



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Diagnóstico ambiental de la laguna San Antonio de Padua

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental

Autores:

Calva Oderico, Karla Priscila
Larrea Meneses, Pamela Elizabeth

Tutor:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Karla Priscila Calva Oderico y Pamela Elizabeth Larrea Meneses, con cédula de ciudadanía 0604944405 y 0605518968, autoras del trabajo de investigación titulado: Diagnóstico Ambiental de la laguna San Antonio de Padua, que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Karla Priscila Calva Oderico

C.I: 0604944405



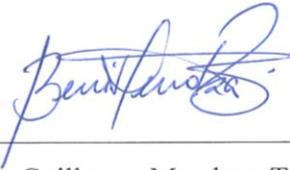
Pamela Elizabeth Larrea Meneses

C.I: 0605518968

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Diagnóstico ambiental de la laguna San Antonio de Padua, bajo la autoría de Karla Priscila Calva Oderico y Pamela Elizabeth Larrea Meneses; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los veintinueve días del mes de mayo de 2025



Benito Guillermo Mendoza Trujillo

C.I: 06030138663

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Diagnóstico ambiental de la laguna de San Antonio de Padua, presentado por Karla Priscila Calva Oderico, con cédula de identidad 0604944405 y Pamela Elizabeth Larrea Meneses, con cédula de identidad 0605518968 bajo la tutoría de PhD. Benito Mendoza; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

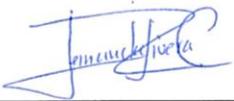
Ing. Patricio Santillán, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Carla Silva, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. María Fernanda Rivera, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **CALVA ODERICO KARLA PRISCILA** con CC: **0604944405**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA LAGUNA SAN ANTONIO DE PADUA"**, cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 20 de mayo de 2025



PhD. Benito Mendoza
TUTOR



CERTIFICACIÓN

Que, **LARREA MENESES PAMELA ELIZABETH** con CC: **0605518968**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA LAGUNA SAN ANTONIO DE PADUA"**, cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 20 de mayo de 2025



Firmado digitalmente por:
**BENITO GUILLERMO
MENDOZA TRUJILLO**
Código de Autenticación por Mensaje

PhD. Benito Mendoza
TUTOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de todo este proceso. Les agradezco profundamente por su amor incondicional, su apoyo constante y sus oraciones, que me brindaron fortaleza en los momentos más difíciles.

A mi familia, por estar siempre presente con palabras de aliento, comprensión y cariño, acompañándome en cada paso de este camino. A mis amigos, por ser una fuente constante de ánimo, compañía y apoyo sincero; gracias por los momentos de aliento, por compartir mis alegrías y también las dificultades, por escucharme, motivarme y nunca dejarme solo en este desafío. A mis docentes, quienes más que formadores académicos fueron una mano amiga, ofreciendo no solo sus conocimientos, sino también su comprensión, confianza y guía constante, que fueron claves para alcanzar este logro.

También dedico este trabajo con especial gratitud a las personas del barrio San Antonio de Padua, quienes colaboraron de manera generosa y permitieron que este proyecto se haga realidad. A todos ustedes, les ofrezco con humildad este estudio, con la esperanza de que represente un aporte significativo y útil para la comunidad y para quienes deseen continuar investigando en esta área.

A todos ustedes, les entrego este trabajo con profunda gratitud y humildad, con la esperanza de que represente un aporte valioso para la comunidad y una fuente útil de información para futuras investigaciones.

Karla Priscila Calva Oderico.

Dedico esta tesis con profundo cariño y gratitud a mi familia, por ser mi pilar incondicional, por su amor, comprensión y palabras de aliento en los momentos más difíciles, sin su apoyo constante, este logro no habría sido posible.

A mis amigos, quienes con su compañía, consejos y ánimo me ayudaron a seguir adelante incluso en los días más desafiantes. A mis docentes y tutores por su dedicación, paciencia y por compartir sus conocimientos, que fueron clave en mi formación académica y personal.

También dedico este trabajo a todas las personas que, de una u otra forma, creyeron en mí, me inspiraron y me motivaron a no rendirme. Cada esfuerzo, cada traspaso y cada sacrificio encuentran hoy su recompensa. Esta meta alcanzada también les pertenece.

Pamela Elizabeth Larrea Meneses.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por acompañarme en cada etapa de este camino, dándome la fuerza, sabiduría y perseverancia necesarias para alcanzar esta meta. A mis padres y familiares, por su amor incondicional y por creer siempre en mí; por estar a mi lado en cada momento, levantándome el ánimo cuando más lo necesité y brindándome consejos que me ayudaron a seguir adelante.

A mi mejor amiga y compañera de tesis Pamela Larrea, por su dedicación, responsabilidad y compromiso; sin su entrega y trabajo conjunto, este logro no habría sido posible. A mis amigos, por su apoyo incondicional y por estar presentes en los momentos clave.

Expreso también mi sincero agradecimiento al Ph.D. Benito Mendoza, tutor de tesis, y al Mgs. Carlitos Maldonado, quienes fueron piezas clave en este proceso. Su orientación invaluable, la generosidad con la que compartieron sus conocimientos y la confianza que depositaron en nuestro proyecto desde el inicio fueron fundamentales para lograr este resultado.

Karla Priscila Calva Oderico.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, por haber sido mi pilar incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria. Gracias por confiar en mí, por alentarme en cada paso y por enseñarme que no hay límites cuando se trabaja con amor y perseverancia. Su apoyo ha sido la base sobre la cual he construido mis sueños.

A mi querida amiga y compañera de tesis, Priscila Calva, gracias infinitas por caminar a mi lado en este proceso. Hemos formado un equipo excepcional, complementándonos en cada desafío con paciencia, dedicación y, sobre todo, amistad verdadera.

Extiendo también mi gratitud al Mgs. Carlitos Maldonado, quien ha sido una guía fundamental en nuestro camino. Su compromiso, paciencia y orientación constante hicieron posible que este proyecto cobrara vida. De igual manera, al Ph.D. Benito Mendoza, por compartir su conocimiento y abrirnos las puertas al aprendizaje con generosidad. Sin ustedes, este logro no hubiera sido posible.

Gracias a Dios, por ser mi luz, mi fuerza y mi esperanza en los momentos de duda. Su presencia ha sido una fuente constante de inspiración y consuelo.

Agradezco de corazón a mis amigos y profesores, quienes no solo me brindaron enseñanzas académicas, sino también grandes lecciones de vida. Su amistad, apoyo y palabras de aliento han sido un regalo invaluable.

Finalmente, agradezco con todo mi corazón a mi pareja, André López, por su apoyo y por haber iniciado conmigo este hermoso ciclo universitario, siendo parte fundamental de todo lo que hoy he logrado.

Pamela Elizabeth Larrea Meneses.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL
CERTIFICADO ANTIPLAGIO
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
ÍNDICE GENERAL
ÍNDICE DE TABLAS
ÍNDICE DE FIGURAS
ÍNDICE DE ANEXOS
RESUMEN
ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Problema de investigación	17
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 General.....	18
1.3.2 Específicos.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Marco Referencial.....	19
2.2 Marco Legal	19
2.3 Marco Conceptual	21
2.3.1 Diagnóstico Ambiental	21
2.3.2 Calidad Ambiental.....	21
2.3.3 Calidad de Suelos	21
2.3.4 Calidad del Agua	21
2.3.5 Índices de Calidad de Agua (ICA).....	22
2.3.6 Macroinvertebrados	22
2.3.7 Análisis Multitemporal	22
2.3.8 Tomografías de Resistividad Eléctrica	22
2.3.9 Análisis Socioeconómico.....	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	24
3.1 Tipo de Investigación.....	24

3.2	Área de estudio.....	24
3.3	Puntos de muestreo.....	25
3.3	Análisis en los cambios del área, espejo de agua, cobertura vegetal y uso de suelo .	26
3.3.1	Biodiversidad.....	26
3.3.2	Tomografías eléctricas de resistividad.....	27
3.3.3	Nivel freático	27
3.3.4	Análisis multitemporal.....	28
3.3.5	Análisis fisicoquímico del suelo	29
3.3.6	pH	30
3.3.7	Conductividad.....	30
3.4	Evaluación de la calidad del agua mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos	32
3.4.1	Análisis fisicoquímico del agua.....	32
3.4.2	pH	33
3.4.3	Temperatura	33
3.4.4	Conductividad.....	33
3.4.5	Oxígeno disuelto	33
3.4.6	Turbidez en el agua.....	33
3.4.7	DBO ₅	34
3.4.8	Nitritos	34
3.4.9	Nitratos	34
3.4.10	Fosfatos.....	34
3.4.11	Nitrógeno	34
3.4.12	Coliformes fecales y totales.....	35
3.4.13	Calcio	35
3.4.14	Potasio.....	35
3.4.15	Magnesio.....	35
3.4.16	Plomo	36
3.4.17	Cobre.....	36
3.5	Análisis de cumplimiento de la normativa nacional Acuerdo Ministerial No. 097-A y evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA).....	36
3.5.1	Análisis biológico	37
3.5.2	Índices de calidad del agua	38

3.5.3	Índice ABI (Andean Biotic Index)	38
3.5.4	Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party).....	38
3.6	Determinación de fuentes de contaminación y presión ambiental.....	39
3.7	Análisis socioeconómico.....	39
3.8	Tipo de muestreo y determinación del tamaño de la muestra.....	39
3.8.1	Diseño y aplicación de la encuesta	40
3.8.2	Análisis de datos de las encuestas	40
3.8.3	Entrevistas.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		41
4.1	Resultados	41
4.1.1	Flora.....	41
4.1.2	Fauna.....	41
4.1.3	Tomografías de resistividad eléctrica	41
4.1.4	Modelo 3D.....	46
4.1.5	Nivel freático	47
4.1.6	Análisis multitemporal.....	48
4.1.7	Precipitación	50
4.1.8	Registro de temperaturas en la laguna y Clima regional	51
4.1.9	Evapotranspiración	52
4.1.10	Humedad relativa.....	52
4.1.11	Análisis de las características del suelo y cobertura vegetal	52
4.1.12	Textura de suelo.....	54
4.1.13	Cobertura vegetal y uso de suelo	55
4.1.14	Análisis fisicoquímico del suelo	56
4.1.15	Cálculo de la materia orgánica	56
4.1.16	Análisis fisicoquímico del agua.....	57
4.1.17	Cálculo del Índice ICA	57
4.1.18	Calidad de agua aplicando el método ABI	59
4.1.19	Calidad de agua aplicando el método BMWP.....	59
4.2	Componente socioeconómico	60
4.3	Discusión.....	61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64

5.1 Conclusiones	64
5.2 Recomendaciones.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Grado y porcentaje de confiabilidad del índice Kappa.....	29
Tabla 2 Metodología para el análisis fisicoquímico del suelo.....	30
Tabla 3 Metodología para el análisis fisicoquímico del agua	32
Tabla 4 Valor general del ICA	37
Tabla 5 Clasificación de calidad del agua según el índice ABI	38
Tabla 6 Rangos del índice BMWP	38
Tabla 7 Preguntas generales de las encuestas.....	40
Tabla 8 Imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal	48
Tabla 9 Parámetros utilizados para el cálculo del ICA	58
Tabla 10 Índice ABI para el punto de control 5	59
Tabla 11 Índice BMWP/Col del punto de control 5	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la laguna San Antonio de Padua	25
Figura 2 Ubicación de los puntos de muestreo.....	26
Figura 3 Esquema para realizar la clasificación supervisada	28
Figura 4 Ubicación de puntos para las tomografías de resistividad eléctrica.....	42
Figura 5 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 1	43
Figura 6 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 2	44
Figura 7 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 3	45
Figura 8 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 4	46
Figura 9 Imágenes de la modelación en 3D de las tomografías de resistividad eléctrica ..	47
Figura 10 Cambios del área, espejo de agua, uso de suelo y cobertura vegetal en el período de 2010 - 2023	50
Figura 11 Mapa de isoyetas.....	51
Figura 12 Mapa de isotermas	52
Figura 13 Mapa de tipo de suelo	53
Figura 14 Mapa de texturas	54
Figura 15 Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo	55
Figura 16 Porcentaje de materia orgánica en cada calicata	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Identificación de flora.....	70
Anexo B: Identificación de fauna	75
Anexo C: Nivel freático calicatas 2023	81
Anexo D: Nivel freático calicatas 2024	81
Anexo E: Precipitación media mensual	82
Anexo F: Temperatura media mensual	82
Anexo G: Cálculo de la evapotranspiración media mensual	82
Anexo H: Humedad relativa	83
Anexo I: Descripción de los suelos de la laguna	83
Anexo J: Textura de suelos.....	83
Anexo K: Comparativa entre los datos obtenidos en las calicatas y el límite máximo permisible para suelo, según el (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).....	83
Anexo L: Comparativa entre los datos obtenidos y el límite máximo permisible para agua, según el (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).....	85
Anexo M: Identificación de macroinvertebrados presentes en la laguna	86
Anexo N: Distribución porcentual de los servicios básicos.....	87
Anexo O: Distribución porcentual del acceso a saneamiento básico	88
Anexo P: Niveles educativos alcanzados por la población.....	88
Anexo Q: Tipo de vivienda existente en el área circundante a la laguna	88
Anexo R: Acceso vial	89
Anexo S: Distribución porcentual de las actividades productivas	89

RESUMEN

La laguna San Antonio de Padua, ubicada en la parroquia Velasco del cantón Riobamba, presenta un marcado deterioro ambiental que se ha intensificado en la última década. Este proceso se evidencia en la reducción del espejo de agua, acumulación de sedimentos, proliferación de totora y pérdida de biodiversidad. Las principales causas identificadas son de origen antrópico: el vertido de aguas residuales domésticas, la falta de infraestructura sanitaria adecuada y la ausencia de una gestión ambiental efectiva. Ante esta situación, se planteó como objetivo general desarrollar un diagnóstico ambiental integral que permita conocer el estado actual del ecosistema. Para ello, se aplicó una metodología mixta con enfoque explicativo, combinando herramientas cuantitativas (análisis fisicoquímico de suelos y agua, muestreo de macroinvertebrados, análisis multitemporal satelital y tomografías de resistividad eléctrica) y técnicas cualitativas (encuestas, entrevistas, observación directa y análisis socioeconómico). Los resultados revelan una disminución considerable del cuerpo de agua, contaminación por coliformes fecales, nitratos, fosfatos y metales pesados, y un ecosistema degradado con baja capacidad de sostener vida silvestre. El análisis socioeconómico mostró que la comunidad es consciente del problema, pero enfrenta limitaciones por la falta de servicios básicos y apoyo institucional. Se concluye que es urgente implementar medidas técnicas de restauración ecológica y fortalecer la gestión ambiental participativa.

Palabras claves: Calidad de agua, contaminación, conservación, ecosistema, indicadores fisicoquímicos.

ABSTRACT

The San Antonio de Padua lagoon, located in the Velasco parish of the Riobamba canton, shows a marked environmental deterioration that has intensified in the last decade. This process is evident in the reduction of the water surface, sediment accumulation, proliferation of cattails, and loss of biodiversity. The main causes identified are anthropogenic: the discharge of domestic wastewater, the lack of adequate sanitation infrastructure, and the absence of effective environmental management. In response to this situation, the general objective was to develop a comprehensive environmental diagnosis to determine the current state of the ecosystem. To this end, a mixed-method approach with an explanatory focus was applied, combining quantitative tools (physicochemical analysis of soils and water, macroinvertebrate sampling, multitemporal satellite analysis and electrical resistivity tomography) with qualitative techniques (surveys, interviews, direct observation and socioeconomic analysis). The results reveal a significant decrease in the water body, contamination by fecal coliforms, nitrates, phosphates and heavy metals, as well as a degraded ecosystem with low capacity to support wildlife. The socioeconomic analysis showed that the community is aware of the problem, but faces limitations due to the lack of basic services and institutional support. It is concluded that there is an urgent need to implement technical measures for ecological restoration and strengthen participatory environmental management.

Keywords: Water quality, pollution, conservation, ecosystem, physicochemical indicators.



Reviewed by:
Mg. Lourdes del Rocío Quinata Encarnación
ENGLISH PROFESSOR
C.C 1803476215

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el 72% de los lagos y humedales están contaminados, lo que favorece la propagación de enfermedades infecciosas y transforma muchos cuerpos de agua en vertederos de desechos urbanos e industriales, acelerando su deterioro ambiental (Cusiche & Miranda, 2019). Este problema se agrava por factores como la pérdida de hábitat debido a la urbanización, la agricultura intensiva, la introducción de especies invasoras y los efectos del cambio climático, factores que comprometen tanto la calidad y cantidad de agua como la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales.

En Ecuador las lagunas enfrentan problemas ambientales graves, similares a los del resto de América. La eutrofización, causada por el exceso de nutrientes de la agricultura intensiva y el vertido de aguas residuales sin tratar, disminuye la calidad del agua, afecta la biodiversidad acuática y provoca la proliferación de algas nocivas. Además, la contaminación por plaguicidas y otros agroquímicos, así como el impacto de actividades urbanas e industriales que liberan productos químicos peligrosos, contribuyen a la degradación de estos cuerpos de agua. Las prácticas agrícolas inadecuadas permiten que pesticidas y fertilizantes se filtren en las lagunas, también la deforestación y los cambios en el uso del suelo aceleran la sedimentación, disminuyendo la profundidad y alterando los hábitats naturales (González & Roldán, 2019).

En los últimos 10 años, la laguna San Antonio de Padua ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba ha experimentado un deterioro ambiental significativo. Las principales causas incluyen actividades humanas, asentamientos ilegales, la reducción del volumen hídrico por el uso agrícola y el vertido de aguas residuales. Estas acciones han generado la proliferación de patógenos y procesos de eutrofización, afectando la biodiversidad y disminuyendo la capacidad del ecosistema para sostener la vida silvestre. Actualmente, la laguna se ha reducido a pequeños charcos en su centro, debido a la falta de gestión ambiental, el crecimiento descontrolado de totora y la acumulación excesiva de sedimentos. No obstante, persisten manantiales que podrían aprovecharse para implementar estrategias de recuperación sostenible.

En este contexto, se han desarrollado iniciativas como el “Plan de manejo integral”, liderado por Naranjo (2013) y el “Plan de restauración ambiental para la laguna San Antonio de Padua” dirigido por Vizñay (2022) que proponen medidas de recuperación y conservación del entorno natural. Sin embargo, la información disponible presenta limitaciones, especialmente en relación con los cambios ambientales históricos y la estructura subterránea del ecosistema.

Por ello, el presente estudio tiene como objetivo desarrollar un diagnóstico ambiental de la laguna San Antonio de Padua, mediante un análisis multitemporal del área, una evaluación de índices de calidad y una valoración socioeconómica, con el fin de proponer estrategias efectivas de recuperación ambiental.

1.1 Problema de investigación

Desde 2013, diversos proyectos de investigación y gestión ambiental han abordado los principales problemas que afectan a la laguna San Antonio de Padua. Estos esfuerzos se han centrado principalmente en la contaminación provocada por aguas residuales, desechos industriales y el uso de fertilizantes, lo que afecta su biodiversidad y calidad del agua. Asimismo, se ha puesto énfasis en la pérdida de su espejo de agua causada por el cambio climático y la sobreexplotación de recursos hídricos, reduciendo sus niveles y alterando el equilibrio ecológico. Estas problemáticas ponen en riesgo tanto el ecosistema como las comunidades locales que dependen de este recurso natural.

Actores clave, como el Ministerio del Ambiente, el Ministerio de Salud Pública y entidades locales como la Dirección de Ambiente y el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del Cantón Riobamba, han dirigido esfuerzos hacia el ordenamiento territorial para prevenir asentamientos ilegales, la gestión ambiental para implementar y supervisar prácticas y políticas que mitiguen la contaminación, y la garantía de la salubridad e higiene para controlar y eliminar fuentes de contaminación en el área circundante a la laguna.

Por otra parte, la participación activa de la sociedad civil ha destacado en la conservación del recurso hídrico de la laguna. Asimismo, el Municipio de Riobamba ha proporcionado información relevante sobre la problemática del sector, especialmente en relación con el alcantarillado, considerado un problema principal que dificulta la mejora urbana.

En este contexto, la comunidad de San Antonio de Padua, junto con el compromiso de la Universidad Nacional de Chimborazo y el respaldo del GADP de Chimborazo, el GAD de Riobamba y el MAATE, han iniciado el proceso de recuperación de la laguna. Para llevar a cabo esta recuperación de manera técnica y ambientalmente adecuada, es necesario realizar un diagnóstico ambiental que permita determinar el estado actual de la laguna y los pasos a seguir para su rehabilitación.

1.2 Justificación

La laguna San Antonio de Padua enfrenta múltiples problemáticas ambientales y sociales que han acelerado su deterioro. La contaminación del agua se ha agravado debido a la ausencia de un sistema adecuado de alcantarillado, ya que las viviendas de los alrededores utilizan pozos sépticos. Por otro lado, eventos de incendios registrados en la zona, especialmente el ocurrido en 2014 que consumió 2 hectáreas de pajonal "*Calamagrostis effusa*" y totora "*Typha*" han generado una pérdida significativa de cobertura vegetal y hábitat. A esto se suma la inseguridad y la falta de servicios básicos, como alumbrado público y calles pavimentadas, que impactan tanto a la comunidad local como al ecosistema (Freire, 2021).

En respuesta a esta situación, se propone realizar un diagnóstico ambiental, el cual incluye análisis de calidad de agua mediante ICA (Índice de Calidad de Agua), estudios de

macroinvertebrados como indicadores biológicos y análisis fisicoquímicos del suelo. Igualmente, para identificar los cambios en el espejo de agua, se llevó a cabo un análisis multitemporal de la laguna y se realizó tomografías de resistividad eléctrica para la exploración geológica y la prospección de recursos naturales, como el agua subterránea. Por otro lado, se realizó un análisis socioeconómico que evaluó las condiciones de la población, los servicios básicos, las actividades productivas, entre otros aspectos.

Estos análisis sirven como herramientas de planificación para prácticas de manejo, considerando que la urbanización y la agricultura impactan el equilibrio ambiental de la laguna. Su propósito es orientar el desarrollo de estrategias de conservación y restauración que garanticen la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema y la preservación de sus servicios ecológicos.

Con toda la información generada, se elaboró el diagnóstico ambiental, lo que ha aportado beneficios directos a las comunidades locales al apoyar sus esfuerzos de conservación, optimizar su calidad de vida y proporcionar datos valiosos a investigadores y académicos. Además, genera información clave para que el Gobierno Autónomo Descentralizado de Riobamba planifique estrategias ambientales, implemente proyectos de ordenamiento territorial y el diseño de políticas públicas. La restauración de la laguna no solo contribuirá a la biodiversidad, sino que también fomentará una recuperación integral de su salud ambiental, fortaleciendo los servicios ecosistémicos que brinda.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Generar un diagnóstico ambiental de la laguna San Antonio de Padua, mediante el análisis multitemporal del área de la laguna, índices de calidad y valoración socioeconómica.

1.3.2 Específicos

- Analizar los cambios del área, espejo de agua, uso de suelo y cobertura vegetal de la laguna San Antonio de Padua, mediante un estudio multitemporal en el período desde 2010 hasta el 2023.
- Evaluar la calidad del agua de la laguna San Antonio de Padua, mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos.
- Determinar las principales fuentes de contaminación y presión ambiental que afectan a la laguna San Antonio de Padua, así como su impacto socioeconómico en las comunidades aledañas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Marco Referencial

A lo largo de los años, el problema de la contaminación en lagunas ha recibido atención mediante la implementación de políticas legales, proyectos de conservación, investigación científica, participación comunitaria y cooperación internacional. Sin embargo, la protección y restauración efectivas de estos ecosistemas siguen siendo un desafío constante que requieren esfuerzos continuos y coordinados.

Ruiz et al. (2019), llevaron a cabo el “Diagnóstico ecológico del Humedal Chochoc” ubicado en el distrito de Moche, provincia de Trujillo región La Libertad, Perú. Este estudio utilizó metodologías de campo y laboratorio para evaluar la biodiversidad y la calidad del agua. Se realizaron muestreos de flora y fauna mediante transectos y parcelas, indicando una alta diversidad de especies. Los análisis de calidad del agua incluyeron parámetros como pH, turbidez y concentración de oxígeno disuelto. También, se aplicaron estudios de impacto ambiental mediante observaciones directas y encuestas a la comunidad local. Basándose en teorías de resiliencia ecológica y ecología del paisaje, se evaluó la capacidad del humedal para recuperarse de perturbaciones y se analizó como la configuración espacial del hábitat influye en sus procesos ecológicos. Los resultados mostraron que la contaminación del agua por nitratos y fosfatos, originada en actividades humanas, contribuyó a la sedimentación y la pérdida de vegetación ribereña.

Por su parte, Vizñay (2022) lideró la creación del "Plan de Restauración Ambiental para la laguna San Antonio de Padua en Riobamba". Este proyecto combinó métodos cuantitativos, como análisis de calidad de agua, suelo, determinación del número de individuos de flora y fauna, con metodología cualitativa como entrevistas formales informales, observación participativa y administración de cuestionarios. El diagnóstico incluyó una evaluación preliminar para identificar impactos generales y un análisis más profundo para proponer medidas específicas de mitigación. Los resultados destacaron la contaminación del agua y del suelo, así como la presencia de agentes contaminantes derivados de actividades humanas. Se enfatizó la necesidad de implementar medidas correctivas, como limpiezas periódicas de la laguna y actividades comunitarias, para restablecer el equilibrio ecológico del área.

Ambos estudios reflejan la importancia de integrar enfoques interdisciplinarios y participativos en la restauración de ecosistemas acuáticos. Sus metodologías y hallazgos proporcionan un marco valioso para desarrollar estrategias aplicables a la laguna San Antonio de Padua, enfatizando la sostenibilidad y el compromiso comunitario.

2.2 Marco Legal

Constitución Política de la República del Ecuador

En la constitución del Ecuador en el Título II: Derechos, Capítulo primero: Derechos del Buen Vivir, Sección segunda: Ambiente Sano, manifiesta lo siguiente:

Art. 14.- *“Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”*(Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 14).

Art. 276.- Señala que el régimen de desarrollo tendrá como uno de sus objetivos, *“El recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficiarios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 134).

Art. 411.- *“El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas”* (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.192).

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Art. 6.- *“Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades”* (Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana, 2004).

Art. 10.- *“Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes”* (Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana, 2004, p. 2).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Art. 13.- *“Establece las formas de conservación y protección de fuentes de agua mediante servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y zonas de restricción. Los terrenos adyacentes a cauces públicos estarán sujetos a servidumbre para uso público, regulada por la ley. Para proteger el agua y los ecosistemas asociados, se delimitarán zonas de protección hídrica, requiriendo autorización para cualquier actividad cerca del cauce. Estas disposiciones también se aplican a embalses superficiales. En los acuíferos, se establecerán zonas de restricción donde se regularán las actividades conforme al reglamento”* (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, 2014, p. 6).

Código Orgánico del Ambiente publicado en el registro oficial suplemento 983 del 12 de abril del 2017

Art. 10.- *“De la responsabilidad ambiental. El Estado, las personas naturales y jurídicas, así como las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades, tendrán la obligación jurídica de responder por los daños o impactos ambientales que hayan causado, de conformidad con las normas y los principios ambientales establecidos en este Código”*(Código Orgánico Del Ambiente, 2017, p. 15).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Diagnóstico Ambiental

El diagnóstico ambiental es el proceso de evaluación de los componentes físico-geográficos y socioeconómicos de un territorio, con el objetivo de determinar su estado actual e identificar las principales causas de su deterioro ambiental; además, es crucial para cualquier área que requiera una gestión sostenible de los recursos naturales. Un enfoque integrado permite comprender de manera holística las interacciones entre el medio ambiente y las actividades humanas. Por otro lado, la creación de una línea base es fundamental para analizar la viabilidad ambiental del uso futuro del territorio, dado el aumento de la demanda por parte de programas gubernamentales y del sector privado (Sucoshañay et al., 2021).

2.3.2 Calidad Ambiental

La preocupación por el ambiente ha cobrado gran relevancia a nivel mundial, especialmente debido al deterioro creciente de los elementos fundamentales que sostienen nuestra sociedad, como la reducción de la calidad ambiental. Los problemas ambientales están avanzando rápidamente, como nuevas enfermedades, extinción de especies, desertificación, hambrunas, contaminación del agua, destrucción del patrimonio cultural, agotamiento de recursos y contaminación atmosférica, a una velocidad y magnitud mayores de lo previsto (Cantú, 2020).

2.3.3 Calidad de Suelos

Para evaluar la calidad del suelo y determinar si su uso es ecológicamente sostenible, se emplean índices e indicadores. Los indicadores son propiedades medibles del suelo que afectan su capacidad para cumplir sus funciones, y se dividen en tres categorías: físicas, químicas y biológicas. Los indicadores físicos se relacionan con el uso eficiente del agua, nutrientes y agroquímicos. Los químicos afectan la interacción suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Los biológicos incluyen organismos o procesos que indican cambios en las propiedades o procesos del suelo. Los índices de calidad del suelo, por su parte, son valores numéricos que integran estos indicadores físicos, químicos y biológicos (Sarmiento et al., 2018).

2.3.4 Calidad del Agua

Los cuerpos de agua se caracterizan analizando tres componentes clave: su hidrología, las propiedades fisicoquímicas y los aspectos biológicos. El agua, esencial para la vida, ha sufrido un progresivo deterioro debido a la contaminación de sus fuentes, sin importar su abundancia. Hoy en día, garantizar la disponibilidad de agua en cantidad

suficiente y con buena calidad es una de las mayores prioridades para cualquier población (Sierra, 2021).

2.3.5 Índices de Calidad de Agua (ICA)

La condición de la calidad del agua puede evaluarse a través del análisis de especialistas acerca de parámetros físicos, químicos y biológicos, una herramienta para esta interpretación son los índices de calidad del agua (ICA) la cual facilita la comunicación sobre el estado de un ecosistema acuático a la población, tomadores de decisiones y expertos, al sintetizar grandes cantidades de datos en una sola cifra. El índice puede expresarse mediante colores, símbolos, rangos, números o descripciones verbales, permitiendo evaluar la calidad del agua en términos físicos, químicos y biológicos, en relación con sus condiciones naturales, influencias humanas y usos del agua (Granillo et al., 2022).

2.3.6 Macroinvertebrados

El uso de macroinvertebrados bentónicos empleados como bioindicadores de la calidad de las aguas continentales viene incrementándose en estos últimos años en lo que respecta a la protección de los ambientes acuáticos. El uso de bioindicadores constituye una herramienta importante para la caracterización biológica y ecológica integral de la calidad de agua, necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema entre lagos, lagunas y demás ambientes acuáticos que mantienen una gran diversidad de organismos (Salamanca, 2020).

2.3.7 Análisis Multitemporal

Según Condori et al. (2018) menciona que el análisis multitemporal permite identificar cambios a lo largo de diferentes momentos en el tiempo, facilitando la evaluación de la evolución del entorno natural o el impacto de la actividad humana sobre él.

Por otro lado, para Figueredo et al. (2020) el análisis multitemporal permite detectar cambios en distintos puntos del tiempo, revelando la evolución del entorno natural o el impacto de la actividad humana. Estos estudios son útiles para evaluar la velocidad y extensión geográfica de procesos como la deforestación o reforestación, y para comprender las causas naturales, sociales o económicas de dichos cambios a escalas global, regional y local.

2.3.8 Tomografías de Resistividad Eléctrica

La tomografía de resistividad eléctrica (ERT) se ha utilizado en los últimos años para estudiar diversas propiedades del suelo, como la presencia de horizontes petrocálcicos, flujos preferenciales de agua, extracción de agua por las raíces y variaciones en la humedad, entre otros. Una de sus principales ventajas es que no altera el suelo, además de permitir evaluar variaciones de resistividad tanto laterales como en profundidad. Con el número adecuado de electrodos en superficie y el uso de potentes programas de inversión, se puede obtener una interpretación precisa con un margen de error bajo (Grosso et al., 2020).

2.3.9 Análisis Socioeconómico

El análisis socioeconómico se enfoca en la interacción entre dos componentes fundamentales: el social y el económico. El componente social abarca aspectos como el nivel educativo, las ocupaciones de las personas, el prestigio social, el poder político, la identidad étnica y los antecedentes familiares, los cuales influyen en las oportunidades y el acceso a recursos. Por su parte, el componente económico se relaciona con los ingresos individuales y, en ocasiones, con las condiciones económicas del entorno donde las personas viven. Por ello, estos análisis se realizan para comprender cómo interactúan los factores sociales y económicos en una sociedad, identificar desigualdades y dinámicas de poder, y evaluar las oportunidades de movilidad social. Esta información es clave para diseñar políticas públicas, tomar decisiones empresariales y mejorar el bienestar social (Aqualongo & Garcés, 2020).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación.

Este estudio se enmarca en un tipo de investigación mixta, integrando elementos cuantitativos y cualitativos para desarrollar el diagnóstico de la laguna San Antonio de Padua. El componente cuantitativo incluyó la medición y análisis de variables ambientales mediante indicadores fisicoquímicos y estudios multitemporales. Por otro lado, el componente cualitativo enriqueció la comprensión de los impactos socioeconómicos y las percepciones de las comunidades cercanas a través de consultas bibliográficas, inspección visual y encuestas.

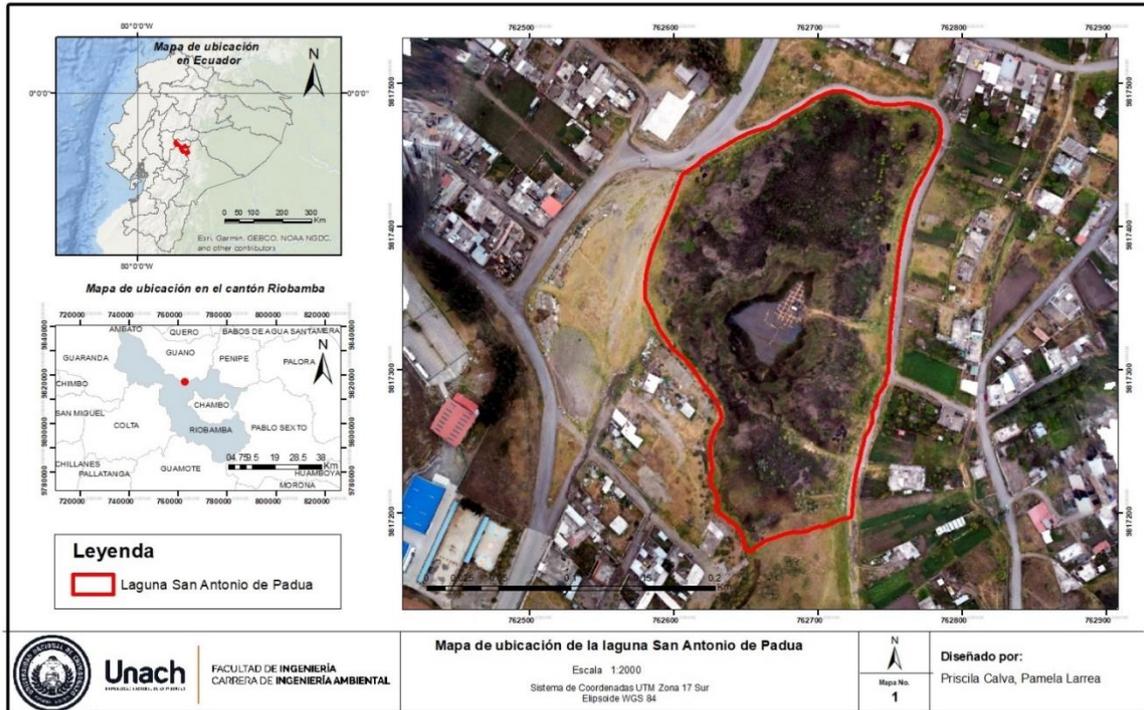
El estudio presenta un enfoque explicativo, en el que se analizaron las causas y efectos de los cambios ambientales en la laguna, identificando las razones detrás de las alteraciones en el área, disminución del espejo de agua y la cobertura vegetal durante el período comprendido entre 2010 y 2023.

3.2 Área de estudio

La laguna San Antonio de Padua está ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Velasco, específicamente en el barrio San Antonio de Padua. Se encuentra a 1.5 km de la carretera intercantonal que conecta Riobamba con Guano, detrás del campus norte de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Sus coordenadas geográficas son 78°38'23.9" W y 1°39'06.51" S, abarcando un área aproximada de 4.7 hectáreas. Está situada a una altitud de 2754 m.s.n.m. en la región interandina, caracterizada por un clima frío, con temperaturas promedio que oscilan entre 11 y 13 °C (Vizñay, 2022).

Figura 1 Ubicación geográfica de la laguna San Antonio de Padua



Nota. El mapa muestra la delimitación del área de estudio mediante una ortofoto tomada en el año 2023.

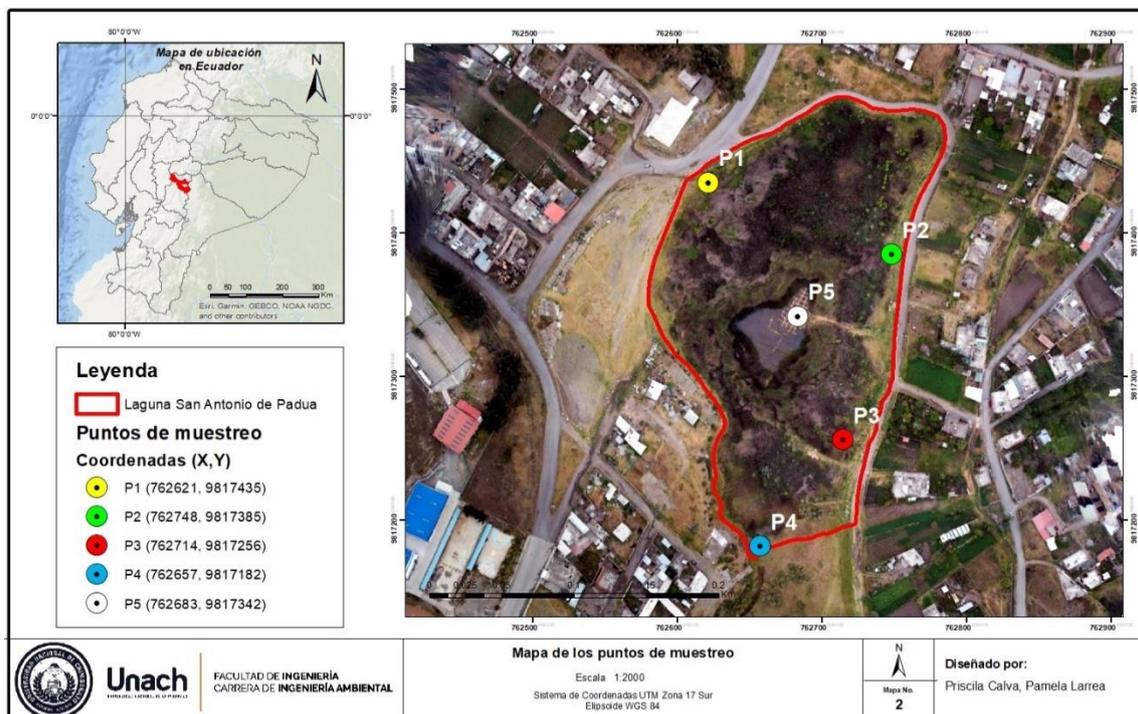
3.3 Puntos de muestreo

La selección de los puntos de muestreo en la laguna se basó en criterios específicos que incluyeron zonas de relleno, infraestructuras viales, áreas residenciales, zonas agrícolas y cuerpos de agua presentes. Con base en estas características, se definieron cinco puntos de muestreo.

De los puntos seleccionados (1 al 5), todos se destinaron al análisis de suelo. Sin embargo, únicamente los puntos 3, 4 y 5 fueron utilizados para el análisis de agua, ya que son los únicos con presencia de cuerpos de agua en la laguna. Esta estrategia de muestreo permitió obtener una representación adecuada de las distintas áreas y usos del terreno, garantizando una evaluación integral de la calidad ambiental y del impacto de las actividades humanas en el ecosistema.

La distribución y ubicación precisa de los puntos de muestreo se presenta en la Figura 2, donde se destacan las características y criterios considerados para su selección.

Figura 2 Ubicación de los puntos de muestreo



Nota. El mapa indica la localización de los puntos que se tomaron en cuenta para el muestreo de calidad de agua y suelo.

3.3 Análisis en los cambios del área, espejo de agua, cobertura vegetal y uso de suelo

3.3.1 Biodiversidad

Para la determinación de la biodiversidad, se consideraron criterios específicos para flora y fauna, contando con la colaboración de un biólogo durante los recorridos de campo. En este proceso, se registraron especies representativas de flora y fauna acuática y ribereña, elaborándose un inventario detallado que permitió evaluar la composición y el estado de la biodiversidad en el área de estudio.

Para el estudio de flora, se empleó la metodología de transectos sistemáticos propuesta por Bonifacio (2000). Esta metodología incluyó el uso de una cámara fotográfica para documentar las especies observadas y la aplicación *PictureThis* como herramienta complementaria para su identificación.

En cuanto al análisis de fauna, se asignó la metodología de transectos sistemáticos, basada en las recomendaciones de Gastelum et al. (2020). La observación directa fue la herramienta principal, apoyada por el uso de una cámara fotográfica para documentar la presencia y el comportamiento de las especies. Adicionalmente, se utilizó la aplicación *Picture Insect* para la identificación de insectos.

3.3.2 Tomografías eléctricas de resistividad

Se utilizó la metodología de tomografía de resistividad eléctrica, basada en Mendoza et al. (2018), para caracterizar el área de estudio y analizar la distribución de contaminantes en suelo y agua. El proceso incluyó las siguientes etapas:

- **Definición de puntos de monitoreo:** Se seleccionaron lugares representativos del área de estudio para ubicar los puntos de medición de resistividad eléctrica.
- **Configuración del equipo Syscal Pro:** Se preparó y calibró el equipo, compuesto por cables de 240 metros, 48 electrodos espaciados a 5 metros y un GPS para garantizar mediciones precisas. Los electrodos generaron y midieron campos eléctricos calculando la resistividad a profundidades de hasta 60 metros.
- **Adquisición de datos:** Durante tres días, se llevaron a cabo mediciones en los puntos establecidos, obteniendo información sobre las propiedades del suelo y agua.
- **Procesamiento de datos:** Los datos recolectados fueron analizados mediante el software *Res2dinv*, generando modelos 2D y 3D de los perfiles eléctricos. Estos modelos fueron correlacionados con datos geológicos y perforaciones, identificando zonas de alta y baja conductividad, esenciales para delimitar la presencia de contaminantes.
- **Evaluación del potencial hidrogeológico:** Se determinó la capacidad del suelo para almacenar y transmitir agua subterránea, analizando las condiciones hidrogeológicas del área.
- **Propuestas de conservación de aguas subterráneas:** Basándose en los resultados, se sugirieron medidas para proteger y conservar las aguas subterráneas con la asistencia técnica de un especialista ambiental.

3.3.3 Nivel freático

Para determinar el nivel freático en la zona de estudio, se llevaron a cabo tres calicatas de observación, aplicando el enfoque propuesto por Fernández (2019), quien sugiere el uso de métodos manuales y accesibles para estudios hidrogeológicos preliminares. La ejecución contó con el respaldo del Consejo Provincial, entidad que proporcionó una gallineta, herramienta manual empleada para perforar el terreno.

Cada calicata fue excavada hasta alcanzar una profundidad de 2 metros y presentaba una forma rectangular de 3 metros de largo por 2 metros de ancho, dimensiones que facilitaron el acceso y la visibilidad necesarias para realizar las mediciones con precisión.

El monitoreo del nivel freático se efectuó en dos periodos distintos: primero, durante los meses de agosto y septiembre de 2023, y posteriormente, entre octubre de 2024 y enero de 2025. Esta doble temporalidad permitió identificar variaciones estacionales en el comportamiento del agua en la laguna.

Una vez abiertas las calicatas, se procedió a medir el nivel freático utilizando una regleta larga graduada. La técnica consistía en introducirla verticalmente hasta que hiciera un contacto leve con el fondo, evitando ejercer presión o penetrar el suelo. Posteriormente, se observaba visualmente hasta qué altura la regleta quedaba sumergida, lo cual permitía establecer con exactitud la profundidad del nivel freático respecto a la superficie. Este método, aunque simple, resultó eficaz para obtener datos directos en campo de manera ágil y sin requerir equipos especializados.

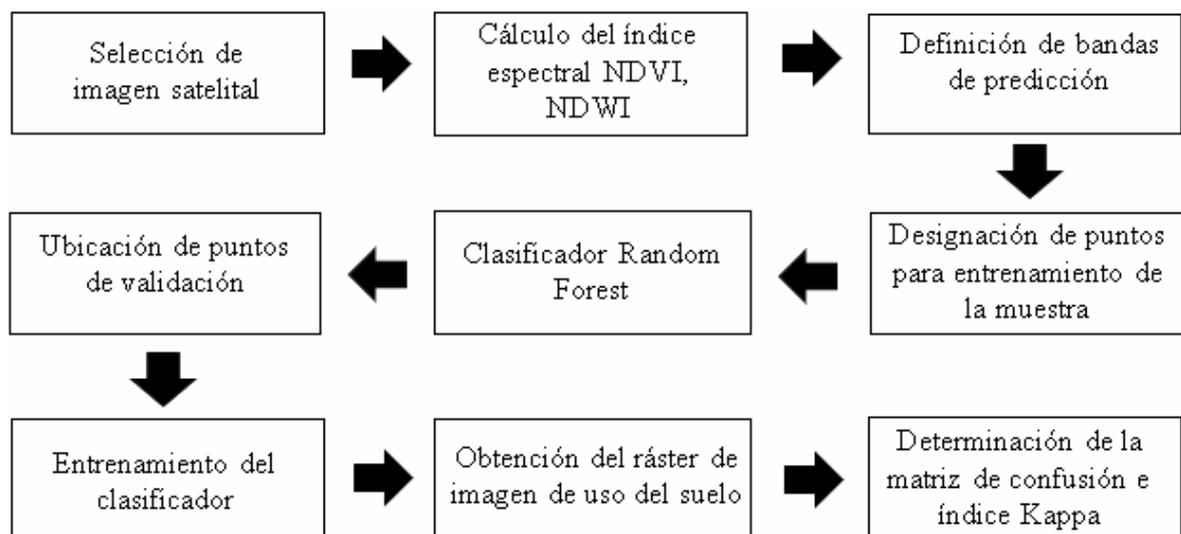
3.3.4 Análisis multitemporal

La metodología aplicada se realizó mediante técnicas de teledetección, utilizando la plataforma Google Earth Engine (GEE), y el uso de la plataforma Google Earth Engine (GEE), siguiendo la metodología propuesta por Flórez et al. (2017). Este enfoque incluyó:

- **Selección de puntos de muestreo representativos:** Se identificaron puntos que abarcaban diferentes tipos de cobertura del suelo, asegurando una muestra precisa y representativa del área.
- **Clasificación supervisada:** Algoritmos como *Random Forest* y árboles de decisión fueron empleados para clasificar las imágenes satelitales en categorías de uso del suelo, utilizando puntos de muestreo y datos de análisis previos.
- **Comparación de imágenes multitemporales:** Se analizaron 3 imágenes satelitales del periodo 2010-2023, permitiendo identificar transformaciones significativas en el uso del suelo y cobertura vegetal.
- **Validación de resultados:** Los resultados fueron evaluados mediante métricas como el índice Kappa y la matriz de confusión, asegurando su precisión y fiabilidad.

Para determinar el uso de suelo en el área de estudio, se aplicó la metodología de clasificación supervisada presentada en la Figura 3:

Figura 3 Esquema para realizar la clasificación supervisada



Se utilizó la matriz de confusión y el índice Kappa para corregir los errores aleatorios en la clasificación y evaluar la precisión de los datos obtenidos. La matriz de confusión permitió comparar las clases predichas con las clases reales del área de estudio, calculando la precisión global a partir del número de píxeles correctamente clasificados. Por su parte, el índice Kappa permitió medir la concordancia entre los datos observados y los predichos, utilizando los valores de la diagonal de la matriz de confusión para calcular su exactitud, lo que proporcionó una evaluación más robusta de la fiabilidad del modelo de clasificación (González et al., 2024).

En este sentido Cohen propuso el denominado índice kappa (K), que definió como:

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

P_0 = Concordancia observada

P_e = Concordancia esperada por azar

$1 - P_e$ = Máxima concordancia definida por el índice Kappa

Los valores del índice Kappa varían de -1 a +1 como se observa en la Tabla 1, y de acuerdo con el valor obtenido se observó el grado de confiabilidad de la clasificación.

Tabla 1

Grado y porcentaje de confiabilidad del índice Kappa

Valor K	Fuerza de concordancia	K (%)
< 0.21	Pobre	< 21
0.21 – 0.40	Débil	21 – 40
0.41 – 0.60	Moderado	41 – 60
0.61 – 0.80	Buena	61 – 80
0.81 - 1	Muy buena	81 - 100

Nota. Esta tabla interpreta el nivel de concordancia entre las clases observadas y las predicciones, con valores cercanos a 1 indicando una alta confiabilidad.

3.3.5 Análisis fisicoquímico del suelo

El análisis fisicoquímico del suelo fue realizado utilizando métodos propuestos por la Epa (1996) como el método 3050B para la determinación de metales pesados, junto con otros procedimientos estandarizados. Los métodos aplicados en cada parámetro se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2*Metodología para el análisis fisicoquímico del suelo*

Parámetros	Métodos	Unidades
pH	EPA 9045 D	-
Temperatura	STANDARD METHODS 2550 B	°C
Conductividad	EPA 9045 C mod	μS/cm
OD	STANDARD METHODS 4500 O	%
Nitrógeno	MÉTODO INTERNO NESSLER	mg/kg
Calcio	EPA SW – 846 METODO 3050 B	mg/kg
Potasio	EPA SW – 846 METODO 3050 B	mg/kg
Magnesio	EPA SW – 846 METODO 3050 B	mg/kg
Sodio	EPA SW – 846 METODO 3050 B	mg/kg
Plomo	EPA SW – 846 METODO 3050 B	mg/kg
Zinc	EPA SW – 846 METODO 3050 B	mg/kg
Coliformes fecales	STANDARD METHODS 9221 - B	NMP/100mL
Coliformes totales	STANDARD METHODS 9221 - C	NMP/100mL

Nota: La tabla detalla los parámetros analizados en el suelo, especificando los métodos utilizados, como procedimientos estandarizados de la *EPA* y *Standard Methods*, junto con las unidades de medida correspondientes.

3.3.6 pH

La medición del pH se realizó preparando una mezcla de 10 gramos de suelo con 25 mL de agua destilada, la cual se agitó durante 30 minutos. Posteriormente, el pH se determinó en la parte líquida que quedó en la superficie de la mezcla, sin agitar, utilizando un pH-metro (EPA, 1996).

3.3.7 Conductividad

Para medir la conductividad eléctrica, se preparó una mezcla de 10 gramos de suelo con 25 mL de agua destilada, la cual se agitó durante 30 minutos. Luego, se dejó reposar la mezcla, y la conductividad eléctrica fue medida utilizando un conductímetro (Mendoza et al., 2022).

3.3.7.1 Temperatura

La temperatura se midió utilizando un equipo multiparámetro y el método electrométrico 4550-H + B, según lo establecido en *Standard Methods* (2017). Para ello, se preparó una mezcla de 10 gramos de suelo con 25 mL de agua destilada, la cual se agitó

durante 30 minutos. Posteriormente, se sumergió la sonda en el agua, se realizó la medición una vez que esta se estabilizó y se registró el valor de la temperatura en °C.

3.3.7.2 Oxígeno disuelto

Para medir el oxígeno disuelto se realizó con un equipo multiparámetro empleando el método de electrodo de membrana 4500-O G de Standard Methods (2017). Se preparó una mezcla de suelo y agua destilada, que fue agitada durante 30 minutos. Luego, se sumergió la sonda en el cuerpo de agua, asegurando su cobertura total, y se registraron los valores estabilizados de oxígeno disuelto en mg/L y %. Finalmente, la sonda se lavó con agua destilada para su reutilización.

3.3.7.3 Nitrógeno

El contenido de nitrógeno amoniacal se determinó mediante el método colorimétrico de Nessler (HACH, 2000). Se preparó un blanco con agua destilada y, a cada muestra, se añadieron estabilizador mineral, alcohol polivinílico y reactivo de Nessler. Tras agitar y reposar, las muestras se midieron en un espectrofotómetro configurado con el código 380, utilizando el blanco para calibrar. Los resultados, expresados en mg/L de amoníaco como nitrógeno (NH₃-N), se obtuvieron alternando las muestras con el blanco.

3.3.7.4 Calcio, potasio, magnesio, sodio, plomo, zinc

La preparación de muestras sólidas para determinar metales se realizó siguiendo el método de Epa (1996) para digestión ácida. Se pesó una alícuota de la muestra, que fue sometida a digestión con ácido nítrico, oxidación con peróxido de hidrógeno y digestión secundaria con ácido clorhídrico, aplicando calentamientos controlados para liberar los metales. Tras filtrar y diluir el extracto obtenido, este se analizó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS).

3.3.7.5 Coliformes fecales y totales

El análisis de coliformes fecales y totales se realizó mediante la técnica de filtro de membrana (Standard Methods, 2017) empleando placas PetriFilm para *E. coli*. Tras preparar una mezcla de suelo y agua destilada, se depositó una alícuota en la placa, que se incubó a 30 °C por 24-48 horas. Las colonias se identificaron por su color (azul para fecales y rojizo para totales), contando y estimando los coliformes según su abundancia. Finalmente, las placas fueron selladas y almacenadas a 5 °C.

3.3.7.6 Materia orgánica

Se utilizó el método de Lost-Ignition aplicado por B. Mendoza et al. (2021), inicialmente, las muestras de suelo se secaron al aire durante un periodo de 24 a 48 horas, luego se tamizaron con un tamiz de 2 mm y después con uno de 0,5 mm. Posteriormente, se colocaron 5 gramos de suelo en un crisol, el cual fue previamente pesado y etiquetado. El

crisol se sometió a calcinación en una mufla a 550 °C durante dos horas. Una vez transcurrido el tiempo, el crisol se dejó enfriar durante una hora y, finalmente, se calculó la pérdida de peso utilizando la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{((\text{Peso muestra}(5g)) - \text{Peso de calcinación a } 550\text{ }^{\circ}\text{C})}{\text{Peso muestra}(5g)} * 100\% \quad (\text{Ec. } 2)$$

$$\%C.O = 1,724 * \% MO \quad (\text{Ec. } 3)$$

Dónde:

% M.O = Porcentaje de materia orgánica

% C.O = Porcentaje de carbono orgánico

3.4 Evaluación de la calidad del agua mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos

3.4.1 Análisis fisicoquímico del agua

El análisis fisicoquímico del agua se realizó siguiendo los métodos estandarizados establecidos por el manual Standard Methods (2017). Cada parámetro fue medido utilizando la metodología correspondiente, tal como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Metodología para el análisis fisicoquímico del agua

Parámetros	Métodos	Unidades
pH	STANDARD METHODS 4500 - H B	-
Temperatura	STANDARD METHODS 2550 B	°C
Conductividad	STANDARD METHODS 2510 - B	µS/cm
OD	STANDARD METHODS 4500 O - G mod	%
Turbidez	STANDARD METHODS 2130 B	NTU
DBO	STANDARD METHODS 5210 - B	mg O ₂ /L
Nitratos	STANDARD METHODS 4500 - NO ₃ - Emod	mg/L
Nitritos	STANDARD METHODS 4500 - NO ₂ - Bmod	mg/L
Fosfatos	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	mg/L
Coliformes fecales	STANDARD METHODS 9221 - B	NMP/100 mL
Coliformes totales	STANDARD METHODS 9221 - C	NMP/100 mL
Nitrógeno	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	mg/L
Calcio	STANDARD METHODS 3500 Ca 3111B	mg/L
Potasio	STANDARD METHODS 3500 K - B	mg/L
Magnesio	STANDARD METHODS 3500 Mn - 3111B	mg/L

Plomo	STANDARD METHODS 3500 Pb - 3111B	mg/L
Cobre	STANDARD METHODS 3500 - Cu - 3111B	mg/L

Nota: La siguiente tabla muestra los métodos utilizados para el análisis fisicoquímico del agua, basados en los procedimientos establecidos en el manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

3.4.2 pH

El pH se determinó utilizando un equipo pH/Ion mediante el método electrométrico 4500 H+B (Standard Methods, 2017). La muestra se colocó en un vaso, y la sonda se sumergió hasta estabilizarse, registrándose el valor obtenido. Al finalizar, la sonda se limpió con agua destilada para su reutilización.

3.4.3 Temperatura

La medición de la temperatura se realizó con un equipo multiparámetro siguiendo el método electrométrico 4550-H + B (Standard Methods, 2017). La sonda se sumergió en el cuerpo de agua, y, tras esperar a su estabilización, se registró la temperatura en grados Celsius (°C). Finalmente, la sonda se limpió con agua destilada para garantizar su correcto estado para futuras mediciones.

3.4.4 Conductividad

La medición de la conductividad eléctrica se realizó con un equipo multiparámetro siguiendo el método 2510 B (Standard Methods, 2017). Se sumergió la sonda en el agua, se presionó la tecla de medición y se esperó a que la sonda se estabilizara. Luego, se registró el valor en microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y, finalmente, se limpió la sonda con agua destilada para su preparación para futuras mediciones.

3.4.5 Oxígeno disuelto

La determinación del oxígeno disuelto se realizó con un equipo multiparámetro utilizando el método de electrodo de membrana 4500-O G (Standard Methods, 2017). Se sumergió la sonda en el agua, asegurando que cubriera completamente la membrana del electrodo, luego se presionó la tecla de medición y se esperó a que la sonda se estabilizara. Los valores de oxígeno disuelto se registraron en mg/L y porcentaje (%), y al final, la sonda se lavó con agua destilada para su preparación para mediciones posteriores.

3.4.6 Turbidez en el agua

La medición de turbidez se realizó con un turbidímetro siguiendo el método nefelométrico 2130 B (Standard Methods, 2017). Se agitó la muestra de agua durante 1 minuto, luego se colocaron 25 mL en una celda de vidrio, que se insertó en el turbidímetro. El valor de turbidez se registró una vez que el equipo alcanzó la estabilización.

3.4.7 DBO₅

La medición de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) se realizó con un equipo multiparámetro siguiendo el método 5210 B (Standard Methods, 2017). Se prepararon 2 litros de agua aireada con reactivos como MgSO₄, FeCl₃, CaCl₂ y tampón (*buffer*), que fueron añadidos a agua destilada. La mezcla se saturó con oxígeno en una bomba de vacío durante 1 hora. Se preparó una mezcla de agua de muestra y agua de dilución, que se transfirió a frascos Winkler. Tras insertar la sonda y estabilizar el equipo, se registraron los valores de oxígeno, y luego se incubaron las muestras por 5 días antes de registrar los valores finales.

3.4.8 Nitritos

La medición de nitritos en agua se realizó con un espectrofotómetro utilizando el método Nitrógeno (Nitrito) 4500 NO₂-B, modificado según el método HACH 8507 (Standard Methods, 2017), con un rango de 0 a 0.30 mg/L de NO₂. Se preparó un blanco con 25 mL de muestra sin reactivos y luego se colocaron 10 mL de muestra en una celda de vidrio, añadiendo el reactivo Nitriver 3 y agitándolo por 1 minuto. Después de esperar 20 minutos para la reacción, se limpió la celda y se configuró el espectrofotómetro con el código 371. Se introdujo el blanco para obtener el valor cero y luego se leyó el valor de la muestra en mg/L de NO₂.

3.4.9 Nitratos

La medición de nitratos en agua se realizó utilizando un espectrofotómetro, aplicando el método Nitrógeno (Nitrato) 4500 NO₃-E, modificado según el método HACH 8039, con un rango de medición de 0.3 a 132.8 mg/L de NO₃ (Standard Methods, 2017). Este procedimiento permite determinar la concentración de nitratos en las muestras, utilizando el reactivo Nitraver 5 para muestras de 10 mL. El código del parámetro en el espectrofotómetro fue 355-Nitratos RA (Rango Alto) PP (132.8 mg/L).

3.4.10 Fosfatos

La medición de nitratos en agua se realizó con un espectrofotómetro utilizando el método Nitrógeno (Nitrato) 4500 NO₃-E, modificado según el método HACH 8039 (Standard Methods, 2017), con un rango de 0.3 a 132.8 mg/L de NO₃. Se preparó un blanco con 25 mL de muestra sin reactivos, luego se colocaron 10 mL de muestra en una celda de vidrio, añadiendo el reactivo Nitraver 5 y agitándolo por 1 minuto. Tras esperar 5 minutos para la reacción, se limpió la celda y se configuró el espectrofotómetro con el código 355. Se introdujo el blanco para obtener el valor cero y, finalmente, se leyó el valor de la muestra en mg/L de NO₃.

3.4.11 Nitrógeno

La medición de nitrógeno amoniacal en agua se realizó con un espectrofotómetro utilizando el método de *Nessler* para Nitrógeno Amoniacal (NH₃-N), con el código 380-N Amoniacal Ness. Se preparó un blanco con agua destilada y, en cada muestra de 25 mL, se

añadieron 3 gotas de estabilizador mineral, 3 gotas de alcohol de polivinilo y 1 mL de reactivo de Nessler, agitando durante 1 minuto. Tras esperar 1 minuto para completar la reacción, se limpió la celda y se configuró el espectrofotómetro con el código 380. Se calibró el equipo con el blanco y luego se midieron las muestras, reportando los resultados en mg/L de amoníaco como nitrógeno (NH₃-N).

3.4.12 Coliformes fecales y totales

La medición de coliformes fecales y totales en agua se realizó con la técnica de filtro de membrana y el método 9222 (Standard Methods, 2017), utilizando placas PetriFilm para *E. coli*. Se añadió 1 mL de muestra sobre la placa PetriFilm, se distribuyó homogéneamente y se incubó a 30 °C durante 24 a 48 horas. Las colonias fecales se identificaron como burbujas azules, mientras que las totales se sumaron con las rojizas. Se contaron las colonias y, en caso de ser necesario, se estimaron multiplicando el número de colonias por 20. Las placas fueron almacenadas en un congelador a 5 °C.

3.4.13 Calcio

La medición de calcio en agua se realizó con el método 3500-Ca 3111B (Standard Methods, 2017), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Se prepararon soluciones patrón de calcio para calibrar el equipo y se filtró la muestra para eliminar sólidos suspendidos. Se añadió un reactivo amortiguador de pH para asegurar las condiciones adecuadas para la medición. La muestra se introdujo en el espectrofotómetro, configurado con una lámpara de cátodo hueco de calcio, y se registró la lectura en mg/L de calcio, realizando correcciones si hubo interferencias.

3.4.14 Potasio

La medición de potasio en agua se realizó con el método 3500-K B (Standard Methods, 2017), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Se prepararon soluciones patrón de potasio para establecer la curva de calibración y se filtró la muestra para eliminar partículas que pudieran interferir. La muestra se introdujo en el espectrofotómetro de absorción atómica, utilizando el filtro adecuado para medir la emisión de potasio. Finalmente, se registró la lectura en mg/L y se verificaron los valores con las soluciones patrón.

3.4.15 Magnesio

La medición de magnesio se realizó con el método 3500-Mg 3111B (Standard Methods, 2017), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Se preparó la curva de calibración con soluciones estándar de magnesio y se filtró la muestra para eliminar sólidos suspendidos. El pH de la muestra se ajustó con un tampón específico para evitar interferencias. La muestra se introdujo en el espectrofotómetro, configurado con la lámpara de cátodo hueco de magnesio, y se registró el resultado en mg/L de magnesio, confirmando los valores con los estándares.

3.4.16 Plomo

La medición de magnesio se realizó con el método 3500-Mg 3111B (Standard Methods, 2017), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Se preparó la curva de calibración con soluciones estándar de magnesio y se filtró la muestra para eliminar sólidos suspendidos. El pH de la muestra se ajustó con un tampón específico para evitar interferencias. La muestra se introdujo en el espectrofotómetro, configurado con la lámpara de cátodo hueco de magnesio, y se registró el resultado en mg/L de magnesio, confirmando los valores con los estándares.

3.4.17 Cobre

La medición de cobre se realizó con el método 3500-Cu 3111B (Standard Methods, 2017), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Se preparó una curva de calibración con soluciones estándar de cobre, y se filtró y acidificó la muestra para estabilizar el cobre presente. Se añadieron un reactivo complejante y un tampón para garantizar un análisis preciso. La muestra se colocó en el espectrofotómetro, utilizando la lámpara de cátodo hueco de cobre, y se registró la concentración de cobre en mg/L, validando los resultados frente a las soluciones patrón.

3.5 Análisis de cumplimiento de la normativa nacional Acuerdo Ministerial No. 097-A y evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

La metodología aplicada para el análisis de cumplimiento de la normativa nacional según el Acuerdo Ministerial No. 097-A, (2015) y la evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA) se basó en comparar los datos obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ecuatoriana. Este procedimiento permitió verificar si los parámetros de calidad del agua observados en la laguna cumplían con los estándares legales vigentes.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) fue utilizado como una herramienta estandarizada para sintetizar múltiples parámetros fisicoquímicos en un único valor representativo de la calidad del agua en cuerpos superficiales. En este estudio, se consideraron nueve parámetros clave: coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos, fosfatos, cambio de temperatura, turbidez, sólidos disueltos y oxígeno disuelto.

Cada parámetro fue ponderado asignándole un peso específico (w_i) en función de su relevancia para la calidad general del agua. Posteriormente, se calcularon subíndices (Subi) individuales para cada parámetro. Los subíndices se combinaron mediante una fórmula ponderada para obtener un único valor de ICA, que oscila entre 0 y 100, donde valores más altos indican mejor calidad del agua. La ecuación utilizada para calcular el ICA fue la siguiente:

$$ICA = \sum (Subi \times w_i) \quad (Ec. 4)$$

La metodología del ICA fue propuesta por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET, 2018), con el objetivo de evaluar la calidad de los cuerpos de agua superficiales mediante una síntesis de diversos parámetros fisicoquímicos en un único valor comprensible y comparativo como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4

Valor general del ICA

Valor general ICA	Calificación	Color
0 - 25	Muy mala	
26 - 50	Mala	
51 - 70	Regular	
71 - 90	Buena	
91 - 100	Muy buena	

Nota. La tabla muestra la clasificación del Índice de Calidad del Agua (ICA) en cinco categorías según rangos de valores entre 0 y 100, asociados a un código de color para facilitar su interpretación.

3.5.1 Análisis biológico

Se aplicó la metodología basada en la técnica de pateo mediante una red Surber, adecuada para corrientes poco profundas presentes en la laguna (Carrera & Fierro, 2001). Esta técnica permitió la captura eficiente de macroinvertebrados, los cuales fueron recolectados in situ utilizando una bandeja de loza blanca y un envase de boca ancha con alcohol al 70-75% para preservar las muestras durante su transporte al laboratorio.

En el laboratorio y con el apoyo de un técnico ambiental, las muestras recolectadas fueron sometidas a los siguientes procesos:

- **Tamizado:** Separación de macroinvertebrados del material particulado, empleando mallas de diferentes tamaños para eliminar restos orgánicos e inorgánicos.
- **Separación:** Clasificación de macroinvertebrados por grupos morfológicos, utilizando bandejas y pinzas bajo iluminación controlada.
- **Análisis:** Observación de las características morfológicas de los organismos mediante lupas o microscopios.
- **Identificación:** Determinación taxonómica a nivel de familias o especies utilizando guías especializadas.
- **Registro:** Documentación sistemática de los datos recolectados, incluyendo cantidad, clasificación y características observadas, en tablas o software especializado.

3.5.2 Índices de calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua, se emplearon dos índices ampliamente utilizados en ecosistemas andinos, siguiendo la metodología aplicada por Déley & Santillán (2016):

3.5.3 Índice ABI (Andean Biotic Index)

Este índice se diseñó específicamente para evaluar la calidad del agua en ecosistemas andinos, utilizando como referencia la tolerancia de las familias de macroinvertebrados a la contaminación, como se detalla en la Tabla 5. Este índice clasifica a las familias en 10 niveles, según su sensibilidad o resistencia a condiciones de estrés ambiental, asignándoles puntuaciones que van del 1 al 10. Un valor de 1 indica una alta tolerancia a la contaminación, mientras que un valor de 10 refleja una baja tolerancia, ofreciendo así una herramienta específica y adaptada para ecosistemas de alta montaña.

Tabla 5

Clasificación de calidad del agua según el índice ABI

Rango	Calidad
> 96	Muy buena
59 – 96	Buena
36 – 58	Regular
< 35	Malo

Nota. La tabla clasifica la calidad del agua en cuatro categorías utilizando rangos numéricos para evaluar el impacto ambiental en zonas andinas.

3.5.4 Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)

El índice BMWP evalúa la calidad del agua a través de la asignación de valores de tolerancia a la contaminación para las familias de macroinvertebrados. De esta manera, el índice se basa en la sensibilidad de las familias a la calidad del agua, proporcionando una herramienta sencilla pero robusta para clasificar el nivel de contaminación de cuerpos de agua. Cada familia de macroinvertebrados recibe una puntuación específica, donde las especies más sensibles, indicadoras de aguas limpias, obtienen el puntaje máximo de 10, y las más tolerantes, asociadas a aguas más contaminadas, reciben el valor mínimo de 1. La suma total de estas puntuaciones permite clasificar el nivel de contaminación del cuerpo de agua analizado, como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6

Rangos del índice BMWP

Clase	Rango	Calidad	Características	Color
I	121	Muy buena	Aguas muy limpias	Celeste

II	101 – 120	Buena	Aguas limpias	Azul
III	61 – 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminadas	Verde
IV	36 – 60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo
V	16 – 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Mostaza
VI	15	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Nota. Esta tabla clasifica la calidad del agua en seis niveles, desde muy buena hasta muy crítica, asignando colores y rangos específicos para facilitar la evaluación del estado ambiental.

3.6 Determinación de fuentes de contaminación y presión ambiental

La metodología aplicada para este análisis consistió en el método de observación directa (Gavidia, 2022) y exploración en campo, basado en una salida programada de un día. Durante la visita, se realizó una inspección detallada de las áreas circundantes a la laguna, identificando posibles fuentes de contaminación, como vertidos agrícolas y domésticos, documentando las actividades humanas que ejercen presión sobre el ecosistema. Se recopilaron evidencias visuales mediante fotografías tomadas con una cámara, las cuales registraron las áreas afectadas y las posibles fuentes contaminantes, sirviendo como base para el análisis posterior.

3.7 Análisis socioeconómico

El enfoque metodológico fue de tipo cuantitativo-descriptivo, diseñado para recopilar información sobre las características socioeconómica de la población y su percepción ambiental en relación con la laguna de San Antonio de Padua. Este método permitió analizar variables específicas de la población, como su relación con la laguna, los problemas ambientales percibidos y el impacto socioeconómico.

3.8 Tipo de muestreo y determinación del tamaño de la muestra

Se empleó un muestreo aleatorio simple, asegurando que todos los individuos de la población tuvieran igual probabilidad de ser seleccionados (Bautista et al., 2020). El tamaño de la muestra se calculó utilizando la fórmula para poblaciones finitas propuesta por Salgado (2019):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

N= Tamaño de la población

Z= Nivel de confianza

p= Probabilidad de éxito, o proporción esperada

q= Probabilidad de fracaso

e= Precisión, error máx. admisible

3.8.1 Diseño y aplicación de la encuesta

La encuesta se estructuró en varias secciones como se detalla en la Tabla 7, abarcando aspectos socioeconómicos, ambientales y de percepción sobre la laguna.

Tabla 7

Preguntas generales de las encuestas

Sección	Preguntas Generales
Características socioeconómicas	Información personal básica (edad, ocupación, nivel educativo).
	Ingresos aproximados del hogar.
Opinión sobre la laguna	Percepción sobre el estado actual de la laguna.
	Importancia de la laguna para la comunidad y el ecosistema.
Uso y dependencia económica	Uso de la laguna para actividades económicas o recreativas.
	Dependencia económica de la laguna.
Problemas ambientales	Identificación de los principales problemas ambientales.
	Opinión sobre el impacto de estos problemas en la calidad de vida.

Nota. La tabla presenta un resumen general de las preguntas incluidas en la encuesta aplicada, estas abordan aspectos socioeconómicos, ambientales y de percepción sobre la laguna.

3.8.2 Análisis de datos de las encuestas

Los datos recolectados fueron procesados mediante *Microsoft Forms*, una herramienta que facilitó la organización y el análisis estadístico. La plataforma permitió generar gráficos, tablas y resúmenes descriptivos de forma automática, identificando tendencias y relaciones relevantes entre variables, como el nivel educativo, las actividades económicas relacionadas con la laguna y las percepciones sobre el impacto ambiental.

3.8.3 Entrevistas

Se realizaron entrevistas cualitativas a actores clave con conocimiento sobre los procesos y la situación de la laguna. Entre los entrevistados estuvo el presidente del barrio Segundo Amaguaña, quien aportó información valiosa sobre las problemáticas comunitarias y el contexto local. Asimismo, se entrevistó a moradores cercanos a la laguna, quienes compartieron experiencias sobre su relación con el ecosistema, el uso de los recursos y el impacto ambiental percibido en su vida cotidiana.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Flora

Según el Anexo A, se registraron 48 especies de flora, distribuidas en distintas familias botánicas, entre las que destacan Asteraceae, Fabaceae, Solanaceae y Rosaceae. Las especies identificadas corresponden a diferentes estratos vegetales, incluyendo herbáceas, arbustos y árboles, lo que evidencia una considerable diversidad estructural.

Este ecosistema está dominado por totoras (*Schoenoplectus californicus*), las cuales cubren una gran parte de la superficie de la laguna y alcanzan hasta dos metros de altura. Estas especies desempeñan un papel crucial en el ecosistema, brindando refugio a la fauna y contribuyendo a la estabilidad ecológica del área.

Entre otras especies relevantes se encuentran la Chilca (*Baccharis latifolia*), con amplia distribución en zonas andinas; y el Álamo blanco (*Populus alba*), característico de áreas ribereñas. Esta composición florística refleja la existencia de distintos microambientes en torno a la laguna San Antonio de Padua, desde sectores húmedos hasta zonas con intervención antrópica moderada.

4.1.2 Fauna

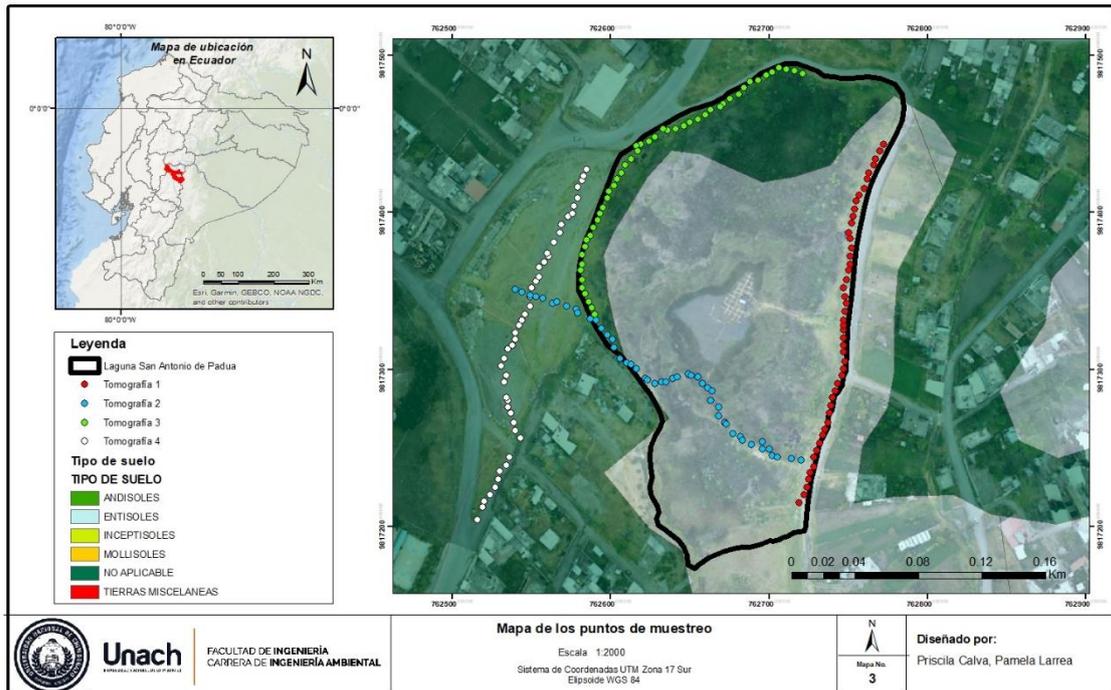
De acuerdo con el Anexo B, se identificaron 32 especies de fauna, siendo los insectos el grupo más representativo. Se destacan especies como la abeja melífera europea (*Apis mellifera*), la mariposa naranja azufre (*Colias eurytheme*) y la libélula rayadora (*Crocothemis erythraea*), que cumplen funciones ecológicas relevantes como la polinización y el control biológico. En el grupo de aves se registraron especies residentes como el gorrión criollo (*Zonotrichia capensis*), el colibrí colilargo (*Lesbia victoriae*) y la tortolita croante (*Columbina cruziana*). Además, se observó la presencia de vertebrados domésticos, como la vaca (*Bos taurus*), la oveja (*Ovis orientalis aries*) y el perro mestizo (*Canis lupus familiaris*), lo que indica la intervención humana en los alrededores de la laguna. En conjunto, la fauna registrada revela una comunidad adaptada a condiciones de borde urbano-rural, con interacciones propias de ecosistemas modificados, pero aún funcionales.

4.1.3 Tomografías de resistividad eléctrica

En la Figura 4 se presenta el mapa de ubicación de los puntos de muestreo y tomografías de resistividad eléctrica realizadas en la laguna. Este análisis incluyó cuatro tomografías, representadas con diferentes colores, que reflejan variaciones en la resistividad eléctrica del subsuelo. Dichas variaciones están asociadas a cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, como el contenido de agua, la salinidad y la composición del suelo.

Los resultados identificaron tipos de suelo predominantes en la zona, entre los cuales destacan Andisoles, Entisoles, Inceptisoles y Mollisoles. Además, se identificaron áreas clasificadas como "no aplicable" o "tierras misceláneas". Estas categorías permiten vincular las variaciones observadas con los tipos de suelo y la geología local, proporcionando información clave para comprender las condiciones del subsuelo y su relación con los procesos ecológicos de la laguna.

Figura 4 Ubicación de puntos para las tomografías de resistividad eléctrica



Nota. Los puntos para las tomografías de resistividad eléctrica en la laguna fueron ubicados estratégicamente por la presencia de rellenos, cuerpos de agua y comunidades cercanas, lo que permite evaluar de manera integral el subsuelo y la dinámica hídrica en esas áreas clave.

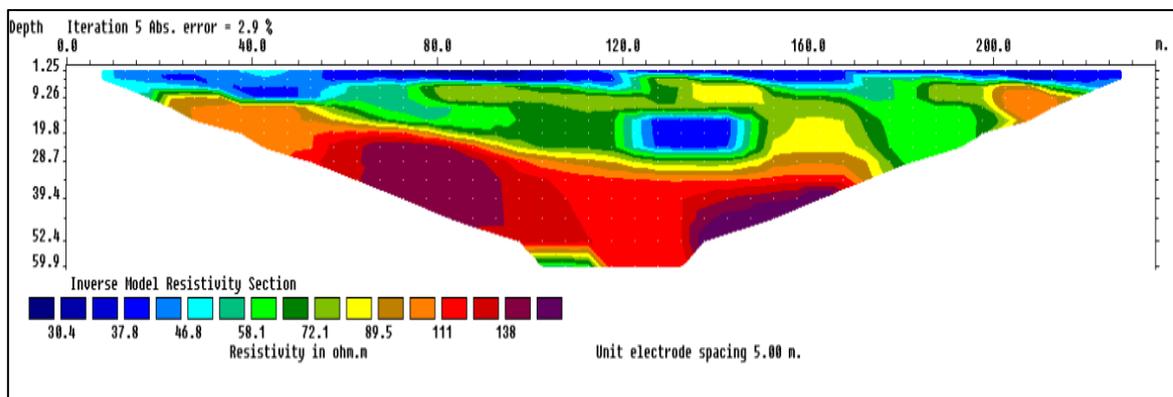
En la Figura 5 se presentan valores de resistividad que oscilan entre 30.4 y 138 Ohm·m, lo cual evidencia la presencia de distintas zonas, perfiles o estratos en el área de estudio.

Los hallazgos clave son los siguientes:

- 1. Zonas con resistividades bajas (30.4 a 46.8 Ohm·m):** Estas áreas están asociadas a la presencia de masas de agua interna, localizadas a profundidades variables que van desde 1.25 hasta 28.7 metros. Este rango es particularmente relevante debido a la naturaleza hídrica del estudio, ya que sugiere la existencia de acumulaciones de agua subterránea.

2. **Zonas semipermeables (58.1 a 89.5 Ohm·m):** Representadas con colores que varían de turquesa a amarillo, estas áreas indican suelos con cierta capacidad para permitir la recarga de acuíferos. Estas zonas son esenciales para entender la dinámica hídrica local y el flujo subterráneo.
3. **Zonas impermeables (89.5 a 138 Ohm·m):** Estas áreas, con resistividades más altas, corresponden a estratos geológicos impermeables que limitan el movimiento del agua. Estas características ayudan a delimitar las zonas donde el agua no puede infiltrarse fácilmente, proporcionando información clave para la gestión de recursos hídricos.

Figura 5 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 1



Nota. La figura permite identificar las características del subsuelo en la zona de estudio, proporcionando información clave sobre su estructura y composición. Además, facilita la interpretación de las variaciones en la resistividad del terreno.

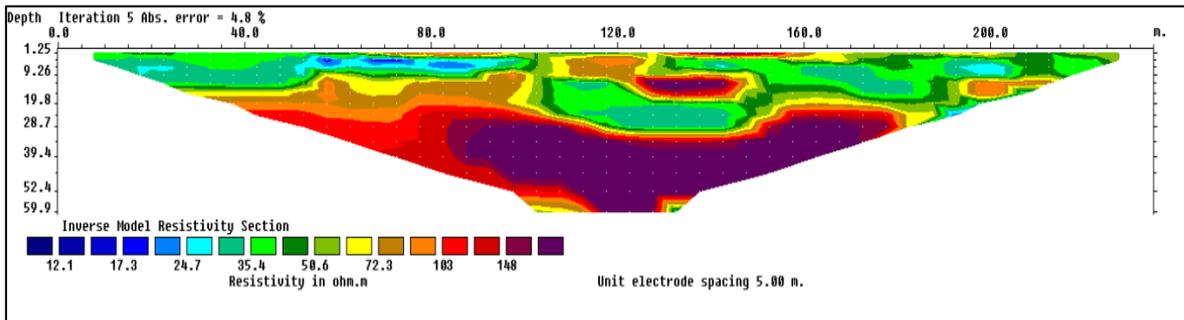
En la Figura 6 se observa valores de resistividad que varía entre 12.1 y 148 Ohm·m, lo que permite una caracterización detallada de las características del subsuelo en la zona de estudio.

Los resultados se clasifican en tres rangos principales:

1. **Zonas con resistividades muy bajas (12.1 a 24.7 Ohm·m):** Representadas con colores azul a celeste, estas áreas corresponden a masas de agua localizadas a diversas profundidades. Estas zonas son indicativas de cuerpos de agua importantes para la dinámica hídrica del lugar.
2. **Zonas semipermeables (24.7 a 72.3 Ohm·m):** Este rango sugiere la presencia de suelos que permiten la recarga del acuífero subterráneo. La comprensión de estas áreas es fundamental para evaluar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región.
3. **Zonas impermeables (72.3 a 148 Ohm·m):** Estas áreas, con resistividades más altas, corresponden a suelos impermeables ubicados a profundidades que oscilan

entre **28,7 y 60 metros**. Este rango representa zonas con limitaciones para la infiltración de agua, contribuyendo a una visión integral del sistema hídrico local.

Figura 6 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 2



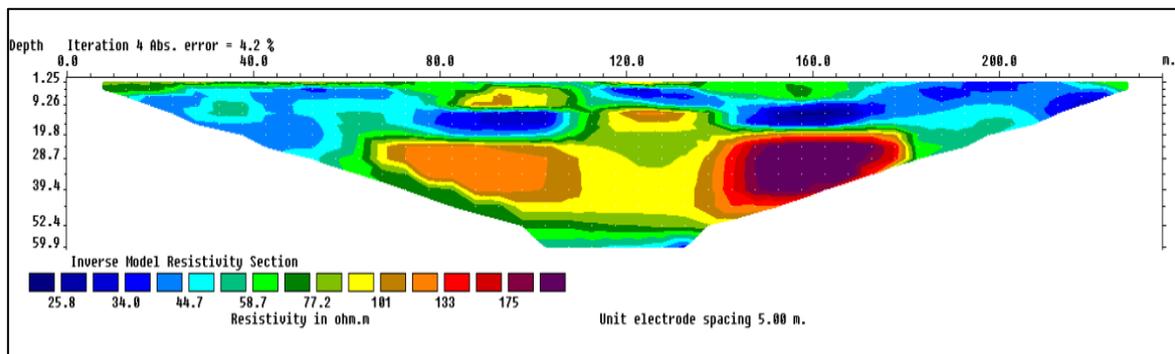
Nota. La figura indica los colores que representan variaciones de resistividad (en $\text{ohm}\cdot\text{m}$), indicando diferentes capas geológicas. Los valores más altos (rojos y naranjas) sugieren materiales más compactos, mientras que los más bajos (azules y morados) indican zonas con mayor contenido de agua o materiales menos resistivos.

En la Figura 7 se presentan datos de resistividad que varían entre 25.8 y 175 $\text{Ohm}\cdot\text{m}$, lo cual permite identificar diversas características del subsuelo en el área de estudio.

Este análisis destaca las siguientes zonas clave:

- 1. Zonas con resistividades bajas (25.8 a 44.7 $\text{Ohm}\cdot\text{m}$):** Estas áreas están asociadas a la presencia de masas de agua internas, localizadas a profundidades que oscilan entre 1.25 y 25 metros. Este hallazgo es especialmente relevante para el tipo de estudio, ya que proporciona evidencia de acumulaciones de agua subterránea que pueden ser fundamentales para la dinámica hídrica de la región.
- 2. Zonas semipermeables (44.7 a 101 $\text{Ohm}\cdot\text{m}$):** Representadas con colores que van desde el turquesa hasta el amarillo, estas áreas indican suelos con capacidad moderada para permitir la recarga de acuíferos. Estas zonas son esenciales para entender los procesos de infiltración y la conexión entre las aguas superficiales y subterráneas.
- 3. Zonas impermeables (101 a 175 $\text{Ohm}\cdot\text{m}$):** Estas áreas corresponden a estratos geológicos impermeables, que limitan el movimiento del agua subterránea. Estas zonas están asociadas con resistividades más altas, lo que indica su rol como barreras naturales para la infiltración y el flujo hídrico.

Figura 7 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 3



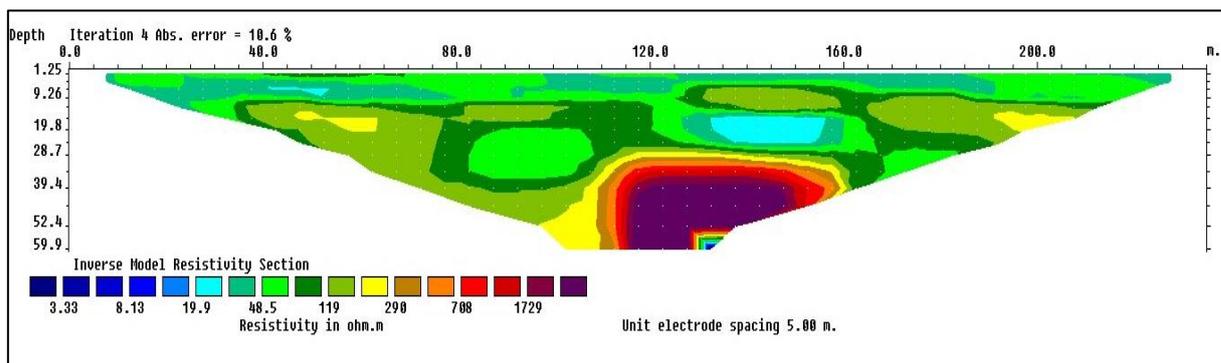
Nota. La imagen presenta un perfil de resistividad eléctrica utilizado para identificar estructuras subsuperficiales, para determinar la distribución de materiales, evaluar depósitos de agua o minerales y detectar discontinuidades.

En la Figura 8 se presenta una tomografía eléctrica que evidencia diversas zonas y materiales presentes en el área de estudio, abarcando un amplio rango de resistividades que varía entre 3.33 y 1729 Ohm·m.

Los principales hallazgos se detallan a continuación:

- 1. Zonas con resistividades bajas (3.33 a 48.5 Ohm·m):** Estas áreas están asociadas a la presencia de agua subterránea o materiales saturados, lo cual es característico de zonas con acumulación hídrica a bajas profundidades. Su importancia radica en su contribución al flujo hídrico superficial y subterráneo.
- 2. Zonas semipermeables (48.5 a 290 Ohm·m):** Este intervalo de resistividades corresponde a suelos con permeabilidad moderada, predominando en gran parte de la tomografía. Estas zonas, representadas por colores intermedios (verde a amarillo), permiten una cierta infiltración y movimiento de agua subterránea, facilitando procesos como la recarga de acuíferos.
- 3. Zonas impermeables (290 a 1729 Ohm·m):** Estas áreas, representadas por una gama de colores que va desde el café hasta el lila, corresponden a suelos impermeables localizados en las partes más profundas del subsuelo. Su elevada resistividad indica una baja capacidad de infiltración, actuando como barreras naturales para el flujo de agua subterránea.

Figura 8 Reconstrucción estratigráfica de la línea tomográfica 4



Nota. La imagen muestra un modelo de resistividad inversa para interpretar características del subsuelo, el cual permite delimitar zonas de interés hidrogeológico o detectar anomalías estructurales relacionadas con cambios litológicos.

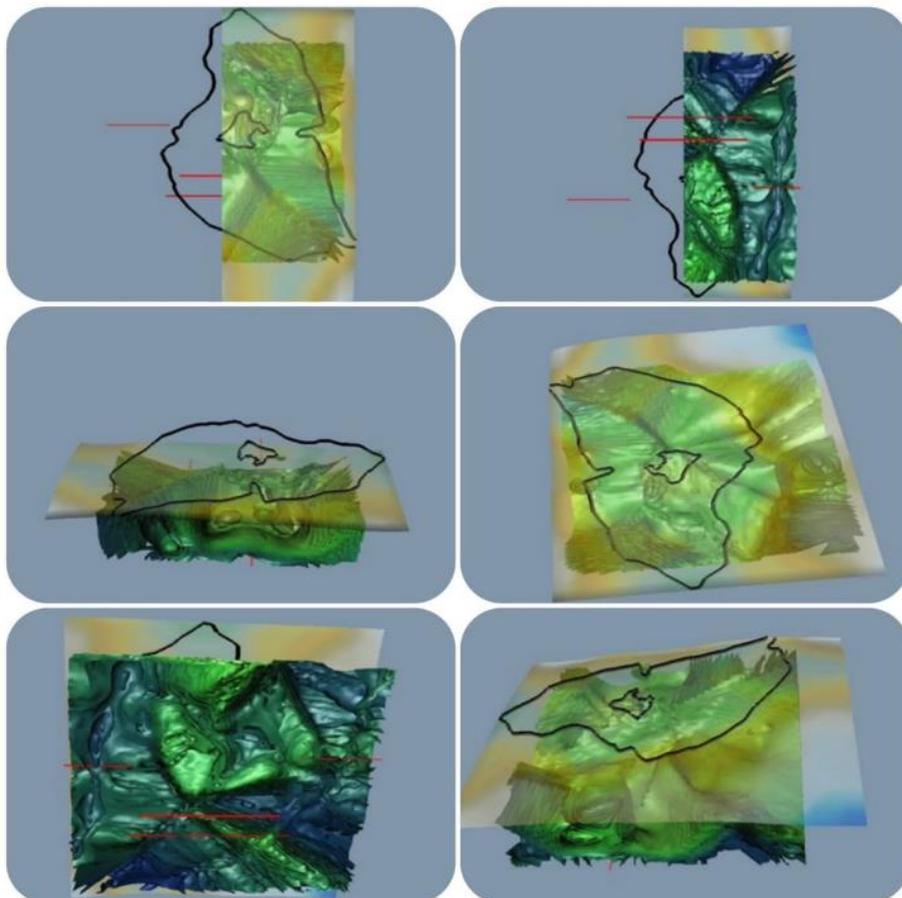
4.1.4 Modelo 3D

La Figura 9 presenta las imágenes generadas a partir de la modelación en tres dimensiones realizada en la laguna. Este modelo permite visualizar y analizar el posible flujo de agua subterránea, que se observa predominantemente en el sector superior del análisis tridimensional.

Los resultados sugieren que la laguna se encuentra directamente sobre un manto acuífero regional de tipo heterogéneo, según la Geología Regional y Local. Este acuífero desempeña un rol clave no solo para la laguna, sino también como fuente de agua para las comunidades cercanas, como San Antonio de las Abras y la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

El análisis tridimensional revela un flujo de agua que se desplaza desde el norte hacia el sureste de la ciudad de Riobamba, resaltando la relevancia hídrica de este cuerpo de agua en el contexto regional. Este flujo subterráneo enfatiza su papel crucial en la sostenibilidad de los recursos hídricos locales, al integrarse como un componente esencial del sistema acuífero de la zona.

Figura 9 Imágenes de la modelación en 3D de las tomografías de resistividad eléctrica



Nota. Las imágenes en 3D muestran una modelación detallada de las tomografías de resistividad eléctrica de la laguna, cada imagen ilustra diferentes aspectos del subsuelo, destacando variaciones en la resistividad, distribución geológica y posibles fuentes de agua subterránea. De este modo, ofrecen una visión completa de las características subterráneas en la zona.

4.1.5 Nivel freático

En el Anexo C se presenta el comportamiento del nivel freático durante el año 2023, cuyos resultados evidencian variaciones influenciadas principalmente por la disponibilidad de agua, las condiciones climáticas y las características del terreno. Por su parte, el Anexo D muestra las variaciones registradas en el año 2024 en tres calicatas de monitoreo, donde se observan diferencias atribuibles a la recarga hídrica, las condiciones del suelo y las variaciones climáticas del periodo.

Cabe destacar que en la primera calicata no se registró presencia de agua durante ninguno de los dos años de monitoreo, lo cual podría deberse a que se encuentra en una zona de relleno y a una altitud superior respecto a los demás puntos evaluados.

Durante el monitoreo de 2023, las calicatas 2, 3, 4 y 5 presentaron comportamientos diferenciados en el nivel freático. Estos cambios estuvieron influenciados principalmente por las condiciones climáticas del periodo, caracterizadas por precipitaciones escasas y temperaturas elevadas que favorecieron la evaporación. Esta combinación de factores tuvo un efecto directo sobre la disponibilidad de agua en las calicatas observadas.

En la segunda calicata, el nivel comenzó en 0.035 m y alcanzó un máximo de 0.1 m, pero en los días siguientes descendió progresivamente hasta llegar a 0 m. En cambio, la tercera calicata mostró un aumento marcado desde 0.015 m hasta 0.505 m, seguido de una leve disminución a 0.482 m y un pequeño repunte final a 0.504 m. La cuarta calicata inició en 0.155 m, ascendió hasta 0.315 m, se mantuvo estable por algunos días y luego bajó de forma gradual hasta 0.235 m.

Por su parte, la quinta calicata mostró los niveles freáticos más altos. Comenzó en 0.205 m y aumentó de manera constante hasta llegar a 1.835 m. Aunque hacia el final del periodo se observó una leve caída a 1.66 m, esto indica que esa zona tiene una mayor capacidad para almacenar o retener agua en comparación con las otras calicatas del área de estudio.

En el siguiente periodo analizado, correspondiente al año 2024, la calicata 2 mostró un aumento progresivo del nivel freático, iniciando en 0.220 m y alcanzando su punto máximo de 0.570 m, para luego descender ligeramente a 0.530 m. De manera similar, la calicata 4 registró los valores más altos del periodo, con un ascenso marcado desde 0.260 m hasta 0.750 m, finalizando con una leve disminución a 0.720 m. A diferencia de estas, la calicata 5 presentó los niveles más bajos, comenzando en 0.160 m, con un incremento moderado hasta 0.270 m y un cierre de 0.250 m. En general, el aumento del nivel freático en los últimos meses del año indica que el acuífero recibió más agua, probablemente porque hubo más lluvias y el suelo permitió que el agua se filtrara con mayor facilidad.

4.1.6 Análisis multitemporal

Para llevar a cabo el análisis multitemporal del área de estudio, se emplearon imágenes satelitales correspondientes a tres años clave: 2010, 2017 y 2023. La selección de estas imágenes se basó en su disponibilidad y en la calidad visual que ofrecían en términos de cobertura nubosa como se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8

Imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal

Año	Imagen	Nubosidad (%)
2010	20100721T154239_20170721T154241_T17MQU	10.45
2017	20170107T153619_20200107T154047_T17MQU	32.55
2023	20230126T153621_20230126T153616_T17MQU	45.39

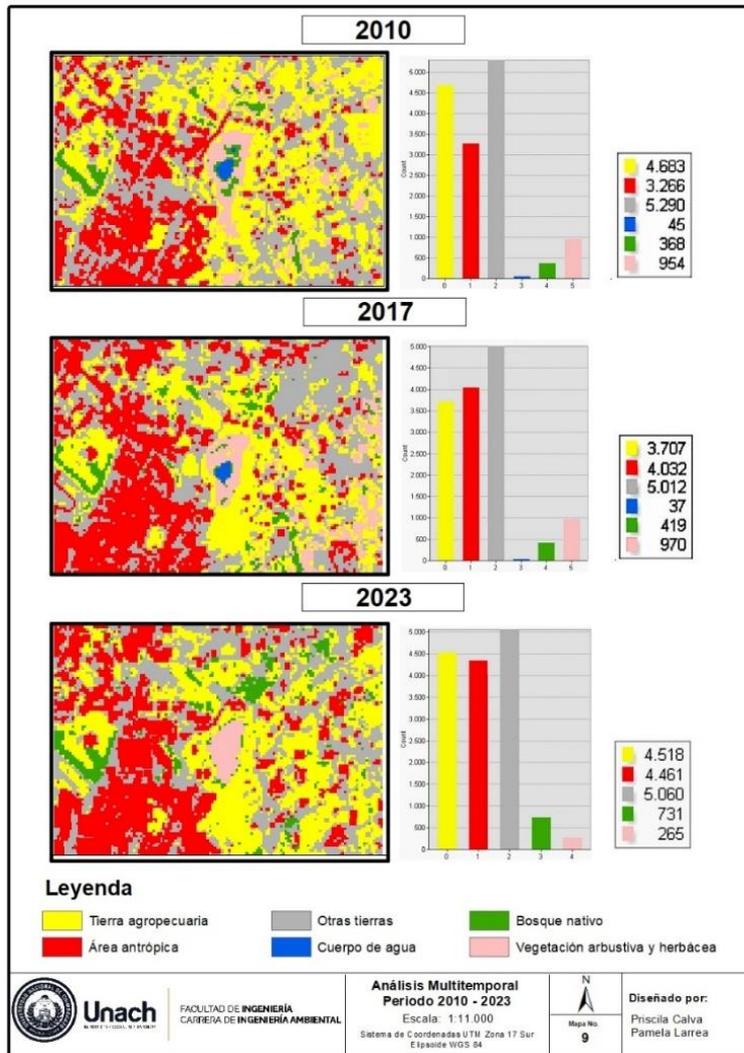
Nota. La tabla detalla los años en que fueron tomadas las imágenes para cada periodo de análisis, junto con el porcentaje de nubosidad registrado en cada una.

La Figura 10 presenta un análisis multitemporal que abarca seis clases: tierras agropecuarias, área antrópica, otras tierras, bosque nativo, vegetación arbustiva y herbácea. Estas categorías fueron consideradas para el análisis correspondiente al periodo comprendido entre 2010 al 2023, con el objetivo de observar los cambios ocurridos a lo largo del tiempo.

- **Tierras agropecuarias:** Respecto a las tierras agropecuarias, se observa una disminución significativa de 47.306 ha en 2010 a 37.219 ha en 2017, lo que podría estar relacionado con el abandono del uso agrícola o la conversión de estas tierras a usos urbanos. No obstante, en 2023 se evidencia una recuperación importante, alcanzando 45.544 ha, posiblemente asociada a una reactivación de la actividad agropecuaria o a nuevas dinámicas económicas que promueven el uso del suelo agrícola.
- **Área antrópica:** En cuanto al área antrópica, se registra un crecimiento constante, desde 32.446 ha en 2010 hasta 44.524 ha en 2023. Este incremento refleja un proceso sostenido de urbanización o expansión de infraestructuras humanas, lo cual puede estar ejerciendo una presión considerable sobre los recursos naturales de la zona, incluyendo la vegetación y los cuerpos hídricos.
- **Otras tierras (vegetación escasa):** Por otro lado, la clase correspondiente a “otras tierras” se mantiene como la cobertura más extensa, aunque con ligeras variaciones: 53.015 ha en 2010, 50.355 ha en 2017 y 50.723 ha en 2023. Esta estabilidad sugiere que estas áreas, posiblemente erosionadas o con vegetación muy reducida, no han sido intervenidas de forma significativa, representando un reto para la restauración ecológica.
- **Cuerpo de agua:** Con relación al cuerpo de agua, los datos muestran una disminución alarmante: de 0.440 ha en 2010 a 0.370 ha en 2017, hasta desaparecer casi por completo en 2023. Esta pérdida podría deberse a la acumulación de sedimentos, la reducción del caudal por actividades humanas o incluso al relleno del área para otros usos, lo que afecta gravemente la biodiversidad local y altera el equilibrio hídrico del ecosistema.
- **Bosque nativo:** En el caso del bosque nativo, se evidencia una tendencia positiva de recuperación, pasando de 3.629 ha en 2010 a 6.921 ha en 2023. Este aumento podría estar relacionado con procesos de regeneración natural, abandono de tierras agrícolas o políticas de conservación y reforestación, lo cual favorece la biodiversidad y el equilibrio ecológico de la zona.
- **Vegetación arbustiva o herbácea:** Finalmente, la vegetación arbustiva o herbácea experimentó una fuerte reducción: de 9.224 ha en 2010 a solo 2.649 ha en 2023. Esta pérdida puede estar asociada a la expansión agrícola o urbana, así como al reemplazo

por otras coberturas, afectando la capacidad del ecosistema para mantener diversidad vegetal secundaria y estabilidad del suelo.

Figura 10 Cambios del área, espejo de agua, uso de suelo y cobertura vegetal en el periodo de 2010 - 2023



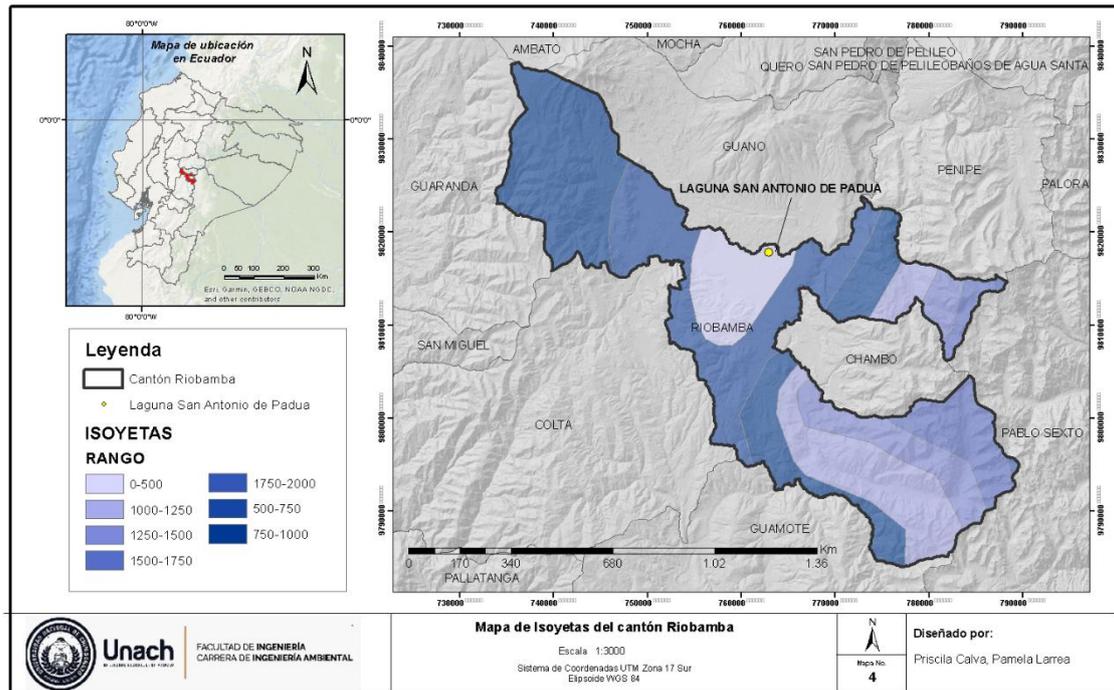
Nota. Entre 2010 y 2023, la laguna registró una leve reducción del espejo de agua y un notable aumento de las áreas antrópicas, evidenciando expansión urbana. También existe disminución de la vegetación natural, lo que indica una transformación del entorno.

4.1.7 Precipitación

Con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se elaboró un mapa de isoyetas (Figura 11), que permitió caracterizar la precipitación en la laguna San Antonio de Padua. Según este análisis, la precipitación media anual en el área es de 92.058 mm/año. De acuerdo con los datos presentados en el (Anexo E), se identificaron patrones estacionales en el ciclo de precipitación.

- **Meses húmedos:** De enero a mayo concentran la mayor cantidad de precipitación.
- **Época seca:** De julio a septiembre.
- **Meses intermedios:** Junio, octubre, noviembre y diciembre (meses con niveles reducidos de precipitación lo que evidencia una distribución estacional marcada en las condiciones climáticas de la zona).

Figura 11 Mapa de isoyetas



Nota. El mapa muestra las líneas de isoyetas que representan los niveles de precipitación acumulada, permitiendo identificar zonas de mayor y menor precipitación.

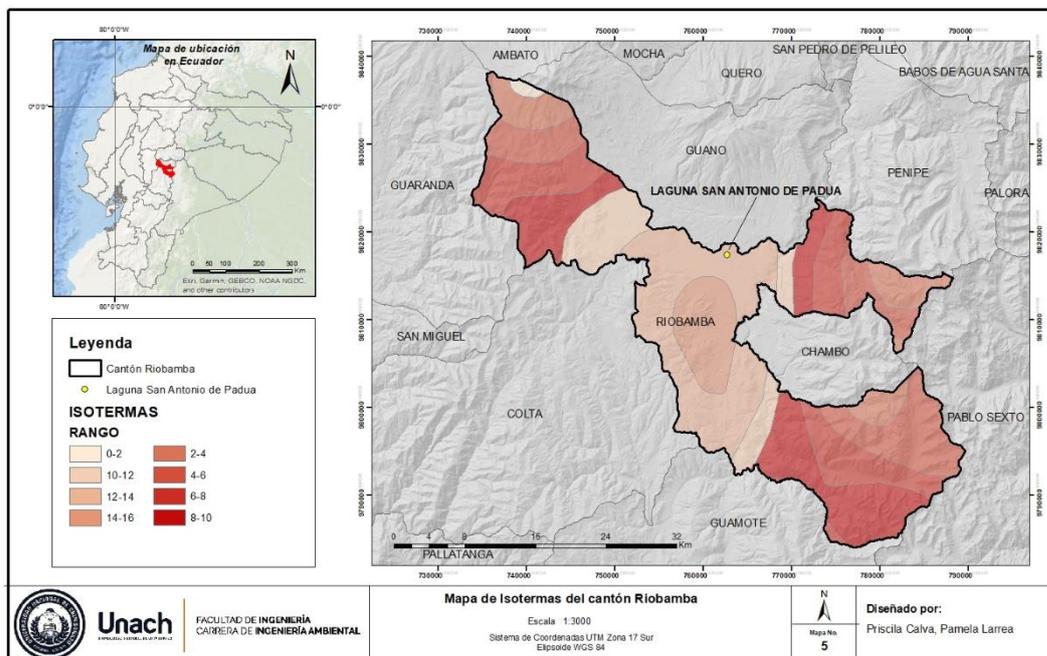
4.1.8 Registro de temperaturas en la laguna y Clima regional

Las temperaturas registradas en la laguna oscilan entre los 11 °C y los 13 °C, siendo julio y agosto los meses más fríos, presentando un promedio de 11 °C. Estos datos se detallan en la Figura 12 y el (Anexo F), evidenciando un patrón térmico que refleja la influencia de las condiciones climáticas locales y la altitud del área.

La ciudad de Riobamba, ubicada a una altitud de 2754 m.s.n.m., se caracteriza por un clima frío típico de la zona interandina. Según el Consejo Cantonal de Riobamba (2014), se identifican seis estaciones climáticas principales en la región: ecuatorial frío de alta montaña, presente en áreas como las parroquias de Calpi, Pungalá, el este y oeste de Quimiag, el noreste de Licto, el sur de San Juan y el oeste de Licán; ecuatorial frío seco de alta montaña; ecuatorial frío semi húmedo de alta montaña; ecuatorial mesotérmico húmedo; ecuatorial mesotérmico seco; y ecuatorial mesotérmico semi húmedo. Esta diversidad

climática refleja la complejidad ambiental de la región y su influencia en las condiciones de temperatura locales.

Figura 12 Mapa de isotermas



Nota. El mapa muestra las variaciones de temperatura en la laguna, destacando áreas de mayor y menor temperatura para analizar su dinámica térmica y los efectos ambientales.

4.1.9 Evapotranspiración

La evapotranspiración en el área de estudio es baja, lo cual está asociado a la limitada cobertura vegetal en la zona. Este comportamiento se ve influenciado por las condiciones climáticas locales, caracterizadas por temperaturas relativamente estables que oscilan entre 11 °C y 13 °C durante todo el año. La mínima variación mensual en los valores de evapotranspiración refleja esta estabilidad térmica, como se detalla en el (Anexo G).

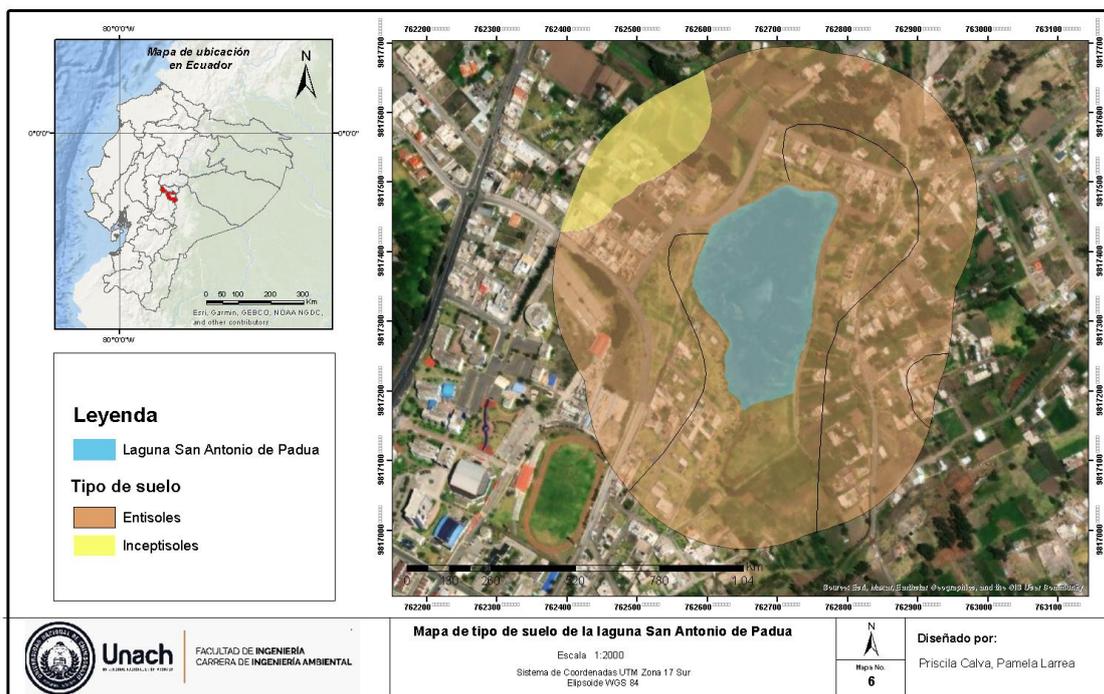
4.1.10 Humedad relativa

Varía significativamente a lo largo del año. Septiembre registra el valor más bajo con un 79 %, mientras que los meses de febrero a mayo presentan los valores más altos, con un promedio de 87.5 %, destacándose como el período más húmedo en el (Anexo H).

4.1.11 Análisis de las características del suelo y cobertura vegetal

El análisis del suelo y su cobertura en el área priorizada de la laguna, basado en el mapa elaborado con datos del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2020), identificó una limitada cobertura vegetal, lo que influye en la baja evapotranspiración y la capacidad de retención hídrica del suelo (Figura 13).

Figura 13 Mapa de tipo de suelo



Nota. El mapa muestra la distribución de diferentes clases de suelos en una área específica, identificando las características y propiedades predominantes en cada zona.

El mapa correspondiente muestra la distribución de los tipos de suelo alrededor de la laguna, destacando la predominancia de Entisoles en la mayor parte del área de estudio, lo cual indica una formación reciente con características variables debido a su origen en materiales parentales como sedimentos recientes o rocas subyacentes. En ciertas zonas específicas también se observan Inceptisoles, que presentan un mayor grado de desarrollo y una mejor capacidad para retener nutrientes.

Sin embargo, los suelos Entisoles e Inceptisoles influyen de manera distinta en la dinámica hídrica de la laguna. Los Entisoles, más permeables, favorecen la infiltración rápida del agua, mientras que los Inceptisoles, con mayor capacidad de retención, limitan esta infiltración y actúan como barreras parciales, moderando el flujo de agua. Esta diferencia impacta la retención de agua, la conservación de contaminantes y la productividad del ecosistema circundante, regulando la distribución y almacenamiento hídrico en el entorno.

De acuerdo con el (Anexo I), los Entisoles son los suelos predominantes en la laguna, lo que influye en sus propiedades físicas y químicas, repercutiendo en la dinámica hídrica y la productividad del ecosistema.

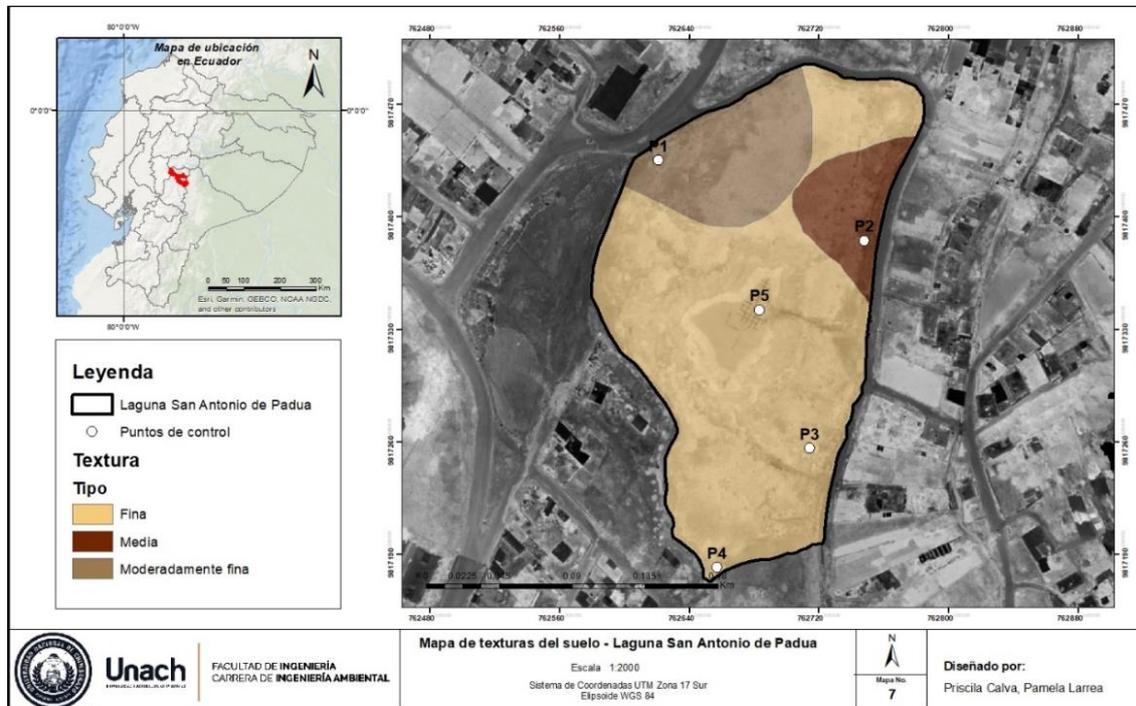
4.1.12 Textura de suelo

Según la Figura 14 y el (Anexo J), la laguna presenta diversas texturas de suelo:

- **Textura fina:** Es la más predominante, cubriendo un área de 0.028645 km².
- **Textura moderadamente fina:** Ocupa una extensión intermedia y contribuye significativamente a los procesos ambientales de la laguna.
- **Textura media:** Es la menos representativa, con un área de 0.003702 km².

Estas texturas influyen en la interacción suelo-agua, afectando la infiltración, retención hídrica y dinámica ambiental del ecosistema.

Figura 14 Mapa de texturas



Nota. El mapa refleja variaciones en la composición del suelo, con distintas capacidades de filtración y retención de agua, lo que permite analizar su comportamiento hídrico en el ecosistema.

La variabilidad en las texturas del suelo en el área de la laguna tiene implicaciones clave para su dinámica hídrica y ecológica. Los suelos de textura fina tienden a presentar una menor permeabilidad, lo que favorece la retención de agua en la superficie. Por otro lado, los suelos de textura media y moderadamente fina, al permitir una mayor infiltración, pueden influir en la recarga hídrica subterránea y en la movilidad de nutrientes o contaminantes. Esta variabilidad también impacta la capacidad del suelo para sustentar

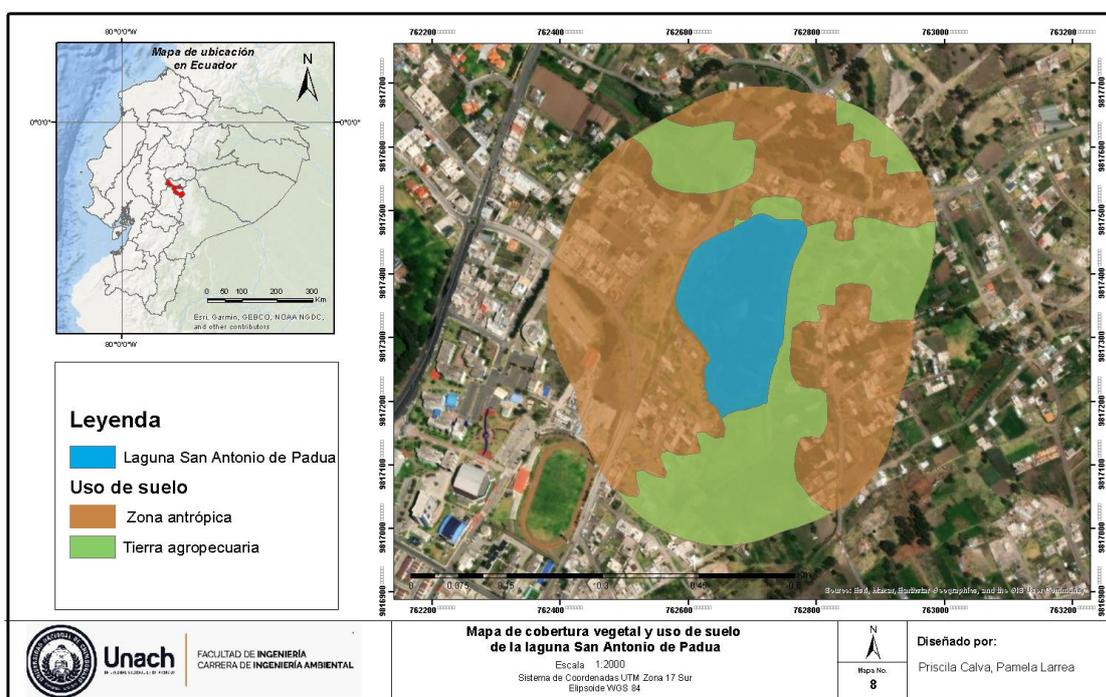
vegetación y las interacciones entre el ecosistema terrestre y acuático en los alrededores de la laguna.

4.1.13 Cobertura vegetal y uso de suelo

En la Figura 15 se presenta una clara diferenciación en el uso del suelo, donde se identifican dos categorías principales: zonas antrópicas y tierras agropecuarias, además de la presencia de un cuerpo de agua representativo en el centro del área de interés. Las zonas antrópicas están relacionadas con actividades humanas, como asentamientos urbanos, lo cual podría influir en la calidad del suelo y del agua debido a la generación de residuos y modificaciones en la cobertura vegetal. Por otro lado, las tierras agropecuarias, que rodean la mayor parte del área, reflejan un uso orientado a actividades agrícolas o ganaderas, lo que implica un impacto directo en la dinámica del ecosistema, como la infiltración de fertilizantes o la compactación del suelo.

Esta distribución del uso del suelo tiene implicaciones tanto en la conservación del ecosistema como en la interacción entre los sistemas naturales y las actividades humanas. Las áreas antrópicas pueden generar presión sobre los recursos hídricos y el paisaje circundante, mientras que las tierras agropecuarias pueden afectar la biodiversidad local y la calidad del agua por las prácticas de manejo aplicadas.

Figura 15 Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo



Nota. El mapa revela las zonas cubiertas por diversos tipos de vegetación y los usos predominantes del suelo, como la agricultura y las áreas naturales, lo que facilita la identificación de cambios en la cobertura y el impacto de las actividades humanas.

4.1.14 Análisis fisicoquímico del suelo

4.1.14.1 Comparativa entre los datos de campo y el límite máximo permisible

Según los datos presentados en el (Anexo K), los parámetros evaluados reflejan las siguientes observaciones:

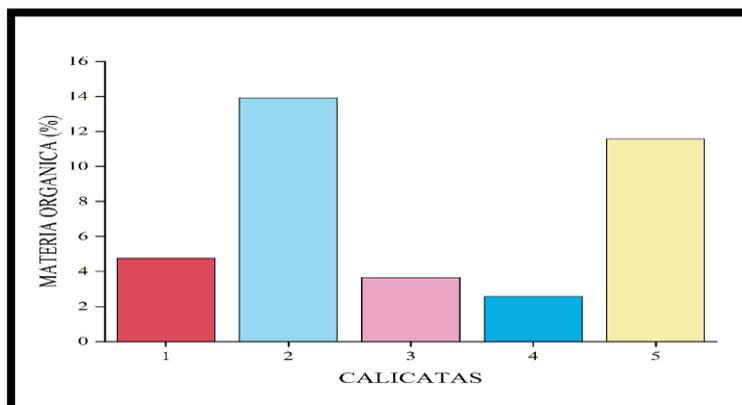
El pH, muestra que las muestras M1, M2, M3 y M5 cumplen con el rango permisible de 6 a 8, mientras que la muestra M4 (8.24) presenta una ligera alcalinidad que podría afectar la disponibilidad de nutrientes. La conductividad eléctrica, un indicador de la salinidad del suelo, excede el límite permisible de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las muestras M1 (580 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y M5 (574 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que señala una acumulación. Otros parámetros como el oxígeno disuelto (OD), el potencial redox (ORP) y la salinidad brindan información adicional sobre las condiciones bioquímicas del suelo, aunque no tienen límites establecidos en la normativa.

La concentración de nutrientes, como nitrógeno, calcio, potasio, magnesio y sodio, evidencia la fertilidad del suelo. Aunque no se especifican límites permisibles, valores altos como el calcio en M5 (12,217.49 mg/kg) pueden influir en el equilibrio de otros minerales. Por otro lado, los metales pesados (plomo y zinc) están por debajo de los límites normativos, asegurando que el suelo no esté contaminado por estos elementos. Finalmente, los coliformes fecales, indicadores de contaminación biológica, aparecen en diversas concentraciones según la muestra; valores elevados, como los registrados en M3 (340 colonias/100 ml), M4 (1440 colonias/100 ml) y M5 (1020 colonias/100 ml), podrían representar riesgos para la salud y el medio ambiente.

4.1.15 Cálculo de la materia orgánica

Los resultados ilustrados en la Figura 16, muestran variaciones significativas en el contenido de materia orgánica en las calicatas 2 y 5, con porcentajes de 13.92% y 11.58%, respectivamente. En contraste, el resto de las calicatas muestra valores que oscilan entre 2.57% y 4.77% de materia orgánica. Por un lado, los suelos que superan el 5% de materia orgánica resultan beneficiosos para los procesos edáficos y las actividades agrícolas, ya que favorecen la fertilidad y la estructura del suelo. Por otro lado, aquellos con valores inferiores al 5% presentan deficiencias en su fertilidad, lo que limita su capacidad para sustentar un crecimiento vegetal óptimo.

Figura 16 Porcentaje de materia orgánica en cada calicata



Nota. La figura muestra el porcentaje de materia orgánica en las calicatas, el cual varía según la profundidad del suelo y la ubicación. Este estudio permite determinar su concentración en las diferentes capas de cada calicata.

4.1.16 Análisis fisicoquímico del agua

4.1.16.1 Comparativa entre los datos de campo y el límite máximo permisible

El análisis fisicoquímico del agua en la laguna basado en los datos del (Anexo L), evalúa parámetros clave en las muestras M1, M3 y M5. Los valores de pH cumple con el rango normativo (6.5-9), registrando 8.36 en M1, 7.14 en M3 y 6.65 en M5. La conductividad, aunque no cuenta con un límite establecido, muestra una gran variabilidad entre las muestras, con valores de 3.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en M1, 739 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en M3 y 2.49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en M5. En cuanto al oxígeno disuelto (OD), solo la muestra M1 alcanza una saturación superior al 80% (106.4%), mientras que M3 (56.3%) y M5 (72.8%) no cumplen este criterio, lo cual podría afectar negativamente la biodiversidad.

La turbidez, refleja la presencia de sólidos suspendidos, registra valores elevados: 85 mg/L en M1, 124 mg/L en M3 y 97 mg/L en M5, aunque no se especifican límites normativos para este parámetro. Los compuestos químicos, como nitratos y nitritos, están dentro de los límites permisibles, con valores máximos de 3.5 mg/L y 0.009 mg/L, respectivamente. Sin embargo, los fosfatos, presentan concentraciones más altas en M3 (1.76 mg/L), lo que podría favorecer procesos de eutrofización. Por otro lado, los metales pesados como plomo y cobre, no se detectaron en ninguna de las muestras, cumpliendo con los estándares normativos. En cuanto al análisis microbiológico, los coliformes fecales solo se detectaron en M5 (10 colonias/100 mL), mientras que M1 y M3 no presentan contaminación.

4.1.17 Cálculo del Índice ICA

El cálculo del ICA, basado en parámetros físicos, químicos y microbiológicos, muestra diferencias entre los puntos de control. En la Tabla 9 se muestra como el P1 obtuvo

un ICA de 76.31, clasificado como "Buena", lo que sugiere condiciones aceptables para la biodiversidad y posibles usos recreativos. En contraste, los puntos P3 y P5 presentaron valores de 63.93 y 64.53, respectivamente, clasificados como "Media", lo que refleja signos de contaminación que pueden afectar la salud del ecosistema. Entre los parámetros más influyentes en estos resultados se encuentran las altas concentraciones de magnesio, calcio, y potasio, además de la elevada demanda biológica de oxígeno (DBO), especialmente en P3 y P5, lo cual indica una posible carga orgánica significativa en estas áreas.

Tabla 9

Parámetros utilizados para el cálculo del ICA

Parámetros	Unidades	P1	P3	P5
pH	-	8.36	7.14	6.65
Conductividad	µS/cm	3.67	7.39	2.49
OD	%saturación	106.4	56.3	72.8
Turbidez	NTU	2.06	5.05	67.3
DBO	mg/L	85	124	97
Nitratos	mg/L	0.7	3.5	0
Nitritos	mg/L	0.009	0.006	0.007
Fosfatos	mg/L	0.23	1.76	0.33
Coliformes fecales	#colonias/100 mL	-	0	10
Sólidos totales	mg/L	-	0	0
Nitrógeno	mg/L	0.000014	0.000014	0.000014
Calcio	mg/L	434.22	479.09	307.06
Potasio	mg/L	179.1	198.45	127.53
Magnesio	mg/L	803.96	784.33	605.91
Plomo	mg/L	0	0	0
Cobre	mg/L	0	0	0
	ICA	76.31	63.93	64.53
		Buena	Media	Media

Nota. La tabla cuenta con ciertos parámetros utilizados para calcular el Índice de Calidad Ambiental (ICA), el cual permite evaluar la aptitud del agua para diversos usos y monitorear la salud del ecosistema.

El análisis biológico, basado en el Índice Biótico Andino (ABI), indicó una calidad de agua clasificada como "Mala", con un índice de 15. Esto refleja un ecosistema bajo fuerte estrés ambiental. En total, se identificaron 268 macroinvertebrados, predominando la familia Chironomidae con 249 individuos, lo que sugiere un ambiente degradado debido a la tolerancia de esta familia a la contaminación. De manera similar, el análisis mediante el Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) resultó en una puntuación de 23, clasificando la calidad del agua como "Crítica". Ambos métodos coinciden en que la laguna presenta condiciones desfavorables, con alta carga contaminante y reducido soporte para la

biodiversidad. En el (Anexo M) se indentifican los macroinvertebrados encontrados en la laguna.

4.1.18 Calidad de agua aplicando el método ABI

La Tabla 10 detalla los resultados del análisis biológico basado en el método Andino (ABI), que considera la presencia de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua. Se identificaron 268 individuos pertenecientes a seis órdenes, siendo Chironomidae la familia más abundante (249 individuos).

El índice ABI resultante fue de 15, lo que clasifica la calidad del agua como "Mala". Este resultado indica que el ecosistema acuático está bajo un fuerte estrés ambiental, con condiciones poco favorables para organismos más sensibles. La dominancia de Chironomidae, una familia tolerante a la contaminación, refuerza la idea de un ambiente degradado, posiblemente debido a la acumulación de materia orgánica o contaminantes químicos. La baja abundancia de organismos más sensibles, como Aeshnidae, refleja la dificultad para mantener una biodiversidad equilibrada en este entorno.

Tabla 10

Índice ABI para el punto de control 5

Orden	Familia	# Individuos	ABI
Diptera	Chironomidae	249	2
Oligochaeta	Haplotaxida	6	1
Hemiptera	Hebridae	3	-
Coleoptera	Hydrophilidae	1	3
Odonata	Aeshnidae	6	6
Gastropoda	Physidae	3	3
Total		268	15
			Mala

Nota. La tabla presenta el Índice ABI para el punto de control 5, detallando el número de individuos y el ABI de varias familias acuáticas, el cual permite evaluar la calidad biológica del agua en ese punto específico.

4.1.19 Calidad de agua aplicando el método BMWP

En la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos mediante el método BMWP (Biological Monitoring Working Party), aplicados al mismo conjunto de macroinvertebrados. La puntuación BMWP fue de 23, lo que clasifica la calidad del agua como "Crítica". Este resultado significa que el ecosistema presenta condiciones severamente degradadas.

La baja puntuación total se debe a la predominancia de especies tolerantes a la contaminación, como Chironomidae, que obtuvieron solo 2 puntos, mientras que familias más sensibles como Hebridae y Aeshnidae estuvieron presentes en números muy limitados.

Este estado crítico indica un ecosistema acuático con alta carga contaminante y reducido soporte para la biodiversidad, lo cual podría tener impactos negativos a largo plazo si no se toman medidas correctivas.

Tabla 11

Índice BMWP/Col del punto de control 5

Orden	Familia	# Individuos	Puntuación BMWP	BMWP Resultado
Diptera	Chironomidae	249	2	
Oligochaeta	Haplotaxida	6	1	
Hemiptera	Hebridae	3	6	
Coleoptera	Hydrophilidae	1	4	Crítica
Odonata	Aeshnidae	6	6	
Gastropoda	Physidae	3	4	
Total		268	23	

Nota. La tabla muestra la puntuación BMWP para el punto de control, detallando el número de individuos y la puntuación asignada a diversas familias acuáticas, lo que permite evaluar la calidad del agua según la diversidad de especies presentes.

El empleo del método BMWP en la laguna reveló que la calidad del agua se encuentra en un estado crítico. De manera similar, al aplicar el Índice Biótico Andino "ABI," se obtuvo un resultado que también indica una mala calidad del agua, lo que muestra una concordancia con los hallazgos del método BMWP.

4.2 Componente socioeconómico

En el Barrio San Antonio de Padua, aproximadamente 600 personas habitan en unas 150 familias, con un promedio de 4 miembros por hogar. En cuanto a los servicios básicos, la mayoría de las viviendas carecen de acceso completo; solo el 22% tiene recolección de basura, el 32% acceso a agua potable, el 5% dispone de agua entubada, el 39% suministro eléctrico y únicamente el 2% cuenta con generadores de energía eléctrica como se detalla en el (Anexo N). Respecto al saneamiento, solo el 17% de las viviendas está conectada al sistema público de alcantarillado, mientras que el 70% depende de pozos sépticos, según el (Anexo O).

En el ámbito educativo, el 40% de la población ha completado la educación primaria, el 46% ha alcanzado la secundaria, y solo el 10% ha llegado a la educación superior según se detalla en el (Anexo P). Respecto a la vivienda, el 94% de las casas son de propiedad propia, el 2% están alquiladas y el otro 2% son prestadas, según se indica en el (Anexo Q). Por otro lado, la infraestructura vial se compone principalmente de vías de tierra (59%) y lastre (10%), mientras que el 23% está pavimentada. Además, lamentablemente, un 8% de

la población no tiene acceso a ninguna vía de comunicación, como se muestra en el (Anexo R).

Finalmente, en cuanto a las actividades productivas, el emprendimiento es la más destacada, con un 44% de los residentes dedicados a negocios propios, seguido por la agricultura (29%). Además, un 15% de la población trabaja en el sector privado, mientras que un 12% lo hace en el sector público, según se muestra en el (Anexo S).

Según el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2023), se asegura la calidad, conservación y sostenibilidad de los recursos naturales a través de una gestión efectiva que incluye la planificación, regulación, control, coordinación y gestión de los recursos hídricos y ambientales. Este proceso involucra la participación de organizaciones públicas, privadas, comunitarias y de la ciudadanía, todo dentro de un marco basado en el respeto, la integridad, la responsabilidad y la transparencia.

4.3 Discusión

En términos de biodiversidad, la laguna alberga una flora diversa, dominada por la totora (*Schoenoplectus californicus*), que desempeña un rol esencial como refugio para la fauna y estabilizador ecológico del área. También se identificó al sigse (*Cortaderia selloana*), una planta típica de humedales andinos con importancia cultural para las comunidades locales. Por su parte, la fauna, evaluada mediante observaciones en transectos, incluye especies que contribuyen al equilibrio ecológico a través de procesos como la dispersión de semillas y la regulación de nutrientes. No obstante, la calidad del agua y las condiciones del ecosistema podrían estar limitando la sostenibilidad de estas especies, lo que se refleja en la prevalencia de organismos más tolerantes a la contaminación.

En cuanto al monitoreo del nivel freático, realizado en dos periodos distintos, reveló variaciones estacionales notables, con niveles bajos en época seca, lo que indica una disminución en la recarga hídrica subterránea. Esta condición evidencia una alta vulnerabilidad del acuífero local, agravada por el uso intensivo del suelo y la escasa cobertura vegetal en la zona de influencia de la laguna.

Por otro lado, el análisis multitemporal evidenció una disminución acelerada del espejo de agua entre 2010 al 2023, acompañada de un aumento en la ocupación del suelo por actividades agrícolas y urbanas. Estos cambios reflejan una alteración profunda en el equilibrio ecológico del ecosistema, confirmando la pérdida progresiva de funcionalidad hídrica y biológica de la laguna.

El análisis del subsuelo, basado en tomografías de resistividad eléctrica, reveló variaciones significativas en las características físicas y químicas del suelo. Estas incluyen zonas de baja resistividad, asociadas con acumulaciones de agua subterránea, áreas semipermeables que permiten la recarga de acuíferos y zonas impermeables que limitan el movimiento del agua. Estos hallazgos han sido esenciales para comprender la dinámica

hídrica de la laguna y su relación con el acuífero regional, el cual abastece de agua a las comunidades circundantes. Además, el modelo tridimensional del flujo hídrico subterráneo muestra un desplazamiento desde el norte hacia el sureste, enfatizando la relevancia estratégica de este ecosistema en la sostenibilidad regional.

Respecto al análisis del agua, los resultados reflejan condiciones ambientales críticas. Si bien parámetros como el pH y los nitratos están dentro de los límites normativos, la turbidez elevada y la presencia de coliformes fecales en ciertos puntos evidencian problemas de contaminación. El Índice de Calidad del Agua (ICA) clasifica el agua de la laguna como “media” o “buena” en ciertos puntos, pero los índices biológicos ABI y BMWP revelan una calidad “mala” y “crítica” debido a la predominancia de macroinvertebrados tolerantes a la contaminación, como *Chironomidae*. Estos resultados sugieren una acumulación de materia orgánica y contaminantes químicos, probablemente relacionada con actividades antrópicas y agropecuarias en las áreas aledañas.

En cuanto al suelo y la cobertura vegetal, se identificó una limitada cobertura que impacta negativamente la dinámica hídrica y la retención de agua en la laguna. Los suelos predominantes (Entisoles e Inceptisoles) presentan propiedades variables: los Entisoles, más permeables, favorecen la rápida infiltración de agua, mientras que los Inceptisoles, con mayor capacidad de retención, moderan el flujo hídrico. Estas características influyen directamente en la conservación de contaminantes, la productividad del ecosistema y la sostenibilidad de la vegetación circundante. Adicionalmente, la variabilidad en la textura del suelo, que incluye texturas fina, moderadamente fina y media, afecta la interacción suelo-agua, así como los procesos de recarga hídrica y la movilidad de nutrientes.

El componente socioeconómico revela la vulnerabilidad de la comunidad local, compuesta por aproximadamente 600 personas distribuidas en 150 familias. La mayoría enfrenta carencias en servicios básicos como agua potable, alcantarillado y recolección de basura, lo que incrementa las presiones sobre el ecosistema de la laguna. Estas limitaciones también se reflejan en las actividades económicas predominantes, donde el 57% de los residentes se dedica a emprendimientos, seguidos por la agricultura (19%), actividades que pueden intensificar la degradación ambiental si no se manejan de manera sostenible. Por otro lado, la falta de infraestructura vial adecuada y el limitado acceso a la educación superior dificultan la implementación de prácticas de manejo ambiental responsables.

El análisis global de los resultados destaca la urgencia de implementar estrategias integrales para mejorar las condiciones ambientales de la laguna. Es fundamental promover programas de conservación de la biodiversidad, restauración de la cobertura vegetal y control de contaminantes en el agua. Asimismo, se deben desarrollar iniciativas que fortalezcan la educación ambiental y las capacidades técnicas de la comunidad local para fomentar prácticas sostenibles en las actividades económicas. Estas medidas, combinadas con una gestión eficiente de los recursos hídricos y una mayor integración entre las políticas públicas

y las necesidades locales, podrían garantizar la sostenibilidad a largo plazo de este ecosistema y mejorar la calidad de vida de la población.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El diagnóstico ambiental de la laguna San Antonio de Padua evidenció una severa degradación de sus condiciones ecosistémicas. Los análisis fisicoquímicos del agua mostraron niveles elevados de turbidez, con valores de 20.7 NTU, lo cual supera ampliamente los límites permisibles para cuerpos de agua de uso recreativo. Asimismo, la concentración de coliformes fecales fue de 460 NMP/100 mL, indicando una contaminación bacteriana significativa que compromete la salud del ecosistema y de la comunidad circundante.
- La calidad del agua, evaluada mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA), obtuvo una calificación de 48, clasificándose como “Mala”. En términos biológicos, el Índice BMWP arrojó un valor de 29, posicionando la laguna en la categoría “Crítica” debido a la presencia predominante de macroinvertebrados tolerantes a la contaminación, lo cual sugiere un ecosistema acuático severamente afectado.
- Los estudios de resistividad eléctrica identificaron zonas con valores entre 30.4 y 46.8 Ohm·m, asociados a acumulaciones de agua subterránea, mientras que áreas con resistividades superiores a 100 Ohm·m evidenciaron suelos impermeables que dificultan la infiltración hídrica.
- En el análisis multitemporal se identificó una pérdida progresiva del espejo de agua y una transformación del uso del suelo, con la expansión de áreas agrícolas y urbanas sobre humedales, lo que se debe a la urbanización y la intensificación de la agricultura. Esto ha reducido la cobertura vegetal nativa y aumentado las superficies impermeables, afectando la capacidad de retención de agua del ecosistema. Además, se observó una limitada recarga hídrica subterránea, debido a la compactación del suelo y la deforestación, lo que incrementa la vulnerabilidad del acuífero local.
- La contaminación de la laguna, desde una perspectiva socioeconómica, se ve agravada por la falta de infraestructura básica en la zona, especialmente la ausencia de un sistema adecuado de alcantarillado. Esta deficiencia no solo contribuye directamente al vertido de aguas residuales sin tratamiento, sino que también refleja las condiciones de vulnerabilidad social de las comunidades aledañas, lo que repercute negativamente tanto en el entorno ambiental como en la calidad de vida de la población local.

5.2 Recomendaciones

- Para enfrentar la problemática ambiental de la laguna, resulta indispensable implementar un plan integral de manejo de recursos hídricos que contemple acciones de recuperación del equilibrio hídrico, control de contaminantes y conservación de la biodiversidad acuática. Este plan debe priorizar el tratamiento adecuado de aguas residuales y la reducción del uso de fertilizantes químicos, así como la restauración de la vegetación ribereña con especies nativas para mejorar la retención de agua y la estabilidad del ecosistema.
- Es fundamental fortalecer las capacidades técnicas y la educación ambiental de la comunidad, promoviendo prácticas sostenibles en actividades agropecuarias y fomentando una participación activa en la gestión y conservación de la laguna. Asimismo, resulta prioritario establecer un sistema de monitoreo ambiental permanente que permita evaluar de manera continua la calidad del agua y del suelo, utilizando herramientas como el índice ICA y el análisis de macroinvertebrados para medir el impacto de las medidas implementadas.
- La gestión de alianzas con autoridades locales y actores clave permitirá mejorar la infraestructura básica del sector, incluyendo sistemas de alcantarillado y recolección de residuos, disminuyendo así la presión sobre el ecosistema. Estas acciones, combinadas con políticas públicas orientadas a la conservación y el manejo sostenible de recursos naturales, son esenciales para lograr una recuperación efectiva y sostenible de la laguna, fortaleciendo su papel como proveedor de servicios ecosistémicos y como recurso vital para la comunidad local.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial No. 097-A. (2015). *Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, libro VI, decreto ejecutivo 3516, registro oficial suplemento 2*. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Agualongo, D., & Garcés, A. (2020). El nivel socioeconómico como factor de influencia en temas de salud y educación. *Revista Vínculos*, 5(2). <https://doi.org/10.24133/vinculosespe.v5i2.1639>
- Bautista, J., Sosa, W., & Santillán, A. (2020). Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social. *Alta Tecnología y Sociedad*, 38(1). https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Fernandez-45/publication/361533522_Escala_de_Likert_Una_alternativa_para_elaborar_e_interpretar_un_instrumento_de_percepcion_social/links/62b736d0d49f803365b96810/Escala-de-Likert-Una-alternativa-para-elaborar-e-interpretar-un-instrumento-de-percepcion-social.pdf
- Bonifacio, F. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacl893.pdf
- Cantú, P. (2020). Preocupación y deterioro de la calidad ambiental. Apreciación de los estudiantes universitarios. *Ambiente y Desarrollo*, 24(46), 1–10. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd24-46.pdca>
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia. <https://drive.google.com/file/d/1FWdXNqUUjEaVwLa32C11OYeR3FNbhA51/view?pli=1>
- Código Orgánico Del Ambiente (2017). https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Condori, I., Loza, M., Mamani, F., & Solíz, H. (2018). *Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014*. <file:///C:/Users/Hello/Downloads/Dialnet-AnalisisMultitemporalDeLaCoberturaBoscosaEmpleando-9521474.pdf>
- Constitución de La República Del Ecuador, 449 Registro Oficial 14 (2008). https://defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Cusiche, L., & Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional ‘Lago Junín’, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1433–1447. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I6.1870>
- Déley, R., & Santillán, P. (2016). *Macroinvertebrados bentónicos de las microcuencas Jubal, Ozogoche y Zula Parque Nacional Sangay- Ecuador*. file:///C:/Users/Hello/Downloads/Macroinvertebrados_Bent%C3%B3nicos__Robert_o_D%C3%A9ley.pdf

- EPA. (1996). *Método 9045D - pH del suelo y de los residuos*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9045d.pdf>
- Epa Sw. (1996). *Method 3050 B Acid Digestion of sediments, sludgesm and soils*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3050b.pdf>
- Fernández, A. (2019). *Surface Water-Groundwater interactions in sand dune ponds located in Doñana National Park*. <https://core.ac.uk/download/pdf/344713852.pdf>
- Figueredo, J., Ramón, A., & Barrero, H. (2020). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo “Los Números” Guisa, Granma*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2310-34692020000100001&script=sci_arttext&tlng=pt
- Flórez, G., Rincon, A., Cardona, P., & Alzate, A. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA (Colombia)*, 84(201), 95–101. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>
- Freire, G. (2021). *Regeneración urbana integral en el sector de la Laguna de San Antonio de Padua, ciudad de Riobamba*. <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2032>
- Gastelum, F., Estrada, E., Cantú, C., González, F., Serna, R., & Salazar, J. (2020). Metodologías para estimar calidad de hábitat de fauna silvestre: revisión y ejemplos. *Agro Productividad*, 13(6). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1585>
- Gavidia, Á. (2022). *La observación en la investigación, método o técnica, a propósito de la táctica y la estrategia*. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RMT/article/view/4857/5075>
- González, E., & Roldán, G. (2019). *Calidad del Agua en las Américas*. https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525_Calidad_del_agua_en_Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=468
- González, F., Ullón, D., Yaguachi, A., Ramos, J., Montenegro, V., & Loján, J. (2024). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo en la isla Santa Cruz, archipiélago de las Galápagos, periodo 1991 - 2023. *Ciencia y Tecnología*, 17(1), 1–9. <https://doi.org/10.18779/cyt.v17i1.521>
- Granillo, I., López, E., & Martínez, E. (2022). Análisis de la calidad del agua en la laguna de Yuriria Guanajuato, México para 2022. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 9(1), 19–29. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/download/15/11>
- Grosso, J., Weinzettel, P., Ressia, J., Bongiorno, C., & Dietrich, S. (2020). Aplicación de tomografía de resistividad eléctrica para estudiar el comportamiento hídrico de un suelo descompactado. In *Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo IV*. Editora Artemis. https://doi.org/10.37572/edart_255311220
- HACH. (2000). *Manual de análisis de agua*. <http://www.hach.com>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos (2014). https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley-Org%C3%A1nica-Recursos-h%C3%ADdricos-usos-aprovechamiento-agua.pdf
- Mendoza, B., Fiallos, M., Iturralde, S., Santillán, P., Guananga, N., Bejar, J., Lowy, D., Vágó, I., & Sándor, Z. (2021). Determination of field capacity in the Chibunga and

- Guano rivers micro-basins. *F1000Research*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.28143.1>
- Mendoza, B., Tenelema, V., Procel, S., & Manciat, C. (2018). *Reconstrucción estratégica para determinar el potencial hidrogeológico en Guaruañagpamba Punín*. <file:///C:/Users/Hello/Downloads/RECONSTRUCCINESTRATIGRFICAPARADETERMINARELPOTENCIALHIDROGEOLOGICOENGUARUAGPAMBA-PUNNEC.pdf>
- Mendoza, L., Vera, V., Giler, J., & Simbaña, K. (2022). *Características físicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone - Ecuador*. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/cna/article/view/1492/3634>
- Naranjo, M. (2013). *Diseño de un Plan de Manejo Integral para la recuperación de la Laguna San Antonio de Padua de la ciudad de Riobamba y su área de influencia directa*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/329e12c7-2607-4bdc-bdfd-d07fa91879c5>
- Ruiz, M., Huamán, E., & Mejía, F. (2019). *Diagnóstico ecológico del humedal Chochoc*. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/2729/2790>
- Salamanca, S. (2020). *Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad en el Lago Titicaca: Bahía Interior de Puno*. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1453
- Salgado, C. (2019). *Muestra probabilística y no probabilística*. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108928/secme-10911_1.pdf
- Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). *Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática*. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1598/1154>
- Sierra, C. (2021). *Calidad del agua Evaluación y diagnóstico*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=calidad+de+agua&ots=ceXTNjZJel&sig=-6VmIh7kUqvEAf12fBv8DAVemlQ#v=onepage&q=calidad%20de%20agua&f=false>
- Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana (2004). https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/LEY_DE_PREVENCION_Y_CONTROL_DE_LA_CONTAMINACION_AMBIENTAL.pdf
- SNET. (2018). *Hoja metodológica para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA)*. <https://srt.snet.gob.sv/isr/links/ICA.pdf>
- Standard Methods. (2017a). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Standard Methods. (2017b). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Sucoshañay, D., Gutiérrez, J., & García, A. (2021). Diagnóstico ambiental integrado de la cuenca del río Puyo, Ecuador. *REVISTA GEOGRÁFICA VENEZOLANA*, 62(2), 348–366. <https://doi.org/10.53766/rgv/2021.62.02.03>

Vizñay, S. (2022). *Plan de restauración ambiental para la laguna San Antonio de Padua en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.*
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19611>

ANEXOS

Anexo A: Identificación de flora

Nombre común	Información	Fotografía
Totora	<p>Nombre científico: <i>Schoenoplectus californicus</i></p> <p>Género: Schoenoplectus</p> <p>Familia: Cyperaceae</p> <p>Orden: Poales</p> <p>Clase: Liliopsida</p>	
Chilca	<p>Nombre científico: <i>Baccharis latifolia</i></p> <p>Género: Baccharis</p> <p>Familia: Asteraceae</p> <p>Orden: Asterales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Altamisa	<p>Nombre científico: <i>Ambrosia artemisiifolia</i></p> <p>Género: Ambrosia</p> <p>Familia: Asteraceae</p> <p>Orden: Asterales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Gayomba	<p>Nombre científico: <i>Spartium junceum</i></p> <p>Género: Spartium</p> <p>Familia: Fabaceae</p> <p>Orden: Fabales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Retamilla	<p>Nombre científico: <i>Genista monspessulana</i></p> <p>Género: Genista</p> <p>Familia: Fabaceae</p> <p>Orden: Fabales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Ricino	<p>Nombre científico: <i>Ricinus communis</i></p> <p>Género: Ricinus</p> <p>Familia: Euphorbiaceae</p> <p>Orden: Euphorbiales</p>	

	Clase: Magnoliopsida	
Tilo	Nombre científico: <i>Sambucus canadensis</i> Género: Sambucus Familia: Adoxaceae Orden: Dipsacales Clase: Magnoliopsida	
Amaranto	Nombre científico: <i>Amaranthus hybridus</i> Género: Amaranthus Familia: Amaranthaceae Orden: Caryophyllales Clase: Magnoliopsida	
Hierba mora	Nombre científico: <i>Solanum americanum</i> Género: Solanum Familia: Solanaceae Orden: Solanales Clase: Magnoliopsida	
Uvilla	Nombre científico: <i>Physalis peruviana</i> Género: Physalis Familia: Solanaceae Orden: Solanales Clase: Magnoliopsida	
Taxo amarillo	Nombre científico: <i>Passiflora mixta</i> Género: Passiflora Familia: Passifloraceae Orden: Malpighiales Clase: Magnoliopsida	

Cardo borriquero	<p>Nombre científico: <i>Onopordum acanthium</i></p> <p>Género: Onopordum</p> <p>Familia: Asteraceae</p> <p>Orden: Asterales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Frambuesa	<p>Nombre científico: <i>Rubus niveus</i></p> <p>Género: Rubus</p> <p>Familia: Rosaceae</p> <p>Orden: Rosales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Zarzamora	<p>Nombre científico: <i>Rubus ulmifolius</i></p> <p>Género: Rubus</p> <p>Familia: Rosaceae</p> <p>Orden: Rosales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Sigse	<p>Nombre científico: <i>Cortaderia nitida</i></p> <p>Género: Cortaderia</p> <p>Familia: Poaceae</p> <p>Orden: Poales</p> <p>Clase: Liliopsida</p>	
Tabaquillo	<p>Nombre científico: <i>Solanum mauritianum</i></p> <p>Género: Solanum</p> <p>Familia: Solanaceae</p> <p>Orden: Solanales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Arraclán	<p>Nombre científico: <i>Frangula alnus</i></p> <p>Género: Frangula</p> <p>Familia: Rhamnaceae</p> <p>Orden: Rosales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	

Hinojo	<p>Nombre científico: <i>Foeniculum vulgare</i></p> <p>Género: Foeniculum</p> <p>Familia: Apiaceae</p> <p>Orden: Apiales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Falso diente de león	<p>Nombre científico: <i>Leontodon hispidus</i></p> <p>Género: Leontodon</p> <p>Familia: Asteraceae</p> <p>Orden: Asterales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Verbena lila	<p>Nombre científico: <i>Verbena brasiliensis</i></p> <p>Género: Verbena</p> <p>Familia: Verbenaceae</p> <p>Orden: Lamiales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Trébol rojo	<p>Nombre científico: <i>Trifolium pratense</i></p> <p>Género: Trifolium</p> <p>Familia: Fabaceae</p> <p>Orden: Fabales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
rébol de olor blanco	<p>Nombre científico: <i>Melilotus albus</i></p> <p>Género: Melilotus</p> <p>Familia: Fabaceae</p> <p>Orden: Fabales</p> <p>Clase: Magnoliopsida</p>	
Papiro	<p>Nombre científico: <i>Cyperus papyrus</i></p> <p>Género: Cyperus</p> <p>Familia: Cyperaceae</p> <p>Orden: Poales</p> <p>Clase: Liliopsida</p>	
Yerbamora vellosa	<p>Nombre científico: <i>Solanum chenopodioides</i></p> <p>Género: Solanum</p> <p>Familia: Solanaceae</p> <p>Orden: Solanales</p>	

	Clase: Magnoliopsida	
Álamo blanco	Nombre científico: <i>Populus alba</i> Género: Populus Familia: Salicaceae Orden: Malpighiales Clase: Magnoliopsida	
Ajoporro silvestre	Nombre científico: <i>Allium ampeloprasum</i> Género: Allium Familia: Amaryllidaceae Orden: Asparagales Clase: Liliopsida	
Hierba de Santa Maria	Nombre científico: <i>Tanacetum parthenium</i> Género: Tanacetum Familia: Asteraceae Orden: Asterales Clase: Magnoliopsida	
Junco churrero	Nombre científico: <i>Scirpoides holoschoenus</i> Género: Scirpoides Familia: Cyperaceae Orden: Poales Clase: Liliopsida	
Cerraja	Nombre científico: <i>Sonchus oleraceus</i> Género: Sonchus Familia: Asteraceae Orden: Asterales Clase: Magnoliopsida	
Almendro	Nombre científico: <i>Prunus dulcis</i> Género: Prunus Familia: Rosaceae Orden: Rosales Clase: Magnoliopsida	

Ajenjo	Nombre científico: <i>Artemisia absinthium</i> Género: Artemisia Familia: Asteraceae Orden: Asterales Clase: Magnoliopsida	
Sauce coyote	Nombre científico: <i>Salix exigua</i> Género: Salix Familia: Salicaceae Orden: Salicales Clase: Magnoliopsida	
Cerezo criollo	Nombre científico: <i>Prunus serotina</i> Género: Prunus Familia: Rosaceae Orden: Rosales Clase: Magnoliopsida	
Escoba amarga	Nombre científico: <i>Parthenium hysterophorus</i> Género: Parthenium Familia: Asteraceae Orden: Asterales Clase: Magnoliopsida	
Mozote	Nombre científico: <i>Bidens pilosa</i> Género: Bidens Familia: Asteraceae Orden: Asterales Clase: Magnoliopsida	

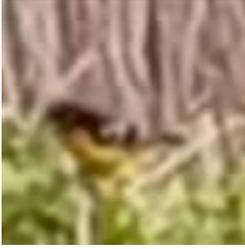
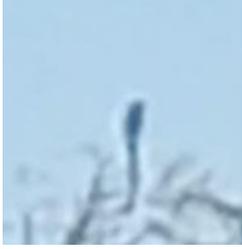
Anexo B: Identificación de fauna

Nombre común	Nombre científico	Fotografía
Avispa de cintura de hilo	Nombre científico: <i>Isodontia auripes</i> Género: Isodontia Familia: Sphecidae Orden: Hymenoptera Clase: Insecta	

Abeja melífera europea	<p>Nombre científico: <i>Apis mellifera</i> Género: Apis Familia: Apidae Orden: Hymenoptera Clase: Insecta</p>	
Ciervo volante	<p>Nombre científico: <i>Lucanus cervus</i> Género: Lucanus Familia: Lucanidae Orden: Coleoptera Clase: Insecta</p>	
Mariquita	<p>Nombre científico: <i>Hippodamia convergens</i> Género: Hippodamia Familia: Coccinellidae Orden: Coleptera Clase: Insecta</p>	
Blanquiverdosa	<p>Nombre científico: <i>Pontia occidentalis</i> Género: Pontia Familia: Pieridae Orden: Lepidoptera Clase: Insecta</p>	
Vanessa de oriente	<p>Nombre científico: <i>Vanessa indica</i> Género: Vanessa Familia: Nymphalidae Orden: Lepidoptera Clase: Insecta</p>	
Mariposa naranja azufre	<p>Nombre científico: <i>Colias eurytheme</i> Género: Colias Familia: Pieridae Orden: Lepidoptera Clase: Insecta</p>	

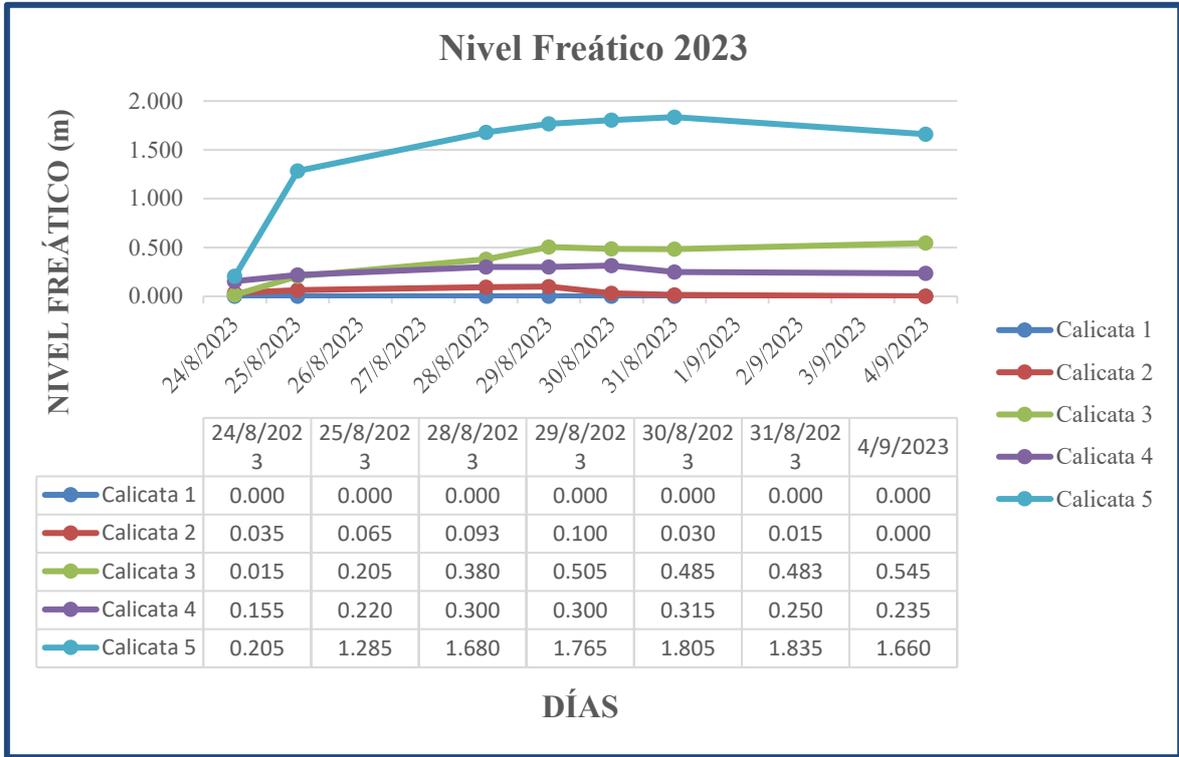
Mariposa átomo del oeste	<p>Nombre científico: <i>Hemiargus ceraunus</i> Género: Hemiargus Familia: Lycaenidae Orden: Lepidoptera Clase: Insecta</p>	
Libélula rayadora	<p>Nombre científico: <i>Crocothemis erythraea</i> Género: Crocothemis Familia: Libellulidae Orden: Odonata Clase: Insecta</p>	
Caballito de alas angostas	<p>Nombre científico: <i>Mesamphiagrion laterale</i> Género: Mesamphiagrion Familia: Coenagrionidae Orden: Odonata Clase: Insecta</p>	
Libélula rayadora	<p>Nombre científico: <i>Libellula forensis</i> Género: Libellula Familia: Libellulidae Orden: Odonata Clase: Insecta</p>	
Chapulines de antenas cortas	<p>Nombre científico: <i>Pezotettix giornae</i> Género: Pezotettix Familia: Acrididae Orden: Orthoptera Clase: Insecta</p>	
Mosca carroñera	<p>Nombre científico: <i>Sarcophaga carnaria</i> Género: Sarcophaga Familia: Sarcophagidae Orden: Diptera Clase: Insecta</p>	

Mosca barredora	<p>Nombre científico: <i>Cochliomyia macellaria</i></p> <p>Género: Cochliomyia</p> <p>Familia: Calliphoridae</p> <p>Orden: Diptera</p> <p>Clase: Insecta</p>	
Mosca doméstica	<p>Nombre científico: <i>Musca domestica</i></p> <p>Género: Musca</p> <p>Familia: Muscidae</p> <p>Orden: Diptera</p> <p>Clase: Insecta</p>	
Zancudo de agua común	<p>Nombre científico: <i>Aquarius remigis</i></p> <p>Género: Aquarius</p> <p>Familia: Gerridae</p> <p>Orden: Hemiptera</p> <p>Clase: Insecta</p>	
Araña lobo de quelíceros rojos	<p>Nombre científico: <i>Lycosa erythrognatha</i></p> <p>Género: Lycosa</p> <p>Familia: Lycosidae</p> <p>Orden: Araneae</p> <p>Clase: Arachnida</p>	
Araña pescadora	<p>Nombre científico: <i>Dolomedes triton</i></p> <p>Género: Dolomedes</p> <p>Familia: Pisauridae</p> <p>Orden: Araneae</p> <p>Clase: Arachnida</p>	
Gorrión criollo	<p>Nombre científico: <i>Zonotrichia capensis</i></p> <p>Género: Zonotrichia</p> <p>Familia: Emberizidae</p> <p>Orden: Passeriforme</p> <p>Clase: Ave</p>	

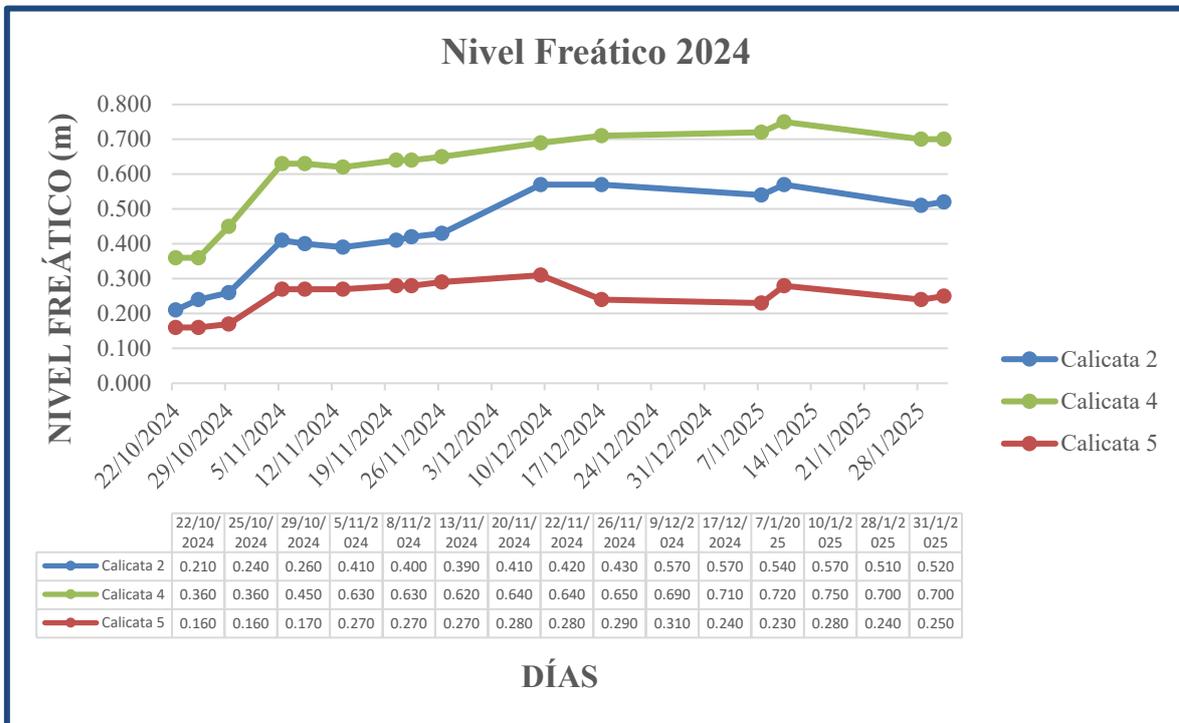
Mirlo	<p>Nombre científico: <i>Turdus merula</i> Género: Turdus Familia: Turdidae Orden: Passeriforme Clase: Ave</p>	
Jilguero	<p>Nombre científico: <i>Carduelis spl</i> Género: Carduelis Familia: Fringilidae Orden: Passeriforme Clase: Ave</p>	
Tortolita croante	<p>Nombre científico: <i>Columbina cruziana</i> Género: Columbina Familia: Columbidae Orden: Columbiformes Clase: Ave</p>	
Paloma	<p>Nombre científico: <i>Columbidae</i> Género: Familia: Columbidae Orden: Columbiformes Clase: Ave</p>	
Colibrí colilargo	<p>Nombre científico: <i>Lesbia victoriae</i> Género: Lesbia Familia: Trochilidae Orden: Apodiformes Clase: Ave</p>	
Chingolo	<p>Nombre científico: <i>Zonotrichia capensis</i> Género: Zonotrichia Familia: Passerellidae Orden: Passeriformes Clase: Ave</p>	

Pez de cuatro colas	<p>Nombre científico: <i>Carassius auratus</i> Género: Carassius Familia: Cyprinidae Orden: Cypriniformes Clase: Actinopterygii</p>	
Vaca	<p>Nombre científico: <i>Bos taurus</i> Género: Bos Familia: Bovidae Orden: Artiodactyla Clase: Mammalia</p>	
Oveja	<p>Nombre científico: <i>Ovis orientalis aries</i> Género: Ovis Familia: Bovidae Orden: Artiodactyla Clase: Mammalia</p>	
Perro mestizo	<p>Nombre científico: <i>Canis lupus familiaris</i> Género: Canis Familia: Canidae Orden: Carnivora Clase: Mammalia</p>	

Anexo C: Nivel freático calicatas 2023



Anexo D: Nivel freático calicatas 2024



Anexo E: Precipitación media mensual

Meses	Precipitación (mm)
Enero	89
Febrero	122.7
Marzo	133.1
Abril	136.9
Mayo	107.3
Junio	89.4
Julio	60.4
Agosto	49.5
Septiembre	62.8
Octubre	85.2
Noviembre	83.6
Diciembre	84.8
Total	92.058

Anexo F: Temperatura media mensual

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agto	Sept	Oct	Nov	Dic
Media (°C)	12.1	12.3	12.2	12.2	12	11.2	10.9	11.3	12.1	12.4	12.6	12.3
Mínima (°C)	8.7	8.9	9	8.9	8.7	7.9	7.4	7.5	8.2	8.7	8.9	8.9
Máxima (°C)	16.9	17	17.1	8.9	16.6	15.7	15.6	16.4	17.3	17.4	17.5	17.1

Anexo G: Cálculo de la evapotranspiración media mensual

Meses	Evapotranspiración (mm)
Enero	67.95
Febrero	64.95
Marzo	67.24
Abril	64.41
Mayo	60.22
Junio	51.47
Julio	51.63
Agosto	57.44
Septiembre	60.24
Octubre	71.19
Noviembre	64.63
Diciembre	69.94
Total	751.37

Anexo H: Humedad relativa

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agto	Sept	Oct	Nov	Dic
86%	87%	88%	88%	87%	86%	84%	80%	79%	84%	84%	86%

Anexo I: Descripción de los suelos de la laguna

Orden	Suborden	Área (km ²)
Inceptisoles	Andepts	0.010287
Entisoles	Psamments	0.0281763

Anexo J: Textura de suelos

Calicata	Área (Km ²)	Descripción
1	0.006455	Moderadamente fina
2	0.003702	Media
3, 4 y 5	0.028645	Fina

Anexo K: Comparativa entre los datos obtenidos en las calicatas y el límite máximo permisible para suelo, según el (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

Parámetro	Muestra	Límite máximo permisible	Unidades	Valor obtenido en campo	Cumplimiento
pH	M1	6 a 8	Adimensional	7.58	Cumple
	M2	6 a 8	Adimensional	7.46	Cumple
	M3	6 a 8	Adimensional	7.66	Cumple
	M4	6 a 8	Adimensional	8.24	No cumple
	M5	6 a 8	Adimensional	7.31	Cumple
Conductividad	M1	200	uS/cm	580	No cumple
	M2	200	uS/cm	176	Cumple
	M3	200	uS/cm	163	Cumple
	M4	200	uS/cm	180	Cumple
	M5	200	uS/cm	574	No cumple
OD	M1	-	%	18.5	-
	M2	-	%	18.5	-
	M3	-	%	18.5	-
	M4	-	%	18.5	-
	M5	-	%	18.5	-

ORP	M1	-	mVORP	-16.6	-
	M2	-	mVORP	-23.5	-
	M3	-	mVORP	-26.5	-
	M4	-	mVORP	-27.5	-
	M5	-	mVORP	-14.3	-
Salinidad	M1	-	PSU	0.26	-
	M2	-	PSU	0.08	-
	M3	-	PSU	0.08	-
	M4	-	PSU	0.08	-
	M5	-	PSU	0.28	-
Nitrógeno	M1	-	mg/kg	0.0011	-
	M2	-	mg/kg	0.00083	-
	M3	-	mg/kg	0.0016	-
	M4	-	mg/kg	0.00027	-
	M5	-	mg/kg	0.00027	-
Calcio	M1	-	mg/kg	5346.92	-
	M2	-	mg/kg	2580.96	-
	M3	-	mg/kg	6700.09	-
	M4	-	mg/kg	3490.64	-
	M5	-	mg/kg	12217.49	-
Potasio	M1	-	mg/kg	499.62	-
	M2	-	mg/kg	631.8	-
	M3	-	mg/kg	630.07	-
	M4	-	mg/kg	547.8	-
	M5	-	mg/kg	646.59	-
Magnesio	M1	-	mg/kg	1030.53	-
	M2	-	mg/kg	1013.48	-
	M3	-	mg/kg	1029.36	-
	M4	-	mg/kg	1013.99	-
	M5	-	mg/kg	885.51	-
Sodio	M1	-	mg/kg	311.98	-
	M2	-	mg/kg	296.19	-
	M3	-	mg/kg	335.07	-
	M4	-	mg/kg	304.25	-
	M5	-	mg/kg	330.89	-
Plomo	M1	19	mg/kg	10.26	Cumple
	M2	19	mg/kg	16.70	Cumple
	M3	19	mg/kg	10.31	Cumple
	M4	19	mg/kg	11.63	Cumple
	M5	19	mg/kg	17.80	Cumple
Zinc	M1	60	mg/kg	37.29	Cumple

	M2	60	mg/kg	10.89	Cumple
	M3	60	mg/kg	22.53	Cumple
	M4	60	mg/kg	15.03	Cumple
	M5	60	mg/kg	18.92	Cumple
Coliformes fecales	M1	-	#colonias/100ml	11	-
	M2	-	#colonias/100ml	0	-
	M3	-	#colonias/100ml	0	-
	M4	-	#colonias/100ml	0	-
	M5	-	#colonias/100ml	0	-
Coliformes fecales	M1	-	#colonias/100ml	0	-
	M2	-	#colonias/100ml	9	-
	M3	-	#colonias/100ml	340	-
	M4	-	#colonias/100ml	1440	-
	M5	-	#colonias/100ml	1020	-

Anexo L: Comparativa entre los datos obtenidos y el límite máximo permisible para agua, según el (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015)

Parámetro	Muestra	Límite máximo permisible	Unidades	Valor obtenido en campo	Cumplimiento
pH	M1	6.5 - 9	Adimensional	8.36	Cumple
	M3	6.5 - 10		7.14	Cumple
	M5	6.5 - 11		6.65	Cumple
Conductividad	M1	-		3.67	-
	M3	-		739	-
	M5	-		2.49	-
OD	M1	Mayor a 80%	% saturación	106.4	Cumple
	M3	Mayor a 80%		56.3	No cumple
	M5	Mayor a 80%		72.8	No cumple
Turbidez	M1	-	mg/L	85	-
	M3	-		124	-
	M5	-		97	-
Nitratos	M1	13	mg/L	0.7	Cumple
	M3	13		3.5	Cumple
	M5	13		0	Cumple
Nitritos	M1	0.2	mg/L	0.009	Cumple
	M3	0.2		0.006	Cumple
	M5	0.2		0.007	Cumple
Fosfatos	M1	-	mg/L	0.23	-
	M3	-		1.76	-

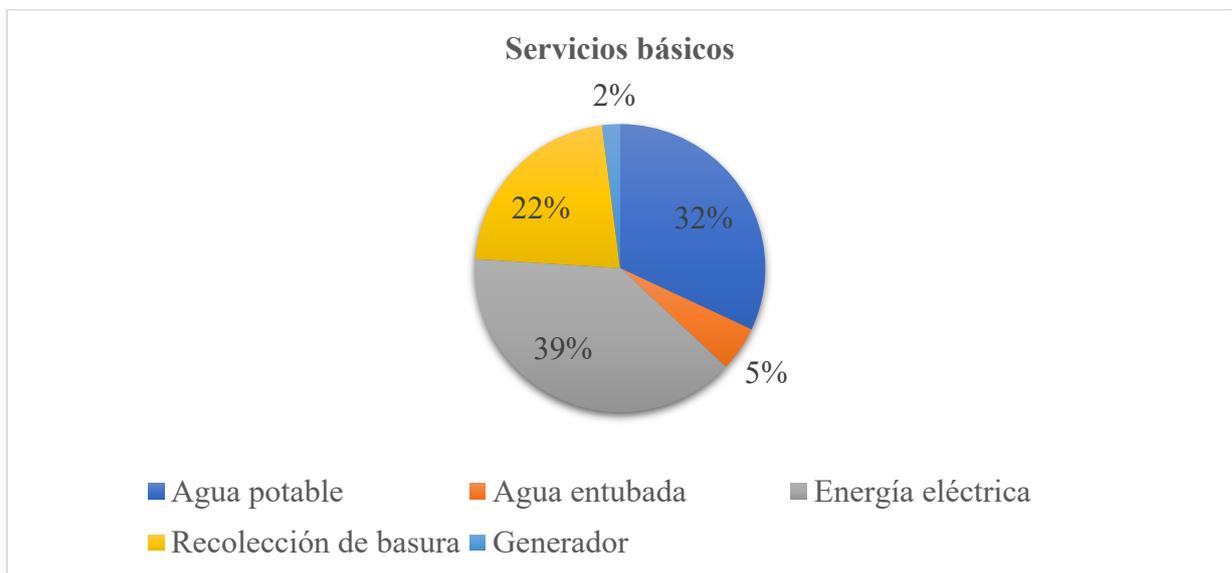
	M5	-		0.33	-
Coliformes fecales	M1	-	#colonias/100 mL	0	-
	M3	-		0	-
	M5	-		10	-
Coliformes totales	M1	-	mg/L	720	-
	M3	-		0	-
	M5	-		0	-
Nitrógeno	M1	-	mg/L	0.000014	-
	M3	-		0.000014	-
	M5	-		0.000014	-
Calcio	M1	-	mg/L	434.22	-
	M3	-		479.09	-
	M5	-		307.06	-
Potasio	M1	-	mg/L	179.1	-
	M3	-		198.45	-
	M5	-		127.53	-
Magnesio	M1	-	mg/L	803.96	-
	M3	-		784.33	-
	M5	-		605.91	-
Plomo	M1	0.01	mg/L	0	Cumple
	M3	0.01		0	Cumple
	M5	0.01		0	Cumple
Cobre	M1	0.005	mg/L	0	Cumple
	M3	0.005		0	Cumple
	M5	0.005		0	Cumple

Anexo M: *Identificación de macroinvertebrados presentes en la laguna*

Número	Orden	Familia	# Individuos	Hábitat
1	Diptera	Chironomidae	249	Aguas lóaticas en fango arena con abundante materia orgánica en descomposición, indicadores de agua mesoeutróficas.
2	Oligochaeta	Haplotaxida	6	Aguas eutrofizadas tanto en lóaticas como lénticas están sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de tritus como restos de plantas y vegetación.

3	Hemiptera	Hebridae	3	<p>Estanques, lagos y recursos de ríos sobre o dentro de vegetación flotante, indicadores de agua oligomesotróficas. Aguas lénticas como charcos y lagunas poco profundas con mucha materia orgánica, indicadores de aguas contaminadas. Léntico con abundante vegetación, indicadores de aguas mesotróficas. Todo tipo de agua y son resistentes a la contaminación.</p>
4	Coleoptera	Hydrophilidae	1	
5	Odonata	Aeshnidae	6	
6	Gastropoda	Physidae	3	

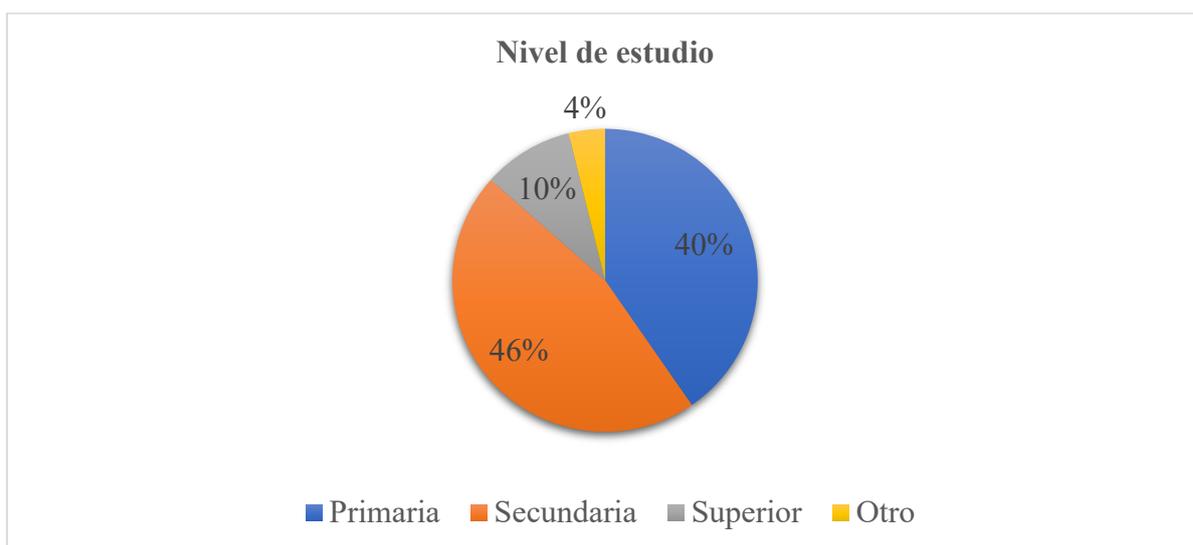
Anexo N: *Distribución porcentual de los servicios básicos*



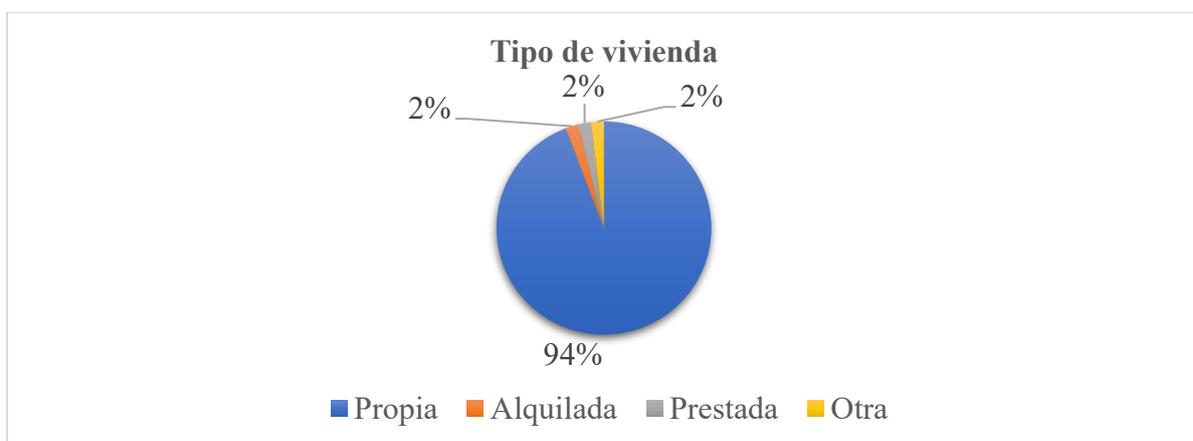
Anexo O: *Distribución porcentual del acceso a saneamiento básico*



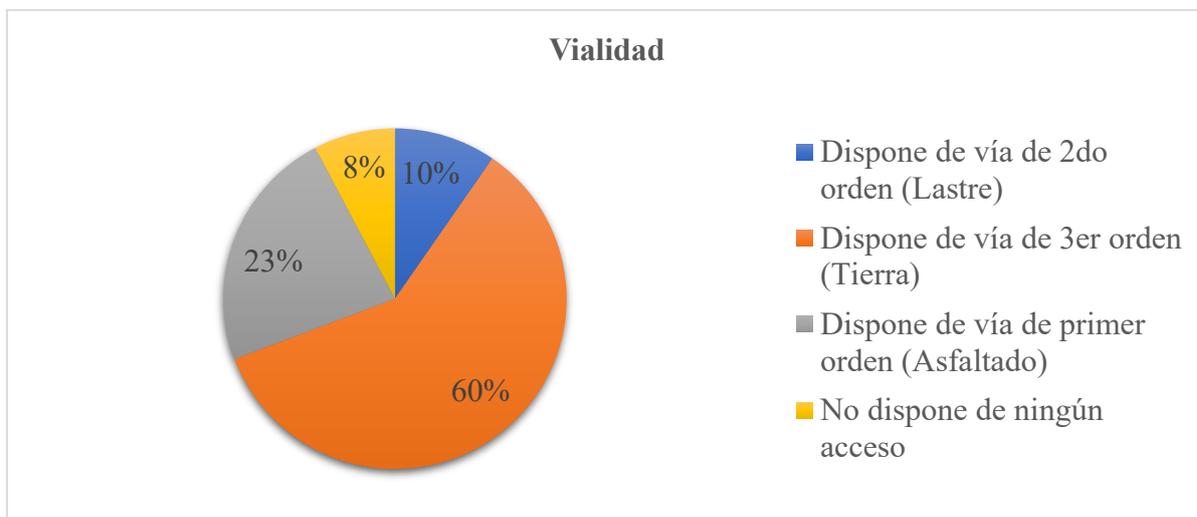
Anexo P: *Niveles educativos alcanzados por la población*



Anexo Q: *Tipo de vivienda existente en el área circundante a la laguna*



Anexo R: Acceso vial



Anexo S: Distribución porcentual de las actividades productivas

