forma libre, también su curva de aprendizaje es relativamente sencilla comparado con otros lenguajes de programación permitiendo maquetar o hacer prototipos de modelos muy rápido y con resultados confiables. También permite compartir códigos sencillos, haciendo que científicos alrededor del mundo puedan contribuir a este programa para su mejora (González, 2019).



Figura 2. RStudio

Fuente: Tomado de González, (2019)

En el análisis estadístico se realizó la distribución normal de los datos obtenidos en el ICA que son por punto, esto dirá que tan normales están las variables entre sí, también se analizó el coeficiente de variación.

4.9 Clasificación trófica por el Índice de Carlson o índice de estado trófico (IET)

El índice de Carlson o índice de estado trófico (IET) que fue propuesto en 1977, ha sido uno de los primeros índices propuestos para sistemas lacustres; está basado en la utilización del Disco de Secchi para la medición de la transparencia del agua a través de la columna de agua del lago. Esta transparencia determina el nivel de refracción de la luz a través de la turbidez y el color que presenta el volumen de agua, por efecto de descargas de sólidos (suspendidos, volátiles o sedimentables) o por la formación de sistemas coloidales o soluciones complejas (López y Madroño, 2015)

Según López y Madroño, (2015). El índice de estado trófico de Carlson se calcula con las siguientes ecuaciones:

Índice de estado trófico de Carlson disco Secchi (IETDS):

$$IETDS = 10 \left(6 - \frac{\ln(DS)}{\ln(2)} \right)$$

Índice de estado trófico de Carlson Fósforo Total (IET (PT)):

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \frac{\ln(65/PT)}{\ln(2)} \right)$$

Índice de estado trófico de Carlson promedio (IET Promedio):

$$IET \text{ Promedio} = \frac{IETDS + IETPT}{2}$$

Tabla 6*Criterios de aplicación del Índice de Estado Trófico (IET)*

Valor Índice	Categoría Trófica
<30	Ultraoligotrófico
30-44	Oligotrófico
44-54	Mesotrófico
54-74	Eutrófico
>74	Hipertrófico

Fuente: Adaptado de López y Madroño, (2015).

4.10 Conversión de Fosfatos a Fósforo total.

Según HANNA instruments. (s. f.) menciona que es posible convertir fácilmente entre las dos medidas con una simple multiplicación o división. Para convertir un resultado de fósforo (P) a fosfato (PO_4^{3-}) simplemente se necesita multiplicar por 3.06. Por el contrario, para convertir de fosfato a fósforo, solo se necesita dividir por 3.06. La razón por la que esto funciona es porque la molécula de ortofosfato (PO_4^{3-}) es aproximadamente 3.06 veces más pesada que el átomo de fósforo (P).

Puede determinar este factor calculando primero el peso molecular del ortofosfato (PO_4^{3-}). El peso atómico del oxígeno es de aproximadamente 16 amu y hay cuatro átomos de oxígeno en una molécula de ortofosfato. Mientras que el peso atómico del fósforo es 31 amu y hay un átomo de fósforo en una molécula de ortofosfato. Entonces, el peso molecular del ortofosfato (PO_4^{3-}) es: $16 * 4 + 31 = 95$ amu.

Luego, para encontrar la cantidad de fósforo en cada molécula de fosfato, simplemente se divide el peso molecular del ortofosfato (PO_4^{3-}) por el peso atómico del fósforo: $95/31 = 3.06$.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Plan de muestreo para la Laguna de Cuicocha en zonas de mayor contaminación.

El plan de muestreo que se consideró para la Laguna de Cuicocha inició con la visita previa del lugar para identificar los puntos estratégicos que disminuyen la calidad de la misma.

La accesibilidad para la toma de muestras fue rápida y fácil, debido al acompañamiento de los técnicos del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica que apoyaron con la logística y el transporte tanto para el análisis in situ como para la recolección de las muestras. Según CELEC, (s. f.) para los puntos de muestreo se debe considerar la seguridad del investigador, accesibilidad, vías de acceso vehicular y peatonal necesarias, de tal manera que faciliten obtener las muestras y transportar los equipos y materiales de muestreo.

En la figura 3, se presentan los puntos de muestreo elegidos conjuntamente con sus coordenadas en la tabla 7. CELEC, (s. f.) dice que, los puntos de recolección de las muestras deben ser lo más representativos posibles de las características totales del cuerpo de agua, esto significa que el cuerpo de agua debe ser mezclado totalmente en el lugar de muestreo, relacionado específicamente con la turbulencia, velocidad y apariencia física del mismo, adquiriendo que la muestra sea lo más homogénea posible.

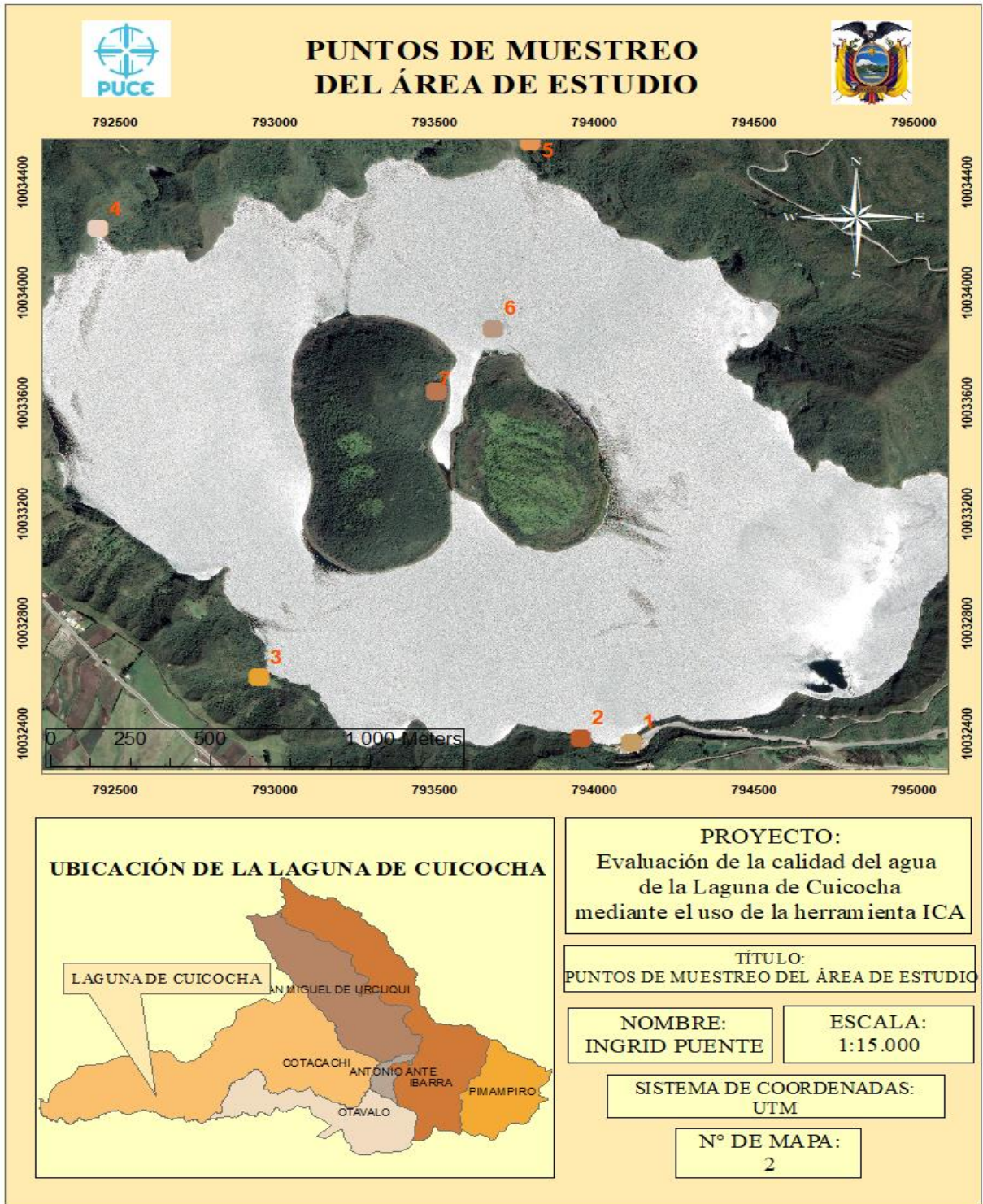


Figura 3. Puntos de muestreo seleccionados para la investigación. Tomado de Google Earth

Fuente: Adaptado por Puente, I. (2021)

Tabla 7*Puntos de muestreo seleccionados para la investigación*

Punto	Descripción	Coordenadas UTM	Altitud (m.s.n.m.)
1	MUELLE	17 N 0794120 10032370	3060
2	CERCA POZO SÉPTICO	17 N 0793963 10032385	3056
3	GANADO	17 N 0792952 10032607	3064
4	PLAYITA	17 N 0792449 10034234	3064
5	PREÑADILLAS	17 N 0793804 10034551	3057
6	FUMAROLAS	17 N 0793689 10033871	3059
7	ANIDACIÓN DE GARZAS	17 N 0793510 10033642	3059

Fuente: Puente, I. (2021).

En la tabla 7 se muestra los puntos seleccionados, que fueron propuestos por técnicos del Parque Nacional Cotacachi Cayapas debido a su experiencia en la presente zona estudiada, estos puntos fundados no se establecen en investigaciones anteriores por otros autores.

Para una mejor ubicación de cada zona se denominó a cada uno con una referencia característica, también se muestra las coordenadas en UTM (ver tabla 7), siendo así, el N°1 “Muelle” se encuentra situado al oeste de la entrada del Parque Nacional, donde se puede encontrar gran variedad de atractivos para los turistas, se continua con el punto N°2 denominado “Cerca del pozo séptico”, aquí como su nombre lo indica es el pozo séptico de la Hostería Cuicocha que se encuentra cerca de la Laguna, se requirió establecerlo para comprobar si hay algún tipo de contaminación hacia este cuerpo de agua, después está N°3 “Ganado” ubicándose al norte del anterior punto a las orillas

de la laguna (ver figura 3), aquí se encuentra con frecuencia el ganado que va a pastar por habitantes de los alrededores del Parque Nacional, afectando considerablemente la calidad de esta agua por desechos residuales de los mismos, la “Playita” es el punto N°4, se localiza al noroeste de la anterior zona, aquí se realizan eventos culturales por habitantes de la ciudad de Cotacachi, el N°5 llamado “Preñadillas” se halla al este del anterior punto, es muy importante saber que en años pasados se encontraron estos peces de la familia Astrolepidae, demostrando ser indicadores de buena calidad de agua, el siguiente son las “Fumarolas” siendo el N°6, encontrándose al sur del punto anterior y por último el N°7 denominado “Anidación de garzas” se halla dentro de la laguna entre los islotes Teodoro Wolf y Yerovi.

5.2 Propiedades organolépticas de la Laguna de Cuicocha

Los resultados obtenidos de las propiedades organolépticas se resumen en la tabla 8 y corresponde al promedio de las muestras analizadas durante los tres meses.

Las propiedades organolépticas de los 7 puntos tomados dentro de la Laguna de Cuicocha muestran similares resultados, a excepción del punto 3, que presentó un olor desagradable debido a la presencia de ganado vacuno pastando a orillas. En cuanto al color, encontrándose incolora a excepción del punto 6 debido a la abundante presencia de algas en la zona, que le proporcionaban al agua un tono amarillento.

Tabla 8*Resultados propiedades organolépticas*

Punto	Olor	Color
1	Inodora	Incolora
2	Inodora	Incolora
3	Desagradable	Incolora
4	Inodora	Incolora
5	Inodora	Incolora
6	Inodora	Amarillento
7	Inodora	Incolora

Fuente: Puente, I. (2021).

5.3 Resultados obtenidos de sulfatos y penetración de luz

En lo que respecta a sulfatos y penetración de luz los resultados obtenidos se representan en la tabla 9 y tabla 10, siendo el promedio de los 3 monitoreos continuos

Tabla 9*Resultados promedio de sulfatos*

Punto	Sulfato (mg.L ⁻¹)
1	8,3
2	9,1
3	11,3
4	9,0
5	8,4
6	14,1
7	10,2

Fuente: Puente, I. (2021).

La evaluación de sulfatos tiene como finalidad determinar el grado de contaminación y también la dureza del agua. Según González et al. (2020), menciona que la presencia de especies químicas sulfatos en ecosistemas como los lagos cratericos volcánicos que no están influenciados por contaminantes provenientes de la agricultura, pudieran ser debidos a una combinación entre los procesos geoquímicos y de biomineralización llevados a cabo por bacterias. En este análisis los resultados obtenidos de la laguna están en un rango de 8 a 14 mg.L⁻¹, con un valor promedio para de 9,85 mg.L⁻¹, estos datos no se asemejan a los resultados del mismo autor ya que están en un rango de 2650 hasta 4625 mg.L⁻¹, siendo totalmente elevados.

Tabla 10

Resultados de penetración de luz.

Punto	Penetración de luz (m)
1	6,60
2	7,23
3	10,18
4	4,64
5	9,25
6	2,26
7	10,50

Fuente: Puente, I. (2021).

En términos generales se observó que en los diferentes sitios de la laguna se obtuvo una penetración de luz variable, es el punto 7 que está ubicado entre el islote Yerovi y el islote Teodoro Wolf donde fue el de mayor transparencia (10.50 m) y el punto 6 donde se encuentran las fumarolas el de menor (2.26 m) esto se debe a la abundancia de algas que existen en este lugar.

La penetración de luz ayuda a identificar el estado de eutrofización conjuntamente con otras variables que se presentan en la tabla 20. El autor Castellanos et al., (2002) dice que esta es una medición integradora, puesto que la transparencia en un punto específico es un factor que depende de la condición del agua en términos de la cantidad o concentración de materia suspendida en la columna de agua.

5.4 Resultados promedio de los parámetros del Índice de Calidad del Agua (ICA)

En este estudio se evaluaron los parámetros que establece el Índice de Calidad del Agua: pH, O.D., Nitratos, Fosfatos, Coliformes fecales, Temperatura, TDS, Turbidez y DBO₅.

Los parámetros que se analizaron fueron 9 para el método del índice de Calidad de Agua (ver tabla 11), se hizo un promedio total de los 7 puntos para su posterior análisis. Las variables que se presentan en esta investigación se compararon con la investigación realizada por Sánchez, (2011) “Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas”, debido a que contiene algunos parámetros estudiados años atrás que ayudaran a ver la calidad de esta agua.

También se podrá comparar con el estudio hecho por Toro, et al. (2012) “Estudio limnológico de la laguna Negra. Zona amortiguadora del Parque Nacional Natural los Nevados” ubicado en Colombia puesto que, este cuerpo de agua es de origen tectónico-volcánico y mantiene características similares a la Laguna de Cuicocha mencionando algunas como su origen, la altura que está entre los 3000 m.s.n.m. y 3800 m.s.n.m., su forma de alimentación del agua ya que ingresa mediante escorrentía superficial y el impacto ambiental generado a sus alrededores es bajo.

En esta última investigación mencionada se podrá diferenciar algunos valores restantes que no están descritos por Sánchez, (2011) como oxígeno disuelto, temperatura y sólidos disueltos totales.

Tabla 11*Resultados promedio parámetros ICA*

Parámetro	Unidad	LMP*	Puntos							Promedio
			1	2	3	4	5	6	7	
pH	-	9	6,91	6,58	6,53	6,81	6,75	5,80	6,90	6,67
Oxígeno disuelto	(%)	>80	92	92	86	95	97	92	92	92,28
Nitratos	(mg.L ⁻¹)	13	1,55	1,39	1,36	1,44	2,78	1,13	2,03	1,66
Fosfatos	(mg.L ⁻¹)	0,4	0,44	0,48	0,42	0,42	0,28	0,20	0,24	0,35
Coliformes fecales	(NMP/100 ml)	20	3,41	3	20,46	3	1	2	3	5,12
Temperatura	(°C)	19	16,6	16,2	18,2	17,4	17,3	17	16,6	17,04
TDS	(mg.L ⁻¹)	500	551	548	541	550	548	615	553	558
Turbidez	(NTU)	0	0,85	0,07	0,10	0,06	0	3,43	0	0,64
DBO ₅	(mg.L ⁻¹)	20	8,6	6,8	9,0	9,7	8,8	8,4	8,6	8,55

Fuente: Puente, I. (2021).

*Nota** Los valores subrayados de color gris son los que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el texto unificado, en lo que respecta a pH el punto 6 no cumple con la normativa ecuatoriana debido a que está por debajo de los límites máximos permisibles, el parámetro fosfato en los puntos 1, 2, 3 y 4 sobrepasaron los LMP, por lo tanto, no cumple con la normativa de Perú. En el parámetro Coliformes fecales se puede observar que el único valor que se ha disparado es el N°3 donde no cumple con el criterio de Ecuador. De igual manera los sólidos disueltos totales comparados con el reglamento de Perú, incumpliendo así con la normativa legal vigente por su sobrepaso en los resultados y por último tenemos a la variable turbidez donde se puede observar que el punto 1,2,3,4 y 6 no cumplen con el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre donde no están dentro de los valores límites máximos permisibles.

En el pH se obtuvo un resultado promedio de toda la laguna de 6,67 y en cada punto se tiene valores desde 6,91 siendo este del punto 1 hasta 6,27 obtenido del punto 6, esto indica que el agua es ligeramente ácida. Según González et al., (2020) “en términos generales el pH de los lagos volcánicos cratericos en otras partes del mundo, varían desde los extremos ácidos, pH cercano a 1, hasta los más alcalinos, con pH entre 8 y 10”. El rango de pH de la laguna de Cuicocha hecho por Sánchez, (2011) es de 8,30, demostrando un cambio leve en estos 10 años transcurridos desde las investigaciones correspondientes.

Los datos de oxígeno disuelto fueron de 97% en el punto 5 siendo este el más alto y de 86% en el punto 3 que indica el valor mínimo, esto se debe a la constante contaminación que producen los desechos del ganado aumentando bacterias que generan estados de anoxia, en el caso del promedio total de la laguna el resultado es de 92%, a comparación de la otra investigación tienen mucha diferencia entre si teniendo un máximo de 75,15% y un mínimo de 65,65%, la concentración de oxígeno es indicador de buena calidad, aptas para la preservación de flora y fauna.

En los parámetros químicos como es nitratos los valores obtenidos son de 2,78 mg.L⁻¹ en el punto 5 y 1,13 mg.L⁻¹ en el punto 6, el dato promedio para la laguna en general es de 1,66 mg.L⁻¹. Según Sánchez, (2011), las concentraciones de nitratos en Cuicocha fueron de 3,96 mg.L⁻¹ en el año mencionado, estos valores son mayores a los obtenidos en esta investigación lo que demuestra el mejoramiento en la calidad de agua. Los datos para la Laguna de Cuicocha de este estudio en el parámetro de fosfatos fueron de 0,20 mg.L⁻¹ el mínimo y el máximo de 0,48 mg.L⁻¹ con el valor promedio de 0,35 mg. L⁻¹. La información extraída, es poco similar a la investigación de Sánchez, (2011) ya que se encontró un valor de 0,25 mg.L⁻¹ que están levemente menores, debido a que en este cuerpo de agua no se encuentra fuentes de contaminación que genere algún tipo de algas.

De acuerdo con González et al. (2020) señalan que los lagos de cuenca cerrada, siendo el caso de la Laguna de Cuicocha y Quilotoa, pueden acumular altas concentraciones de sales como son los nitratos, sulfatos y se incluyen los fosfatos, esto se debe a la meteorización química dentro de sus cuencas hidrológicas, además de la entrada de productos a causa de las precipitaciones meteorológicas.

Según Pacheco y Cabrera. (2003) dicen que los nitratos en las aguas superficiales y subterráneas se derivan de la descomposición natural, por microorganismos, de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de animales. Esto indica la alta

concentración de nitratos en la laguna, el principal aspecto es el reposo constante de ganado vacuno a las orillas. Con respecto a los coliformes fecales en la presente investigación se tuvo un número alto de 20,46 NMP.

La valoración de temperatura del agua oscila entre los 18°C hasta los 16°C con una temperatura promedio de la laguna de 16°C esto es 3° más a la temperatura que se determinó en el estudio de González et al. (2020) y menciona que las cuencas de los lagos de alta montaña son relativamente pequeñas en comparación con los lagos de zonas bajas, estas características atmosféricas y climáticas influyen mucho en la temperatura del agua embalsada, sin embargo, si se combina la sensibilidad de estos ecosistemas lacustres a fuerzas externas como su emplazamiento remoto son excelentes y buenos registradores de los cambios ambientales pasados y presentes, esto nos podría ayudar a monitorear los efectos que produce el cambio climático.

Los valores de sólidos disueltos totales indican un máximo en el punto 6 de 615 mg.L⁻¹ y un mínimo de 541 en el punto 3 mg.L⁻¹ dando un valor promedio de 558 mg.L⁻¹, en el estudio de la Laguna Negra este valor está en un rango de 85 mg.L⁻¹ a 38 mg.L⁻¹, estos valores corresponden a aguas medianamente contaminadas, en este caso se trataría por procesos de mineralización puesto que este cuerpo de agua se alimenta por filtraciones de agua de sus paredes interiores, según H₂O Magazine, (2017) indica que la mineralización tiene origen subterráneo y tienen una composición mineral que depende de varios factores como el tipo de roca de la que proviene, tiempo que permanece en el subsuelo y la temperatura que tiene en el origen.

La turbidez está relacionada directamente con el sustrato y sedimentación de las partículas en el fondo, en este caso la Laguna de Cuicocha es un lago muy profundo por eso los valores correspondientes a 3,43 NTU y 0 NTU puede verse influida por la calidad del sustrato, menciona Toro et al. (2012)

Por otro lado, la variable DBO₅ un valor máximo de 9,7 mg.L⁻¹ y un mínimo de 6,8 mg.L⁻¹. Con un promedio general de 8,55 mg.L⁻¹, que a diferencia de la investigación de Sánchez, (2011) del año mencionado tiene como resultado una DBO₅ <10 mg.L⁻¹, manteniéndose correctamente el rango del valor a pesar de los años transcurridos. Según Toro et al. (2012) dice que los parámetros DBO₅ y coliformes fecales presentan una estrecha relación, esto es debido a que la capacidad de reproducción de ellos se ve favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia

orgánica DBO₅. La descomposición de la materia orgánica proveniente de la materia fecal además de aportar coliformes produce metano y otros gases solubles.

5.5 Resultados obtenidos del Índice de Calidad de Agua por puntos.

El índice de Calidad de Agua se evaluó en los 7 puntos más representativos de toda la laguna, utilizando los pesos relativos que se encuentran en la tabla 5, para la verificación de los resultados obtenidos también se analizaron con la aplicación web “Water Research Center”, este es un sitio en internet gratuito dedicado a la información y los recursos para propietarios de pozos privados, evaluación de sistemas de tratamiento de agua, aguas residuales, calidad del agua, servicios de agua potables y programas de educación y/o divulgación (Oram, s. f.).

PUNTO N°1.

Tabla 12

Resultados parámetros ICA punto N°1

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	3 NMP/100mL	86	0.15	12,9
2	pH	6,91	90	0.12	10,8
3	DBO ₅	8,6 mg.L ⁻¹	40	0.10	40
4	NO ₃	1,55 mg.L ⁻¹	90	0.10	9
5	PO ₄	0,28 mg.L ⁻¹	98	0,10	9,8
6	Temperatura	8,6 °C	35	0.10	3,5
7	Turbidez	0,85 NTU	95	0.08	7,60
8	TDS	551 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	92%	95	0.17	16,15
RESULTADO		BUENA		73,99	

Fuente: Puente, I. (2021).

En el punto N° 1 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es BUENA, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 73,99 sobre 100 puntos, a pesar de tener mucha influencia de personas, esta zona está en buen estado.

PUNTO N° 2

Tabla 13

Resultados parámetros ICA punto N°2

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	3 NMP/100mL	86	0.15	12,90
2	pH	6,58	70	0.12	8,40
3	DBO ₅	6,8 mg.L ⁻¹	48	0.10	4,8
4	NO ₃	1,39 mg.L ⁻¹	95	0.10	9,5
5	PO ₄	0,44 mg.L ⁻¹	99	0,10	9,9
6	Temperatura	8,2 °C	29	0.10	2,9
7	Turbidez	0,07 NTU	99	0.08	7,92
8	TDS	548 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	92%	95	0.17	16,15
RESULTADO		BUENA			72,71

Fuente: Puente, I. (2021).

En el punto N° 2 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es BUENA, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 72,71 sobre 100 puntos, sin embargo, en la parte superior de la orilla del presente punto está ubicado el pozo séptico de la Hostería Cuicocha, pero esto no impide su buena calidad.

PUNTO N° 3

Tabla 14

Resultados parámetros ICA punto N°3

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	20,46 NMP/100mL	62	0.15	9,30
2	pH	6,53	70	0.12	8,40
3	DBO ₅	9,0 mg.L ⁻¹	32	0.10	3,2
4	NO ₃	1,36 mg.L ⁻¹	96	0.10	9,60
5	PO ₄	0,42 mg.L ⁻¹	98	0,10	9,80
6	Temperatura	10,2 °C	21	0.10	2,10
7	Turbidez	0,10 NTU	99	0.08	7,92
8	TDS	541 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	86%	93	0.17	15,81
RESULTADO		REGULAR			66,37

Fuente: Puente, I. (2021).

El punto N° 3 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es **REGULAR**, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 66,37 sobre 100 puntos, esto se debe a que en esta zona reposa el ganado por varias horas, esto se observó al momento de hacer el primer y segundo muestreo; también las aguas a orillas de este punto tenían un olor fétido debido a las heces de las vacas que permanecían en el lugar.

PUNTO N° 4

Tabla 15

Resultados parámetros ICA punto N°4

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	3 NMP/100mL	97	0.15	14,55
2	pH	6,81	88	0.12	10,56
3	DBO ₅	9,7 mg.L ⁻¹	30	0.10	3
4	NO ₃	1,44 mg.L ⁻¹	90	0.10	9
5	PO ₄	0,42 mg.L ⁻¹	98	0,10	9,8
6	Temperatura	9,4 °C	23	0.10	2,3
7	Turbidez	0,06 NTU	99	0.08	7,92
8	TDS	550 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	95%	97	0.17	16,49
RESULTADO		BUENA			73,86

Fuente: Puente, I. (2021).

El punto N° 4 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es BUENA, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 73,86 sobre 100 puntos, a pesar de que en esta zona de la laguna se hacen rituales característicos por personas de las comunidades aledañas del lugar, este punto se encuentra en buen estado.

PUNTO N° 5

Tabla 16

Resultados parámetros ICA punto N°5

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	1 NMP/100mL	99	0.15	14,85
2	pH	6,75	88	0.12	10,56
3	DBO ₅	8,8 mg.L ⁻¹	41	0.10	4,1
4	NO ₃	2,78 mg.L ⁻¹	95	0.10	9,5
5	PO ₄	0,28 mg.L ⁻¹	99	0,10	9,9
6	Temperatura	9,3 °C	26	0.10	2,6
7	Turbidez	0 NTU	99	0.08	7,92
8	TDS	548 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	97%	99	0.17	16,83
RESULTADO		BUENA			76,5

Fuente: Puente, I. (2021).

El punto N° 5 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es BUENA, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 76,5 sobre 100 puntos, en esta zona según fuentes internas hace un tiempo atrás se observaron preñadillas que habitan en este punto, las cuales son indicadores de buena calidad de agua.

PUNTO N° 6

Tabla 17

Resultados parámetros ICA punto N°6

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	2 NMP/100mL	98	0.15	14,70
2	pH	5,27	35	0.12	4,20
3	DBO ₅	8,4 mg.L ⁻¹	40	0.10	4
4	NO ₃	1,13 mg.L ⁻¹	95	0.10	9,5
5	PO ₄	0,20 mg.L ⁻¹	99	0,10	9,9
6	Temperatura	9 °C	30	0.10	3
7	Turbidez	3,43 NTU	97	0.08	7,76
8	TDS	615 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	92%	96	0.17	16,32
RESULTADO		BUENA			69,62

Fuente: Puente, I. (2021).

El punto N° 6 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es BUENA, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 69,62 sobre 100 puntos, esto es a consecuencia de las fumarolas que existen en la laguna y el aumento de algas constante en esta zona.

PUNTO N° 7

Tabla 18

Resultados parámetros ICA punto N°7

i	Sub _i	Resultado	Ponderación	W _i	Sub _i *W _i
1	Coliformes fecales	3 NMP/100mL	97	0.15	14,55
2	pH	6,90	89	0.12	10,68
3	DBO ₅	8,6 mg.L ⁻¹	40	0.10	4
4	NO ₃	2,03 mg.L ⁻¹	90	0.10	9
5	PO ₄	0,24 mg.L ⁻¹	96	0,10	9,6
6	Temperatura	8,6 °C	27	0.10	2,7
7	Turbidez	0 NTU	98	0.08	7,84
8	TDS	553 mg.L ⁻¹	3	0.08	0,24
9	Oxígeno disuelto	92%	93	0.17	15,81
RESULTADO		BUENA			74,42

Fuente: Puente, I. (2021).

El punto N° 7 se puede observar que el Índice de Calidad del Agua es BUENA, obteniendo un resultado total de los 9 parámetros de 74,42 sobre 100 puntos, esta zona es habitada por garzas, las cuales fueron poco a poco acoplándose al lugar; a pesar de aquello este punto está conservándose en buen estado.

5.5 Índices de calidad de agua de la Laguna de Cuicocha.

Para la apreciación del Índice de Calidad de Agua de la laguna es necesario primero medir el ICA de manera específica por cada punto, la cual es clave para saber exactamente en qué rango está, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 19

Resultados del Índice de Calidad del Agua de la Laguna de Cuicocha

Punto	Resultado ICA	Resultado “Water Research Center”	Calidad
1	73,99	75	Buena
2	72,71	76	Buena
3	66,37	69	Regular
4	73,86	75	Buena
5	76,5	77	Buena
6	69,62	72	Buena
7	74,42	75	Buena
Promedio	72,50	74,14	Buena

Fuente: Puente, I. (2021).

De acuerdo con el resultado promedio del índice de Calidad del Agua, indica que la Laguna de Cuicocha es de buena calidad, concordando igualmente con la página web “Water Research Center” teniendo un valor de 74,14.

5.6 Análisis estadístico de los resultados del Índice de Calidad del Agua.

Para saber a cerca de la normalidad de los datos se procede a realizar una prueba de Shapiro la cual se verá a continuación:

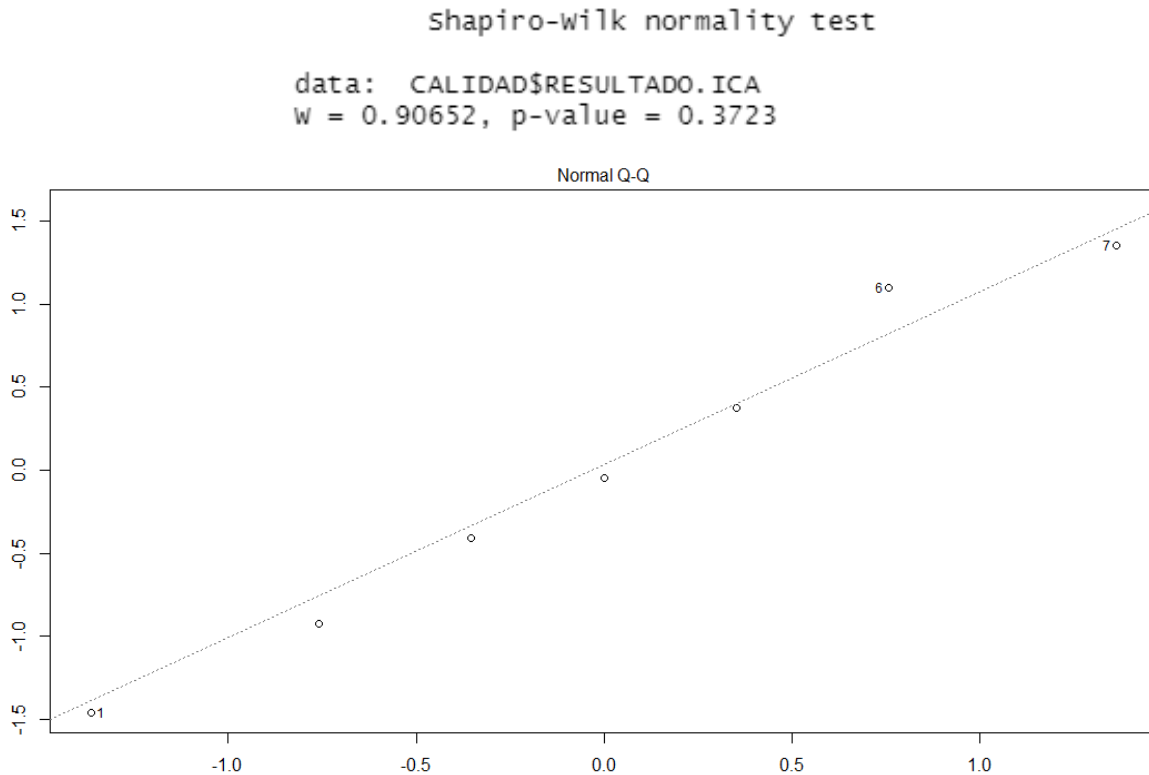


Figura 4. Test Shapiro-Wilk, prueba de normalidad.

Fuente: Tomado de RStudio. (2021)

Se muestran los resultados de la prueba de Shapiro que indica la normalidad de los datos del ICA, debido a que el valor P-value es mayor a 0.05, no se puede rechazar la idea de que el ICA de los 7 puntos proviene de una distribución normal con 95% de confianza, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula y la variable ICA sigue una distribución normal.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
RESULTADO.ICA	1	0.394	0.394	0.071	0.8
Residuals	5	27.606	5.521		

Figura 5. Análisis de varianza

Fuente: Tomado de RStudio. (2021)

En estos resultados, la hipótesis nula establece que los valores del Índice de Calidad de Agua son iguales y no se establece una diferencia significativa entre los valores. Puesto que el valor p es mayor que el nivel de significancia de 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, ya que, los puntos de la Laguna tienen medias similares.

```
> sd(ICA$`RESULTADO ICA`)  
[1] 3.407623  
> var(ICA$`RESULTADO ICA`)  
[1] 11.6119  
> R<-(sd(ICA$`RESULTADO ICA`)/mean(ICA$`RESULTADO ICA`))*100  
> R  
[1] 4.700448
```

Figura 6. Coeficiente de variación

Fuente: Tomado de RStudio. (2021)

La figura 6 indica que la Desviación estándar (sd), registra una variabilidad del resultado ICA alrededor de 3,407. El coeficiente de variación (R) muestra que los valores obtenidos del Índice de Calidad de Agua de los 7 puntos tienen una significancia con relación al promedio en 4,70%.

5.7 Clasificación Trófica de la Laguna de Cuicocha.

El “estado trófico” de los lagos es un concepto fundamental en la gestión de los mismos. En él se describe la relación entre el estado de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica. Eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes. Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayoría de los casos, el factor de limitante es el fósforo. Si bien los efectos de la eutrofización, como los florecimientos de algas, son fácilmente visibles, el proceso de eutrofización es complejo y ofrece dificultades de cuantificación (Franco y Manzano, 2010).

El índice de estado trófico de Carlson se calcula con las siguientes ecuaciones:

IETDS: Índice de estado trófico de Carlson disco Secchi

Para determinar este parámetro, se debe realizar primero el promedio total de la penetración de luz, de los 3 monitoreos y de los 7 puntos, siendo así el resultado de 7,23 m.

$$IETDS = 10 \left(6 - \frac{\ln(7,23 \text{ m})}{\ln(2)} \right) = 31,3$$

IET (PT): Índice de estado trófico de Carlson Fósforo Total

Para obtener el resultado de este parámetro, se debe realizar primero el promedio total de fosfatos, de los 3 monitoreos y de los 7 puntos después se debe dividir por 3,06 mg.L⁻¹, para finalmente obtener el resultado de fosforo total.

$$IET(PT) = 10 \left(6 - \frac{\ln(65/3,21)}{\ln(2)} \right) = 16,4$$

IET Promedio: Índice de estado trófico de Carlson promedio

$$IET \text{ Promedio} = \frac{IETDS + IETPT}{2}$$

$$IET \text{ Promedio} = \frac{31,3 + 16,4}{2} = 23,85$$

Por lo tanto, los parámetros que se establecieron en este proyecto para medir un nivel de estado trófico es el fosforo y la penetración de luz que esto se lo realizó mediante el Disco Secchi, siendo así los resultados siguientes:

Tabla 20

Resultados del nivel de eutrofización

Parámetro	Resultado	Índice de Estado Trófico de Carlson
Concentración de Fosfato	3,21 mg.L ⁻¹	31,3
Disco de Secchi	7,23 m	16,4
Promedio		23,85

Fuente: Puente, I. (2021).

Aplicando el método de Carlson o índice de estado trófico se llega a la conclusión que el estado de eutrofización de la laguna de Cuicocha es ultraoligotrófico con un resultado final de 23,85.

Según el autor Sánchez, (2011) concluye que este sistema lacustre presenta un estado oligotrófico, un indicador de esta situación es la transparencia del agua, en esta investigación se menciona que no presenta una estratificación significativa. Estos datos se asemejan a los de la investigación.

5.8 Comparación de datos con el Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Análisis parámetro pH.

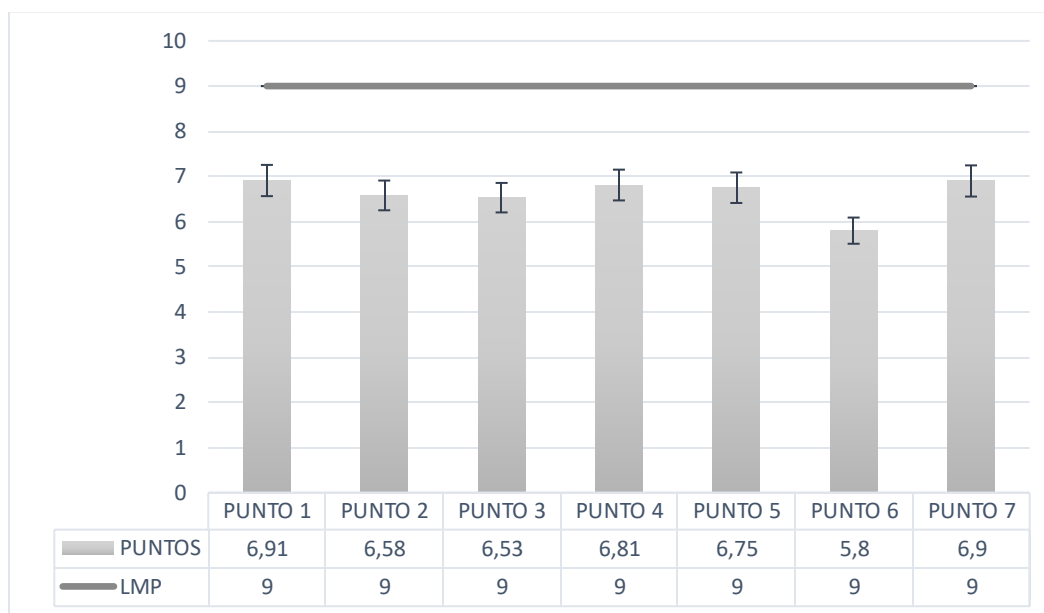


Figura 7. Análisis parámetro pH

Fuente: Puente, I. (2021)

El pH promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios está dentro de los límites máximos permisibles, cumpliendo con la normativa legal vigente, exceptuando el punto 6, debido a que, está por debajo de los criterios de calidad. El autor DIGESA (s. f.) menciona que el rango óptimo de pH para una variedad de organismos depende de la temperatura, oxígeno disuelto, aclimatación previa y la presencia de varios aniones y cationes.

En la mayoría de los casos un rango de pH entre 6,5 y 8,2 es apropiada. Se considera que el pH adecuado para este tipo de ecosistema de agua dulce es de 6,61.

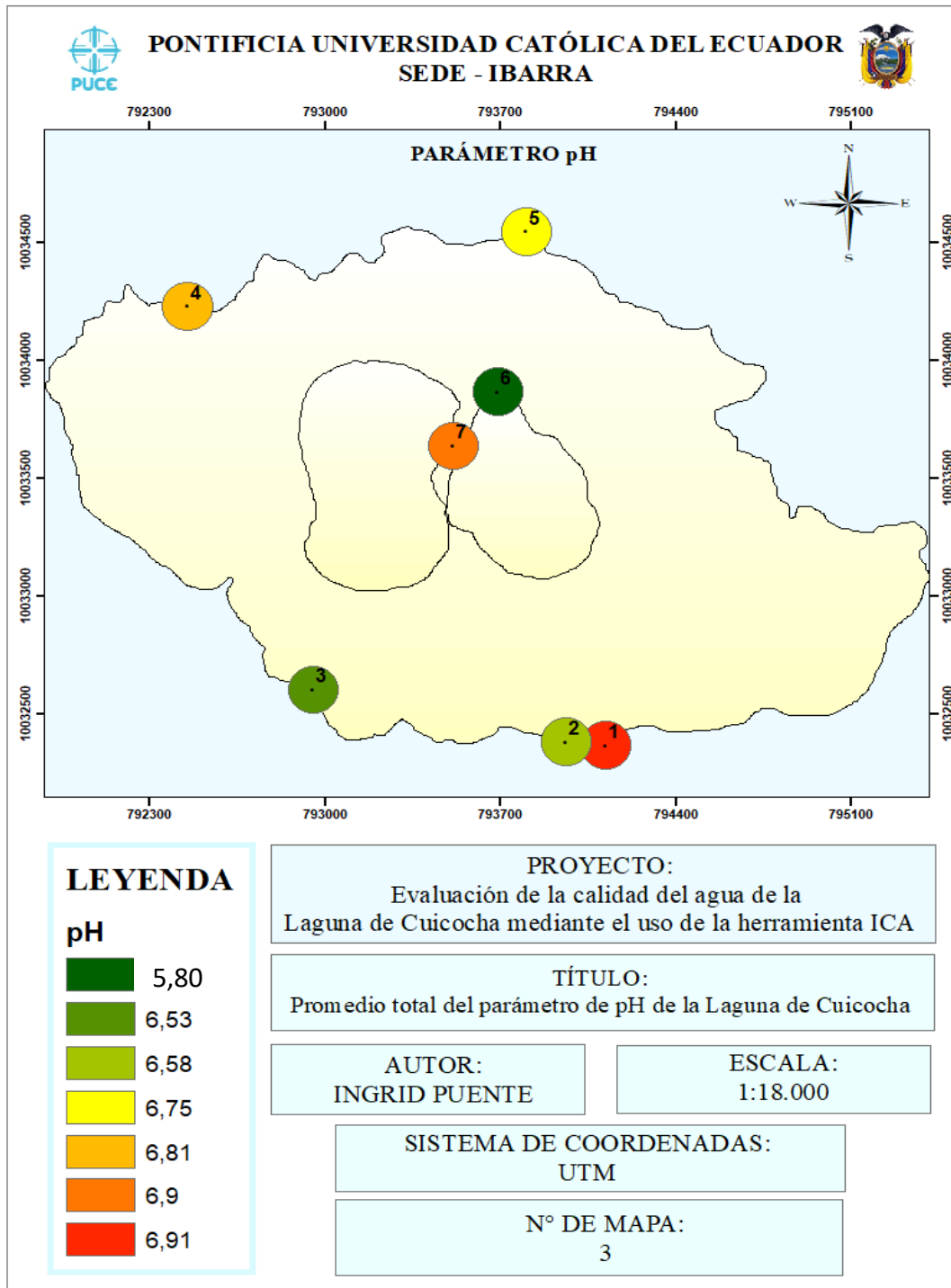


Figura 8. Análisis parámetro pH

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro Oxígeno disuelto.

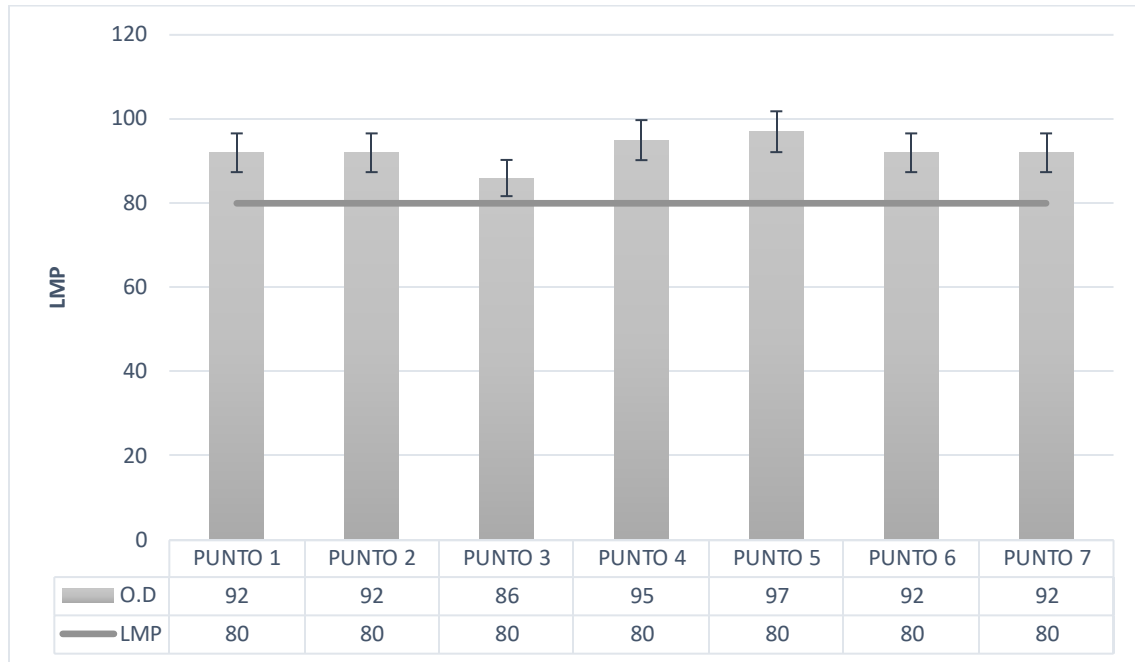


Figura 9. Análisis parámetro Oxígeno disuelto

Fuente: Puente, I. (2021)

El oxígeno disuelto promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios está dentro de los límites máximos permisibles, cumpliendo con la normativa legal vigente. Según Clavijo & Granja, (2016) menciona que el contenido de O.D. depende de varios factores como la concentración y la estabilidad de la materia orgánica, la presencia de plantas acuáticas, presión, hora del día y también de la estación del año, pero guardando una estrecha relación con la temperatura, en este caso se considera que el O.D. adecuado para este tipo de ecosistema de agua dulce es de 92%.

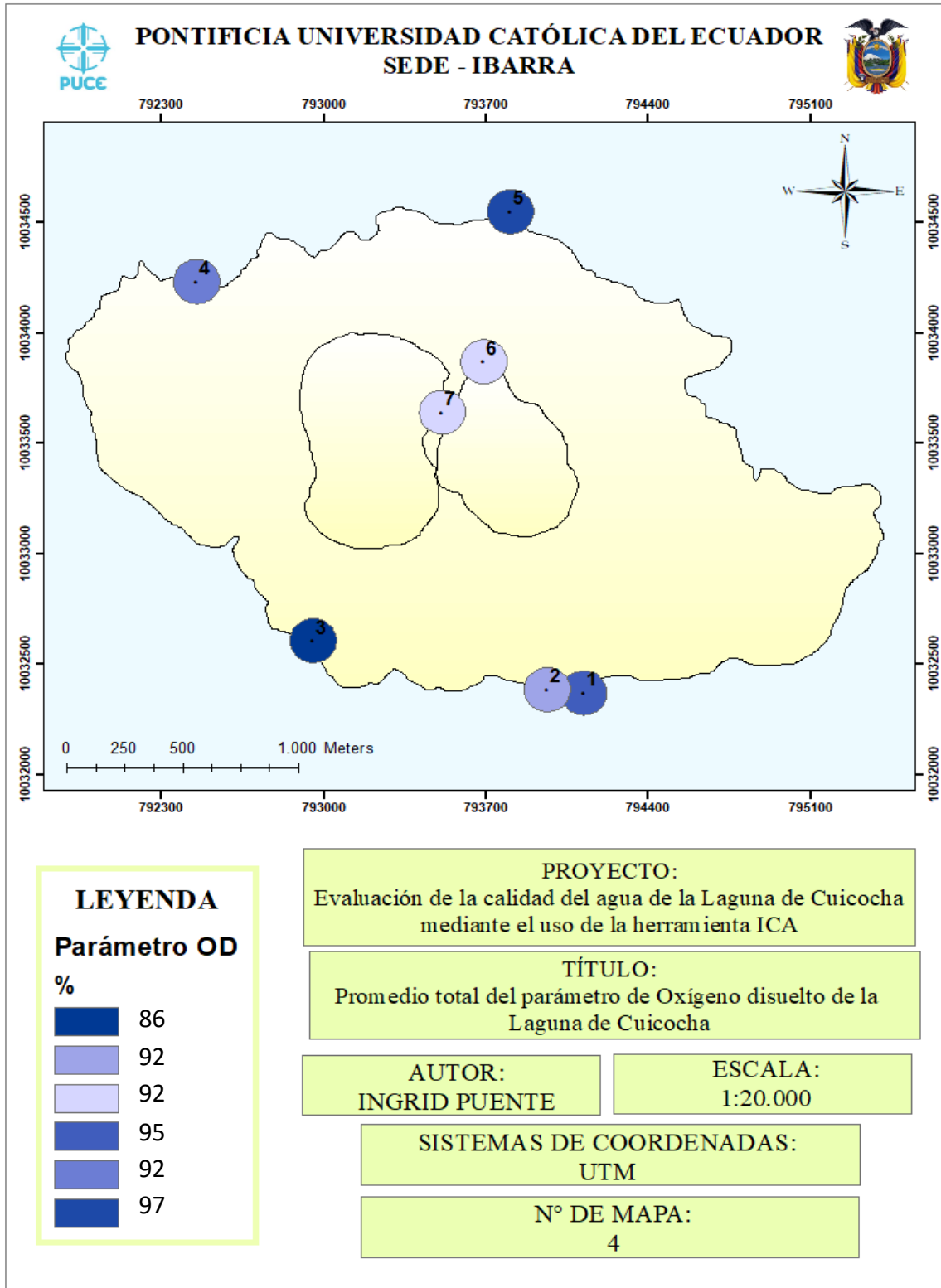


Figura 10. Análisis parámetro Oxígeno disuelto

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro Nitratos.

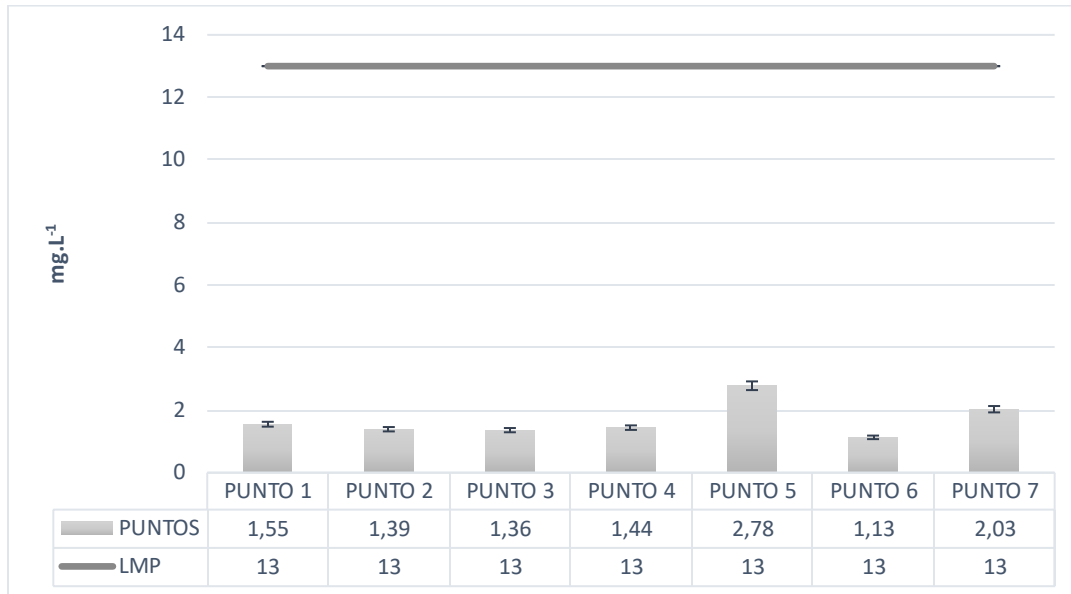


Figura 11. Análisis parámetro Nitratos

Fuente: Puente, I. (2021)

Los nitratos promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios está dentro de los límites máximos permisibles, cumpliendo con la normativa legal vigente.

Es importante mencionar que la concentración de nitrato en aguas superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares (ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A., 2012).

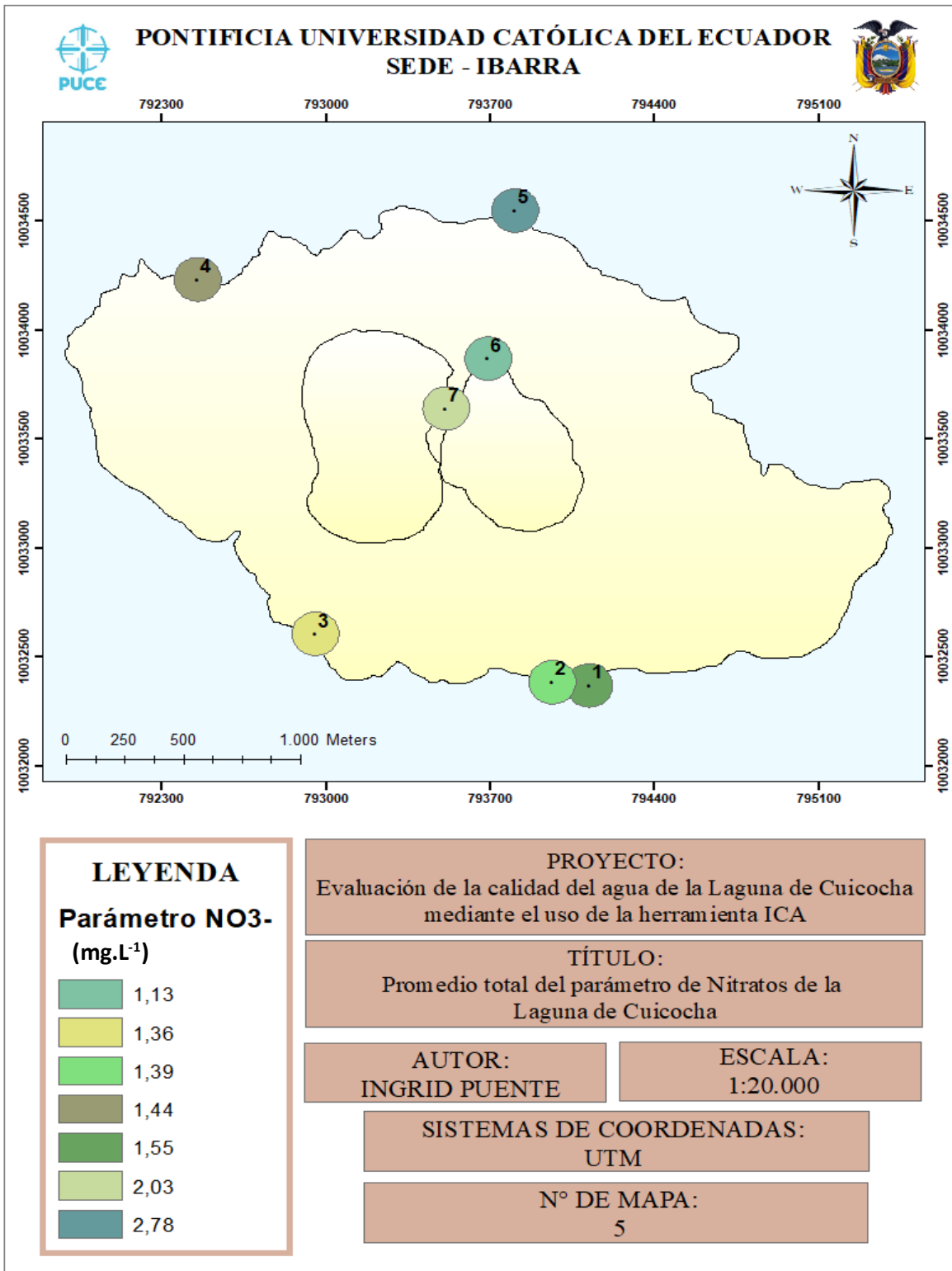


Figura 12. Análisis parámetro Nitratos

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro Fosfatos.

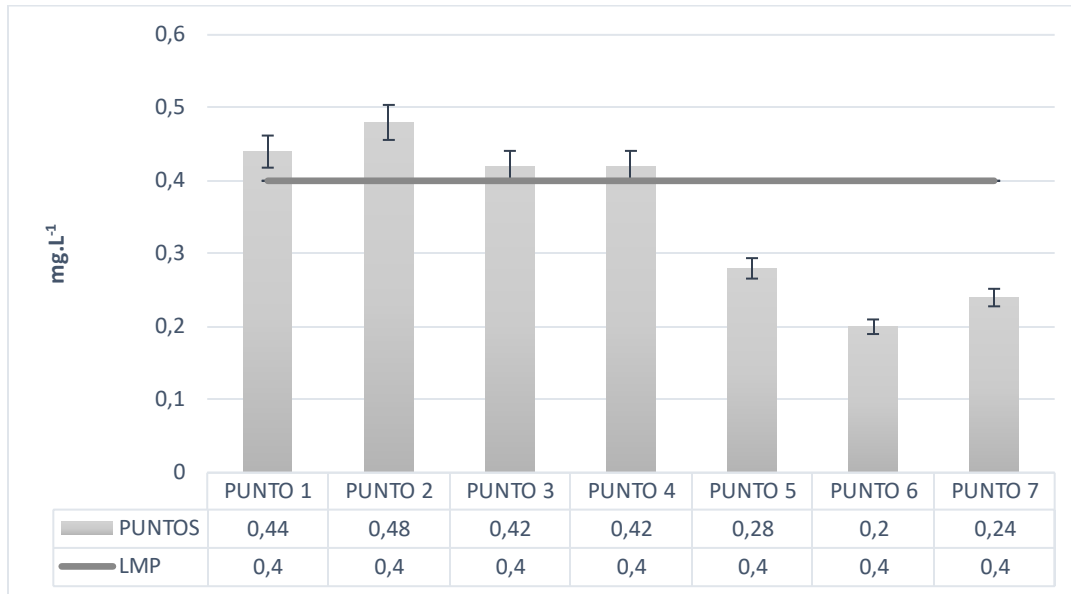


Figura 13. Análisis parámetro Fosfatos

Fuente: Puente, I. (2021)

El análisis del parámetro fosfato promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde los resultados fueron comparados con el decreto supremo N° 002 – 2008 – MINAM, sobre los estándares nacionales de calidad ambiental para agua; categoría 4: conservación del ambiente acuático del Ministerio del Ambiente de Perú, cumpliendo así con la normativa legal vigente, exceptuando los puntos 1, 2, 3, 4 que sobrepasaron este valor.

Cabe mencionar que para este parámetro y su comparación no se utilizó la normativa ecuatoriana ya que en el presente reglamento no existe este criterio.

Se debe destacar que el fósforo y el nitrógeno provienen de los residuos sólidos y líquidos, producto de las actividades propias de los asentamientos humanos y que son vertidos en cuerpos de agua lenticos, esto explica el valor tan alto en el punto 3 de este estudio, que pertenece a una de las actividades antropogénicas más ocurrentes en esta zona (Cabrera, 2011).

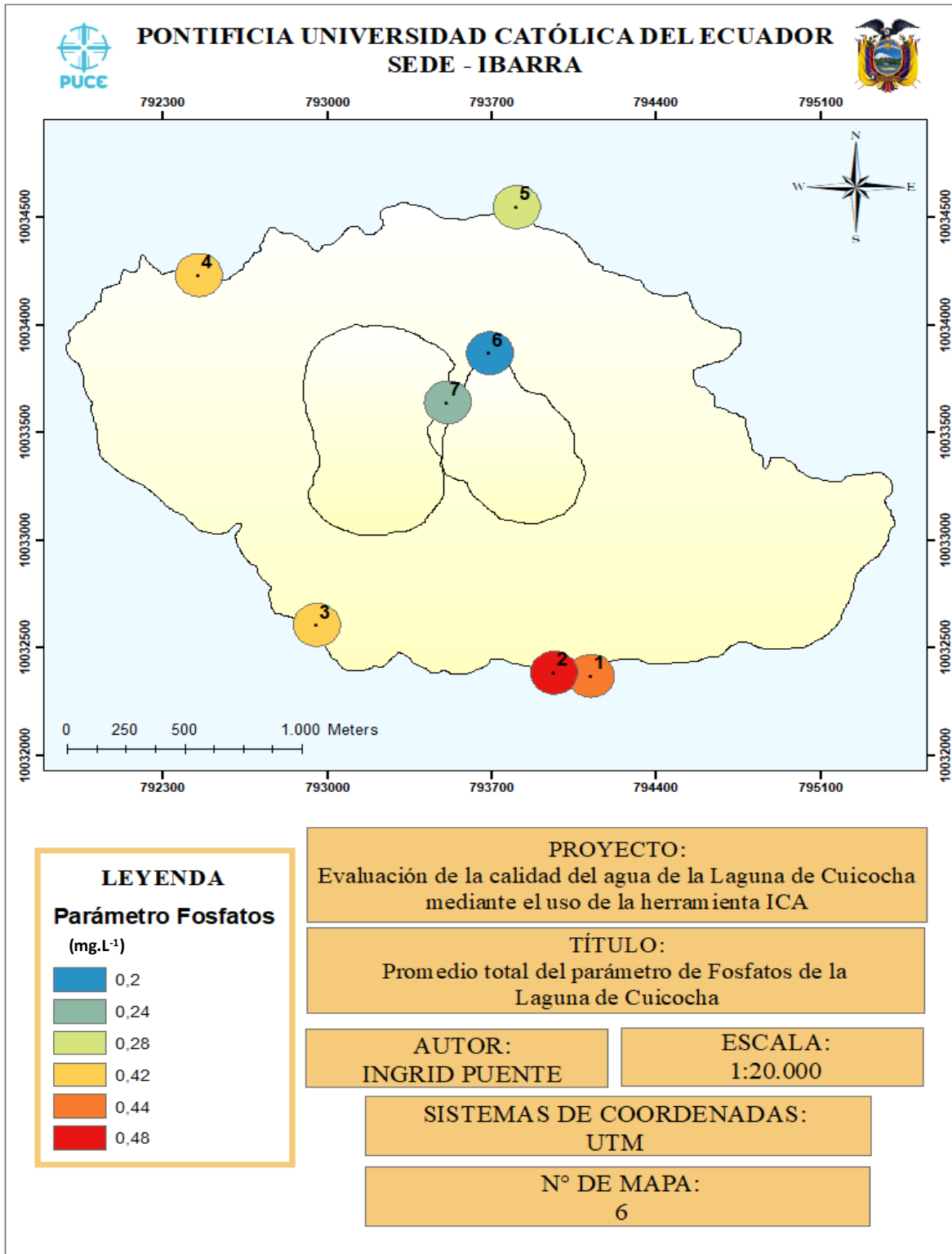


Figura 14. Análisis parámetro Fosfatos

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro Coliformes fecales.

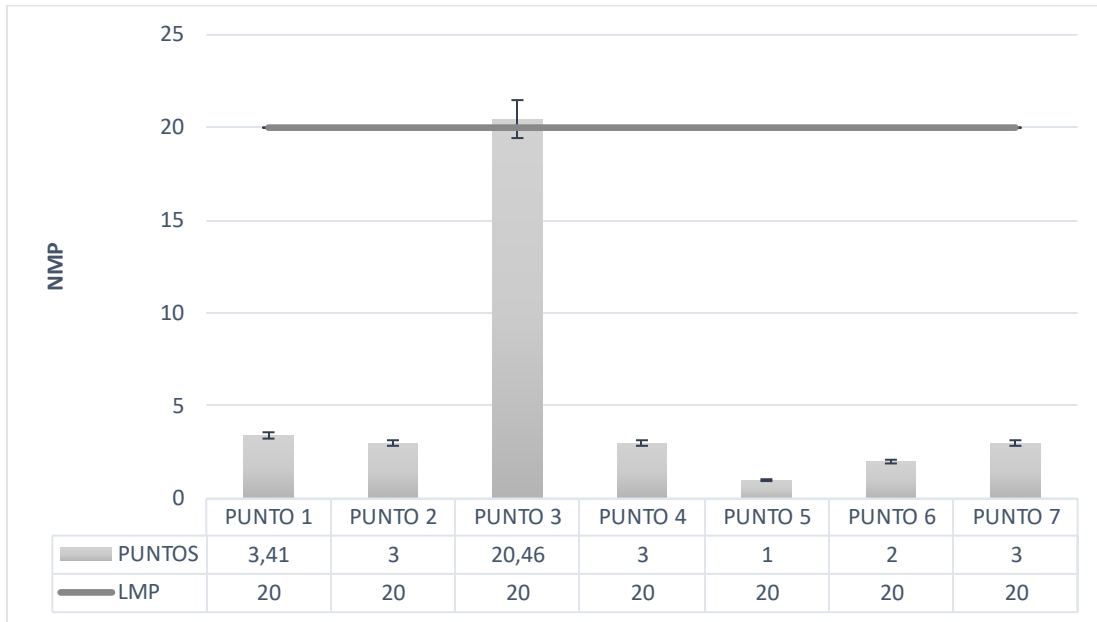


Figura 15. Análisis parámetro Coliformes fecales

Fuente: Puente, I. (2021)

El parámetro de coliformes fecales promedios de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios está dentro de los límites máximos permisibles, cumpliendo con la normativa legal vigente a excepción del punto 3 la cual sobrepasó e incumpliendo a la misma.

La contaminación por coliformes fecales es uno de los problemas más influyentes en el deterioro de los cuerpos de agua, en este caso en la Laguna de Cuicocha se pudo evidenciar que en el punto 3 es donde reposa el ganado la mayoría del tiempo permitiendo así la contaminación excesiva del agua a nivel antrópico a causa de excrementos animales (Mora y Calvo, 2010).

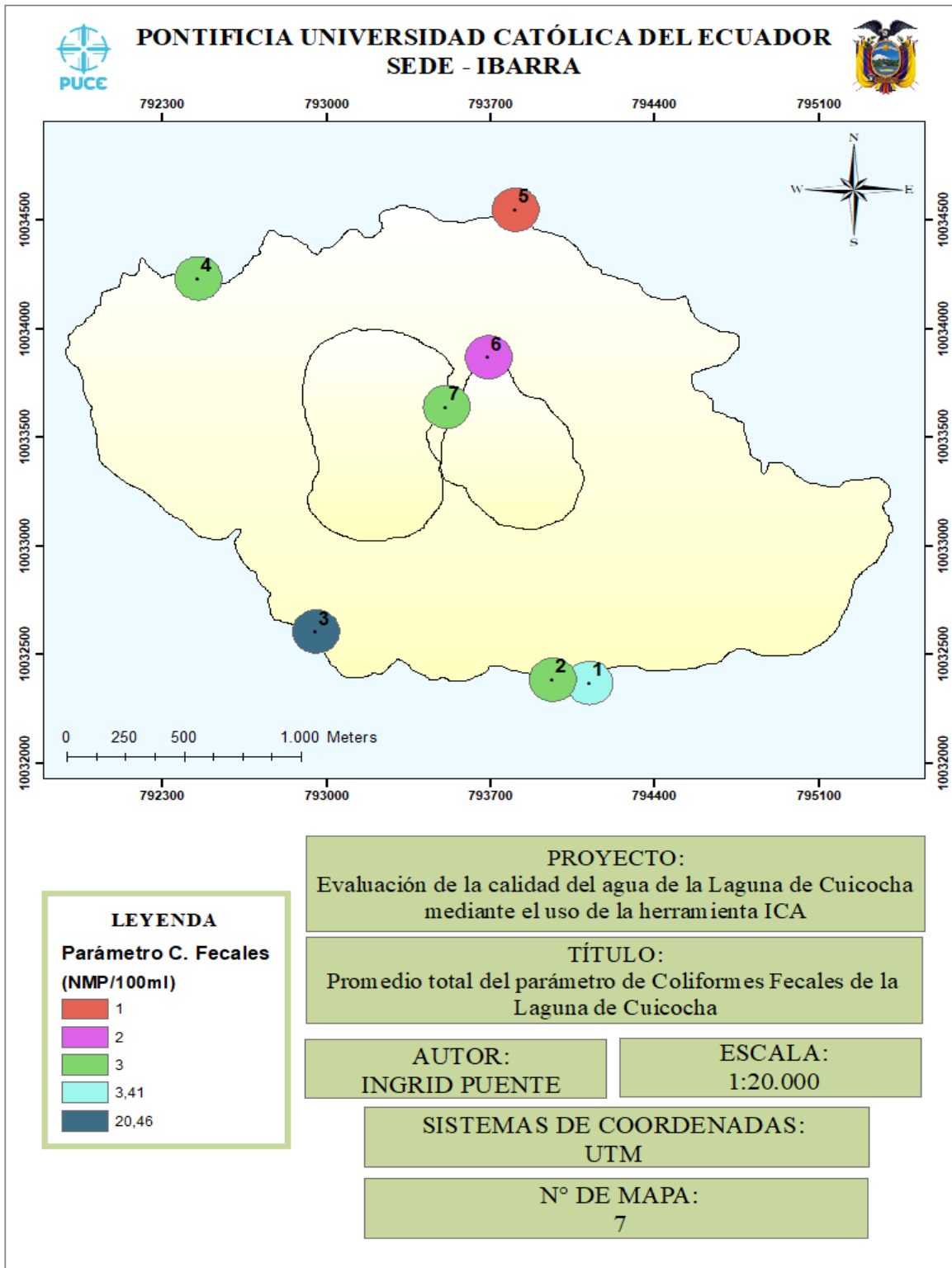


Figura 16. Análisis parámetro Coliformes fecales

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro Temperatura.

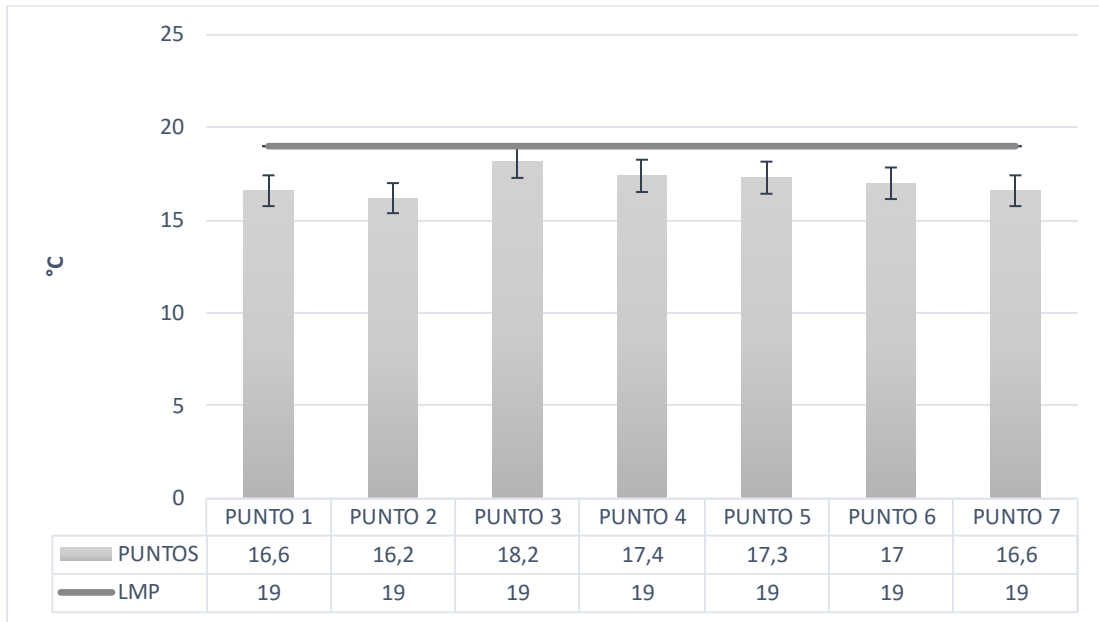


Figura 17. Análisis parámetro temperatura

Fuente: Puente, I. (2021)

El parámetro de temperatura promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios está dentro de los límites máximos permisibles, cumpliendo con la normativa legal vigente.

Según INAMHI, (2011) menciona que la temperatura promedio es de 16°C de la Laguna de Cuicocha, el autor ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A., (2012) menciona que este parámetro influirá en la cantidad de oxígeno presente en el agua ya que a mayor temperatura se acelerará el proceso fotosintético así como la remoción de materia orgánica. El aumento de la temperatura, se debe a una de las causas presentes y más sobresaliente que es el cambio climático, la cual refleja un importante cambio en el aumento de temperatura en este ecosistema, la segunda causa se debe a que el cráter de la laguna sigue activo, estas generalmente están influenciadas por actividades volcánicas como la emisión de gases visibles de CO₂, manantiales de agua hidrotermal y por sistemas geotérmicos profundos, las cuales explica los cambios de temperatura (Jácome et al., 2020).

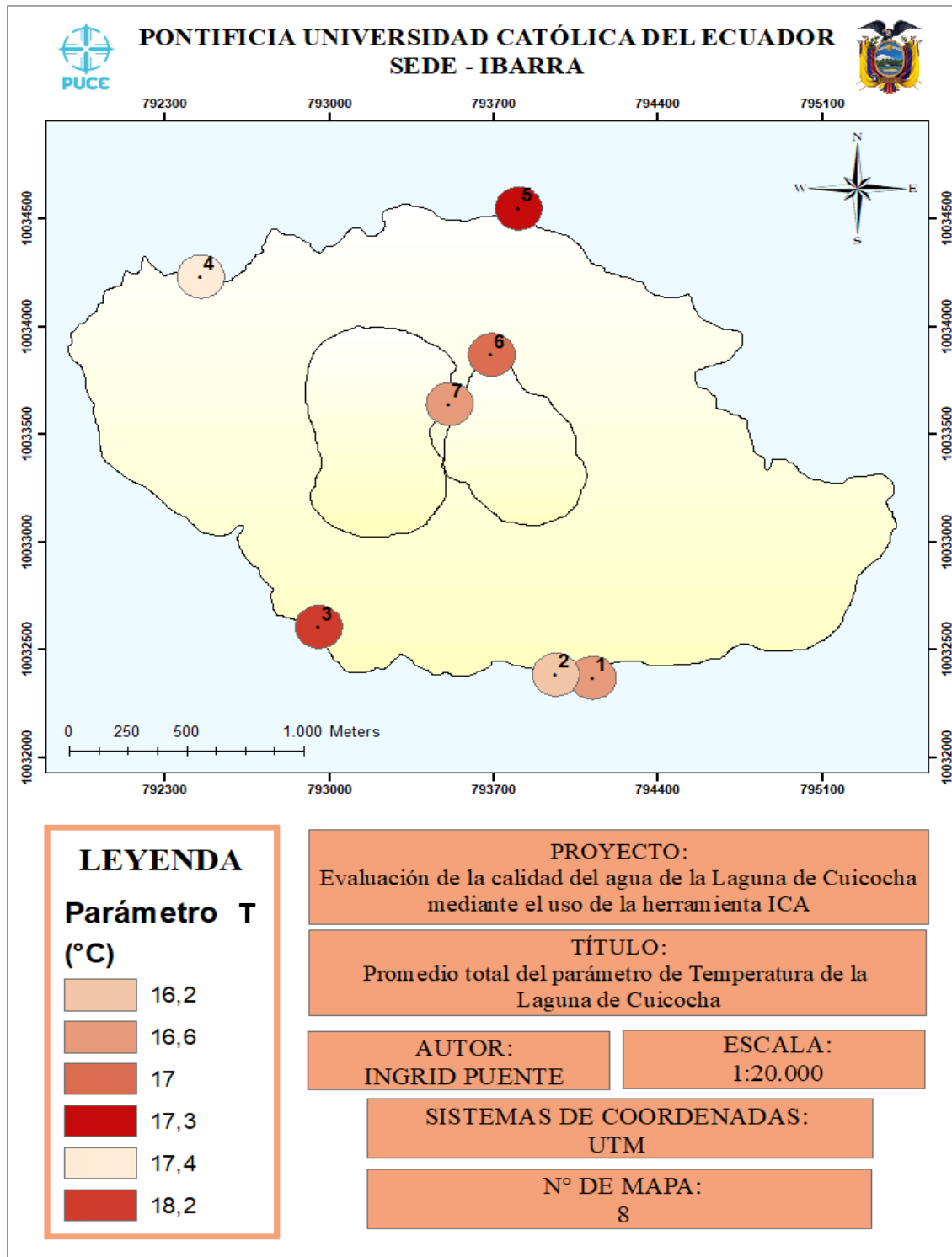


Figura 18. Análisis parámetro temperatura

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro sólidos disueltos totales.

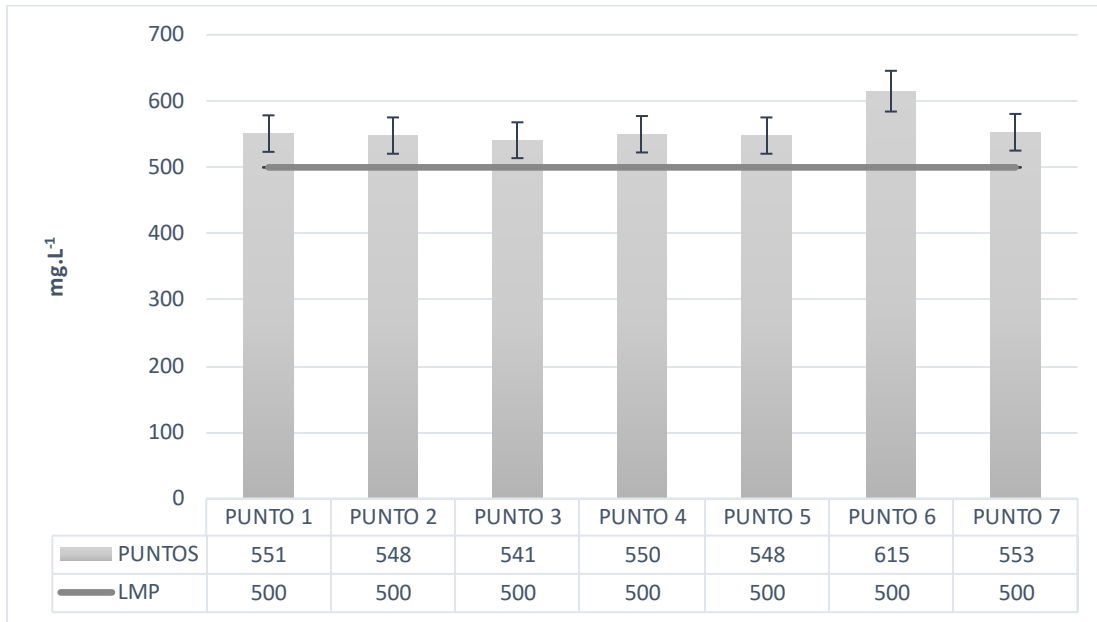


Figura 19. Análisis parámetro Sólidos disueltos totales

Fuente: Puente, I. (2021)

El parámetro de sólidos disueltos totales promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde los resultados fueron comparados con el decreto supremo N° 002 – 2008 – MINAM, sobre los estándares nacionales de calidad ambiental para agua; categoría 4: conservación del ambiente acuático del Ministerio del Ambiente de Perú, incumpliendo así con la normativa legal vigente. Cabe mencionar que para este parámetro y su comparación no se utilizó la normativa ecuatoriana ya que en la presente normativa no existe este criterio.

Se debe mencionar que el contenido de sólidos disueltos totales del agua depende principalmente de los carbonatos, bicarbonatos, cloruros sulfatos, fosfatos y nitratos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Las concentraciones aceptables de sólidos disueltos totales en aguas para organismos acuáticos de agua dulce pueden oscilar entre 2000 a 10000 mg.L⁻¹ según la especie (Gutiérrez, 2019).

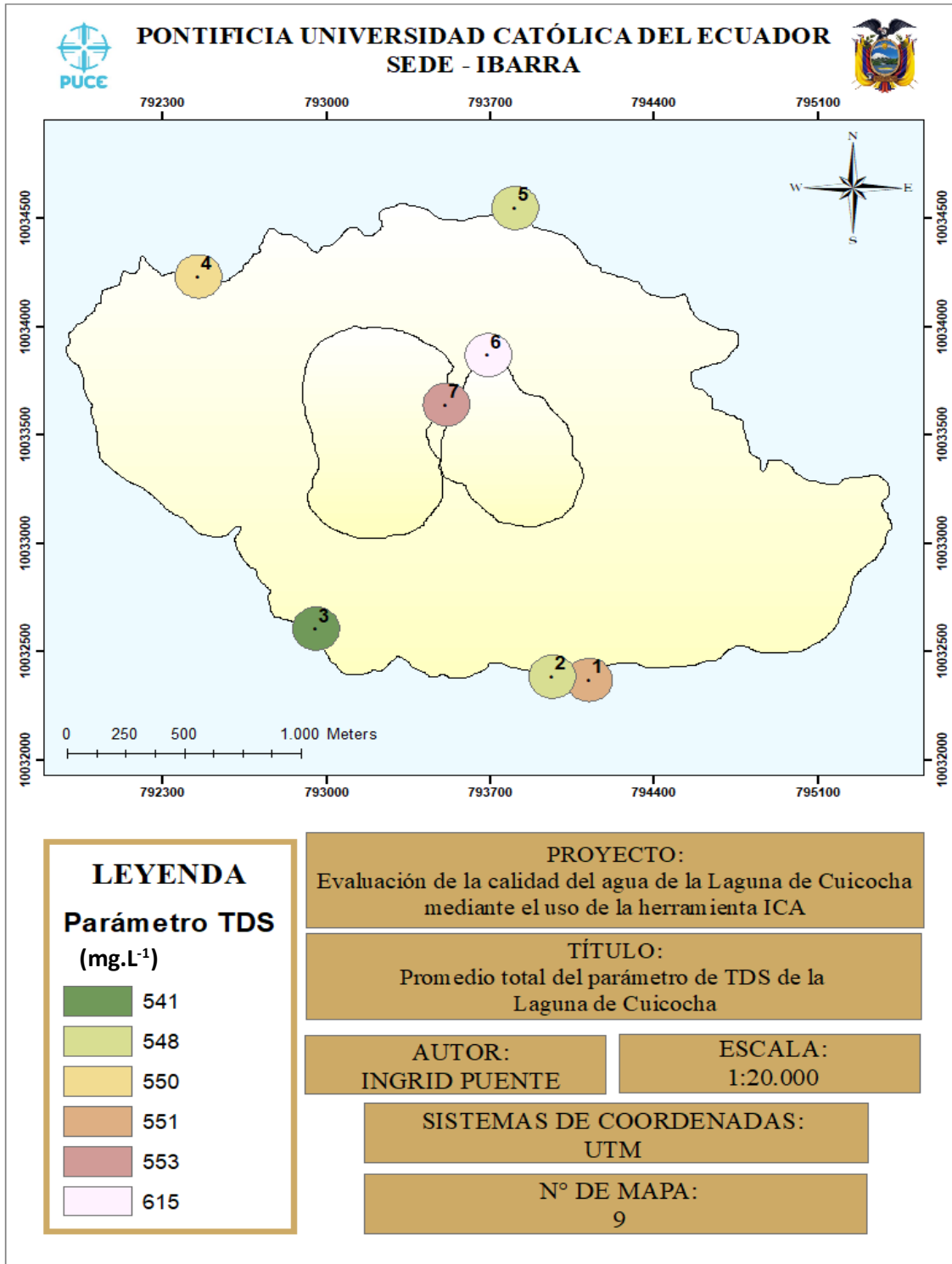


Figura 20. Análisis parámetro Sólidos disueltos totales

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro turbidez.

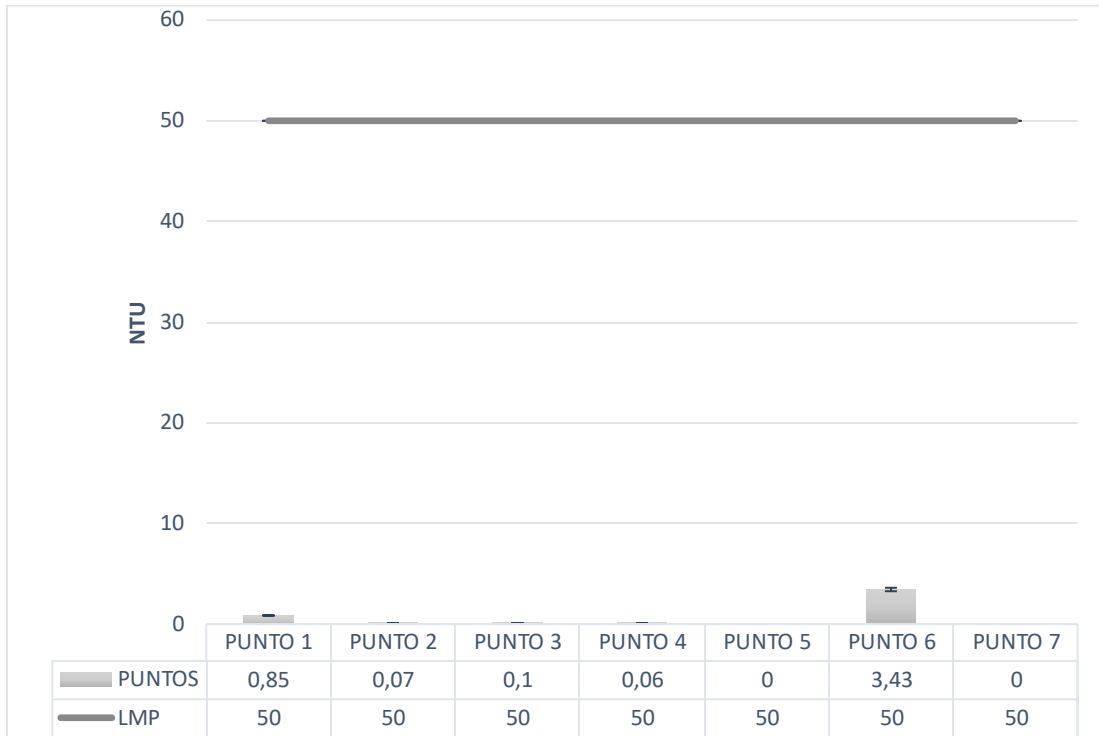


Figura 21. Análisis parámetro turbidez

Fuente: Puente, I. (2021)

El parámetro de turbidez promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios no está dentro de los límites máximos permisibles, por esta razón no cumple con la normativa legal vigente, excepcionando el punto 5 y 7. El autor Cruz (2017) destaca que los valores mayores a 200 NTU puede manifestarse una drástica alteración de los flujos energéticos y niveles tróficos, siendo lo ideal valores cerca de 20 NTU.

En este caso en el punto 6 presentó el mayor valor a comparación de los demás datos, debido a que en esta zona se encuentra una gran cantidad de algas que disparan esta variable.

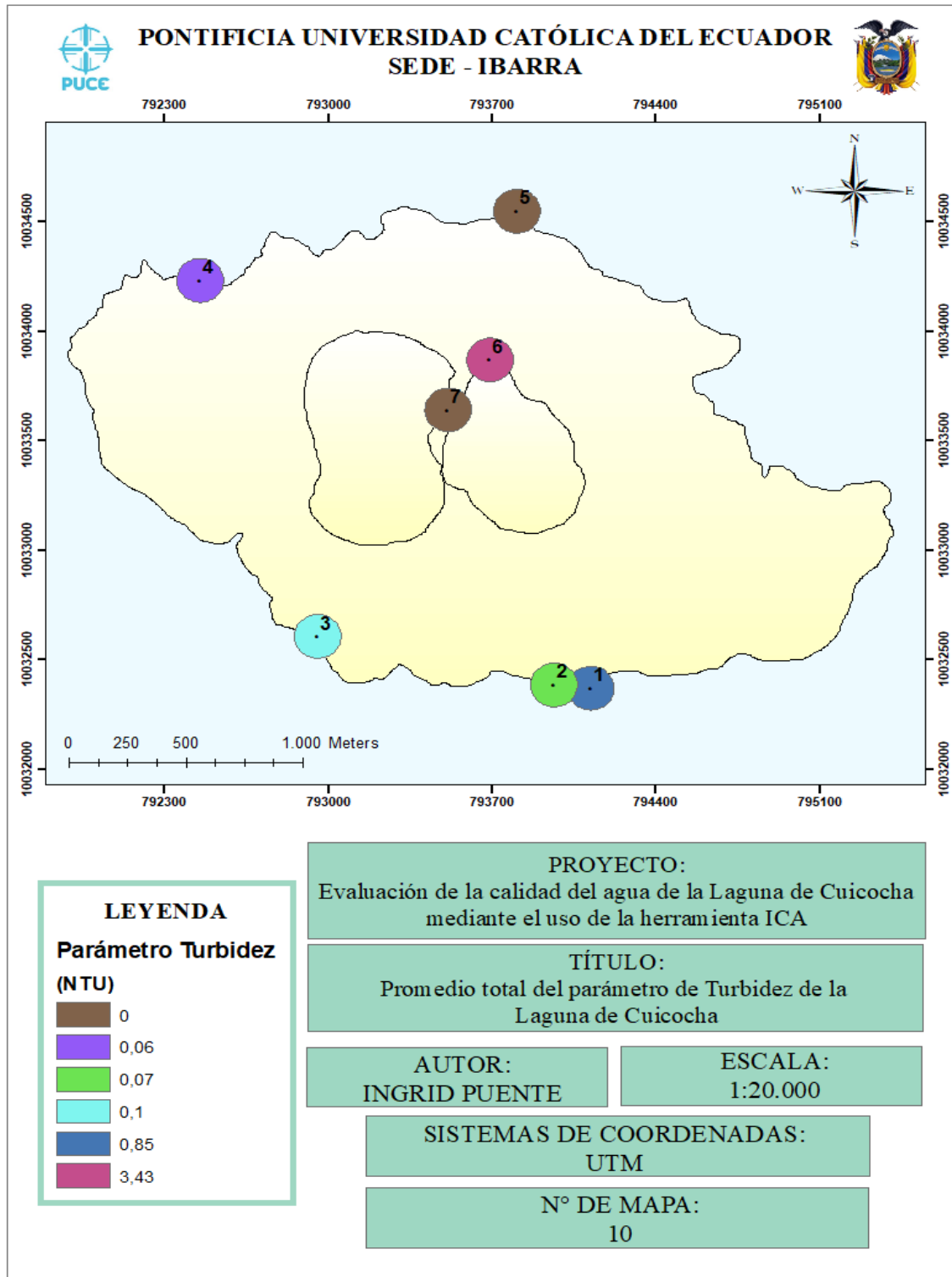


Figura 22. Análisis parámetro turbidez

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro DBO₅.

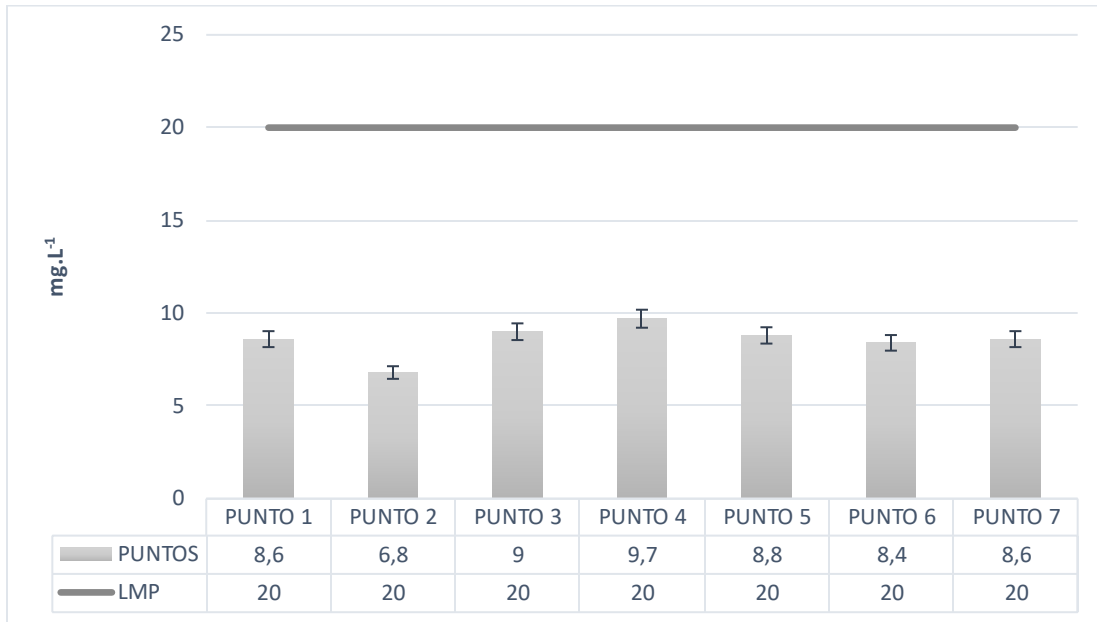


Figura 23. Análisis parámetro DBO₅

Fuente: Puente, I. (2021)

El parámetro de DBO₅ promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, en aguas marinas y de estuarios está dentro de los límites máximos permisibles, por esta razón cumple con la normativa legal vigente.

Es importante mencionar que según Freire, (s. f.) la DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

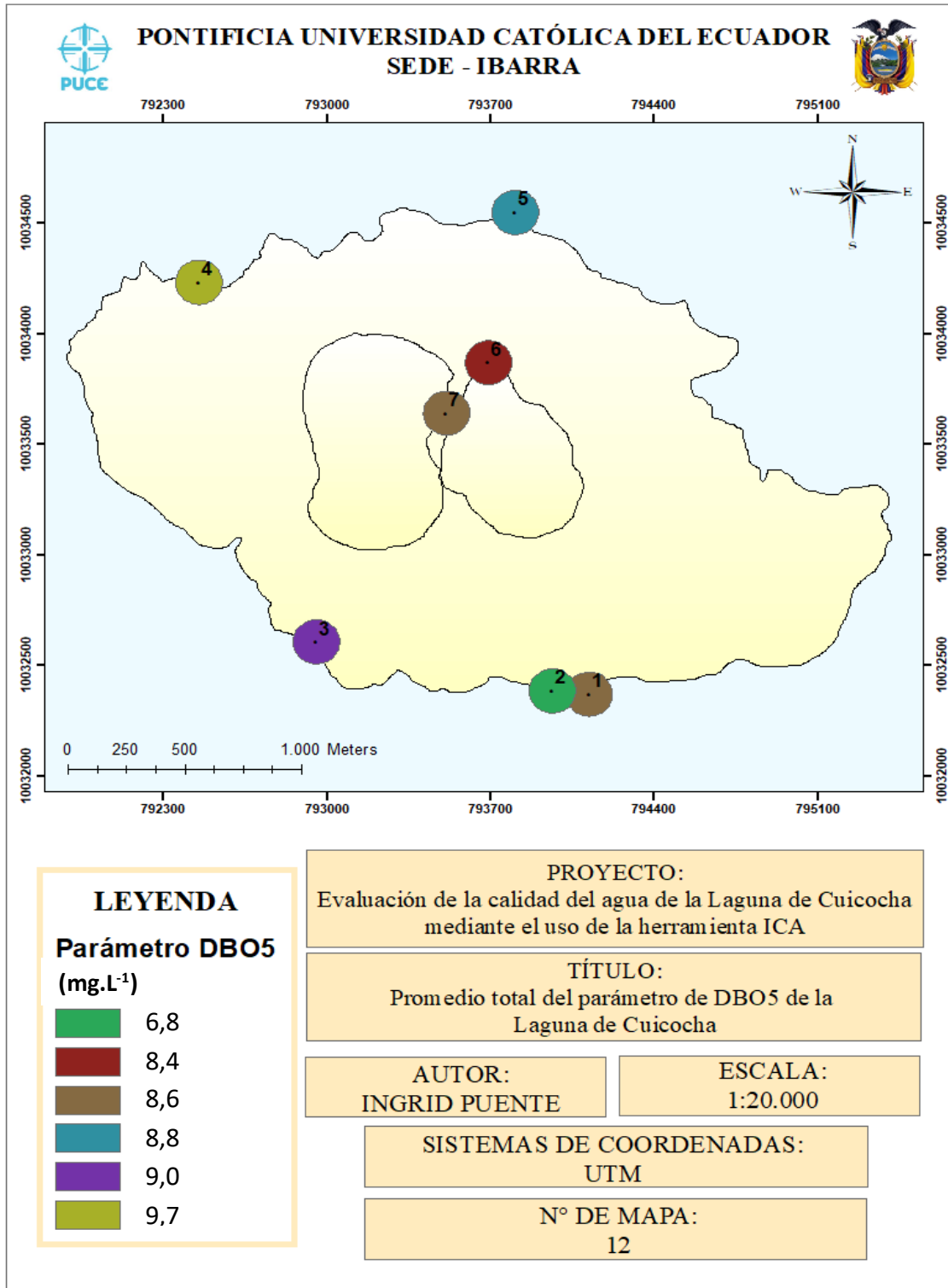


Figura 24. Análisis parámetro DBO₅

Fuente: Puente, I. (2021)

Análisis parámetro Sulfatos

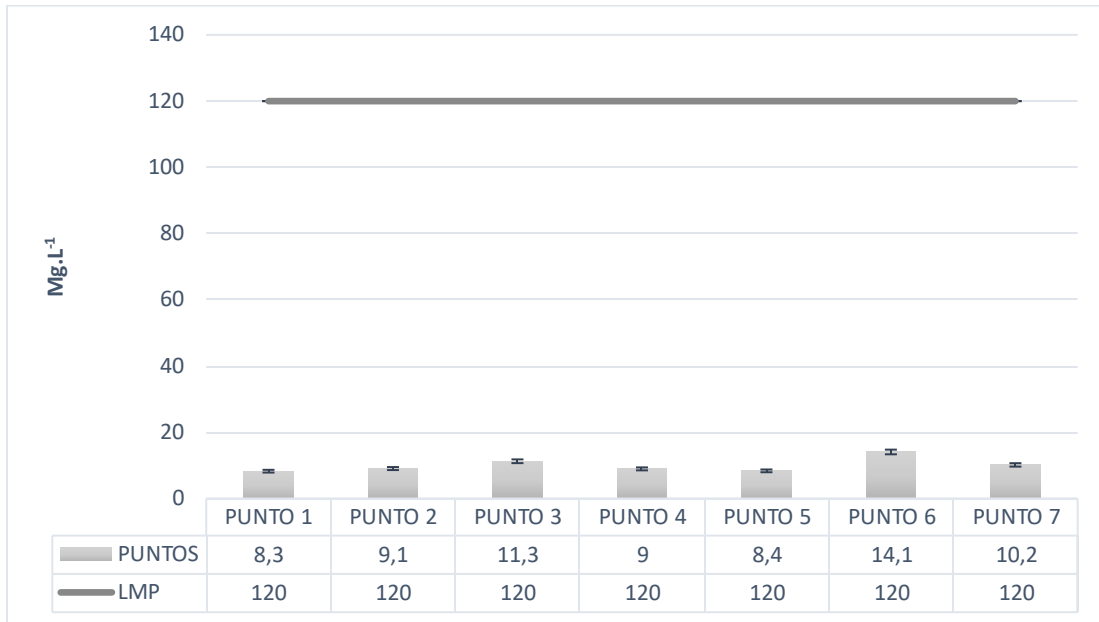


Figura 25. Análisis parámetro sulfatos

Fuente: Puente, I. (2021)

El parámetro de sulfatos promedio de 3 monitoreos, en un total de 7 puntos obtenidos, donde los resultados fueron comparados con los criterios nacionales específicos para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales, que establece el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, donde habla sobre los límites máximos y mínimos para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y los usos prioritarios, cumpliendo así con la normativa legal vigente. Cabe mencionar que para este parámetro y su comparación no se utilizó la normativa ecuatoriana ya que en la presente normativa no existe este criterio.

Según González et al., (2020) los lagos ricos en carbonatos, en particular, se desarrollan cuando el CO₂ atmosférico o volcánico se disuelve en agua para formar ácido carbónico que puede meteorizar químicamente las rocas del cráter de la laguna para formar una gran diversidad de cationes disueltos que ayudan a la formación de los carbonatos y otras sales como los sulfatos.

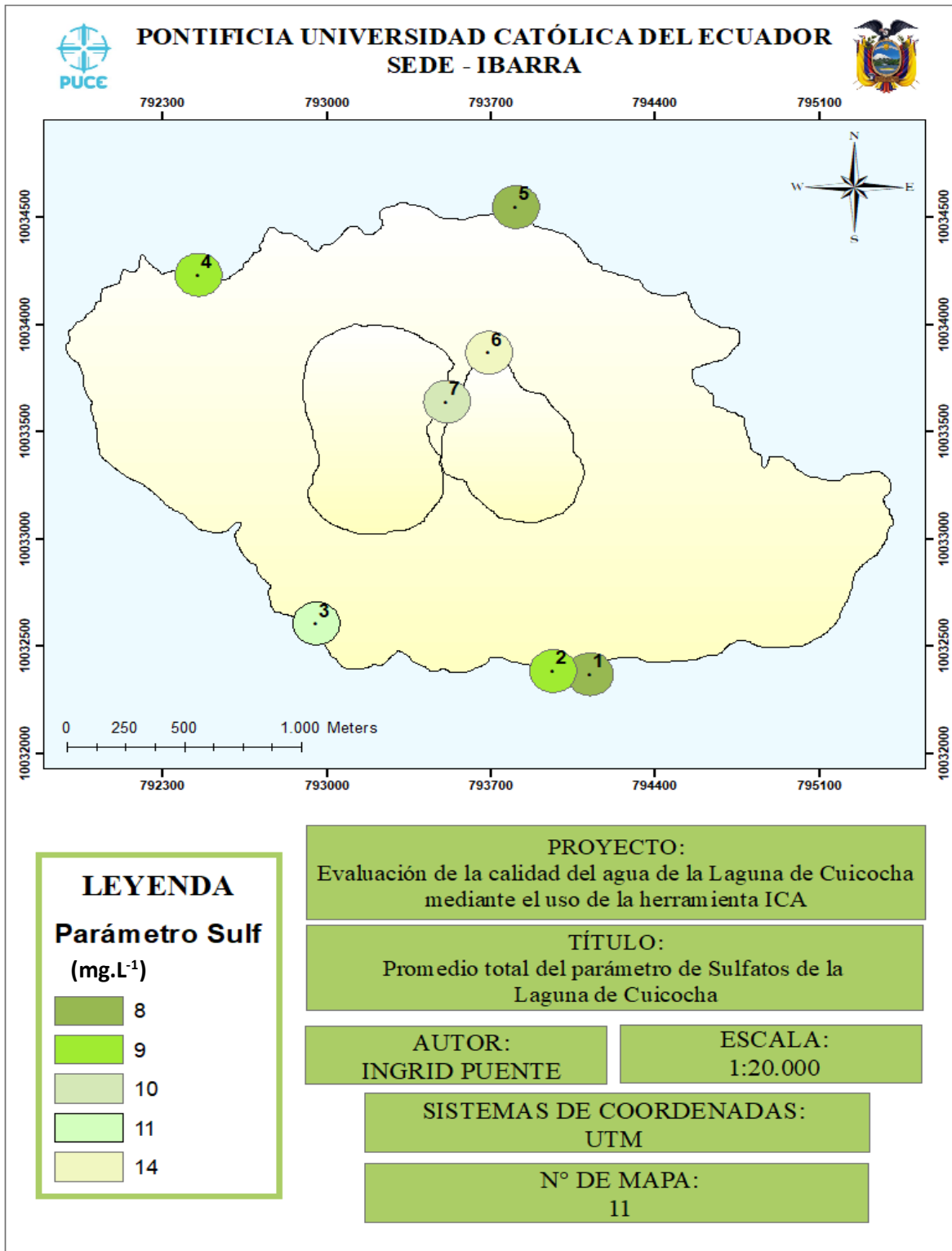


Figura 26. Análisis parámetro sulfatos

Fuente: Puente, I. (2021)

5.9 Medidas para reducir los impactos ambientales generados por los habitantes de la zona.

Las medidas preventivas o correctivas para reducir o eliminar los impactos negativos generados por actividades antropogénicas, parte de la premisa de que siempre es mejor no producirlos que establecer su medida correctiva, es así que, aunque en comparación con el costo general de la actividad, suele ser bajo, puede evitarse si no se produce el impacto, a esto hay que añadir que en la mayoría de los casos solamente eliminan una parte de la alteración.

De esto se desprende que la mitigación consiste en la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, obra y acción tendientes a eliminar o minimizar los impactos negativos que pueden presentarse durante las actividades realizadas.

Los impactos ambientales que se generan dentro de la Laguna de Cuicocha son varios, los cuales afectan mayoritariamente de forma directa e indirectamente.

La contaminación de forma directa son puntos que disminuyen la calidad de agua de este sistema lacustre, en estos son el aumento del turismo y sus consecuencias que acarrea (ver tabla 21), la segunda es una de las más preocupantes debido a que de forma directa aumenta el estado de eutrofización siendo el ganado y los desechos que trae consigo, también la alteración antrópica en una de las zonas a orillas de la Laguna, ya que en épocas del año personas visitan el lugar dejando desperdicios sólidos poco manejables, por último y la más importante es la contaminación que produce la Laguna misma por ser de origen volcánico, siendo las fumarolas provocando la emanación de gases y la producción alta de algas.

De forma indirecta la contaminación lleva consigo la zona donde está la planta de tratamiento de la hostería del mismo lugar, provocando pequeñas infiltraciones hacia la Laguna. Las problemáticas expuestas a continuación (ver tabla 21) son de las más altas causadas antropogénicamente dentro de la Laguna de Cuicocha.

Tabla 21*Problemáticas y medidas de mitigación.*

Problemática	Descripción	Medida de Mitigación o Control
Aumento de los residuos sólidos en el muelle de la Laguna de Cuicocha.	<p>Con la llegada de turistas se producirán desechos orgánicos e inorgánicos tanto sólidos como líquidos, que se generan en la cocina, baterías sanitarias, actividades de limpieza y mantenimiento.</p> <p>El mayor impacto es la generación exagerada de basura, ya sea por el consumo de productos que no se pueden reciclar o reutilizar o lo que es peor, por el desperdicio de los mismos. (Aves y Conservación/BirdLife en Ecuador, 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de señales de prohibición de botar basura en el suelo. - Colocación de botes de basura según su clasificación. - Construcción de pequeñas bodegas para el almacenamiento de residuos de tamaño considerable, para su posterior reciclaje.

Continúa tabla...

Contaminación del agua de la Laguna por combustibles que derraman las lanchas.

Este tipo de contaminación produce un cambio en las características organolépticas del agua que induce al rechazo de los consumidores, y su ingestión representa un riesgo para la salud; asimismo, el ecosistema puede sufrir afectaciones debidas al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes. (Prieto y Martínez de Villa, 1999)

- Colocación de trampas de grasa para evitar su esparcimiento.
- Mejora de los motores de las lanchas para disminuir el uso de combustibles.
- Implementación de programa de limpieza aplicado a las lanchas para evitar la emanación de sus residuos.

Infiltración de aguas residuales generados por la Hostería “Cuicocha”.

Según Meoño et al, (2015) indica que “el tratamiento de aguas residuales es importante para volver a utilizar el agua, evitar su contaminación y la del ambiente (especialmente por sus efectos en la producción agropecuaria) y por salud pública”.

- Localización puntual de las fugas para su posterior reparación
- Construcción de canales temporales de desvío para evitar la infiltración
- Mejoras en el pozo séptico para el control total de las fugas.

Continúa tabla...

Contaminación del agua de la Laguna por presencia de ganadería.

El principal efecto es la eutrofización, caso particular de polución, que se produce ante un aumento de disponibilidad de nutrientes, especialmente aquellos que constituyen factores limitantes para el desarrollo de organismos fotosintéticos como algas y macrófitas. Una masa de agua pasa de un estado oligotrófico (de baja productividad) a otro eutrófico (de elevada productividad), favorecido principalmente por dichos nutrientes (fósforo y nitrógeno), y por acción de la temperatura del medio. El N y el P se encuentran en proporciones considerables en los residuos ganaderos, son precisamente ambos los que provocan los daños aludidos, puesto que la materia orgánica, salvo vertido directo, no produce problemas de contaminación (Rodríguez, 2002).

- Prohibición del pastoreo en las orillas de la Laguna.
- Limpieza completa de la zona para su recuperación.
- Implementación de buenas prácticas ganaderas y ambientales a los habitantes de la zona.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES.

- El plan de muestreo consideró los 7 puntos más representativos de este ecosistema lacustre, lo que permitieron monitorear y establecer las características físico químicas y biológicas de la laguna y las alteraciones que disminuyen la calidad de la misma.
- La herramienta ICA-Brown permitió evaluar la calidad del agua de la Laguna de Cuicocha, dando un resultado promedio de 72,50 que equivale a una calidad de agua Buena, siendo apta para la conservación de la flora y fauna de este ecosistema.
- La Laguna de Cuicocha posee una calidad de agua buena en las zonas que fueron alterados antropogénicamente este es el caso del punto 3 en el que se evidencia la presencia de ganado cuyas excretas provocan una contaminación directa. El punto 6, tiene una baja calidad por la presencia de fumarolas lo que se relaciona a actividades naturales.
- El método utilizado para la determinación del estado trófico de la Laguna de Cuicocha fue el índice de Carlson o índice de estado trófico (IET) cuyo resultado de 23,85 lo ubica como ultra-oligotrófico.
- Se estableció una comparación de los 10 parámetros estudiados con la Normativa Legal Vigente de Ecuador, Perú y Chile, en el criterio de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, siendo así, los parámetros que cumplieron con la normativa fueron los siguientes: pH (excluyendo el punto 6), Oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos (excepcionando los puntos 1, 2, 3 y 4), coliformes fecales (excluyendo el punto 3) y temperatura. Los parámetros que no cumplieron con la normativa legal vigente fueron sólidos disueltos totales y turbidez (a excepción del punto 5 y 7)
- Las medidas de mitigación empleadas fueron 12 para 4 problemáticas que en la actualidad se consideran de mayor importancia, cada medida tiene la posibilidad de implementarse de manera rápida, económica y segura para el aumento de la calidad del agua y los seres vivos que habitan en ella.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES.

- Se debe implementar de forma inmediata las medidas de mitigación planteadas y expuestas en la tabla 21, para la mejoría considerable de la calidad del agua de la Laguna de Cuicocha y así asegurar la conservación de los seres vivos que habitan en este ecosistema.
- Para el muestreo de aguas superficiales (lagos) se debe tomar en cuenta la norma técnica ecuatoriana INEN 2176:2013 donde se establece guías sobre las técnicas de muestreo que son usadas actualmente, para obtener resultados confiables.
- Para la conservación de las muestras y evitar alteraciones en los resultados finales es necesario mantenerlas entre 1°C y 5°C este tipo de muestras sin conservantes dura 24h para su análisis y las muestras colectadas se deben usar recipientes de vidrio, debido a que algunos plásticos pueden interferir significativamente en los análisis.
- Las condiciones climáticas son muy importantes para el muestreo, se recomienda hacerlo en época seca y de lluvia para conocer mejor los datos del lugar estudiado, también para tener datos históricos más amplios.
- Al momento de realizar el muestreo se debe tener 3 o más repeticiones, para la obtención de mejores resultados, también se recomienda realizar un análisis de calidad de agua en puntos de poca influencia antropogénica ya que serían zonas estratégicas para la comparación de resultados.
- En el caso del estado de eutrofización es necesario realizarlo con más métodos para su clasificación, ya que depende mucho el cambio de resultados y la información puede variar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alarcón, D. (2019). *Microbiota bacteriana de la laguna de Cuicocha y sus aplicaciones biotecnológicas*. Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19013/1/T-UCE-0012-FIG-119.pdf>

Almeida, L. (2014). *Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura*. Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja. Recuperado de: <https://docplayer.es/81879887-Universidad-tecnica-particular-de-loja-area-biologica.html>

Angulo, B. (2012). *Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno mediante respirometría*. Recuperado de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22553/capitulo2.pdf>

Aparicio, E. (2017). *Técnicas colorimétricas*. Recuperado de http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08_Tecnicas_colorimetricas.pdf

Aves y Conservación/BirdLife en Ecuador. (2011). *Manual de buenas prácticas ambientales para el manejo de los recursos naturales y el aviturismo en el Noroccidente de Pichincha*. Fundación Ecofondo Ecuador. Recuperado de: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56641.pdf>

Brito, G. (2019). *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas de la laguna de Limpiopungo de la zona central del Ecuador*. Tesis de grado. (Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30427/2/Gabriela%20Brito%20Tesis.pdf>

Cabrera, D. (2011). *Evaluación de la relación entre las densidades poblacionales de Cianobacterias (*Mycrocistis sp*, *Anabaena sp*, *Oscillatoria sp.*) y las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos: nitratos y fosfatos en el lago de Amatitlán, Guatemala durante los meses de mayo a octubre de 2009*. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/B219.pdf>

Carpio, T. (2007). *Turbiedad por Nefelometría*. (01), 9.

Castellanos, E., Girón de Masaya, N. y Álvarez, M. (2002). *Diagnóstico de la calidad del agua del lago Atitlán: Proyecto volcanes*. Tesis de grado, Universidad del Valle de Guatemala.

Recuperado de https://issuu.com/asociacionvivamosmejor/docs/diagnostico_calidad_de_agua_atitlan

CELEC. (s. f.). *Estudio de Impacto Ambiental definitivo de la línea de transmisión eléctrica Santo Domingo-Esmeraldas de 230 kV y de la ampliación de la subestación eléctrica Esmeraldas de 230/138/69 kV*. Recuperado de https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/cap42_lt_santo_domingo_esmeraldas.pdf

Cevallos, D., y Acosta, G. (2007). *Optimización de tres protocolos de extracción de ADN en las especies *Oncorhynchus mykiss* y *Astroblepus ubidiai* y su cuantificación con técnicas moleculares para la acuicultura*. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2587?locale-attribute=de>

Cirelli, A. F. (2012). *El agua: Un recurso esencial*. 25.

Clavijo, A., & Granja, K. (2016). *Análisis del estado de conservación ambiental de la microcuenca del río Chamachán en la parroquia Mariano Acosta, Provincia de Imbabura, a través de indicadores físicos, bióticos y socioeconómicos*. Tesis pregrado. Recuperado de <file:///C:/Users/Ingrid%20Puente/Downloads/CD-7000.pdf>

CORTOLIMA. (2013) *Calidad de agua*. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_amoya/diagnostico/l211.pdf

Cruz, M. (2017). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Humedal el Juncal y su reconocimiento como ecosistema estratégico dentro de la educación básica primaria*. Tesis de grado. Universidad de Bogotá. Recuperado de: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2398/Documento%20Tesis%20Maestria%20en%20Ciencias%20Ambientales%20Eliana%20Espejo.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Díaz, S., y Fernández, S. (2001). *La distribución normal*. 8, 268–274.

DIGESA. (s. f.). *Estándares de calidad ambiental del Agua*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%204.pdf

DIGESA. (s. f.). *Propiedades organolépticas*. Recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac Y Cusco* (p. 105). Lima: FIODMO. Recuperado de FIODMO website: <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>

Farinango, C. (2018). *Repositorio. utn*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1966/1/03%20RNR%20151%20TESIS.pdf>

Franco, D. y Manzano, J. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Recuperado de: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

Freire, N. (s. f.). *Demanda bioquímica de oxígeno*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6165/2/DBO%20-%20SS%20-%20SD.pdf>

González, M., Acuña, J. y Andueza, F. (2020). *Calidad fisicoquímica del agua de la laguna volcánica cratérea Quilotoa. Cotopaxi. Ecuador. 21, 1, 71–83*.

Gutiérrez, S. (2019). *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río Monjas, sectores Pomasqui y San Antonio de Pichincha mediante ICA-NSF*. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20243/1/T-UCE-0012-FIG-155.pdf>

Guzmán, E. (2016). *Validación de datos de turbidez obtenidos con el método del disco Secchi en comparación con el método del turbidímetro en las aguas de la laguna Kulta Kucha, del cantón Colta, provincia de Chimborazo durante el periodo abril-agosto del 2016*. Recuperado de: <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6255>

HANNA instruments. (s. f.). Fósforo: Comprender los diferentes tipos de fósforo y los métodos utilizados para medirlo. Recuperado de: <https://www.hannainst.es/blog/1504/F%C3%B3sforo--Comprender-los-diferentes-tipos-de-f>

H2O Magazine. (2017, mayo 3). Mineralización del agua: Todo lo que debes saber | Caldaría Hoteles y Balnearios en Galicia. Recuperado de: <https://www.caldaria.es/mineralizacion-agua/>

Ibarrarán, M., Mendoza, A. y Manzanilla, E. (s. f.). *Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252017000200089

INAMHI. (2011). *Indicadores físico-químicos del agua de los ríos de la Cuenca del Río Mira*. Recuperado de <https://issuu.com/inamhi/docs/indicadores-fisico-quimicos---cuenca-del-rio-mira/7>

Jácome, G., Mejía, J. y Pupiales, N. (2020). *Los volcanes de Imbabura y su tiempo geológico*. 8.

Juárez, B. (2019). El tratamiento de las aguas provoca cambios en la flora y fauna de los ríos. *El País*. Recuperado de https://elpais.com/elpais/2019/08/21/ciencia/1566382912_180403.html

LaMotte. (s. f.). *Operator's Manual*. Recuperado de: https://www.geotechenv.com/Manuals/LaMotte_Manuals/smart3_colorimeter_operators_manual.pdf

López, H. (s. f.). *Ingeniero en Ciencias Empresariales con especialización en Finanzas*. 39.

López, M., y Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21. Recuperado de: <https://doi.org/10.18359/rcin.1430>

MAE. (2015). *Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf

MAAE. (2017). *Ministerio del Ambiente y Agua*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/reserva-ecologica-cotacachi-cayapas/>

MAE. (2020). *Plan de Manejo del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas*. Quito: Critical Ecosystem Partnership Fund.

Martinez, M. (2010). *Plan de marketing turístico de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas zona de Cuicocha provincia de Imbabura*. Tesis de grado. Universidad Tecnológica Equinoccial. Recuperado de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1641/1/42391_1.pdf

Meoño, J. Taranco, C. y Olivares, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. 2, 09–25.

MERCOSUR. (s. f.). Determinación de pH. Recuperado de: http://www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/acta_01-16/Anexo%20I.%20Determinaci%C3%B3n%20de%20pH%20espanol.pdf

Mérieux Nutrisciences. (s. f.). Análisis de aguas. Recuperado de: <https://www.merieuxnutrisciences.com/es/calidad-seguridad-alimentaria/analisis-aguas>

Ministerio de Desarrollo Sostenible. (2017). Calidad de Agua. Recuperado de: <http://www.rekursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua>

Ministerios del Ambiente del Ecuador. (2007). *Plan de Manejo Reserva Ecológica Cotacachi—Cayapas*.

Mora, J., y Calvo, G. (2010). *Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa*. 23(5), 34–40.

Navarro, O. (2007). *Determinación de oxígeno disuelto por el método electrométrico – medidor de oxígeno ysi código: tp0083 versión: 02*. (22), 10.

Oram, B. (s. f.). Water Research Center—Pennsylvania Well Water Testing Private Wellowners Agua potable Programa de educación sobre aguas subterráneas de Pennsylvania. Recuperado de: Water Research Center website: <https://water-research.net/index.php/about/water-research-center>

OXFAM. (2018). La importancia del abastecimiento de agua. Recuperado de: <https://blog.oxfamintermon.org/la-importancia-del-abastecimiento-de-agua/>

Pacheco, J., y Cabrera, A. (2003). *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas*. 47–54.

Peñañiel, M. (2003). *Flora y vegetación de Cuicocha*.

Perú, (2020). Constitución política del Perú. *Allpanchis*, 34(59/60), 245–253. <https://doi.org/10.36901/allpanchis.v34i59/60.570>

Prieto, V., y Martínez de Villa, A. (1999). *La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio*. 1, 8.

Ramírez. (2010). *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Ramírez, A. y García, M. (2015). *Medidas de mitigación y adaptación ante peligros hidrometeorológicos. El caso del sector hotelero en la isla de Cozumel, Quintana Roo, México*. 21.

Rodríguez, C. (2002). *Residuos ganaderos*. 7.

Sánchez, R. (2011). *Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3984>

Sanz, J., Melgar, M., y Rubio, C. (s. f.). *Métodos estadísticos y econométricos en la empresa y para finanzas*. 237.

SNET. (s. f.). *Índice de Calidad del Agua General “ICA”*. Recuperado de: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>

Severiche, C., & González, H. (2012). *Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado*. *Dialnet*, 6-11.

Toro, D. Jaramillo, M., y Salgado, P. (2012). *Estudio limnológico de la laguna Negra. zona amortiguadora del P.N.N. los nevados*. 2(16), 23–38.

Troya, J. (2017). “Evaluación del potencial bioindicador de los anfibios en la Laguna Cuicocha Cantón Cotacachi Provincia de Imbabura”. *INFORME FINAL DEL PROYECTO*, 12.

Trujillo, A. L., Vega, P., y Barajas, L. (2014). Potenciometría: Usos y Aplicaciones. *CienciAcierta*. Recuperado de <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/06/05/potenciometria-usos-y-aplicaciones/>

TULSMA. (2015). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua. En L. VI.

Universidad de Costa Rica. (2014). ¿Qué son los lagos volcánicos? Recuperado de: <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/vulcanologia/716-los-lagos-volcanicosS>

Vázquez, M. y Ulloa, R. (1997). *Estrategia para la conservación de la diversidad biológica en el sector forestal del Ecuador*. Quito: FAO : INEFAN : Gobierno de los Países Bajos : EcoCiencia.

Vizcaíno, L. (s. f.). *Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala*. 7.

ANEXOS

Anexo 1: Gráficas para el cálculo del ICA

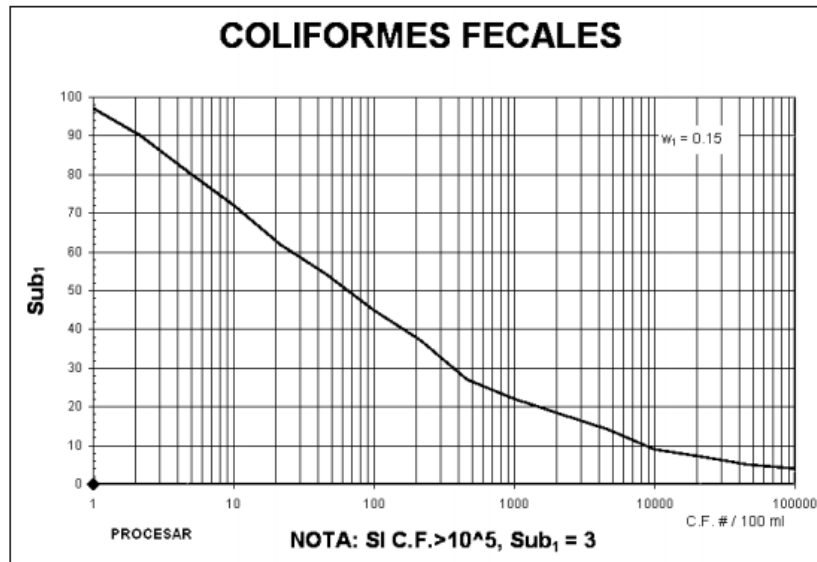


Figura 27. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

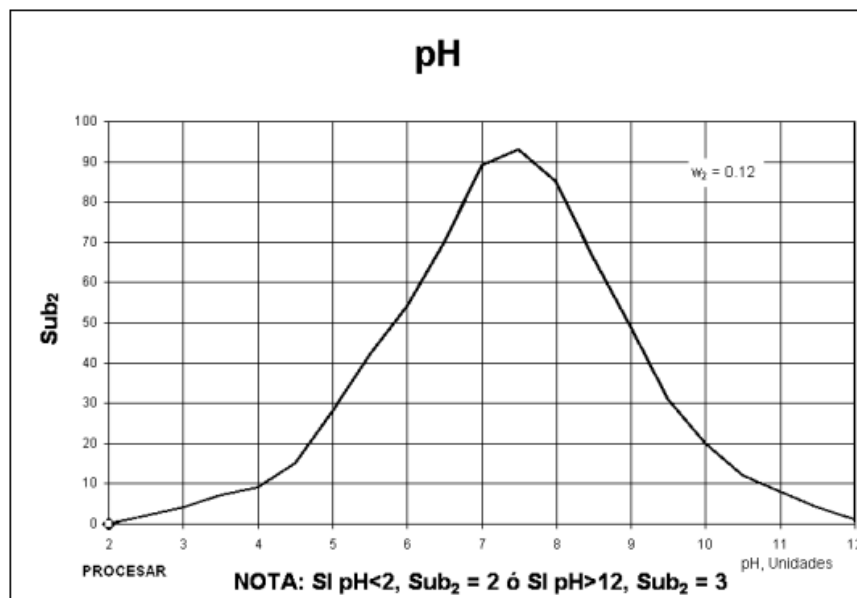


Figura 28. Valoración de la calidad de agua en función de Potencial de hidrógeno

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

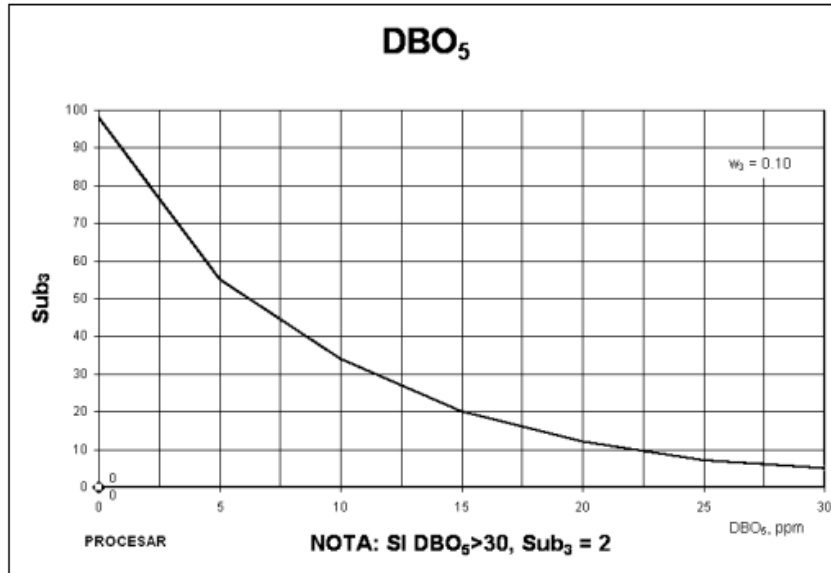


Figura 29. Valoración de la calidad de agua en función de DBO₅

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

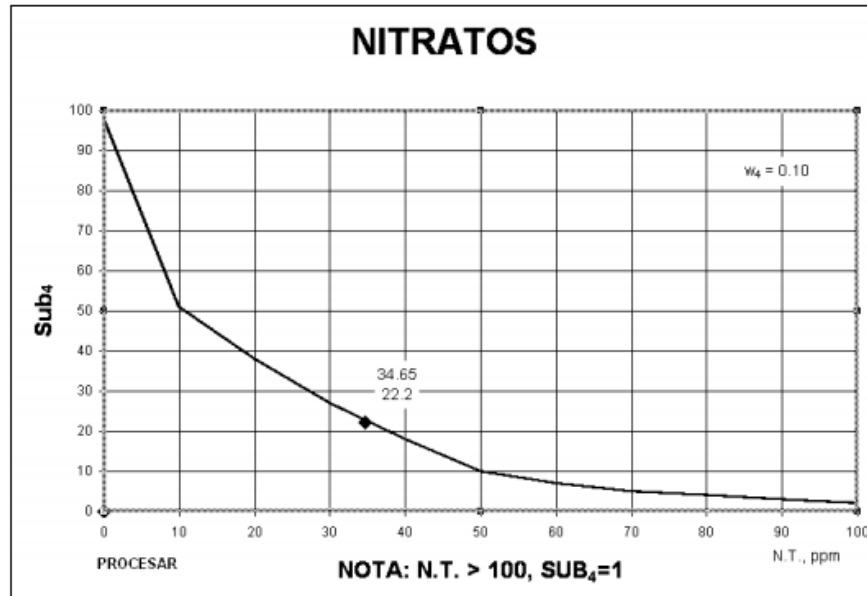


Figura 30. Valoración de la calidad de agua en función de Nitratos

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

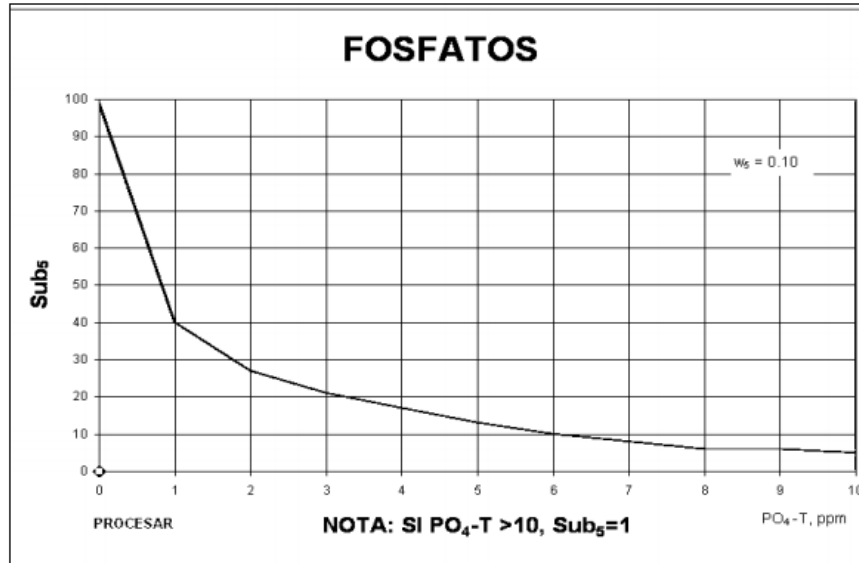


Figura 31. Valoración de la calidad de agua en función de fosfatos

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

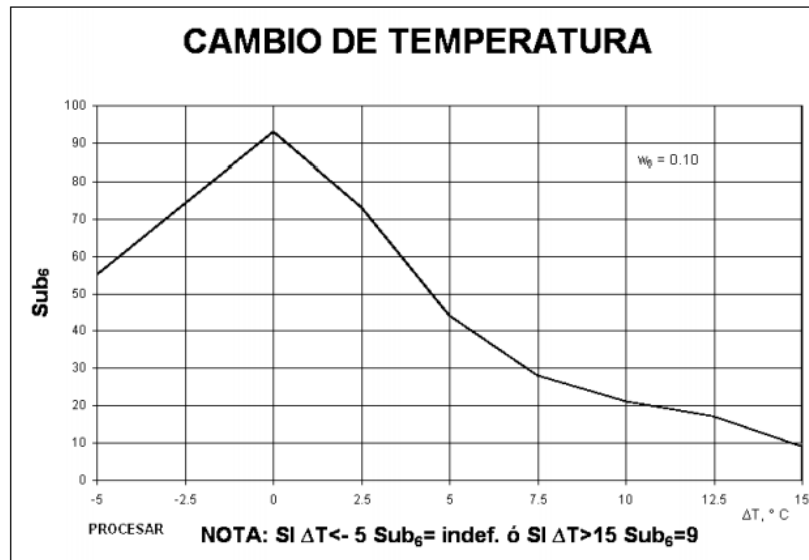


Figura 32. Valoración de la calidad de agua en función de Temperatura

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

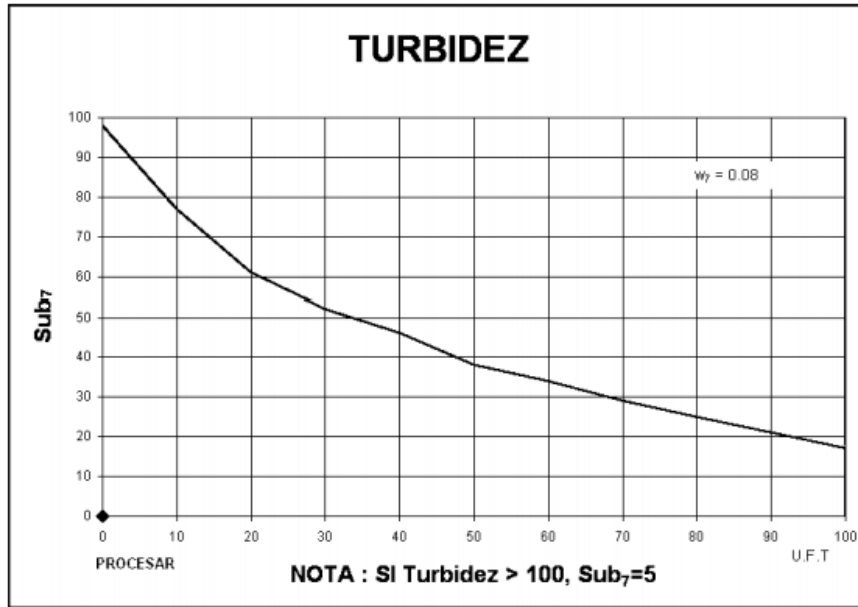


Figura 33. Valoración de la calidad de agua en función de turbidez

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

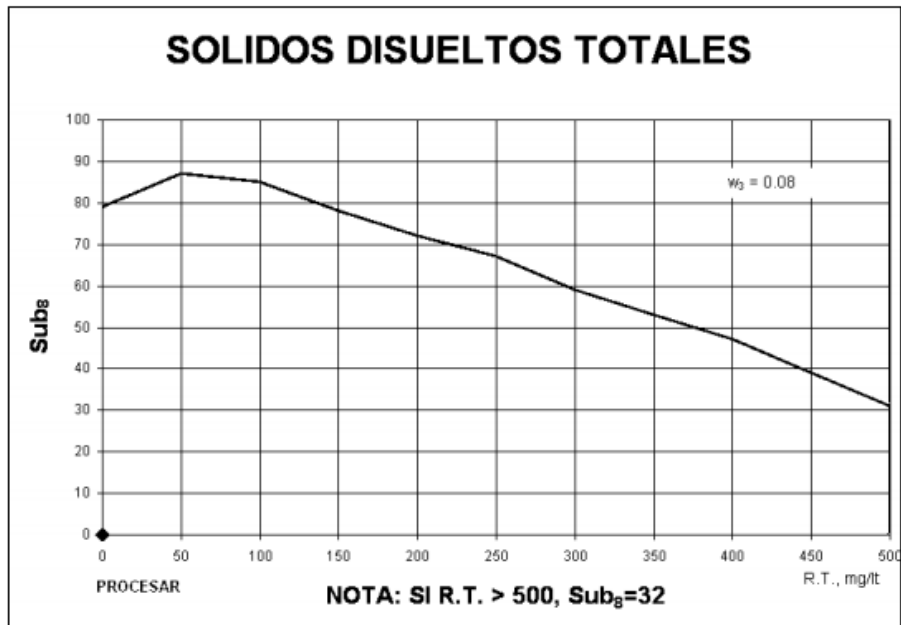


Figura 34. Valoración de la calidad de agua en función de SDT

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

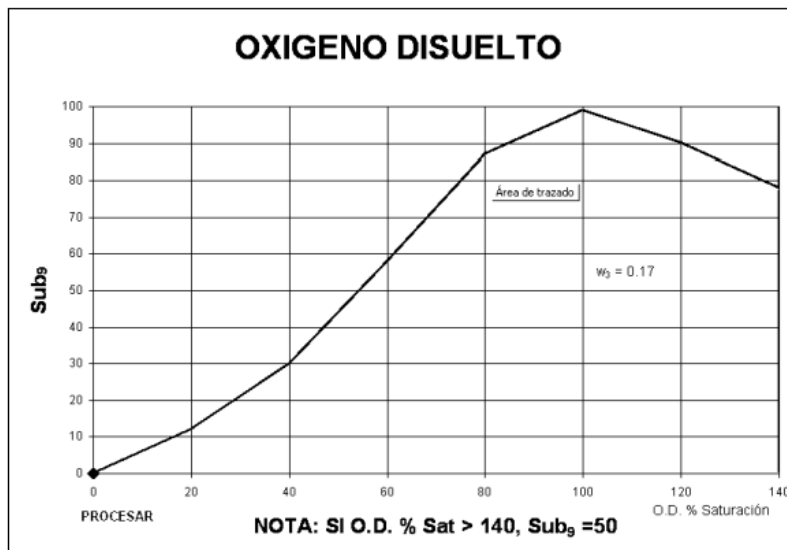


Figura 35. Valoración de la calidad de agua en función de O.D.

Fuente: Tomado de SNET. (s. f.)

Anexo 2: Tablas generales de todos los parámetros analizados

Tabla 22

Resultados de sulfatos.

	Primer Muestreo	Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
Punto	Resultado (mg.L ⁻¹)	Resultado (mg.L ⁻¹)	Resultado (mg.L ⁻¹)
1	8	10	7
2	8	13	7
3	9	16	9
4	9	12	6
5	8	11	8
6	11	15	17
7	7	12	10

Fuente: Puente, I. (2021)

Tabla 23.

Resultados de penetración de luz.

	Primer Muestreo	Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
Punto	Resultado (m)	Resultado (m)	Resultado (m)
1	8,62	15	16
2	3,90	7,80	10
3	9,54	10	11
4	2,43	4,50	7
5	8,26	9,50	10
6	1	2,80	3
7	7,52	12	12

Fuente: Puente, I. (2021).

Tabla 24*Resultados primer muestreo parámetros ICA*

Parámetro	Unidad	Punto						
		1	2	3	4	5	6	7
pH		6,90	5,95	5,99	6,95	6,58	5,67	6,91
Oxígeno disuelto	(%)	93	95	88	96	99	90	93
Nitratos	(mg.L ⁻¹)	0,64	0,16	0,09	0,32	0,34	0,40	0,08
Fosfatos	(mg.L ⁻¹)	0,46	0,45	0,71	0,33	0,40	0,29	0,32
Coliformes fecales	(NMP/100 ml)	7,23	3	15,7	3	3	3	-
Temperatura	(°C)	16,6	17	18,2	17,4	17,3	17	16,6
TDS	(mg.L ⁻¹)	552	546	524	548	541	599	550
Turbidez	(NTU)	0	0	0	0	0	0	0
DBO ₅	(mg.L ⁻¹)	8,6	4,3	10,8	11,3	7,5	8,6	10,2

Fuente: Puente, I. (2021).

Tabla 25*Resultados segundo muestreo parámetros ICA*

Parámetro	Unidad	Punto						
		1	2	3	4	5	6	7
pH		7,35	6,90	7,00	7,30	5,75	7,33	7,32
Oxígeno disuelto	(%)	91	91	85	93	95	93	90
Nitratos	(mg.L ⁻¹)	1	3	3	3	4	2	3
Fosfatos	(mg.L ⁻¹)	0,33	0,22	0,41	0,26	0,31	0,17	0,26
Coliformes fecales	(NMP/100 ml)	-	3	3	3	-	-	3
Temperatura	(°C)	16,6	16,2	18,2	17,4	17,3	17	16,6
TDS	(mg.L ⁻¹)	557	543	553	555	557	594	550
Turbidez	(NTU)	2,56	0,22	0,29	0,17	0	8,59	0
DBO ₅	(mg.L ⁻¹)	7,0	7,0	6,4	6,4	6,4	4,8	4,3

Fuente: Puente, I. (2021).

Tabla 26*Resultados tercer muestreo parámetros ICA*

Parámetro	Unidad	Punto						
		1	2	3	4	5	6	7
pH		6,52	5,46	5,53	6,48	6,38	4,40	6,48
Oxígeno disuelto	(%)	91	91	84	96	97	93	94
Nitratos	(mg.L ⁻¹)	3	1	1	1	4	1	3
Fosfatos	(mg.L ⁻¹)	0,53	0,76	0,13	0,67	0,12	0,13	0,10
Coliformes fecales	(NMP/100 ml)	3	3	42,7	3	-	3	6
Temperatura	(°C)	16,6	16,2	18,2	17,4	17,3	17	16,6
TDS	(mg.L ⁻¹)	545	556	546	546	546	652	560
Turbidez	(NTU)	0	0	0	0	0	1,70	0
DBO ₅	(mg.L ⁻¹)	10,2	9,1	9,7	11,3	12,4	11,8	11,3

Fuente: Puente, I. (2021)

Anexo 3: Tablas sobre parámetros y sus LMP en las normativas correspondientes de Ecuador, Chile y Perú

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	NH3	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60

Figura 36: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Fuente: Tomado de Ministerio del Ambiente. (2015)

Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-
⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l ⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce ⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l				

Figura 37: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Fuente: Tomado de Ministerio del Ambiente, (2015)

Tabla 27*Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua de Perú, categoría 4: conservación del ambiente acuático*

Parámetros	Unidades	Ríos			Ecosistemas Marino Costeros	
		Lagunas y Lagos	Costa y Sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Físicos y Químicos						
Aceites y Grasas	mg.L ⁻¹	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
DBO ₅	mg.L ⁻¹	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg.L ⁻¹	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					Delta 3°C
Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	Unidad	6,5-8,5		6,5-8,5		6,5-8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg.L ⁻¹	500	500	500	500	

Continúa tabla...

Sólidos Suspendidos Totales	mg.L ⁻¹	≤25	≤25-100	≤25-400	≤25-100	30,00
Inorgánicos						
Arsénicos	mg.L ⁻¹	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg.L ⁻¹	0,7	0,7	1	1
Cadmio	mg.L ⁻¹	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Fosfatos totales	mg.L ⁻¹	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031-0,09
Nitratos	mg.L ⁻¹	5	10	10	10	0,07-0,28

Fuente: Adaptado de MINAM, (2008)

Tabla 28

Parámetros de calidad de agua para la protección y conservación de comunidades acuáticas de Chile

	Grupo de elementos o compuestos	Unidad	Clase de excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Indicadores Físicos y Químicos						
1	Conductividad Eléctrica	μS/cm	<600	750	1500	2500
2	DBO ₅	mg.L ⁻¹	<2	5	10	20

Continúa tabla...

3	Color Aparente	Pt/Co	<16	20	100	>100
4	Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹	>7,5	7,5	5,5	5
5	pH	Rango	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
6	RAS	-	<2,4	3	6	9
7	Sólidos Disueltos	mg.L ⁻¹	<400	500	1000	1500
8	Sólidos Suspendidos	mg.L ⁻¹	<24	30	50	80
9	Temperatura	°C	<0,5	1,5	1,5	3
Inorgánicos						
10	Sulfato	mg.L ⁻¹	<120	150	500	1000

Fuente: Adaptado de Comisión Nacional de Medio Ambiente, (2004)

Anexo 4: Gráfica de conversión de Petrifilm a NMP

SECUENCIA NMP			NMP / g ó cm ³	Petrifilm E. coli/Coliform Count plate result
DILUCION 10 ⁻¹	DILUCION 10 ⁻²	DILUCION 10 ⁻³		
0	0	0	<3,0	<6,0
0	0	1	3,01	8
0	1	0	3,05	8
0	1	1	6,11	12
0	2	0	6,19	12
0	3	0	9,44	18
1	0	0	3,57	7
1	0	1	7,23	14
1	0	2	11,0	20
1	1	0	7,36	14
1	1	1	11,2	21
1	2	0	11,4	21
1	2	1	15,4	27
1	3	0	15,7	28
2	0	0	9,18	17
2	0	1	14,3	26
2	0	2	19,9	35
2	1	0	14,7	26
2	1	1	20,5	36
2	1	2	26,8	45
2	2	0	21,1	36
2	2	1	27,6	46
2	2	2	34,8	57
2	3	0	28,6	48
2	3	1	36	59
3	0	0	23,1	40
3	0	1	38,5	63
3	0	2	63,6	98
3	1	0	42,7	69
3	1	1	74,9	114
3	1	2	115	168
3	1	3	159	225
3	2	0	93,3	139
3	2	1	149	212
3	2	2	215	295
3	2	3	292	388
3	3	0	240	325
3	3	1	462	586
3	3	2	1100	1280
3	3	3	>1100	>1280

Figura 38. Tabla de conversión de resultados de la placa Petrifilm a NMP.

Fuente: Tomado de Cristina Córdor, (s.f.)

Anexo 5: Registro fotográfico

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1: Análisis de muestras in-situ primer muestreo.



Fotografía 2: Acompañamiento de autoridades del Ministerio de Ambiente.



Fotografía 3: Obtención de muestras para análisis ex - situ



Fotografía 4: Análisis de muestras in-situ segundo muestreo.



Fotografía 5: Acompañamiento de autoridades del Ministerio de Ambiente en el segundo muestreo.



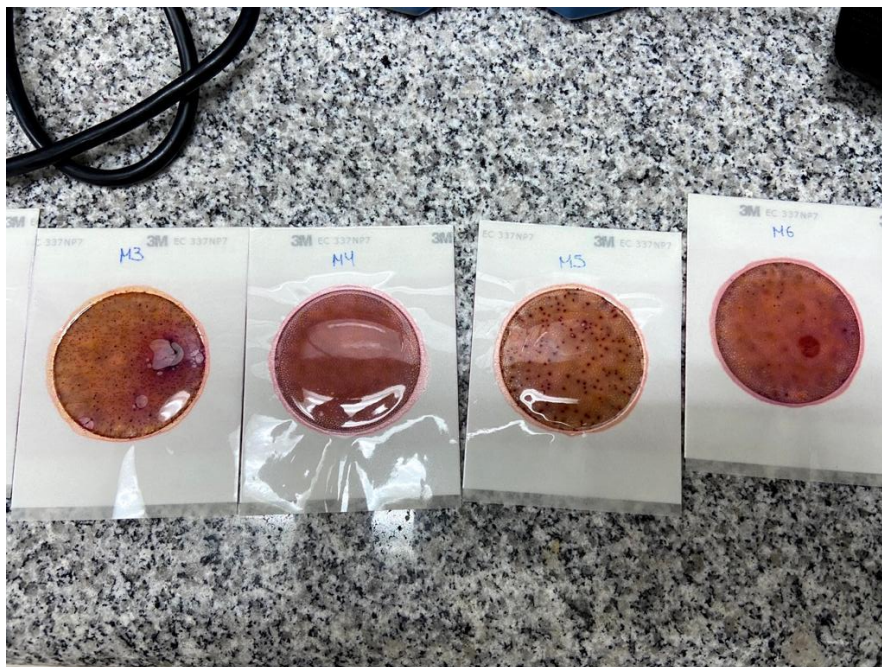
Fotografía 6: Análisis de muestras in-situ tercer muestreo.



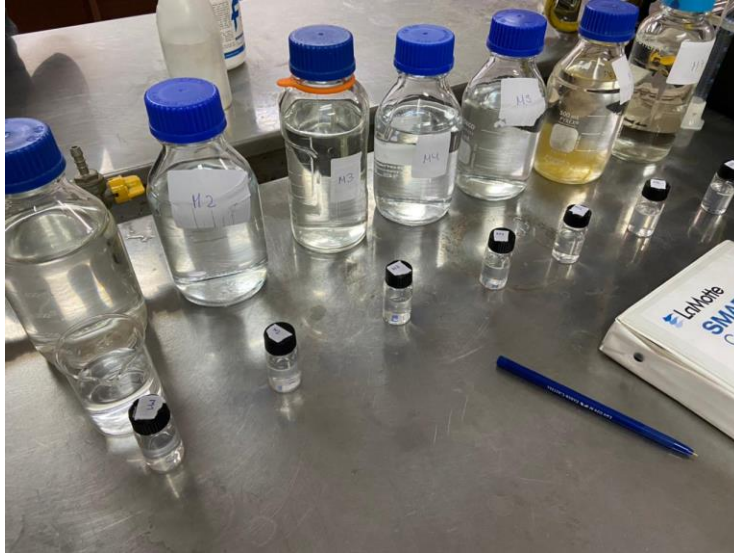
Fotografía 7: Análisis de muestras ex-situ.



Fotografía 8: Análisis de muestras ex-situ, (placas Petrifilm)



Fotografía 9: Muestras de los 7 puntos



Fotografía 10: Análisis de muestras ex-situ, (DBO₅)



Fotografía 11: Actividades antropogénicas, punto 3



Fotografía 12: Actividades antropogénicas dentro de la Laguna de Cuicocha

