

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

Integrando índices tróficos, análisis espacio - temporal y modelamiento de nutrientes como herramientas en la gestión de la laguna de Busa, cantón San Fernando, provincia del Azuay.

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Ambiental

Autores:

Juan Martín Naranjo González

Emilio Akamaru Velasco Rivadeneira

Director:

Fausto Fernando García Ávila

ORCID:  0000-0002-9274-9769

Cuenca, Ecuador

2024-09-24

Resumen

La eutrofización es una amenaza para los ecosistemas lacustres, lo que hace crucial su evaluación para una gestión adecuada. Este estudio evaluó la calidad del agua y el estado trófico de la laguna de Busa mediante índices como el de Eutrofización OCDE y el Índice de Estado Trófico (IET), además de un análisis espacio-temporal. Se midieron parámetros como fósforo, nitrógeno y clorofila-a en cuatro puntos de muestreo, en temporadas de sequía y lluvias. Los resultados indicaron diferentes grados de eutrofización según la temporada y mostraron correlaciones significativas entre el IET y parámetros como pH y turbidez. El modelado de nutrientes con PAMOLARE bajo varios escenarios reveló que, sin medidas correctivas, la laguna presenta una tendencia a la eutrofización progresiva, mientras que las medidas preventivas disminuyen los contaminantes y mejoran la transparencia del agua. Sin embargo, el aumento de actividades contaminantes agrava la situación. Este estudio destaca la necesidad de estrategias de gestión para preservar la sostenibilidad del ecosistema de la laguna.

Palabras clave del autor: eutrofización, análisis espacio-temporal, modelamiento, nutrientes



El Contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata la responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Eutrophication is a significant threat to lake ecosystems, making its assessment crucial for effective management. This study evaluated the water quality and trophic state of the Busa lagoon using indices such as the OECD Eutrophication Index and the Trophic State Index (TSI), along with a spatiotemporal analysis. Key parameters such as phosphorus, nitrogen, and chlorophyll-a were measured at four sampling points during both dry and rainy seasons. The results showed varying degrees of eutrophication depending on the season and significant correlations between the TSI and parameters like pH and turbidity. Nutrient load modeling with PAMOLARE under different scenarios revealed that without corrective measures, the lagoon tends toward progressive eutrophication, while preventive measures reduce contaminants and improve water transparency. However, an increase in polluting activities worsens the situation. This study emphasizes the need for management strategies to preserve the sustainability of the lagoon's ecosystem.

Author Keywords: eutrophication, spatiotemporal analysis, modeling, nutrients



El Contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata la responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. Capítulo I. Introducción	15
1.1. Antecedentes.....	15
1.2. Problemática.....	16
1.3. Justificación	16
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos	17
2. Capítulo II. Marco teórico.....	19
2.1. Calidad del agua.....	19
2.2. Principales parámetros que definen la calidad del agua.....	19
2.2.1. Parámetros físicos	20
2.2.2. Parámetros químicos	22
2.2.3. Parámetros microbiológicos	25
2.3. Índices de calidad de agua	25
2.4. Calidad de agua de las lagunas	26
2.4.1. Lagunas altoandinas	26
2.4.2. Eutrofización de lagunas.....	27
2.4.3. Gestión de las lagunas.....	27
2.4.4. Índices tróficos.....	29
2.5. Normativa nacional vigente	30
2.6. Análisis espacio – temporal	32
2.6.1. Análisis de correlación de Pearson	33
2.6.2. Análisis clúster	33

2.6.3. Prueba de T pareado	34
2.6.4. ANOVA – Análisis de varianzas	34
2.7. Carga de nutrientes	35
2.7.1. Software PAMOLARE	36
2.8. Estado del arte.....	36
2.8.1. Aplicación de índices de eutrofización	36
2.8.2. Análisis espacio – temporal.....	37
2.8.3. Análisis de cargas de nutrientes	37
3. Capítulo III. Metodología	39
3.1. Descripción del ambiente de influencia	39
3.1.1. Ubicación y extensión del área de estudio	39
3.1.2. Aspectos ambientales	40
3.1.3. Aspectos socioeconómicos	41
3.2. Muestreo y análisis de la calidad del agua en la laguna de Busa.....	42
3.2.1. Determinación y descripción de los puntos de muestreo.....	42
3.2.2. Frecuencia de monitoreo, toma y conservación de muestras.....	47
3.2.3. Análisis de muestras	48
3.3. Determinación de índices tróficos e índices de calidad del agua.....	49
3.3.1. Índice IET.....	49
3.3.2. Índice propuesto por la OCDE	51
3.3.3. Índice ICA NSF	51
3.4. Análisis espacio temporal	52
3.4.1. Análisis de correlaciones	52
3.4.2. Análisis de clúster	52

3.4.3. Análisis T Pareado.....	53
3.4.4. Análisis ANOVA.....	53
3.5. Análisis de las cargas de nutrientes bajo diferentes escenarios.....	54
4. Capítulo IV. Resultados y discusión	58
4.1. Análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y determinación de los índices tróficos.....	58
4.1.1. Comparación con la Normativa Nacional vigente de los parámetros físico, químicos y microbiológicos.....	58
4.1.2. Cálculo de los índices tróficos.....	63
4.1.3. Índice Trófico de Carlson – IET.....	73
4.1.4. Comparación con otros estudios.....	78
4.2. Análisis espacio - temporal de la calidad de agua de la laguna Busa.....	82
4.2.1. Análisis de Correlación entre los diferentes parámetros y el Índice IET	82
4.2.2. ANOVA Factorial.....	85
4.2.3. Análisis Clúster	90
.....	92
4.2.4. Análisis T Pareado.....	94
4.3. Análisis de las cargas de nitrógeno y fósforo	99
4.3.1. Análisis de cargas de nutrientes en época de estiaje.....	99
4.3.2. Análisis de cargas de nutrientes en época de lluvias	107
4.3.3. Comparación entre los análisis de carga de nutrientes de las épocas de estiaje y de lluvias	114
5. Conclusiones y recomendaciones.....	118
5.1. Conclusiones	118
5.2. Recomendaciones	121

6. Referencias.....	123
---------------------	-----

7. Anexos	137
-----------------	-----

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de extensión y límites del proyecto recreacional “laguna de Busa”	39
Figura 2. Punto 1 - Entrada de la laguna de Busa	44
Figura 3. Punto 2 - salida de la laguna de Busa	45
Figura 4. Punto 3 - Aguas arriba de la laguna de Busa.....	45
Figura 5. Punto 4 – parte cercana a las totoras	46
Figura 6. Punto 5 - Interior cerca de los muelles.....	46
Figura 7. Toma de muestras de la laguna de Busa.....	48
Figura 8. Inicio del Software PAMOLARE.....	54
Figura 9. Parámetros de fósforo y nitrógeno requeridos en el Software PAMOLARE	55
Figura 10. Variables morfológicas del lago requeridas en el Software PAMOLARE	56
Figura 11. Concentración del fósforo total en la época de estiaje	68
Figura 12. Concentración del fósforo total durante la época de lluvias	69
Figura 13. Clorofila-a en la laguna de Busa durante la época de estiaje.....	70
Figura 14. Clorofila-a en la laguna de Busa durante la época de lluvia.....	71
Figura 15. Transparencia de la laguna de Busa durante el período de estiaje.....	72
Figura 16. Transparencia de la laguna de Busa durante el período de lluvia.....	73
Figura 17. Distribución trófica durante la época de estiaje según el Índice IET.....	75
Figura 18. Distribución trófica durante la época de lluvia según el Índice IET.....	76
Figura 19. Distribución trófica de la profundidad según el Índice IET.....	77
Figura 20. Distribución trófica del fósforo total según el Índice IET	77
Figura 21. Distribución trófica de la Clorofila-a según el Índice IET	78
Figura 22. Dendograma de las relaciones entre los diferentes puntos de muestreo con los parámetros de calidad de agua medidos en la laguna de Busa para la época de estiaje	91
Figura 23. Dendograma de la relación entre los diferentes puntos de muestreo con los parámetros de calidad de agua medidos en la laguna de Busa para la época de lluvias.....	93
Figura 24. Histograma de la comparación de parámetros entre los puntos entrada y aguas arriba en la época de estiaje	96
Figura 25. Histograma de la comparación de parámetros entre entrada y aguas arriba en la época de lluvias.....	98
Figura 26. Escenarios A, B y C en el Software PAMOLARE para la época de estiaje	103

<i>Figura 27. Escenarios A, B y C obtenidos en el Software PAMOLARE para la época de lluvias</i>	
.....	110

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios para clasificar la calidad de un cuerpo de agua según el ICA - NSF	26
Tabla 2 Tabla de valores límite del índice OCDE para la clasificación trófica.....	29
Tabla 3 Escala de valores para la clasificación trófica según el IET.....	30
Tabla 4 Criterios de calidad de agua.....	31
Tabla 5 Uso de suelo en el cantón San Fernando.....	42
Tabla 6 Métodos de análisis de los parámetros de calidad de agua.....	49
Tabla 7 Variables para introducir en el Software PAMOLARE	57
Tabla 8. Comparación de las medias de los parámetros de calidad de agua medidos en la laguna de Busa con la normativa nacional vigente	62
Tabla 9 Estado trófico según la OCDE en la laguna de Busa.....	64
Tabla 10 Resultados del Índice OCDE para la época de estiaje en la laguna de Busa	66
Tabla 11 Resultados del Índice OCDE para la época de lluvias en la laguna de Busa.....	66
Tabla 12 Resultados del Índice de Estado Trófico -IET- para la época de estiaje en la laguna de Busa.....	74
Tabla 13 Resultados del Índice de Estado Trófico para la época de lluvias en la laguna de Busa	75
Tabla 14 Comparación del Índice OCDE con otros resultados.....	79
Tabla 15 Comparación del Índice IET con otros resultados	81
Tabla 16 Resultados del análisis de correlación entre el Índice IET y parámetros de calidad del agua.....	84
Tabla 17 Comparación del análisis ANOVA con los índices IET e ICA en las estaciones seca y lluviosa.....	88
Tabla 18 Resultado del análisis T Pareado entre los puntos 2 y 3.	95
Tabla 19 Comparación de los parámetros analizados en las épocas de estiaje y lluvia en la laguna de Busa	115

Dedicatoria

En un momento de plenitud, regocijo y esperanza, dedico este trabajo a aquellas personas que rodean mi vida, mis seres queridos. Me llena de satisfacción y orgullo el poder terminar mi carrera y este proyecto, ya que el esfuerzo, el tiempo y la energía invertidos, me han llevado a la tierra prometida.

A mis padres, Pablo Velasco y Guadalupe Rivadeneira, quienes han sido los pilares en los que siempre me he apoyado. Son mi motivación más grande y anhelo, algún día, llegar a ser, por lo menos, la cuarta parte de lo que son ellos.

A mi hermano, Simón Velasco, quien ha sido un ejemplo y un modelo para seguir de lucha, resistencia y perseverancia contra las injusticias del mundo en el que vivimos.

A mis queridxs fieles, personas maravillosas que hicieron de mi estadía en Cuenca, un sinfín de aventuras y momentos increíbles que siempre voy a llevar conmigo. Se convirtieron en mi lugar seguro, en mi hogar.

A la selección de básquet de la universidad, que se ha impregnado en mi alma y en mi corazón, y a mis compañerxs de equipo, quienes se han convertido en mi familia con los que tendré muchos recuerdos que agradecer y apreciar durante toda mi vida.

A Olón y a su gente, que siempre me reciben de la mejor manera y constantemente me recuerdan mis raíces y los valores con los que crecí. Sin dejar atrás al resto de mi familia y amigxs, quienes siempre han confiado en mí y han contribuido a mi formación como persona. Gracias por formar parte de mi vida y por atribuirme parte de su orgullo.

Emilio Velasco Rivadeneira

Dedicatoria

Las metas se alcanzan en equipo, y este logro no habría sido posible sin el apoyo invaluable de muchas personas y entidades.

A mis padres, Sebastián Naranjo y Margarita González, por su paciencia infinita, perseverancia y por creer en mí en todo momento, ayudándome a cumplir mis metas. Su amor y apoyo incondicionales han sido mi pilar fundamental.

A mis abuelas, María Cuvi y Susana Peña, por su apoyo académico y logístico. A mi tío Nico Cuvi y mi hermano Tomás Naranjo, por su invaluable ayuda para ver las cosas en perspectiva y guiarme en mis decisiones cruciales. Sus palabras de sabiduría y consejos siempre fueron un faro de luz en momentos de incertidumbre.

A los Ingenieros Fernando García y Giovanni Larriva, por su acompañamiento constante, sabiduría y guía a lo largo de todo este proceso. Su dedicación y conocimientos han sido una inspiración y un modelo para seguir.

A la Prefectura del Azuay y al GAD de San Fernando, por compartir su información y confiar en nosotros, facilitando la realización de este proyecto. Su colaboración ha sido esencial para el desarrollo de esta investigación.

A Emilio Velazco, mi compañero de tesis, por todo lo que aprendimos juntos y por su compañerismo y dedicación en cada paso del camino. Tu esfuerzo y compromiso han sido fundamentales para alcanzar nuestras metas comunes.

A mis amigos y compañeros de la Universidad de Cuenca, quienes con su apoyo, camaradería y estímulo hicieron que este viaje fuera más llevadero y lleno de experiencias memorables.

Juan Naranjo González

Agradecimientos

A la Universidad de Cuenca, por permitirme formar parte de su prestigiosa institución y abrirme las puertas del mundo de la investigación y el conocimiento. Asimismo, a los y las docentes, por ayudarme a encontrar la motivación y el amor por estudiar esta carrera, así como por el apoyo diario, los desafíos y las anécdotas que nos brindaron.

Por otro lado, agradezco de manera especial a nuestro tutor de tesis, Ing. Fernando García, por compartirnos sus capacidades y conocimientos científicos durante todo el desarrollo de esta tesis, además de confiar en nosotros de la manera en que lo hace.

Además, agradecer inmensamente el apoyo de la Prefectura del Azuay y específicamente, a la Ing. Magaly Jiménez, por confiar en nosotros para el desarrollo de este proyecto y por su colaboración en los monitoreos de la laguna de Busa.

A mi compañero de tesis, Juan Martín, con quien he establecido un lazo que va más allá de lo académico, y que juntos hemos alcanzado una meta más en la vida.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de curso, con quienes he compartido varios años de mi vida, experimentando compañerismo, humildad y, sobre todo, amistad. Gracias también a toda la comunidad universitaria, por haber forjado y estructurado el inicio de mi carrera profesional.

Emilio Velasco Rivadeneira

Agradecimientos

A la Universidad de Cuenca, por permitirme aprender y crecer en esta institución de excelencia. A todos los profesores, por su dedicación y por aportar con un granito de arena en mi conocimiento. Su pasión por la enseñanza y su compromiso con los estudiantes han dejado una huella imborrable en mi formación.

A la Facultad de Ciencias Ambientales, por proporcionarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto y por su constante apoyo a lo largo de mi carrera.

A todos mis amigos y compañeros de clase, quienes con su amistad y compañerismo hicieron que este viaje académico fuera más enriquecedor y llevadero. Sus consejos, risas y momentos compartidos son un tesoro invaluable.

A todos, muchas gracias por ser parte de este viaje y contribuir de manera tan significativa a la realización de este sueño. Cada uno de ustedes ha dejado una marca indeleble en este proyecto y en mi vida.

Juan Naranjo González

1. Capítulo I. Introducción

1.1. Antecedentes

A nivel nacional existen instrumentos normativos que impulsan el manejo sostenible de humedales, tales como la “Política y Estrategia Nacional para la conservación y el uso racional de los humedales del Ecuador”. A nivel provincial, la Prefectura del Azuay lleva a cabo proyectos de restauración de humedales como la “Restauración Ambiental de la Laguna Busa, cantón San Fernando, Provincia del Azuay”, en el cual participa también el Municipio de San Fernando como actor principal, debido a que la laguna es uno de sus principales atractivos turísticos.

Asimismo, el Gobierno Municipal del cantón San Fernando presentó su compromiso con la preservación de su patrimonio natural, incluida la restauración ambiental de la Laguna de Busa. En consonancia con las competencias establecidas por la ley, se destaca la prioridad cantonal en la restauración de humedales afectados por intervenciones antrópicas y la aprobación del "PROYECTO TURÍSTICO RECREACIONAL ECOLÓGICO DE LA LAGUNA BUSA Y EL CERRO SAN PABLO" en 2023.

Cabe destacar que actualmente se está ejecutando la segunda etapa del ya mencionado proyecto “Restauración Ambiental de la Laguna Busa, cantón San Fernando, Provincia del Azuay”. En su etapa inicial se obtuvo una primera línea base para comprender los factores que afectan la calidad ambiental y escénica de la laguna y se procedió con la remoción de vegetación invasiva, sobre todo de *Schoenoplectus californicus* o totora. La segunda etapa apunta principalmente a la aplicación de técnicas de rehabilitación física y biológica, a través de la implementación de un sistema de aireación mecánica superficial, la construcción de un sistema de conducción y sedimentación de afluentes de la laguna, actividades de reforestación y fortalecimiento de la franja protectora de la laguna, y el monitoreo de calidad de agua y suelo en su zona de influencia.

1.2. Problemática

La laguna de Busa, ubicada en el recinto Busa del cantón San Fernando, provincia del Azuay, es uno de los principales atractivos turísticos del cantón. Ofrece una variedad de actividades recreativas, como camping, pesca deportiva, senderismo y paseos en bote. Sin embargo, la calidad del agua y los servicios ecosistémicos están siendo afectados por actividades humanas, como la ganadería aguas arriba, cuyos nutrientes provenientes de los desechos de animales ingresan por escorrentía. Además, la gestión deficiente de las aguas residuales y el control insuficiente de las actividades de camping impactan negativamente los niveles tróficos. A pesar de estos desafíos, el lugar sigue siendo un punto destacado para disfrutar de la naturaleza y la oferta turística local, incluyendo las ofertas gastronómicas y las actividades los fines de semana.

La eutrofización de lagos y lagunas ocurre por el ingreso excesivo y la acumulación de nutrientes como nitrógeno y fósforo (Franco y Manzano, 2010). Esto provoca el crecimiento de algas que eventualmente mueren, se precipitan al fondo del agua y se descomponen. Los sedimentos resultantes en el cuerpo de agua, junto con otros que llegan transportados a través de los drenajes (María Florencia Gutierrez et al., 2018), contribuyen a la eutrofización. Este fenómeno provoca un incremento en la actividad bacteriana y la consecuente disminución del oxígeno disuelto, causando una coloración verdosa en el agua, un crecimiento de vegetación invasora en las orillas, la afectación a la vida acuática, a los ecosistemas circundantes y, por ende, a las actividades turísticas que se llevan a cabo en la laguna.

En efecto, en los últimos años se ha podido apreciar, de manera evidente, un incremento de la coloración verdosa en toda la superficie de la laguna de Busa, así como el crecimiento significativo de totora en sus orillas, lo que trae consigo una disminución de sus atractivos turísticos.

1.3. Justificación

La laguna de Busa es de interés colectivo debido a los servicios ambientales que ofrece a la población local y a su significativo valor escénico. La importancia económica, social, cultural y ecológica de este cuerpo lacustre en el recinto Busa y en el cantón San Fernando conduce a la

necesidad de prestar atención y cuidado para aprovechar no sólo su potencial hídrico en el conjunto de la cuenca del río Jubones, sino también su valor estético y paisajístico.

La existencia de actividades humanas contaminantes, la insuficiente educación ambiental de la población local y la escasa información sobre la importancia de este humedal, advierten la necesidad de realizar más estudios en profundidad sobre su estado trófico, la calidad de su agua y el impacto ambiental que puede estar causando el cambio en el uso del suelo de la zona de influencia.

El presente estudio va a recopilar y analizar información de parámetros físico, químicos y microbiológicos que permitirán evaluar la calidad del agua mediante índices de calidad e índices tróficos de la laguna de Busa. También se simularán escenarios sobre el impacto de las actividades humanas en la calidad del agua, con el propósito de proporcionar resultados útiles para la toma de decisiones sobre la restauración y el manejo sostenible de la laguna. Los resultados de esta investigación serán fundamentales para los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provincial del Azuay y Municipal de San Fernando, y de esta manera se contribuirá a lograr una gestión más informada y eficaz de este valioso recurso hídrico y de los ecosistemas circundantes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Integrar los índices tróficos, análisis espacio - temporal y evaluación de nutrientes como herramientas de la gestión ambiental de la laguna de Busa, cantón San Fernando, provincia del Azuay.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del agua de la laguna de Busa, a través del Índice de Eutrofización OCDE y el Índice de Estado Trófico (IET), y mediante la comparación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos con la normativa nacional vigente.

- Desarrollar un análisis espacio - temporal especializado de la calidad del agua, que permita identificar patrones, tendencias y variaciones significativas en los datos recopilados.
- Analizar las cargas de nitrógeno y fósforo bajo diferentes escenarios que son necesarias para una eficiente gestión de la laguna de Busa.

2. Capítulo II. Marco teórico

2.1. Calidad del agua

La calidad del agua puede definirse de varias maneras. Una de las definiciones más importantes es la de Ramírez (2021), quien indica que la calidad de un ecosistema acuático se caracteriza por una estructura definida de cantidades, especificaciones y características físicas, químicas y microbiológicas de sustancias orgánicas e inorgánicas. Además, detalla que también incluye el estado y la composición de la biodiversidad acuática presente en dicho ambiente. De manera similar, Samboni, Carvajal Escobar y Escobar (2007) destacan que el estado de un cuerpo de agua se determina mediante la medición individual o agrupada de variables físicas, químicas y microbiológicas, datos que informan sobre la composición del agua, la naturaleza de los contaminantes y su influencia sobre la vida acuática.

La contaminación o degradación del agua consiste en la introducción de sustancias o materiales que alteran su calidad y composición. Este fenómeno se presenta a nivel mundial y perjudica a todos los organismos vivos del planeta. Las principales fuentes de contaminación son las actividades antrópicas, que pueden ser puntuales o difusas. Los principales contaminantes incluyen agentes patógenos, sustancias orgánicas como el petróleo, plásticos y fertilizantes, y sustancias inorgánicas como ácidos y metales pesados, entre otros menos significativos (Rosendo Guadarrama-Tejas et al. 2016).

2.2. Principales parámetros que definen la calidad del agua

Cualquier sistema hídrico es crucial para la supervivencia de los organismos presentes en un ambiente determinado, ya sea porque brinda las condiciones apropiadas para el bienestar de animales y plantas, o por los servicios ecosistémicos que requiere la sociedad.

Como se mencionó anteriormente, para establecer la calidad de un cuerpo de agua es necesaria la medición de ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Dichos parámetros poseen criterios y métodos específicos para sus mediciones, los cuales han sido estandarizados por agencias internacionales (Ramírez, 2021).

2.2.1. Parámetros físicos

- **Color**

El color puede considerarse un parámetro subjetivo o relacionado con la turbidez, aunque también puede deberse a la presencia de partículas disueltas y sustancias coloidales, según menciona Ramírez (2021). Además, destaca que las principales fuentes de color en el agua son la descarga de aguas residuales industriales, la descomposición de materia orgánica y la disolución de minerales presentes en el suelo.

En adición, (Bridgewater et al. 2017) explican que el denominado “color aparente” es causado tanto por sustancias disueltas como suspendidas, mientras que el “color real o verdadero” es provocado únicamente por partículas disueltas.

- **Transparencia**

Según Feng, Hou, y Zheng (2019) la transparencia, a menudo confundida con la turbidez, proporciona una primera impresión sobre la calidad del agua. Esto se debe a que no solo influye en la percepción visual de las personas, sino que también afecta directamente el paso y la disponibilidad de la luz solar en los ecosistemas acuáticos. Asimismo, se menciona que este parámetro está estrechamente relacionado con la clorofila-a, los sólidos suspendidos totales (SST) y la materia orgánica disuelta.

Asimismo, Lee et al. (2015) describen el disco de Secchi como el método óptico más antiguo para determinar la transparencia del agua en lagos y océanos. Este instrumento, de color blanco y negro y con un diámetro de entre 30 y 45 cm, se sumerge en el agua hasta que el usuario u operador deja de verlo. De esta manera, se obtiene una medida cuantitativa de la transparencia o visibilidad vertical de un cuerpo de agua marino o lacustre.

- **Turbidez**

En el estudio realizado por Ramírez (2021) se explica que la turbidez del agua es un importante indicador de calidad, ya que está relacionada con la interferencia de partículas suspendidas en la disponibilidad de luz solar. También destaca que las altas concentraciones de turbidez pueden

deberse principalmente a materiales provenientes de la erosión de los suelos y al manejo inadecuado de aguas residuales domésticas e industriales.

Aparte, la World Health Organization (2017) establece que la turbidez, causada por partículas químicas y biológicas, puede tener repercusiones graves tanto en la calidad y seguridad del agua como en su apariencia. Sin embargo, se detalla que la presencia de dicha turbidez no siempre representa un riesgo para la salud, aunque puede estar relacionada con la presencia, acumulación y proliferación de bacterias patógenas.

- **Sólidos totales disueltos**

Según Sigler y Bauder (2017), los sólidos disueltos totales (STD) son un buen indicador de la calidad de agua, ya que representan un conjunto de minerales, metales y sales, cuyo tamaño es menor a 2 micrómetros y no es posible removerlos con un filtro convencional. También menciona que dicha variable, al presentar altas concentraciones, puede incrementar la turbidez y alterar el sabor del agua.

Ahora bien, los sólidos presentes en el agua se mantienen suspendidos y disueltos, aunque la mayoría se disuelve en el cuerpo de agua (Ramírez, 2021).

- **Temperatura**

De acuerdo con Ramírez (2021), la temperatura se considera como la variable física más influyente en la dinámica y procesos fisicoquímicos del agua, y también en el diseño de los sistemas de tratamiento y distribución de agua. Esto debido a que juega un papel crucial en la viscosidad del agua y en la velocidad de las reacciones químicas que ocurren en el sistema hídrico y ecosistema circundante.

Por otra parte, Díaz y González (2022) resaltan la importancia de la temperatura del agua para el correcto funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable, además de que se establece que es recomendable mantener dicha temperatura en valores menores a 25°C para prevenir la presencia de patógenos.

2.2.2. Parámetros químicos

- **Aceites y grasas**

Este parámetro, según Ramírez (2021), se refiere a la presencia de partículas líquidas (aceites) y sólidas (grasas) de naturaleza generalmente orgánica, que se encuentran en suspensión debido a su menor densidad en comparación con el agua. Las principales fuentes de estos contaminantes están asociadas al manejo de aguas residuales domésticas, lo que puede degradar la calidad de otros cuerpos de agua como las lagunas, lo cual inhibe el paso de la luz y el oxígeno disuelto, y afecta la respiración de los peces.

En cambio, el estudio de Canal y Ubierna (2015) menciona que solo un litro de aceite de cocina usado puede contaminar la misma cantidad de agua que una persona consume en un año. Además, junto con los detergentes y jabones, producen las “bolas de grasa” que pueden generar atascos en tuberías y colectores.

- **Clorofila-a**

El término clorofila se refiere a uno de los pigmentos fotosintéticos presentes en las algas que conforman el fitoplancton. La clorofila-a es el más significativo, ya que se encuentra en todas las especies de algas y puede interpretarse como una medida directa y cuantitativa de la biomasa vegetal existente en un cuerpo de agua (Ramírez, 2021)

Además, Hermosilla Gómez (2009) señala que, si bien este indicador permite estimar la producción primaria y la biomasa algal, dado que actúa como pigmento terminal en la fotosíntesis, la concentración de clorofila-a no siempre refleja con precisión la biomasa fitoplanctónica. Esto se debe a la variabilidad espacial y temporal de las especies y células fotosintéticas presentes en un sistema hídrico.

- **Conductividad**

La conductividad eléctrica del agua, según Ramírez (2021), es un indicador directo de la cantidad de sales disueltas en el agua y se cuantifica generalmente en siemens por metro (S/m) o en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Además, está relacionado con la presencia de iones de

calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Asimismo, Aumassanne y Fontanella (2015) sostienen que este parámetro mide la capacidad del agua para transmitir corrientes eléctricas y puede influir significativamente en el pH y la conductividad del suelo, así como en la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento de los cultivos.

- **Demanda bioquímica de oxígeno**

Quintana y Alberto (2010) describen la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO₅) como la cantidad de oxígeno requerido para oxidar biológicamente el material orgánico presente en el agua. En otras palabras, se refiere al oxígeno utilizado por los microorganismos para la degradación de materia orgánica. Ramírez (2021) insiste en que esta variable se usa principalmente para cuantificar la materia orgánica presente en el agua.

- **Demanda química de oxígeno**

Quintana y Alberto (2010) afirman que la demanda química de oxígeno (DQO) determina el oxígeno necesario, en miligramos por litro para descomponer los compuestos presentes en el agua a través de reacciones químicas. Asimismo, Ramírez (2021) sostiene que, al igual que la DBO₅, la DQO se utiliza para determinar la concentración de materia orgánica en el agua, pero lo hace mediante una sustancia química.

Por otro lado, Li, Tian, y Sheng (2022) subrayan que es necesario considerar esta variable como un contaminante relevante, ya que está directamente relacionada con la disponibilidad de nutrientes, los cuales impulsan la eutrofización de estuarios, lagunas y zonas costeras.

- **Fosfatos**

Según Bolaños-Alfaro, Cordero-Castro, y Segura-Araya (2017), el fósforo inorgánico presente en los minerales, suspendido o en solución como partículas, e incluso adherido a especies acuáticas o a las gotas de lluvia, da origen al ion fosfato. Además, este anión juega un papel crucial en el ciclo del fósforo. Por otro lado, Lavie et al. (2010) señalan que la agricultura intensiva y el uso de fertilizantes químicos son las principales causas de la contaminación por iones fosfato.

- **Nitratos y nitritos**

El nitrógeno total es el precursor de los nitratos y nitritos al reaccionar con el oxígeno, como mencionan Bolaños-Alfaro et al. (2017). También destacan que, aunque los nitratos son esenciales para el desarrollo de la vegetación y forman parte del ciclo del nitrógeno, el exceso de este nutriente debido al uso indebido de fertilizantes en la agricultura contamina seriamente el agua, dada su alta solubilidad.

Por otro lado, Sigler y Bauder (2012) concluyen que, aunque los nitratos y nitritos se encuentran en bajas concentraciones en el ambiente natural, ciertas fuentes puntuales y dispersas como los sistemas sépticos, los campos agrícolas y ganaderos, el material vegetal en descomposición y los rellenos sanitarios incrementan exponencialmente la cantidad de nitratos en las aguas subterráneas, ríos y lagos debido a las precipitaciones, escorrentías y filtraciones.

- **pH y alcalinidad**

El pH o potencial de hidrógenos es un parámetro importante de calidad del agua, ya que describe las condiciones ácidas o básicas de un cuerpo de agua (Ramírez, 2021). Sigler y Bauder (2017) añaden que esta variable cuantifica los iones de hidrógeno o nivel de acidez en el agua, mientras que la alcalinidad determina la capacidad del agua para estabilizar o corregir los niveles de acidez. Estos autores también describen que los rangos del pH varían de 0 a 14; valores de 0 a 6 indican acidez, 7 es neutro, y 8 a 14 indican alcalinidad. pH óptimo para la mayoría de organismos acuáticos es 6.5-8.5.

- **Sulfatos**

Los iones sulfato se encuentran en bajas concentraciones en la naturaleza, tanto en suelos y lechos rocosos como en la lluvia. Sin embargo, Bolaños-Alfaro et al. (2017) indican que actividades humanas como la explotación minera, la agricultura y el consumo de combustibles fósiles incrementan notablemente los iones sulfato tanto en lluvias como en aguas superficiales. Ramírez (2021) detalla que la valoración de la conductividad puede ser utilizada para medir la concentración de este ion.

- **Oxígeno disuelto**

En un cuerpo de agua natural, el oxígeno disuelto es el gas más importante, ya que es crucial para la supervivencia y desarrollo de los organismos acuáticos y los ecosistemas circundantes (Villanueva y Esquivel, 2012). Además, Posada et al. (2013) establecen que este parámetro es un indicador crucial de contaminación del agua, ya que los valores bajos de oxígeno disuelto indican una alta presencia de materia orgánica, y por lo tanto, una mayor demanda de oxígeno.

2.2.3. Parámetros microbiológicos

- **Coliformes fecales y coliformes totales**

Según Ramírez (2021) y Silva et al. (2004), la detección de microorganismos patógenos requiere de análisis costosos y complejos. Por esta razón, se utiliza el grupo de bacterias coliformes como indicador de la calidad bacteriológica del agua. Estos coliformes, tanto fecales como totales, incluyen bacterias aerobias y anaerobias facultativas, Gram negativas y no formadoras de esporas.

Aunque generalmente no son perjudiciales, son altamente resistentes y su presencia indica una probable contaminación por patógenos.

2.3. Índices de calidad de agua

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es una herramienta integral utilizada para evaluar y representar la calidad del agua de manera simplificada. Convierte múltiples parámetros de calidad del agua en un solo valor, facilitando la interpretación y comparación. Este índice suele involucrar la selección de parámetros clave, la transformación de datos en una escala común, la asignación de pesos según la importancia de cada parámetro, y la agregación de estos valores ponderados para obtener el índice final (Chidiac et al. 2023).

El ICA, desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF), se considera como el precursor de varios ICA's debido a que varios índices han sido desarrollados con base en el NSF (Noori et al., 2019). También se menciona que al ser un índice integral contempla varios parámetros de calidad de agua, como el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD), el pH, los sólidos

totales (ST), la DBO5a cinco días (BOD5), la turbidez (Turb), el fosfato total (PT), los nitratos (NO_3^-), el cambio de temperatura (T) y los coliformes fecales (CF).

En efecto, los criterios necesarios para clasificar la calidad de un cuerpo de agua, una vez calculado el ICA - NSF, se muestran a continuación en la **tabla 1**.

Tabla 1

Criterios para clasificar la calidad de un cuerpo de agua según el ICA - NSF

No. de clase	Clases	Rango de valores del ICA
1	Excelente	90 – 100
2	Buena	70 – 89
3	Media	50 – 69
4	Mala	25 – 49
5	Muy mala	0 – 24

Fuente: Parween et al., 2022.

2.4. Calidad de agua de las lagunas

2.4.1. Lagunas altoandinas

Las lagunas altoandinas se formaron principalmente durante y después de la última glaciación, hace aproximadamente 25000 años, cuando los glaciares empezaron a retroceder dejando depresiones que se llenaron de agua (Florez y Ríos 1998).

Estos autores mencionan que estas lagunas también pueden ser producto de la actividad volcánica y tectónica, cuando la acumulación de agua ocurre en cráteres volcánicos o en depresiones creadas por movimientos tectónicos. Estas lagunas, además de su importancia ecológica, tienen un gran significado cultural y socioeconómico para las comunidades locales, ya que proveen agua, alimentos y otros recursos esenciales.

2.4.2. Eutrofización de lagunas

Boehrer y Schultze (2008) mencionan que la eutrofización es un proceso que ocurre cuando una laguna recibe un exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes de fuentes como la agricultura, la ganadería y los vertidos de aguas residuales. Este exceso de nutrientes promueve un crecimiento excesivo de algas, lo que puede provocar una disminución en la calidad del agua y afectar negativamente a los organismos acuáticos y los servicios ecosistémicos. La eutrofización puede conducir a condiciones de hipoxia o anoxia en el agua, lo cual impacta la biodiversidad y la salud del ecosistema lagunar.

Los servicios ecosistémicos apunta a resolver las necesidades básicas los seres humanos y cómo estas son satisfechas con la ayuda de los ecosistemas y las especies presentes, al generar agua limpia, participar en ciclos de los nutrientes, formación del suelo, regulación climática, entre otras (Tallis, Guerry y Daily, 2012).

2.4.3. Gestión de las lagunas

Entre las técnicas para la prevención de contaminación de lagunas se mencionan tres:

- El uso de barreras vivas que ayudan a retener los nutrientes en el suelo, según lo afirmado por Sims y Rodríguez (2000). Las barreras de pasto y arbusto no sólo impiden el paso de nitrógeno y fósforo hacia zonas más bajas, sino que además lo retienen en el suelo volviéndolo más fértil y productivo y previniendo la erosión, lo cual es fundamental para el crecimiento de plantas y la estabilidad de los ecosistemas. Esto ayuda a reducir la entrada de estos nutrientes por los procesos de lixiviación producidos por eventos de lluvia.
- El uso de humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo ha sido actualizado por Arteaga-Cortez et al. (2019). Estos autores analizaron los mecanismos que permiten a estos humedales remover tales nutrientes del agua usando diferentes diseños como humedales de flujo libre, humedales subsuperficiales, sistemas de flujo vertical y sistemas de flujo horizontal. El fósforo es retenido por adsorción y precipitación hasta obtener una reducción del 30%, mientras que en el caso del nitrógeno rigen

procesos como volatilización, nitrificación, desnitrificación, mineralización, reducción, adsorción entre otras (Gao et al., 2018).

- La disminución de la cantidad de ganado. Echaniz y Vignatti (2013) analizan el estado trófico de los lagos y argumentan que la carga de nutrientes está directamente relacionada con el uso del suelo. Específicamente, el pastoreo de animales provoca el arrastre de heces por escorrentía, lo que puede influir significativamente en el estado trófico de estos ecosistemas.

Para la restauración de lagunas eutróficas se implementan técnicas como la aireación y lagunas flotantes

- La aireación es muy efectiva para la reducción de los contaminantes pues logra una disminución de los fosfatos totales y el nitrógeno total después del tratamiento. Estos resultados subrayan el potencial de la aireación como una estrategia de gestión sostenible para lagunas eutróficas. Implementar esta técnica no solo mejora la calidad del agua, sino que también contribuye al mantenimiento de la biodiversidad y a la conservación de servicios ecosistémicos esenciales en cuerpos de agua dulce (Fuentes L. et al., 2017).
- El uso de islas flotantes artificiales funciona efectivamente como un sistema de fitorremediación de aguas contaminadas para la remoción eficaz de nitratos y fosfatos. Según Bermeo Zapata y Tigse Masapanta (2019), las islas flotantes funcionan de manera similar a los humedales naturales, actuando como sumideros de nutrientes y amortiguadores para los contaminantes orgánicos e inorgánicos. Este enfoque se alinea con las estrategias de remediación ecológico, y proporciona una solución sostenible y eficiente para la gestión de ecosistemas acuáticos contaminados.

2.4.4. Índices tróficos

- **Índice trófico OCDE**

El Índice de Eutrofización creado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) es una herramienta utilizada para evaluar el grado de eutrofización en cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses. Según López Martínez y Madroñero Palacios (2015), dicho índice fue desarrollado por 22 naciones en una amplia variedad de ambientes en Europa, Norteamérica, Asia y Oceanía, y finalmente propuesto en 1982 por el Comité de Eutrofización de la OCDE. De esta manera, se definió una clasificación de estados tróficos que incluye ultra oligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico.

Acorde Vollenweider y Kerekes (1982), esta organización propuesta por la OCDE abarca ciertos parámetros de calidad de agua como el fósforo total (PT Medio), la clorofila-a media (Cl-a Media) y máxima (Cl-a Max), y la transparencia o Disco Secchi media (DS Medio) y mínima (DS Mín.). Básicamente, este enfoque relaciona una clasificación cualitativa subjetiva con una cantidad objetiva paramétrica, además de considerar la importancia de la carga de nutrientes.

Tabla 2

Tabla de valores límite del índice OCDE para la clasificación trófica

Estado Trófico	PT Medio (ug/L)	Cl-a Media (ug/l)	Cl-a Max (ug/L)	DS Medio (m)	DS Min (m)
Ultraoligotrófico	< 4	< 1	< 2.5	> 12	> 6
Oligotrófico	< 10	< 2.5	< 8	> 6	> 3
Mesotrófico	10 – 35	2.5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 - 1.5
Eutrófico	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1.5	1.5 - 0.7
Hipereutrófico	> 100	> 25	> 75	< 1.5	< 0.7

Fuente: elaboración propia con base en OCDE.

- **Índice de Estado Trófico (IET)**

En 1977, Robert E. Carlson introdujo el Índice de Estado Trófico (IET). Es una herramienta diseñada para evaluar la salud de los cuerpos de agua basándose en la abundancia de fitoplancton. Este índice, que se mide en una escala de 0 a 100, utiliza datos como la transparencia del disco de Secchi, las concentraciones de clorofila y de fósforo total para reflejar la biomasa algal. En la escala del IET, un aumento de diez puntos indica que la biomasa algal se ha duplicado, lo cual ofrece una imagen clara del estado trófico del agua, desde condiciones oligotróficas hasta eutróficas. Esta herramienta es especialmente útil porque usa parámetros complejos de calidad de agua transformados en información accesible y manejable, y así mejora la comprensión general sobre la calidad del agua entre científicos, administradores y la comunidad. Así, tal como se muestra en la **tabla 3**, el IET no solo mide la calidad del agua, sino que también ayuda a evaluar cómo las acciones de restauración y manejo afectan la salud de los ecosistemas acuáticos (Carlson, 1977).

Tabla 3

Escala de valores para la clasificación trófica según el IET

Estado de eutrofia
Oligotrófico (TSI < 30)
Mesotrófico (30 < TSI < 50)
Eutrófico (50 < TSI < 75)
Hipereutrófico (75 < TSI < 100)

Fuente: elaboración propia con base en Modificado por Robert E. Carlson (1977)

2.5. Normativa nacional vigente

- **Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA)**

La regulación del Libro VI, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria establece directrices fundamentales para prevenir y controlar la contaminación ambiental, alineándose con un enfoque de desarrollo sostenible y compromiso social. Este marco normativo

es esencial para proteger la calidad del recurso hídrico, asegurando la protección y preservación de la salud humana, la integridad de los ecosistemas y sus interconexiones, y el ambiente en general.

El Anexo 1 define criterios específicos, que incluyen:

- a) Límites permisibles, disposiciones y restricciones aplicables a las descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado.
- b) Criterios de calidad del agua adaptados a sus diferentes aplicaciones.
- c) Métodos y procedimientos estandarizados para la detección de contaminantes en el agua.

En lo abordado por este estudio, la laguna de Busa tiene varias funciones como la preservación de la vida acuática y silvestre, el uso recreativo, así como riego agrícola, es crucial adherirse a los estándares de calidad de agua establecidos para este tipo de uso. Según el Registro Oficial Suplemento 387 del 4 de noviembre de 2015, donde se establece el acuerdo ministerial 097-A y los respectivos límites permisibles para el recurso agua, se muestran en la **tabla 4**.

Para la laguna de Busa, considerando que el principal uso es el recreativo de contacto secundario, ya que, según las autoridades locales, las condiciones actuales del humedal no permiten el uso de contacto primario. Es por esto que es necesario detallar los seis estándares de calidad que constan en la **tabla 4**. Esta normativa es fundamental para dirigir las acciones de conservación y restauración de la laguna, con el objetivo de asegurar que las actividades recreativas se desarrollen en un entorno seguro y sostenible.

Tabla 4

Criterios de calidad de agua

Normativa	Contenido
-----------	-----------

Acuerdo ministerial 97a - tabla 1	Fuentes de agua para consumo humano y doméstico
Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	Preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios
Acuerdo ministerial 97a - tabla 3	Aguas para riego agrícola
Acuerdo ministerial 97a - tabla 4	Niveles de la calidad de agua para riego
Acuerdo ministerial 97a - tabla 5	Aguas para uso pecuario
Acuerdo ministerial 97a - tabla 6	Fines recreativos mediante contacto primario

Fuente: elaboración propia con base en el Acuerdo Ministerial 97^a.

2.6. Análisis espacio – temporal

El análisis espacio - temporal es una técnica estadística que examina la variación en los datos a lo largo del tiempo y a través de diferentes ubicaciones, esto permite a los investigadores encontrar patrones y tendencias para la gestión de ecosistemas acuáticos como lagos y lagunas (Kowe et al., 2023). Este tipo de análisis es importante en estudios limnológicos porque los cuerpos de agua dulce están frecuentemente sujetos a fluctuaciones dinámicas tanto en sus componentes bióticos como abióticos debido a factores naturales y antropogénicos (Wei et al., 2022). En lagos y lagunas, el análisis espacio - temporal permite evaluar cómo la calidad del agua, la biodiversidad acuática y los procesos ecológicos responden a cambios en variables como la eutrofización, la presión antropogénica y las condiciones climáticas a lo largo del tiempo y a lo largo del área del cuerpo de agua (Kowe et al., 2023).

Estudios como el realizado por Pálffy y Smeti (2024) utilizan simulaciones para explorar cómo la carga de nutrientes afecta la variabilidad estacional de la composición del fitoplancton. Así, determinaron que con una relación N/P por encima de la proporción de Redfield (16:1), la variabilidad estacional aumenta significativamente con el incremento de la temperatura media.

En cambio, cuando la relación N/P es menor y el nitrógeno es limitado, la variabilidad estacional se mantiene baja y no se ve afectada por el aumento de la temperatura. Estos estudios demuestran que la relación de nitrógeno a fósforo total (N/P) y la temperatura pueden influir significativamente en la variabilidad temporal, lo cual subraya la importancia de considerar múltiples dimensiones de variabilidad para gestionar y conservar estos ecosistemas bajo escenarios de cambio climático y crecimiento poblacional. De esta manera, el análisis espacio-temporal ofrece pautas esenciales sobre cómo los factores locales y globales interactúan para influir en la estructura y función de los ecosistemas lacustres y, así, proporcionan una base sólida para las estrategias de conservación y restauración.

2.6.1. Análisis de correlación de Pearson

El análisis de correlación es una técnica estadística que permite evaluar la relación entre dos o más variables. En el contexto de la calidad del agua, esta técnica es crucial para identificar cómo diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos interactúan entre sí y cómo estos pueden influir en los niveles de eutrofización (Wu et al., 2024). La correlación mide la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables. Por ejemplo, la correlación de Pearson y la correlación de Spearman. La correlación de Pearson es adecuada para evaluar las relaciones lineales y se calcula mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), que varía de -1 a +1. Un valor de +1 indica una correlación positiva perfecta, -1 una correlación negativa perfecta y 0 ninguna correlación (Hijosa-Valsero et al., 2016).

2.6.2. Análisis clúster

El análisis clúster es una técnica estadística fundamental utilizada para agrupar observaciones en grupos con características similares. Este método se emplea ampliamente en diversos campos científicos, incluyendo los estudios ambientales como la calidad del agua. Los clústeres permiten identificar patrones y relaciones dentro de los datos, en lo cual se facilita la interpretación y el análisis de grandes conjuntos de información (Blashfield y Aldenderfer, 1978).

En el contexto de la calidad del agua, los clústeres se utilizan para agrupar sitios de muestreo en regiones homogéneas, basándose en parámetros de calidad del agua. Este enfoque ayuda a

detectar áreas con características similares y a desarrollar estrategias de gestión ambiental más efectivas (Varol 2020).

2.6.3. Prueba de T pareado

El test t pareado es una herramienta estadística usada para comparar medias en estudios donde las observaciones se obtienen en pares, como en las diferencias entre dos puntos de muestreo. Este test asume que las diferencias entre las observaciones emparejadas siguen una distribución normal y su objetivo es probar la hipótesis nula de que la media de las diferencias es cero. La fórmula del test t que se basa en la media y la desviación estándar de las diferencias, proporcionan una medida robusta incluso en muestras pequeñas (Hsu y Lachenbruch, 2014).

En estudios ambientales, el test t pareado ha demostrado ser valioso para evaluar la calidad del agua en diferentes condiciones. Por ejemplo, en el análisis de la calidad del agua en el lago Bosten, se utilizaron comparaciones entre estaciones secas y húmedas para evaluar cómo la conectividad hidráulica y la evaporación afectan la composición del agua y la materia orgánica disuelta. Se encontraron diferencias significativas en la salinidad y otros parámetros, las mismas que subrayan la importancia de este test para entender las dinámicas ambientales y los impactos de los factores climáticos y humanos en ecosistemas acuáticos (Zhou et al., 2017).

2.6.4. ANOVA – Análisis de varianzas

El análisis de la varianza (ANOVA) factorial es una técnica estadística que permite examinar las interacciones entre dos o más factores independientes y su impacto en una variable dependiente. El ANOVA factorial, al evaluar simultáneamente múltiples factores, proporciona una visión más completa de cómo diferentes variables independientes influyen en la variable dependiente. Esta técnica es esencial para estudios donde se busca comprender las interacciones complejas entre varios factores o ubicaciones, porque permite identificar no solo los efectos principales de cada factor, sino también las interacciones entre ellos (Lew y Glińska-Lewczuk, 2018).

La prueba post hoc de Tukey es una de las técnicas utilizada para realizar comparaciones múltiples después de realizar un ANOVA factorial. Esta prueba se usa para identificar cuáles grupos difieren entre sí. La prueba de Tukey controla la tasa de error tipo I y es particularmente

útil en diseños donde el número de observaciones es el mismo para todos los niveles del factor. La capacidad de esta prueba para realizar fuertes comparaciones múltiples de manera robusta la convierte en una herramienta útil para validar hallazgos estadísticos de manera precisa (Cayuela, 2014).

2.7. Carga de nutrientes

Las cargas de nutrientes se refieren a la cantidad total de nitrógeno y fósforo que entra en el sistema en un período de tiempo determinado, comúnmente expresado en kilogramos por año. Estas son clave para el crecimiento de organismos fotosintéticos y son los principales reguladores del estado trófico de los lagos. Según Bruning González (2018), los niveles de estos nutrientes pueden influir significativamente en los ecosistemas lacustres, desde condiciones de oligotrofia, con baja productividad y aguas claras, hasta condiciones de hipertrofia, que pueden inducir procesos de eutrofización severos.

De esta forma, para lograr una gestión profunda y un manejo apropiado de los sistemas lacustres o cuerpos de agua es necesario efectuar la estimación de los nutrientes como nitrógeno y fósforo que llegarán al agua (Díaz, 2013).

- **Carga de fósforo**

El fósforo puede llegar desde varias fuentes a los cuerpos lacustres de zonas rurales. Dichas fuentes pueden ser las actividades agrícolas, la escorrentía de bosque reforestados, las aguas residuales domésticas y las cargas de fósforo de los sedimentos del lago (Van Heyst, A, y Jamieson, 2022).

- **Carga de nitrógeno**

Según Sander y Kalff (1993), las cargas de nutrientes como nitrógeno pueden provenir principalmente de aguas subterráneas, descargas de aguas residuales, fertilizantes nitrogenados, escorrentía superficial y lluvia ácida.

De esta manera, la necesidad de estimar las concentraciones de nutrientes en lagos y lagunas ha llevado en los últimos años a desarrollar modelos y *softwares* que cuantifiquen las relaciones

existentes entre las cargas y los estados tróficos de cuerpos lacustres, y permitan analizar dichas cargas y sus efectos. Uno de los principales, modernos y más usados modelos es el *software* PAMOLARE.

2.7.1. Software PAMOLARE

El *software* gratuito PAMOLARE (*“The Planning and Management Model of Lakes and Reservoirs”* o “Modelo de Gestión y Planificación de Lagos y Reservorios”) es un programa especializado para mejorar la gestión socioambiental de cuerpos de agua lacustres, a través de la estimación de varios parámetros relacionados con la calidad de agua. Así, Gurkan, Zhang, y Jørgensen (2006) explican que este programa contiene cuatro modelos disponibles: el modelo de Vollenweider, el modelo de una capa con cuatro variables de estado y respuesta de concentraciones en agua y sedimento, el modelo de dos capas con veintiún variables de estado, y el modelo estructuralmente dinámico con quince variables de estado con el uso de exergía.

2.8. Estado del arte

2.8.1. Aplicación de índices de eutrofización

El estudio realizado por García-Avila et al. (2023) tuvo como objetivo principal determinar la calidad del agua de la laguna de San Martín, ubicada en la provincia del Azuay. Para ello, se emplearon índices de eutrofización y de calidad de agua, tomando muestras en seis puntos del humedal durante los periodos de sequía y lluvia. En este estudio se analizaron parámetros como oxígeno disuelto, pH, fosfatos, nitratos, transparencia, clorofila-a, coliformes fecales, demanda biológica de oxígeno (DBO), temperatura y turbidez. Tras cuantificar estas variables, se calcularon los índices mencionados. Los resultados mostraron niveles medios y regulares en los índices de calidad del agua (ICA) y niveles de hipertrofia en los índices tróficos. Además, se concluyó que los elevados niveles de nutrientes se deben a la contaminación por el uso excesivo de fertilizantes y estiércol en las zonas aledañas al cuerpo de agua.

Por otro lado, en un estudio realizado en el Estero Salado de Guayaquil por Grijalva Endara (2023) se determinó la calidad del agua y el nivel trófico del estuario a través de indicadores fisicoquímicos y ambientales. Esto se logró mediante el análisis de muestras de agua tomadas

en siete puntos del sistema hídrico y la evaluación de registros históricos de nutrientes en el estero. Los resultados indicaron que la calidad del agua es poco contaminada según los ICA y que las condiciones son hipertróficas según el índice TRIX. Además, se propusieron medidas de restauración para el agua y el suelo del estero.

2.8.2. Análisis espacio – temporal

En las lagunas de maduración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, ubicada en Cuenca, Azuay, Arévalo et al. (2017) realizaron un análisis espacio - temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto utilizando variables fisicoquímicas y microbiológicas. Los resultados mostraron que la profundidad y el fósforo, a determinadas horas del día, influyen significativamente en la cantidad de oxígeno disuelto en las lagunas. En cuanto al pH, se determinó su influencia en el oxígeno disuelto sólo en una de las lagunas, y la clorofila-a mostró una correlación significativa con la variable de estudio.

Simultáneamente, Barrera Gallo y Cepeda Guasgua (2020) evaluaron espacial y temporalmente la calidad del agua y realizaron un estudio hidrometeorológico del río Cutuchi, ubicado en Latacunga, Cotopaxi, mediante la aplicación del índice de calidad de agua propuesto por la NSF. Este estudio incluyó datos de precipitación, temperatura y caudal provenientes de cinco estaciones meteorológicas y una estación hidrológica, además de medir oxígeno disuelto en porcentaje de saturación, coliformes fecales, pH, DBO₅, sólidos disueltos totales, nitratos, fosfatos, temperatura y turbidez. Los resultados indicaron valores promedio de 13.7 °C para la temperatura, 11.15 m³/s para el caudal y una calidad de agua regular. También se concluyó que existe una posible correlación entre el caudal y el ICA, aunque se requiere más tiempo para validar esta hipótesis.

2.8.3. Análisis de cargas de nutrientes

Mollocana Lara et al. (2024) utilizaron el *software* de simulación AQUATOX para comprender mejor los procesos de eutrofización en la laguna Yahuarcocha y evaluar la eficacia de *Myriophyllum spicatum* como estrategia de biorremediación. Los autores monitorearon la transparencia del agua, el fósforo total y la clorofila-a en la laguna durante un periodo de cuatro

meses. Aunque el modelo empleado no fue validado satisfactoriamente, la especie mencionada mejoró notablemente el estado trófico y la transparencia del humedal, definiéndose como una alternativa de biorremediación adecuada. Además, se concluyó que los lagos, lagunas y reservorios andinos son vulnerables a la eutrofización, lo que subraya la importancia de implementar políticas y medidas ambientales para la gestión sostenible de estos recursos naturales. También se destacó que el software utilizado puede aplicarse en otras partes del país y del mundo.

3. Capítulo III. Metodología

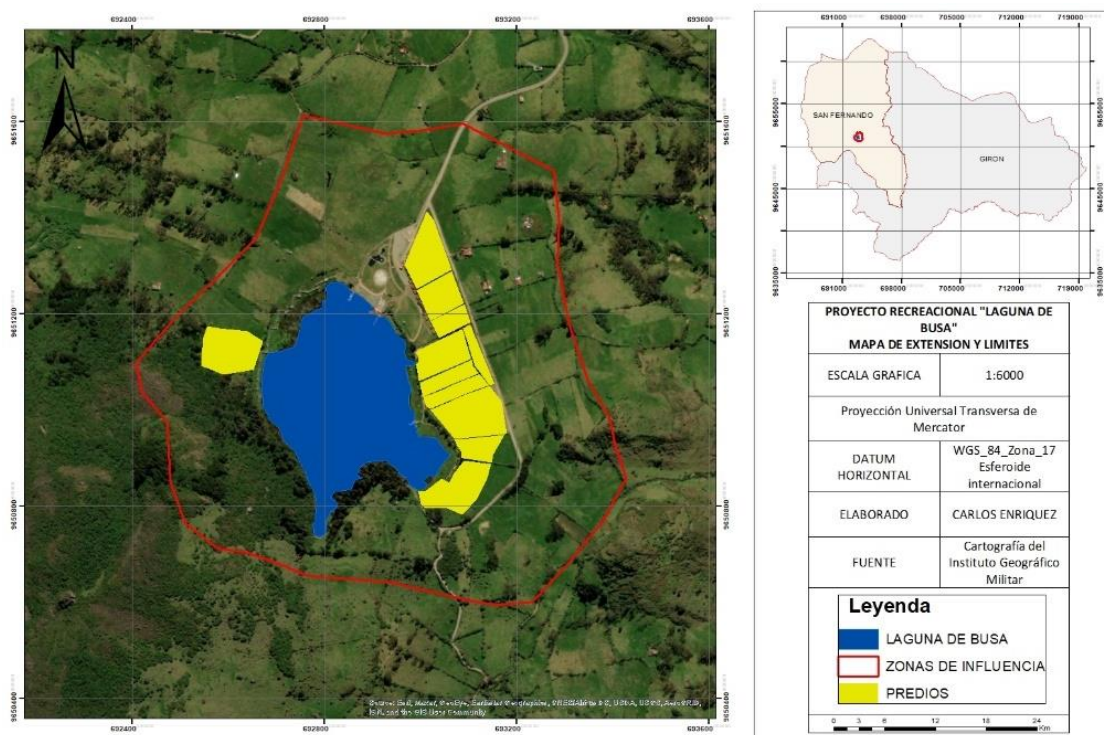
3.1. Descripción del ambiente de influencia

3.1.1. Ubicación y extensión del área de estudio

La laguna de Busa, ubicada en el recinto Busa del cantón San Fernando, provincia del Azuay, forma parte de la microcuenca del río Zhurucay, afluente del río Jubones. Esta laguna aporta múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales a toda su área de influencia, que abarca alrededor de 72.90 hectáreas (Lloret, 2023) y alberga a 29 habitantes del recinto Busa y a 3875 habitantes del cantón San Fernando (Cárdenas y Lalvay Lazo, 2022), aproximadamente.

Según la Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón San Fernando 2020 – 2032 (Riofrío Rogel, 2020), este humedal se localiza en los cuadrantes UTM

Figura 1. Mapa de extensión y límites del proyecto recreacional “laguna de Busa”.



Fuente: Lloret, 2023.

17S 692851.42; 9650967.8, a una altitud de 2800 m.s.n.m, al pie del cerro San Pablo. La precipitación anual media en esta zona varía de 750 a 1000 mm, una temperatura promedio de 20 °C y una humedad relativa mayor a 80%.

3.1.2. Aspectos ambientales

- **Clima**

De acuerdo con el PDOT del cantón San Fernando (Riofrío Rogel, 2020), las condiciones climáticas de esta zona están influenciadas por la altura y la exposición a la luz solar. Esto se debe a que se encuentra a una altura de aproximadamente 3000 m.s.n.m, es decir, en un clima de alta montaña.

- **Biodiversidad**

La mayor parte de la flora del cantón San Fernando no es nativa, ya que se cultivan especies para consumo local como hortalizas, legumbres, maíz y papa, además de plantas medicinales como la valeriana y la sábila, y frutales como aguacates, manzanas y tomate de árbol. Además, existen áreas boscosas cubiertas con pinos, eucaliptos, musgos, helechos, arbustos y frutas silvestres.

La fauna nativa de la zona ha sido forzada a desplazarse debido a que una parte del área está destinada a la crianza de animales de granja, cuya expansión ha ocurrido descontroladamente. Sin embargo, existen registros de la presencia de venados, conejos, cóndores, búhos, zorros, patos silvestres, entre otras especies (Riofrío Rogel, 2020).

- **Áreas protegidas**

Según el PDOT del cantón San Fernando (Riofrío Rogel, 2020), alrededor del 20% del territorio del cantón se encuentra protegido o bajo conservación, principalmente en la parte alta de la cuenca del río Rircay. Dentro de esta área predominan el Bosque Protector Jeco con 11.95%, el

cual rodea a Laguna de Busa, y el Bosque Protector El Chorro con 2.23%, mientras el Bosque Protector Yanuncay Irquis y el Área Natural Recreacional Quimsacocha ocupan un menor espacio.

3.1.3. Aspectos socioeconómicos

- **Cobertura de uso de suelo**

La cobertura del suelo del cantón San Fernando es de aproximadamente de 14169.27 hectáreas (**tabla 5**). El mayor porcentaje, un 30.32%, corresponde a pasto degradado, seguido de 29.94% de pajonal, mientras los lagos/lagunas representan el 0.37%, y el suelo cultivado 0.46%.

- **Sectores de producción**

a) Sector primario:

Abarca la ganadería, la pesca, la agricultura y la silvicultura; la mayoría de la población económicamente activa se dedica a la ganadería y agricultura: aproximadamente 937 personas.

b) Sector secundario

Las principales actividades corresponden a la industria manufacturera, en la cual se ocupan aproximadamente 137 personas. La mayoría está asociada a organizaciones productivas que elaboran tejidos, prendas de vestir, bebidas aromáticas, cosméticos naturales, mermeladas, yogures, entre otros.

c) Sector terciario

Dentro de este sector se registra una mayor cantidad y variedad de actividades productivas; las más importantes son la construcción y comercio, la minería, la administración pública, el turismo, entre otras.

Tabla 5

Uso de suelo en el cantón San Fernando

Uso actual	Área (ha)	Porcentaje (%)
50% pasto cultivado y 50% cultivos mixtos	2084.48	14.72
área erosionada	0.81	0.01
banco de arena	0.09	0.00
bosque natural	2293.03	16.19
bosque plantado	58.10	0.41
embalse	15.60	0.11
lagunas	17.58	0.12
páramo	4866.72	34.37
pasto cultivado	2632.26	18.59
pasto natural	93.75	0.66
río	68.40	0.48
sin formación	17.00	0.12
vegetación arbustiva	1873.27	13.23
zona urbana u otras infraestructuras	138.26	0.98
Total	14160.08	100.00

Fuente: PDOT del cantón San Fernando 2020 – 2032.

3.2. Muestreo y análisis de la calidad del agua en la laguna de Busa

3.2.1. Determinación y descripción de los puntos de muestreo

Se seleccionaron cinco puntos estratégicos de muestreo. La selección se basó en criterios que permiten capturar diferentes aspectos relevantes para la evaluación de la eutrofización y otros procesos ambientales:

Punto 1.- Entrada principal: está situada en el punto donde ingresa el afluente más importante que alimenta la laguna. En este lugar se midió los nutrientes y otros contaminantes que llegan desde las fuentes externas.

Punto 2.- Salida de la laguna: este punto se caracteriza por ser poco profundo, contar con una descarga de agua y una rejilla que retiene sedimentos. Aquí se obtuvo información sobre el cambio de la calidad del agua después de que ha atravesado la laguna.

Punto 3.- Aguas arriba: Aguas arriba de la laguna existe un pozo donde se almacena e infiltra agua que alimenta directamente a la laguna. Dicho punto permitió conocer la calidad del agua antes de que llegara a la entrada de la laguna. De esta manera, se pudo evaluar la composición de agua al infiltrarse en el suelo y llegar al cuerpo lacustre.

Punto 4.- Totoras: en este punto, ubicado en la parte oeste de la laguna estudió como la vegetación acuática, por ejemplo, la totora, influye en la calidad del agua de la laguna. Se trata de una amplia vegetación que sirve de hábitat a los patos y que separa a la laguna de los senderos de recorrido.

Punto 5.- Muelles: este punto se ubica en el interior de la laguna, cercade los muelles, donde hay actividad de camping y recreación. Es un punto ideal para evaluar el impacto potencial de dichas actividades en la calidad de agua de la laguna.



Figura 2. Punto 1 - Entrada de la laguna de Busa

Con la selección de los puntos de muestreo se aseguró obtener una visión completa de los diferentes factores que pueden influir en la calidad del agua de la laguna de Busa. Al analizar estos puntos, es posible evaluar, espacial y temporalmente, la calidad de agua, así como abordar otros aspectos clave como la entrada de nutrientes externos, la interacción con la vegetación acuática, la influencia de las actividades humanas, y comparar, en diferentes escenarios, la calidad de agua.



Figura 3. Punto 2 - salida de la laguna de Busa



Figura 4. Punto 3 - Aguas arriba de la laguna de Busa



Figura 5. Punto 4 – parte cercana a las totoras



Figura 6. Punto 5 - Interior cerca de los muelles

3.2.2. Frecuencia de monitoreo, toma y conservación de muestras

Las muestras fueron tomadas junto con el personal técnico de la Gobernación Provincial del Azuay, en la época de estiaje, octubre, noviembre y diciembre de 2023, y en la temporada de lluvia, enero, febrero y marzo de 2024. Así, se pudo comprender mejor la variación temporal en dos épocas del año y su significancia en la zona de estudio.

Las muestras para análisis de los parámetros de aceites y grasas, clorofila-a, coliformes fecales, coliformes totales, color, DBO₅, DQO, fosfatos, nitratos, nitritos y sulfatos fueron tomadas en tres frascos, en cada punto, y conservadas en coolers a 4 grados °C. Dichas pautas fueron escogidas por el laboratorio y los técnicos especialistas de la Prefectura, siguiendo la normativa técnica ecuatoriana.

- INEN 2176:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.
- INEN 2169:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

Las muestras se tomaron en frascos de plástico de 500 ml, previamente lavados tres veces con agua de la laguna, y refrigerados a 4 grados Celsius en neveras de espuma flex para transportarlos al laboratorio. Los parámetros como el OD, temperatura, pH, conductividad, SDT y turbidez, debido a su sensibilidad a los cambios, fueron medidos in situ usando los equipos multiparámetro HACH HQ40d, HANNA HI 9828 y el turbidímetro HACH 2100Q01. La transparencia se midió mediante el Disco Secchi. Se tomaron tres muestras Disco Secchi. Se tomaron tres muestras y se calculó un promedio para asegurar mayor confiabilidad.



Figura 7. Toma de muestras de la laguna de Busa

3.2.3. Análisis de muestras

En la **tabla 6** se presentan los diferentes métodos utilizados para la medición de los parámetros de calidad de agua de la laguna. Estos métodos abarcan técnicas tanto in situ como de laboratorio, con lo cual se asegura una evaluación precisa y completa de las condiciones del agua. Cada parámetro fue analizado utilizando métodos estandarizados, lo que permitió obtener datos consistentes y fiables para el estudio.

Tabla 6

Métodos de análisis de los parámetros de calidad de agua

Parámetro	Método de análisis	Parámetro	Método de análisis
Aceites y grasas	Gravimetría	OD	Polarografía
Clorofila-a	Espectrofotometría	pH	Potenciometría (in situ)
C. fecales	Filtración de membrana	STD	C. eléctrica (in situ)
C. totales	NMP	Sulfatos	Espectrofotometría
Conductividad	Conductimetría (in situ)	Transparencia	Disco Secchi
DBO ₅	Electrometría	Turbidez	Nefelometría (in situ)
DQO	Colorimetría	Temperatura	Termistor
Fosfatos	Colorimetría	% sat OD	Cálculo matemático
Nitratos	Espectrofotometría UV	Color	Espectrofotometría
Nitritos	Espectrofotometría		

Fuente: elaboración propia con base en el Anexo 7.

3.3. Determinación de índices tróficos e índices de calidad del agua

3.3.1. Índice IET

Mediante este índice se clasifican cuerpos de agua que presentan diferentes estados tróficos. Este índice es ampliamente utilizado en la determinación de la calidad del agua en lagos y reservorios. Se basa en la profundidad de visión del disco de Secchi, la concentración de clorofila-a y de fósforo total. Su valor se sitúa en una escala de 0 a 100. Fue uno de los primeros índices propuestos; el uso del disco de Secchi sirve para medir la transparencia del agua (Carlson, 1977).

La fórmula utilizada para calcular el IET se basa en un promedio de tres índices: la transparencia (profundidad del disco de Secchi), la concentración de clorofila-a y la concentración de fósforo total en el agua.

El cálculo del IET para la transparencia (IET (D_s)) se expresa como:

$$IET(Ds) = 60 - 14.41Ln(Ds) \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

D_s representa la profundidad del disco de Secchi en metros (m).

El cálculo del IET para la concentración de clorofila-a (IET (CHL)) se expresa como:

$$IET(CHL) = 9.81Ln(CHL) + 30.6 \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

CHL representa la concentración de clorofila-a en microgramos por litro (ug/L).

El cálculo del IET para la concentración de fósforo total (IET (Total)) se expresa como:

$$IET(CHL) = 14.421Ln(CHL) + 4.15 \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

P Total representa la concentración de fósforo total en el agua en microgramos por litro (ug/L).

3.3.2. Índice propuesto por la OCDE

Para determinar el nivel de eutrofización de la laguna siguiendo la clasificación propuesta por la OCDE, se utilizaron parámetros como el fósforo total (PT Medio), la clorofila-a media (Cl-a Media) y máxima (Cl-a Max), y la transparencia o profundidad del disco de Secchi media (DS Medio) y mínima (DS Mín.) (Vollenweider y Kerekes, 1982). Básicamente, se compararon los valores promedio de cada temporada (estiaje y lluviosa) con los valores límites que se establecen en el índice desarrollado por la OCDE Económico (**tabla 2**).

3.3.3. Índice ICA NSF

El Índice de Calidad del Agua (ICA) de la NSF sigue una metodología estructurada que comienza con la selección y recolección de datos para parámetros clave como la temperatura del agua, el pH, el oxígeno disuelto (OD), la DBO₅, los nitratos, los fosfatos, los sólidos totales, la turbidez y los coliformes fecales

Siguiendo la metodología de Nossa y McDermott (1978), cada parámetro se evalúa asignando puntuaciones de 0 a 100 basadas en tablas estandarizadas, donde 100 representa la mejor calidad posible y 0 la peor. Estas puntuaciones reflejan el impacto de cada parámetro sobre la salud pública y el ambiente acuático, con rangos establecidos que corresponden a condiciones específicas de calidad del agua.

Finalmente, el ICA se calcula sumando los productos de las puntuaciones de cada parámetro ponderadas por su importancia relativa, utilizando la fórmula y los gráficos obtenidos de Nossa y McDermott (1978).

$$WQI = \sum_{i=1}^{\{9\}} q_i \cdot w_i \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

WQI: Índice de Calidad de Agua.

i: cada uno de los parámetros de calidad.

qi: calidad del parámetro i; (se encuentra entre 0 y 100).

wi: pesos ponderados entre 0 y 1, asignados a cada parámetro.

Este índice, al proporcionar una medida comprensiva de la calidad del agua, permite identificar áreas problemáticas, y evaluar la efectividad de las medidas de gestión implementadas

3.4. Análisis espacio temporal

Para evaluar la calidad del agua y la dinámica de los parámetros físico - químicos en la laguna de Busa, se implementaron cuatro análisis estadísticos: análisis de correlación, clúster, T Pareado y ANOVA factorial. Este enfoque espacial y temporal permite identificar posibles variaciones significativas, la relación de los parámetros con el índice IET, y determinar si existen diferencias significativas en los diferentes puntos monitoreados. El análisis se realizó con el *software* R-Studio y se evaluó en la temporada de estiaje y lluvia.

3.4.1. Análisis de correlaciones

Se realizó el análisis de correlaciones excluyendo los valores de transparencia, fosfatos y clorofila-a para evitar interferencias en el cálculo del índice IET. Primero, se calculó la correlación de los diferentes parámetros con el índice IET en épocas de sequía y lluvia; posteriormente se creó un mapa de calor para visualizar mejor los datos.

Para calcular la matriz de correlación de los datos, se utilizó la función “cor” en R-Studio según Chihara, Hesterberg y Kim (2019). Esta función evalúa la relación lineal entre diferentes variables; para este caso se trata de los parámetros y el índice IET. Los valores de la matriz de correlación se redondearon a cuatro cifras decimales para facilitar la interpretación y la presentación de los resultados.

3.4.2. Análisis de clúster

El análisis de clúster se utilizó para identificar patrones y agrupar los sitios de muestreo en el interior de la laguna (P1, P2, P4 y P5). Este análisis permite comprender mejor las similitudes y

diferencias entre los distintos puntos de muestreo, así como las posibles causas de la variabilidad en la calidad del agua. Los datos se estandarizaron al valor estadístico Z para estandarizar las escalas y mejorar la interpretación según lo visto por Flores (2021).

Para llevar a cabo este análisis, se siguieron los siguientes pasos de Thulin (2021). Primero, se calculó la distancia euclidiana mediante la función “get_dist” y se evaluó su tendencia al clustering mediante la matriz distancia. Segundo, se calculó el estadístico de Hopkins para evaluar la tendencia al clustering de los datos, utilizando la función “hopkins”. Tercero, se calculó el número óptimo de clústeres mediante los métodos de Codo y Gap Statistics, así como el coeficiente Silhouette. Cuarto, se aplicó el algoritmo K-means para agrupar los datos y se utilizaron métodos jerárquicos de clustering para visualizar cómo se agrupan los datos en cada una de las estaciones estudiadas.

3.4.3. Análisis T Pareado

El análisis T pareado se realizó para evaluar diferencias estadísticamente significativas en los parámetros fisicoquímicos entre dos puntos críticos del cuerpo lacustre: el punto de entrada (P2) y el punto aguas arriba (P3). Se empleó una transformación logarítmica de los datos para lograr una mejor presentación gráfica. El análisis se llevó a cabo utilizando la función “t.test”; se calcularon los valores T, los grados de libertad, los valores P, los intervalos de confianza del 95% y las diferencias entre los puntos analizados en ambas épocas (Thulin, 2021).

3.4.4. Análisis ANOVA

Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias en el Índice de Estado Trófico (IET) y el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) entre los distintos puntos de muestreo y diferentes fechas de recolección durante las dos temporadas consideradas. El modelo ANOVA fue configurado para estimar los efectos, tanto los espaciales y temporales, como los espacio - temporales, a través de la función “aov” (Chihara et al. 2019) Posteriormente, se aplicaron pruebas post-hoc de Tukey mediante la función “glht” para realizar comparaciones múltiples entre los puntos de muestreo y detectar diferencias específicas, con el fin de ajustar los P values para nuevas equiparaciones.

3.5. Análisis de las cargas de nutrientes bajo diferentes escenarios

Para analizar las cargas de nitrógeno y fósforo se usó el Software PAMOLARE (The Planning and Management Model of Lakes and Reservoirs) versión Training Package 1.0 (**figura 8**). Este método permitió simular la carga de nutrientes de la laguna de Busa en un periodo de 10 años.

Dicho programa cuenta con dos tipos de modelos disponibles: modelo de 1 capa y modelo de 2 capas, además de información general sobre lagos y modelación.



Figura 8. Inicio del Software PAMOLARE

La opción escogida fue el modelo de 1 capa (**figura 9**) debido a la información disponible acerca de la laguna. En este modelo se requiere introducir diferentes variables que están divididas en dos grupos, uno denominado “Fósforo y Nitrógeno” (Figura 10), y el otro “Morfología del lago” (**figura 10**).

Una vez seleccionado el software y el tipo de modelo, se organizaron los datos disponibles de tal manera que se generaran 3 escenarios tanto para la época de estiaje como para la época lluviosa. Los casos generados son los siguientes:

- **Escenario A:** este escenario simula la carga de nutrientes en la laguna y el comportamiento de la calidad del agua a lo largo del tiempo, utilizando datos observados sin aplicar ninguna medida preventiva o correctiva contra la contaminación. En otras palabras, este modelo muestra lo que podría ocurrir si las actividades humanas alrededor de la laguna continúan sin cambios, sin considerar el daño ambiental que podrían causar al humedal y a los ecosistemas circundantes.
- **Escenario B:** este escenario simula la carga de nutrientes en la laguna y el comportamiento de la calidad del agua a lo largo del tiempo, utilizando datos hipotéticos que consideran la implementación de medidas preventivas para reducir la contaminación. Es decir, supone la adopción de medidas como la reducción o eliminación de la actividad ganadera alrededor de la laguna o la instalación de una barrera o filtro natural en el afluente principal del cuerpo de agua.

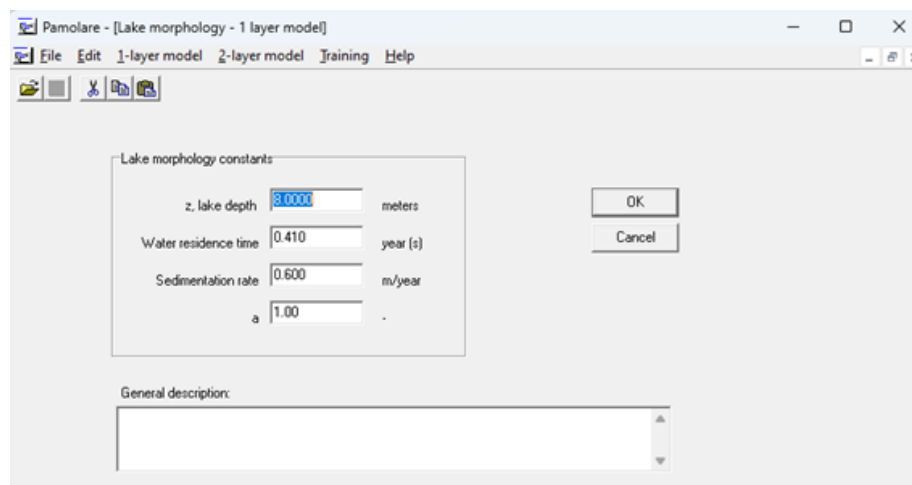


Figura 9. Parámetros de fósforo y nitrógeno requeridos en el Software PAMOLARE

Escenario C: este escenario simula la carga de nutrientes en la laguna y el comportamiento de la calidad del agua a lo largo del tiempo, utilizando datos hipotéticos que consideran un aumento significativo en la contaminación debido a actividades humanas. Es decir, se supone que ha habido un incremento de la actividad ganadera alrededor de la laguna y/o la descarga

directa de efluentes contaminados al humedal debido al crecimiento poblacional y a un manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas.

The screenshot shows the 'Pamolare - [N og P parametre]' window. It has a menu bar with 'File', 'Edit', '1-layer model', '2-layer model', 'Training', and 'Help'. Below the menu is a toolbar with icons for file operations. The main area is titled 'Please specify initial constants and rates:'. It contains two panels: 'Phosphorous' and 'Nitrogen'. Each panel has several input fields with numerical values and units.

Parameter	Value	Unit
P water	0.1200	mg/L
P Sediment	1.000	g/m2
P Loading	4.200	g/m2/year
P Release	0.005	/year
P Bound	0.100	
N water	0.6000	mg/L
N Sediment	1.000	g/m2
N Loading	11	g/m2/year
N Release	0.300	/year
N Bound	0.100	
Denitrification	0.050	

Figura 10. Variables morfológicas del lago requeridas en el Software PAMOLARE

Para los escenarios antes mencionados, se requirió calcular variables como la carga de nitrógeno y fósforo a la laguna usando la **ecuación 5** y el tiempo de retención hidráulica (**ecuación 6**) para cada uno de los escenarios.

Según Nyarumbu y Magadza (2016), las fórmulas para calcular las variables mencionadas previamente son:

$$L = Q \times \frac{C}{A} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

L es la carga del nutriente en gramos por metro cuadrado al año ($g/m^2 * \text{año}$), Q es el caudal de entrada en metros cúbicos por segundo (m^3/s), C es la concentración del nutriente en miligramos por litro (mg/l) y A es el área superficial de la laguna en metros cuadrados (m^2).

$$T = \frac{V}{Q} \quad (\text{ecuación 6})$$

donde T es el tiempo de retención hidráulica en años, V es el volumen total de la laguna en metros cúbicos (m^3) y Q es el caudal de entrada en metros cúbicos por año ($m^3/año$).

Una vez obtenidos los valores de las variables requeridas, se procedió a organizar los datos que se muestran en la **tabla 7**. Posteriormente se los introdujo en el programa para obtener las diferentes proyecciones, las cuales se representan mediante gráficos: la concentración de fósforo y nitrógeno en el agua y en el sedimento; la concentración de clorofila-a en el agua y la transparencia o profundidad del Disco Secchi.

Tabla 7

Variables para introducir en el Software PAMOLARE

Parámetro/período	Estiaje			Lluviosa		
	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario A	Escenario B	Escenario C
Área	12000	12000	12000	12000	12000	12000
Altura	5.00	5.00	5.00	8.00	8.00	8.00
T. de retención hidráulico (años)	0.94	0.94	0.94	0.41	0.41	0.41
Fósforo total (mg/L)	0.02	0.01	0.35	0.21	0.01	0.35
Nitrógeno total (mg/L)	0.18	0.05	1.75	0.56	0.05	1.75
Carga fósforo (g/m ² -año)	0.12	0.05	1.85	4.20	0.20	6.85
Carga nitrógeno (g/m ² -año)	0.96	0.26	9.27	11.02	0.98	34.23

4. Capítulo IV. Resultados y discusión

4.1. Análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y determinación de los índices tróficos

4.1.1. Comparación con la Normativa Nacional vigente de los parámetros físico, químicos y microbiológicos

En la **tabla 8** se presentan los valores promedios de los parámetros físico, químicos y microbiológicos obtenidos durante el monitoreo de la laguna de Busa. Una vez comparado cada parámetro con la normativa nacional vigente (Acuerdo ministerial 97a - tabla 2), se encontró que varios parámetros que no cumplen con esta normativa, lo que constituye una gran preocupación.

La media semestral de aceites y grasas es de 18.33 mg/l, cifra que supera ampliamente el límite máximo permisible de 0.3 mg/l establecido en el Acuerdo Ministerial 97-A. Además, esta cifra es muy superior a la reportada por la Prefectura del Azuay en mayo de 2022, en la misma laguna, cuando se obtuvieron concentraciones menores a 0.20 mg/l en todos los puntos muestreados.

Este notable incremento en los aceites y grasas puede deberse a las actividades de ganadería aguas arriba de la laguna y de recreación a sus alrededores, en las cuales puede generarse residuos del ordeño de vacas y del uso de aceites vegetales. Estos resultados concuerdan con el de Kanchana et al. (2021) en la laguna estuarina de Negombo, Sri Lanka. Estos autores encontraron concentraciones de aceites y grasas de hasta 7.3 mg/L en el agua y niveles significativos en los sedimentos. La contaminación se atribuyó principalmente a la escorrentía de actividades agrícolas, el vertido de residuos de ganadería y las actividades recreativas como el *camping*, que introducen aceites de maquinaria agrícola, residuos alimenticios y grasas animales en la laguna.

Por otra parte, la clorofila-a presentó una variación desde 0.01 hasta 0.04 mg/l durante todo el periodo de muestreo; los valores fueron notablemente superiores durante la época de lluvias con respecto al estiaje. Estos valores ciertamente se asemejan a los encontrados por García-Avila et al. (2023): 0.00656 mg/l en invierno con un pico máximo de 0.0635 mg/l.

Los coliformes fecales (CF) y totales (CT) están muy por encima de los límites permitidos, con valores de 390.00 NMP/100 ml y 12600.00 NMP/100 ml respectivamente. Estos valores superan los límites de 200 y 2000 NMP/100 ml establecidos en la tabla 6 del mismo acuerdo, lo que indica que ha habido un aumento en la contaminación microbiológica del humedal causada por los purines de animales domésticos y de ganado que pasta cerca de la laguna.

Asimismo, dichas cifras superan ampliamente a las de la Prefectura del Azuay (Anexo 8), que reportaron valores de 6.2 y 12.53 NMP/100 ml, para CF y CT, respectivamente, para mayo de 2022. Este incremento concuerda con la teoría de Gerba y McLeod (1976), la cual sostiene que los coliformes fecales tienen más posibilidades de sobrevivir en sedimentos de agua dulce con un contenido significativo de materia orgánica y nutrientes.

El color presentó una media semestral de 4.63 unidades de platino - cobalto (Pt-Co), con un mínimo de 0 y un máximo de 11 durante todo el periodo de muestreo. Por otro lado, la Prefectura del Azuay reportó un promedio de color de 16.67 Pt-Co en el análisis que realizó en mayo de 2022 (Anexo 8). Esta última cifra es notablemente superior a la encontrada en nuestro estudio.

Los resultados de los análisis de conductividad eléctrica arrojaron valores de 170.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como promedio semestral, 132 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como mínimo y 243 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como máximo. El valor promedio durante los muestreos de la Prefectura del Azuay en 2022 (Anexo 8) fue de 147.91 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cercano al valor obtenido en nuestro estudio. De la misma manera, Díaz et al. (2007), en la investigación realizada en varios lagos andinos de la Patagonia, encontraron que el valor promedio de la conductividad eléctrica del lago Los Barreales fue de 171.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En cuanto a la DBO_5 y DQO, los valores promedio durante la temporada analizada fueron de 17.49 y 39.99 mg/l, respectivamente. Estos valores se encuentran muy cerca de los límites máximos permisibles (**tabla 1**) establecidos por el TULSMA, pero no los sobrepasan, mientras que los valores mínimos fueron de 5 y 12 mg/l y los máximos de 37.33 y 112 mg/l de DBO y DQO.

De forma similar, en la laguna de San Martín, García-Avila et al. (2023) determinaron valores máximos y mínimos de DBO de 37.12 y 5.23 mg/l, respectivamente. Por otro lado, en los monitoreos realizados en la laguna de Busa por la Prefectura del Azuay en mayo de 2022 (Anexo

8), el promedio de los valores de la DBO_5 fue 11.05 mg/l, y el de la DQO fue de 24.68 mg/l; ambos valores significativamente inferiores a los encontrados en nuestro estudio.

Con respecto a los fosfatos, el valor promedio semestral fue de 0.36 mg/l en los muestreos realizados en el humedal, cifra que se encuentra muy por debajo del límite determinado por el TULSMA. Además, el máximo fue de 3.36 mg/l y el mínimo fue de 0.01 mg/l.

En cambio, la Prefectura del Azuay (Anexo 8) reportó valores de fosfatos menores a 1.23 mg/l durante su monitoreo en mayo de 2022. Lo que sugiere esta última cifra es que dicho elemento ha disminuido en el humedal de Busa. Sin embargo, que García-Avila et al. (2023) obtuvieron valores desde 0.6 hasta 4.2 mg/l en San Martín, que son similares a los encontrados en nuestro estudio.

La medición de las variables de nitratos y nitritos en la laguna de Busa arrojaron promedios que no sobrepasan la normativa nacional: 1.64 mg/l para los NO_3^- y 0.0044 mg/l para los NO_2^- . Estos valores son diferentes de aquellos medidos por la Prefectura del Azuay en el mismo cuerpo de agua en mayo de 2022 (Anexo 8): menos de 1 mg/l para nitratos y menos 0.010 mg/l para nitritos. Por otro lado, García-Avila et al. (2023) presentaron concentraciones de nitratos desde 0.8 hasta 2.7 mg/l en la laguna de San Martín

El oxígeno disuelto presenta una concentración promedio de 6.09 mg/l y una saturación del 64.61%, muy por debajo del requisito mínimo del 80% que establece la normativa. Sin embargo, dicho valor fue notablemente superior al promedio reportado por García-Avila et al. (2023) para la laguna de San Martín: 4.2 mg/l.

Estos bajos valores de oxígeno disuelto se pueden relacionar con la alta cantidad de materia orgánica que dejan las aves en el agua, y que necesitan mucho oxígeno para ser degradar. Esto puede afectar negativamente la vida acuática al limitar la disponibilidad de oxígeno necesario para la supervivencia de los organismos acuáticos. Según Rodríguez (2022), la disponibilidad de nutrientes y la biodiversidad dependen del contenido de oxígeno disuelto en los sistemas acuáticos, además de que en los lagos el oxígeno disuelto disminuye entre 2.75 y 9.3 veces más rápidamente que en los océanos.

En cuanto a los resultados del pH, se obtuvieron valores promedio de 7.25, con un mínimo de 5.54 y un máximo de 9.69, un promedio que, según las normas del TULSMA, sólo cumple la media semestral. La Prefectura del Azuay detectó un promedio de 7.26 en las muestras tomadas en el humedal de Busa en mayo de 2022, el cual es similar el de nuestro estudio. Si se le compara con el promedio de 6.77 obtenido en la laguna de San Martín, por García-Avila et al. (2023), se constata que esta laguna es un poco más ácida que la de Busa.

Con respecto a los STD, el promedio obtenido fue 87.83 ppm, con un mínimo de 73 ppm y un máximo de 102 ppm, valores que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (450 ppm) establecidos por la normativa nacional.

Igualmente, cuando la Prefectura del Azuay analizó el contenido de los sólidos totales en la laguna de Busa (Anexo 8), y obtuvo un promedio de 141 mg/l, no lejano al reportado en nuestro estudio. Por otro lado, el valor promedio que obtuvieron Leiva-Tafur et al. (2022) para el lago Pomacochas, en Perú, fue 8.58 ppm en esta variable, lo cual sugiere que la calidad del agua de este lago es mejor que la de la laguna de Busa.

La media de la transparencia o profundidad de disco Secchi fue de 0.77 m, inferior al límite de 2 m estipulado en la tabla 6 del acuerdo 097-A. Esto indica un posible estado trófico que puede deberse a que en ciertos muestreos se encontró una capa de partículas probablemente orgánicas que impedía el paso de la luz. Estos resultados concuerdan con el estudio de García-Avila et al. (2023), en la cual se determinó que el promedio de transparencia de la laguna de San Martín fue de 0.71m.

Por último, la turbidez presentó concentraciones promedio de 5.88, con un mínimo de 1.23 y un máximo de 30.8 NTU. Los tres valores se encuentran por debajo de la normativa nacional. Asimismo, la Prefectura del Azuay reportó un promedio de 11.7 NTU en sus análisis realizados en mayo de 2022 (Anexo 8), lo cual muestra que esta variable se ha reducido en el humedal. Por otro lado, en la laguna de San Martín se determinó un valor promedio de 24.56 NTU.

Los incumplimientos de la normativa, que se reflejan en los parámetros arriba analizados, indican que se necesita mejorar, cuanto antes, las estrategias de manejo y tratamiento del agua para

poder cumplir con los estándares de calidad y proteger tanto el ecosistema acuático como la salud humana.

Tabla 8. Comparación de las medias de los parámetros de calidad de agua medidos en la laguna de Busa con la normativa nacional vigente

Parámetro	Promedio semestral	Normativa	Límite	Criterio
Aceites y grasas (mg/l)	18.33	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	0.3	NO CUMPLE
Clorofila-a (mg/l)	0.01	N/A	N/A	N/A
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	390	Acuerdo ministerial 97a - tabla 6	200 NMP/100 ml	NO CUMPLE
Coliformes totales (NMP/100 ml)	12 600	Acuerdo ministerial 97a - tabla 6	2000 NMP/100 ml	NO CUMPLE
Color (Unidades de Pt-Co)	4.63	Acuerdo ministerial 97a - tabla 1	75	SI CUMPLE
Conductividad (µs/cm)	170.60	Acuerdo ministerial 97a - tabla 4	700	SI CUMPLE
DBO5 (mg/l)	17.46	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	20	SI CUMPLE
DQO (mg/l)	39.99	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	40	SI CUMPLE
Fosfatos (mg/l)	0.36	Acuerdo ministerial 97a - tabla 3	250	SI CUMPLE
Nitratos (mg/l)	1.64	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	13	SI CUMPLE
Nitritos (mg/l)	0.0044	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	0.2	SI CUMPLE
Oxígeno disuelto (% de saturación)	64.61	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	>80%	NO CUMPLE
pH	7.25	Acuerdo ministerial 97a - tabla 2	6.5 - 9	SI CUMPLE

STD (ppm)	87.83	Acuerdo ministerial 97a - tabla 4	450	SI CUMPLE
Sulfatos (mg/l)	24.75	Acuerdo ministerial 97a - tabla 1	500	SI CUMPLE
Transparencia (m)	0.77	Acuerdo ministerial 97a - tabla 6	2	NO CUMPLE
Turbidez (NTU)	5.88	Acuerdo ministerial 97a - tabla 1	100	SI CUMPLE

4.1.2. Cálculo de los índices tróficos

- Índice de la OCDE

La clasificación trófica propuesta por la OCDE se utilizó para evaluar los niveles de eutrofización en la laguna de Busa. Los resultados de la medición de parámetros como el fósforo total (PT), la clorofila-a (Cl-a) y la profundidad del Disco Secchi (DS), en diferentes puntos y meses de muestreo se presentan en la (**tabla 9**).

De acuerdo con estos resultados, la laguna de Busa presenta, desde niveles mesotrófico hasta hipereutrófico, en los puntos y meses muestreados. La distribución es la siguiente: 47.8% de nivel hipereutrófico; 46.7% de nivel eutrófico; y apenas 5.6% para el nivel mesotrófico. Estos valores demuestran que este cuerpo lacustre está experimentando un proceso de eutrofización significativo. Nuestros resultados concuerdan con los del estudio realizado, en la misma zona, por Aguilar (2020), en el cual se determinó que la laguna se encuentra en un estado eutrófico específico.

Tabla 9

Estado trófico según la OCDE en la laguna de Busa

Puntos	Variables	Estiaje						Lluvias					
		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo	
P1	PT (ug/l)	Meso.	10	Eu.	100	Eu.	100	Hiper.	210	Eu.	100	Hiper.	3360
	Cl-a (ug/l)	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	21	Eu.	41	Eu.	10
	DS (m)	Hiper.	0.36	Hiper.	0.15	Hiper.	0.45	Hiper.	0.6	Hiper.	0.8	Hiper.	0.46
P2	PT (ug/l)	Meso.	10	Eu.	100	Eu.	100	Hiper.	220	Hiper.	270	Hiper.	580
	Cl-a (ug/l)	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10
	DS (m)	Hiper.	0.33	Hiper.	0.6	Hiper.	0.27	Hiper.	0.67	Hiper.	0.81	Hiper.	0.39
P3	PT (ug/l)	Meso.	10	Eu.	100	Eu.	100	Hiper.	270	Hiper.	380	Hiper.	1290
	Cl-a (ug/l)	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	19	Eu.	10	Eu.	10
	DS (m)	Hiper.	1.03	Hiper.	0.89	Hiper.	0.89	Hiper.	1.19	Hiper.	0.93	Hiper.	0.83
P4	PT (ug/l)	Meso.	10	Eu.	100	Eu.	100	Hiper.	270	Hiper.	160	Hiper.	270
	Cl-a (ug/l)	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	19	Eu.	10	Eu.	10
	DS (m)	Hiper.	1.10	Eu.	1.54	Hiper.	1.37	Hiper.	0.6	Hiper.	0.81	Hiper.	0.41
P5	PT (ug/l)	Meso.	10	Eu.	100	Eu.	100	Hiper.	170	Hiper.	200	Hiper.	2130
	Cl-a (ug/l)	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	10	Eu.	22	Eu.	25	Eu.	10

	DS (m)	Hiper.	1.13	Eu.	1.55	Hiper.	1.25	Hiper.	0.58	Hiper.	0.76	Hiper.	0.44
--	--------	--------	------	-----	------	--------	------	--------	------	--------	------	--------	------

Hiper = Hipereutrófico; Meso = Mesotrófico; Eu = Eutrófico

Además, los resultados de la aplicación del índice OCDE para los valores promedio de las épocas de estiaje (**tabla 10**) y lluvia (**tabla 11**) determinan que la laguna de Busa experimenta niveles desde mesotrófico hasta hipereutrófico en la época de sequía, mientras que en la época de lluvias aumenta desde eutrófico hasta hipereutrófico. Esto puede deberse al aumento del caudal de ingreso, y, por lo tanto, al incremento de nutrientes que llegan a la laguna cuando existe mayor arrastre y precipitación. De forma similar, García-Avila et al. (2023) establecieron que los niveles de eutrofia en la laguna de San Martín van desde eutrófico hasta hipereutrófico, con mayor prevalencia de eutrofia e hipereutrofia. Estos resultados son similares a los obtenidos en nuestro estudio.

Tabla 10

Resultados del Índice OCDE para la época de estiaje en la laguna de Busa

PT medio (ug/l)	Clorofila-a Media (ug/l)	Clorofila-a Máxima (ug/l)	DS medio (m)	DS mínimo (m)
70.0.	10.00	10.00	0.86	0.15
Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico

Tabla 11

Resultados del Índice OCDE para la época de lluvias en la laguna de Busa

PT medio (ug/l)	Clorofila-a Media (ug/l)	Clorofila-a Máxima (ug/l)	DS medio (m)	DS mínimo (m)
658.67	15.8	41.00	0.69	0.39
Hipereutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico

Según Moreta Pozo (2011), este incremento en el estado trófico puede deberse a que durante la época de fuertes precipitaciones aumenta el arrastre de sedimentos hacia el humedal. Estos

sedimentos contienen materia orgánica, nutrientes y restos de las actividades humanas. También abarcan materiales de construcción, residuos de las actividades agrícolas y ganaderas, sedimento de minas, restos de fertilizantes y plaguicidas, así como de detritos humanos provenientes de desagües.

- **Nivel trófico por aporte de fósforo total**

Durante el periodo octubre 2023 - marzo 2024, el PT medio en la laguna de Busa fue de 364.00 $\mu\text{g/L}$, lo que clasifica el agua como hipereutrófica según el índice de la OCDE. Indica que existe una alta concentración de fósforo y, por lo tanto, una mayor probabilidad de que proliferen algas y que disminuya la calidad del agua.

Los valores de PT medio (fósforo total) durante la época de estiaje indican que este disminuyó a 70.00 $\mu\text{g/L}$, con lo cual el agua se clasifica como eutrófica, lo que sugiere una mejora de su calidad con respecto al resto del año. El comportamiento del fósforo total en los puntos de muestreo durante estas fechas se expone en la **figura 11**, en la cual los valores de noviembre y diciembre son exactamente los mismos (100.00 $\mu\text{g/L}$) mientras que en el mes de octubre se registró un valor mínimo de 10.00 $\mu\text{g/L}$.

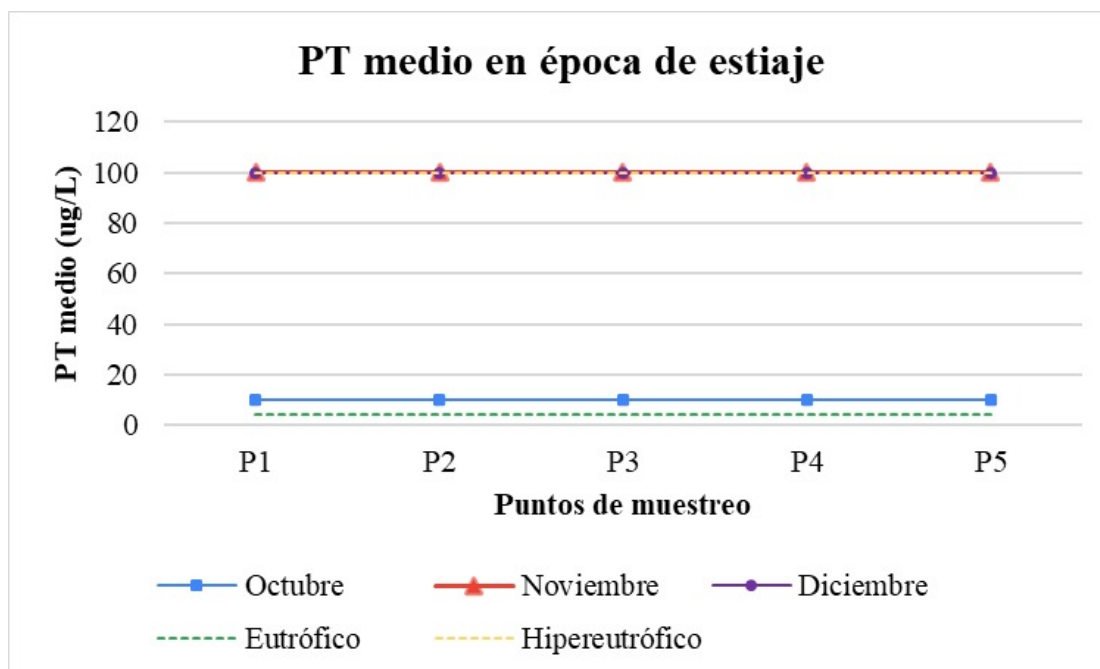


Figura 11. Concentración del fósforo total en la época de estiaje

La distribución de dicho nutriente en la época de lluvia se muestra en la **figura 12**. Los valores más elevados se encuentran en los puntos P1 y P5 durante el mes de marzo con 3360 y 2130 µg/l, respectivamente. Así, el PT medio se eleva significativamente a 658.67 µg/l, de tal manera que se mantiene la clasificación de hipereutrofia. Esto puede ser el resultado del aumento de escorrentías, las cuales llevan las cargas de fósforo acumuladas en el suelo, a los canales provocando un aumento de las cargas que recibe la laguna sobre todo en el mes de marzo.

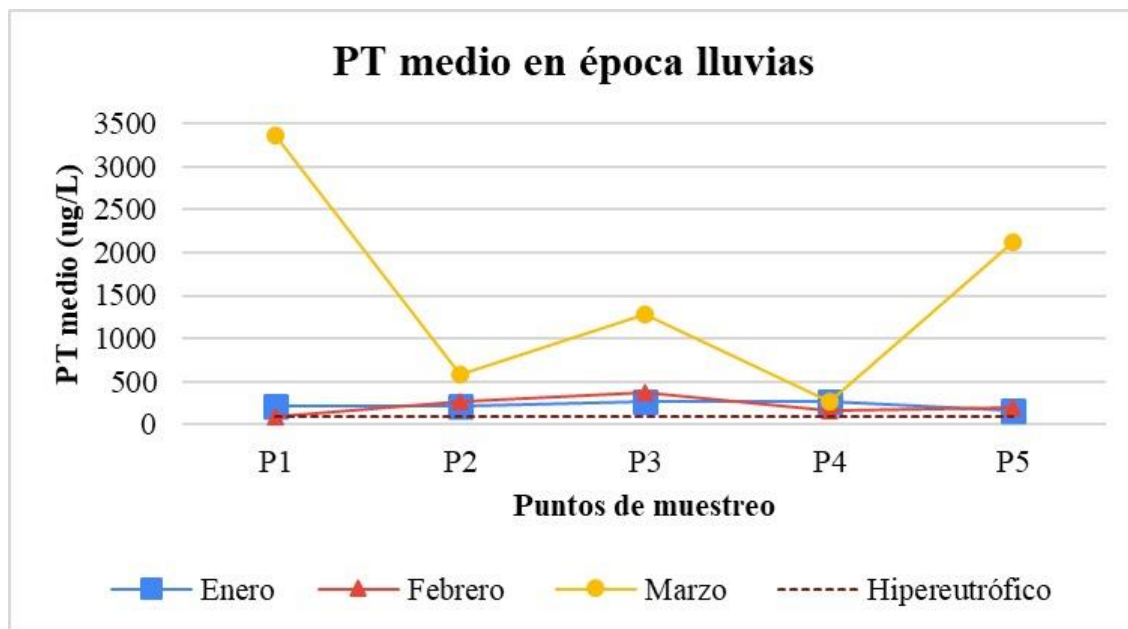


Figura 12. Concentración del fósforo total durante la época de lluvias

- Nivel trófico por aporte de la clorofila-a

La concentración de clorofila-a, un indicador de la biomasa de fitoplancton, arrojó una media semestral en la laguna de Busa de 12.90 µg/l y un máximo de 41.00 µg/l, valores que permiten clasificarla como eutrófica. A lo largo del periodo de muestreo, se observó una variación importante en la concentración de este indicador, especialmente en los meses con más precipitaciones.

Durante la época de estiaje, la Clorofila-a se mantuvo constante en todos los puntos, tal y como se muestra en la **figura 13**. En esta época, los valores se calcularon en torno a 10 µg/l, motivo por el cual se la clasificó de eutrófica.

Tal situación puede indicar que la producción y degradación equivalente a la biomasa de fitoplancton, probablemente debido a que el caudal de entrada fue muy bajo en estos meses. En cambio, durante la época de invierno, el comportamiento de la Clorofila-a presentó una variación

importante (**figura 14**). En esta temporada, la media aumentó a 15.80 $\mu\text{g/l}$ con un máximo de 41.00 $\mu\text{g/l}$, manteniendo la clasificación eutrófica. Este comportamiento en el punto 1 se puede relacionar con la acumulación de nutrientes en el punto de salida y que su profundidad es menor.

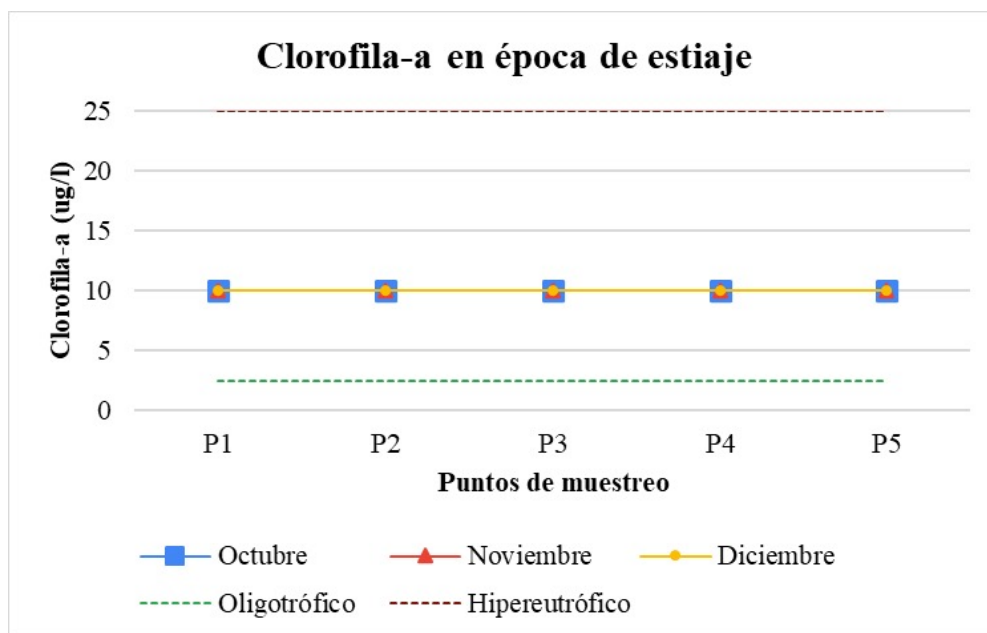


Figura 13. Clorofila-a en la laguna de Busa durante la época de estiaje

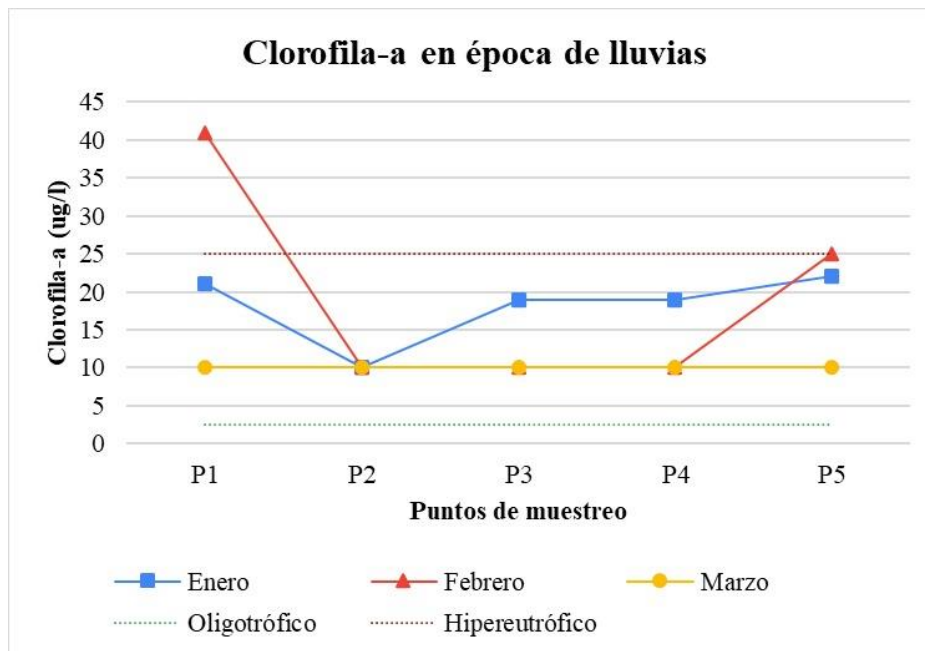


Figura 14. Clorofila-a en la laguna de Busa durante la época de lluvia

- Nivel trófico debido a la transparencia

La profundidad del disco Secchi mostró una variación considerable durante todo el tiempo de muestreo. La media semestral fue 0.77 m, y el mínimo 0.15 m. Las dos cifras permiten clasificarlos como indicadores de hipereutrófica. Durante el periodo de sequía (**figura 15**), la transparencia media se determinó en 0.86 m, con un mínimo de 0.15 m, lo cual clasifica a la laguna como hipereutrófica. Los valores más altos registrados en esta temporada fueron en los puntos P4 y P5 en el mes de noviembre, con 1.54 y 1.55 m, respectivamente. Esto puede deberse a que la profundidad del lago es mayor y los materiales sedimentados no se suspenden por acciones externas. Por otro lado, los valores mínimos se presentaron en P1, en noviembre, con 0.15 m, y en P2 en diciembre, con 0.27 m. Posiblemente estas cifras se deban a la alta turbiedad encontrada en esos puntos.

Durante la temporada de lluvias, este parámetro presentó un comportamiento regular (**figura 16**): la media 0.68 m y el mínimo 0.39 m. Ambos parámetros corresponden a la clasificación de la laguna hipereutrófica. Los valores más altos se registraron en el P3 en enero y febrero, con 1.19 y 0.93 m respectivamente. Mientras que los valores mínimos se manifestaron en P2 y P4, en marzo, con 0.39 y 0.41 m, respectivamente.

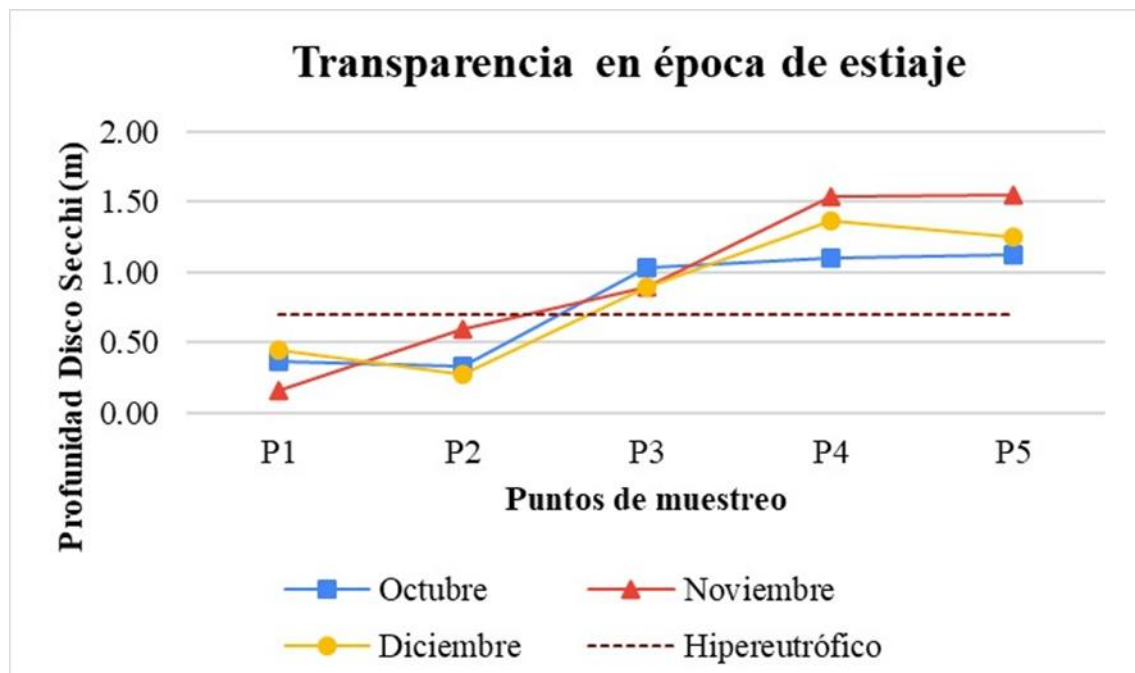


Figura 15. Transparencia de la laguna de Busa durante el período de estiaje

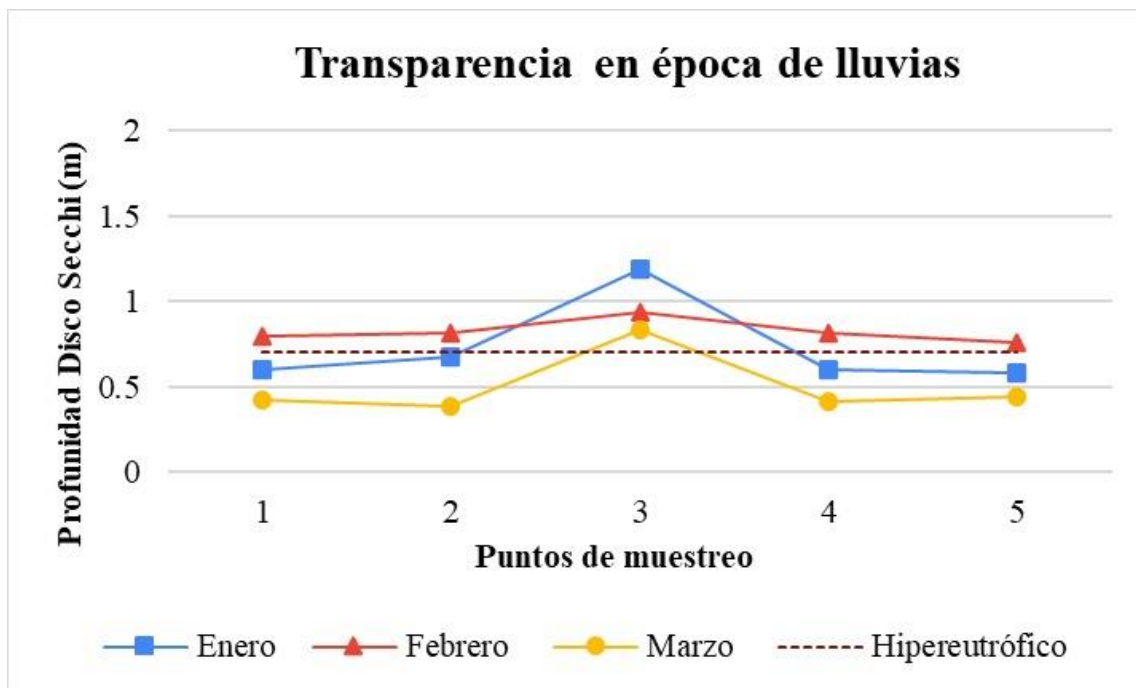


Figura 16. Transparencia de la laguna de Busa durante el período de lluvia

4.1.3. Índice Trófico de Carlson – IET

- Índice trófico en época de estiaje y lluvia

Durante la época de estiaje, se evaluaron los parámetros de transparencia (DS), fósforo total (PT) y clorofila A (CLa) en la laguna de Buza. Al comparar estos valores con los límites establecidos por Carlson, se determinó que la laguna presenta un estado eutrófico (**tabla 12**). Estos son los valores individuales del IET para los parámetros de fósforo total 58.06; clorofila-a 60.11; y transparencia (DS), 62.19. El valor total del IET es 60.12, un promedio de estos tres parámetros. Este resultado indica que la laguna presenta un estado eutrófico durante la época de estiaje. Lo que estas cifras sugieren es que existen, una alta productividad biológica, como posibles problemas de calidad del agua debido a la eutrofización.

Tabla 12

Resultados del Índice de Estado Trófico -IET- para la época de estiaje en la laguna de Busa

PT (fósforo total)	CLa (clorofila-a)	DS (transparencia)
58.06	60.11	62.19
Total: 60.12		
Estado: eutrófico		

Como se aprecia en la **figura 17**, la mayoría de puntos están situados sobre límite inferior que considera Carlson (1977) como estado eutrófico ($IET > 50$). No obstante, dos puntos, el P4 y el P5, se encuentran en el límite superior del estado mesotrófico, mientras que el punto P1 ocupa el límite inferior que corresponde al estado hipereutrófico, durante el mes de octubre. Tales diferencias del estado trófico en los puntos se deben, principalmente, a la profundidad de la laguna. En los puntos P1 y P2, que se encuentran a la salida y entrada de la laguna, la profundidad es relativamente menor que en los otros puntos.

El índice IET (PT) fue bastante mayor durante el periodo de lluvias con respecto a la época de estiaje, mientras los índices IET (CLa) y IET (DS), el incremento no fue significativo.

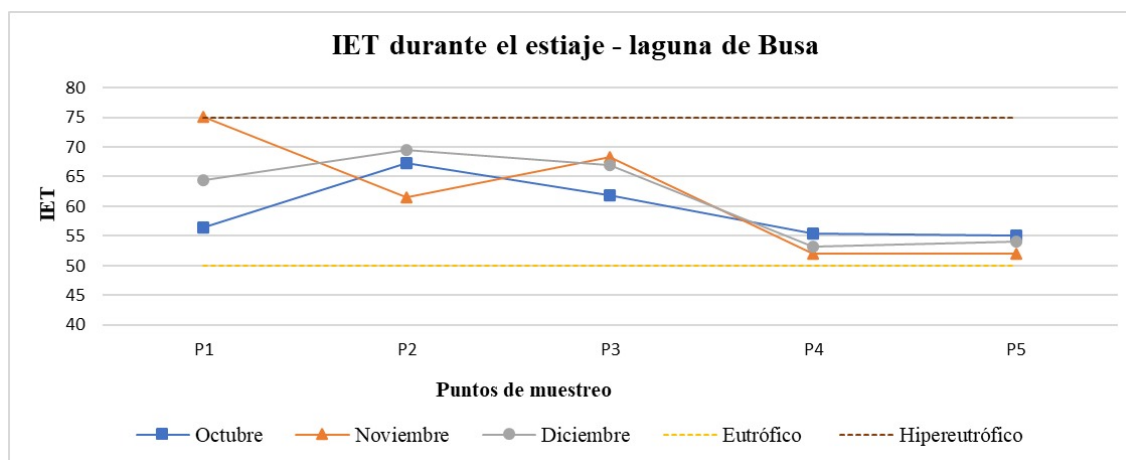


Figura 17. Distribución trófica durante la época de estiaje según el índice IET

El índice IET aumentó 10 puntos en la época de lluvias en relación con la de estiaje, tal como se puede observar en la **tabla 13**. Así se acercó al estado ultra eutrófico (<75).

Tabla 13

Resultados del Índice de Estado Trófico para la época de lluvias en la laguna de Busa

PT (fósforo total)	CLa (clorofila-a)	DS (profundidad)
82.57	61.3	67.10
Total: 70.33		
Estado: Eutrófico		

En la **figura 18** se observa que el índice IET se mantuvo constante en todos los puntos durante la época de lluvia, y aumentó aumentando significativamente en el mes de marzo. Este aumento en el estado trófico está relacionado con una mayor concentración de fósforo y una disminución de la transparencia durante la temporada invernal.

Según Carlson (1977), cuando se conoce el estado trófico de las variables correspondientes a los valores de transparencia, clorofila-a y fósforo total, se puede clasificar el agua de una laguna

según su estado trófico. El incremento de los nutrientes se produce por la escorrentía de la microcuenca en la época lluviosa, durante la cual se estimula el transporte de esos nutrientes hacia el cuerpo de agua (Pulido-López et al., 2017). Tales nutrientes posiblemente provienen animales como vacas, caballos y llamas, que pastan en las zonas circundantes a las orillas de la laguna y al canal de entrada de agua. Las actividades ganaderas aguas arriba pueden contribuir a que ingresen materia orgánica y nutrientes al sistema acuático, con lo cual se incrementa la concentración de clorofila-a y fósforo total, a la vez que disminuye la transparencia del agua (Echaniz y Vignatti 2013).

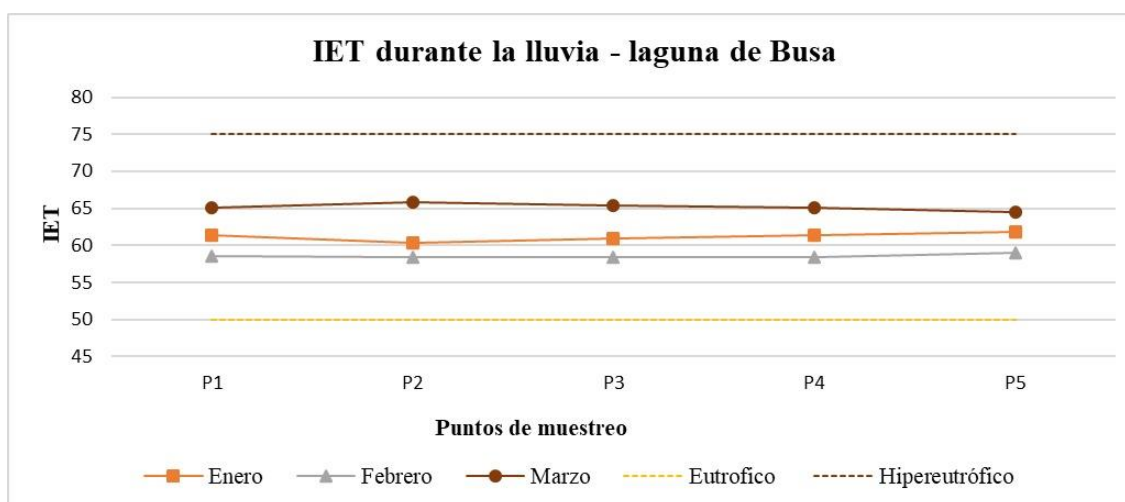


Figura 18. Distribución trófica durante la época de lluvia según el Índice IET

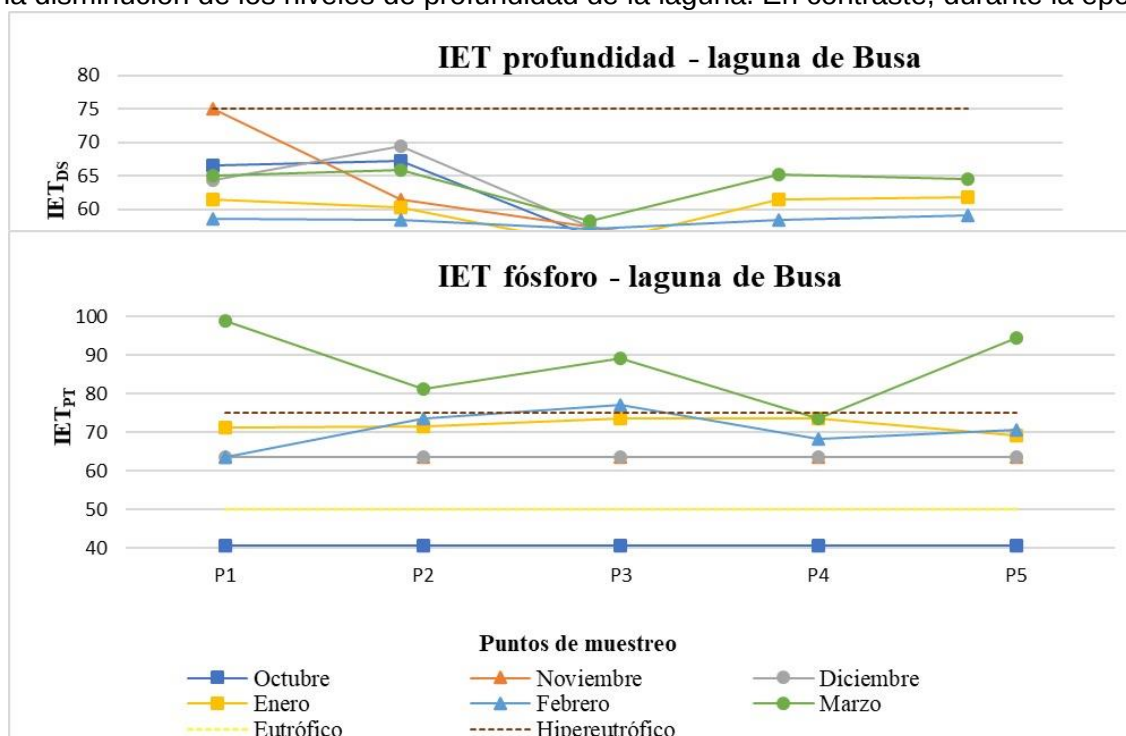
- Índice trófico por parámetros

Los datos de la **figura 19** muestran fluctuaciones notables en el IET de profundidad, medido con el disco Secchi en todos los puntos. Hubo un aumento general en la mayoría de los puntos entre noviembre y diciembre, seguido de una tendencia decreciente o estabilización hacia marzo. Se destaca el punto P1 porque experimenta un aumento significativo en noviembre, lo cual puede estar relacionado con la alta turbidez encontrada en ese mes, mientras que en los puntos P4 y P5, se puede observar que la época de estiaje su índice fue menor que para la época de lluvia (**figura 19**). Estas variaciones pueden estar influenciadas por factores estacionales como

precipitaciones y flujos de entrada, que alteran la disponibilidad de nutrientes y la dinámica de la laguna, un aspecto crucial para interpretar la gestión de la calidad del agua y la salud ecológica de este cuerpo de agua.

Figura 19. Distribución trófica de la profundidad según el Índice IET

En la (figura 20) se muestra el IET_{PT} de la laguna de Busa. Se basa en la medición del fósforo en cinco puntos de muestreo durante seis meses. En la época de estiaje se observa un aumento general de los niveles de IET_{PT} desde octubre hasta diciembre, lo cual podría estar relacionado con la disminución de los niveles de profundidad de la laguna. En contraste, durante la época de



lluvias, el IET_{PT} de P4 Y P5 se incrementa significativamente en marzo. Estas variaciones posiblemente se deban a que hubo una mayor escorrentía superficial. Esto sugiere que ha habido una influencia directa de los aportes externos debido a las precipitaciones y el consecuente arrastre de nutrientes desde las laderas hacia la laguna (Echaniz y Vignatti, 2013)

Figura 20. Distribución trófica del fósforo total según el Índice IET

Con respecto a la clorofila-a, las mediciones de los puntos de muestreo del P1 al P5, en los meses de estiaje y de lluvia son consistentes (**figura 21**), lo cual sugiere que durante estos períodos no hay variaciones significativas en las concentraciones de clorofila-a en la laguna, salvo en el P1. Esto podría indicar una estabilidad en la biomasa algal que está estrechamente relacionado con los valores de clorofila-a, salvo por el cambio estacional marcado en el punto P1, debido a que los nutrientes se acumulan en el punto de salida. Los meses de enero y febrero fueron los únicos en los que hubo variación, lo cual concuerda con las fechas en empezaron las precipitaciones en la laguna.

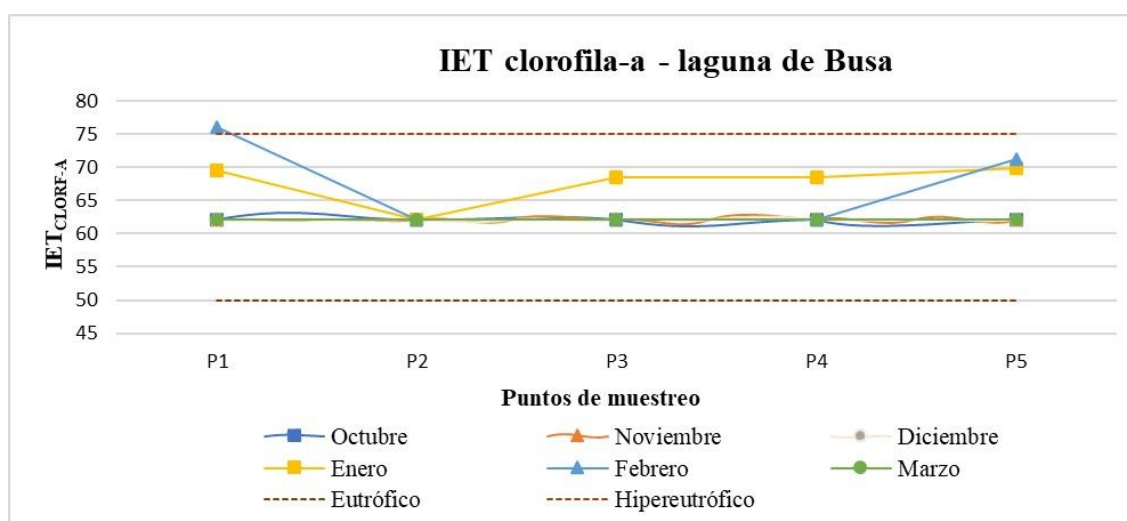


Figura 21. Distribución trófica de la Clorofila-a según el Índice IET

4.1.4. Comparación con otros estudios

En la (**tabla 14**) se presentan los resultados de otros estudios similares al nuestro, en la que se usó la metodología OCDE. En el estudio de las lagunas andinas de América del Sur y México, se observó una notable variación en el estado trófico, según la altitud y la ubicación geográfica. La Laguna San Martín, en Ecuador, la más cercana a la laguna de busa, y que está ubicada a 2720 m.s.n.m., presenta un estado hipereutrófico para el fósforo y la transparencia, y eutrófico para la clorofila-a (García-Avila et al. 2023).

Este patrón hipereutrófico para el fósforo y la transparencia se repite en la Laguna de Busa, aunque esta última se encuentra a una altitud ligeramente superior de 2820 m.s.n.m. En contraste, la Laguna Conococha, en Perú, ubicada a 4050 m.s.n.m., muestra un estado hipereutrófico tanto para el fósforo como para la transparencia y la clorofila-a, lo cual indica que existe una alta concentración de nutrientes y una baja calidad del agua en comparación con las otras lagunas evaluadas (Díaz Medina y Sotomayor Maguiña, 2013).

Tabla 14

Comparación del Índice OCDE con otros resultados

Autor	Lugar	Altitud m.s.n.m.	Índice de eutrofización	Estado trófico
(García-Avila et al. 2023)	Laguna San Martín - Ecuador	2720	OCDE	-Hipereutrófico para el fósforo y transparencia
(Díaz Medina y Sotomayor Maguiña, 2013)	Laguna Conococha - Perú	4050	OCDE	-Eutrófico para clorofila-a.
(López Martínez y Madroñero Palacios 2015)	Laguna de la Cocha - Colombia	2680	OCDE	-Hipereutrófico para el fósforo, transparencia y clorofila-a
(Campos Solís 2015)	Laguna Ñahuinpuquio - Perú	3400	OCDE	-Oligotrófica para clorofila-a.
(Maldonado Patiño 2018)	Laguna de San Miguel Almaya - México	2720	OCDE	-Oligotrófica a eutrófica para la transparencia.
Naranjo & Velasco (2024)	Laguna de Busa	2820	OCDE	-Ultraoligotrófico para el fósforo.

En la **(tabla 15)** se presentan los resultados recopilados del IET, que obtenidos en otros estudios similares. Se puede observar que lagunas como la de la Cocha, en Colombia, y Ñahuinpuquio, en Perú, presentan estados tróficos más bajos. La Laguna de la Cocha, a 2680 m.s.n.m., es oligotrófica para la clorofila-a y varía de oligotrófica a eutrófica en cuanto a la transparencia, lo que sugiere que la calidad del agua es mejor (López Martínez y Madroñero Palacios, 2015).

La Laguna Ñahuinpuquio, a 3400 m.s.n.m., se clasifica como ultra oligotrófica para el fósforo, lo cual indica que los niveles de nutrientes son extremadamente bajos (Campos, Solís 2015). Finalmente, la Laguna de San Miguel Almaya en México, ubicada a una altitud de 2720 m.s.n.m., se muestra hipereutrófica para la clorofila-a y la transparencia, pero solo mesotrófica para el fósforo, esto refleja una mezcla de características tróficas intermedias (Maldonado Patiño, 2018).

Estas variaciones evidencian la complejidad de los ecosistemas acuáticos y la influencia en su estado trófico de factores antrópicos como: las actividades agropecuarias alrededor, el pobre manejo de aguas residuales domésticas, y la falta de conciencia ambiental por parte de la población local; además de condiciones naturales como: la altitud, y la geografía.

La evaluación del Índice de Estado Trófico (IET) en la Laguna de Busa muestra una condición eutrófica para clorofila-a, fósforo y transparencia. Este estado es comparable al observado en la Laguna San Martín, en Ecuador, y la Laguna Conococha, en Perú, durante ciertas temporadas, aunque busa alcanza las condiciones hipereutróficas reportadas en estos cuerpos de agua (Díaz Medina y Sotomayor Maguiña, 2013; García-Avila et al., 2023) Tal similitud sugiere que existe una influencia moderada de nutrientes externos en la Laguna de Busa.

Tabla 15

Comparación del Índice IET con otros resultados

Autor	Lugar	Altitud m.s.n.m.	Índice de eutrofización	Estado trófico
(García-Avila et al., 2023)	Laguna San Martín - Ecuador	2720	IET	-Hipereutrófico para verano
(Díaz Medina y Sotomayor Maguiña, 2013)	Laguna Conococha - Perú	4050	IET	-Eutrófico Invierno
(López Martínez y Madroñero Palacios, 2015)	Laguna de la Cocha - Colombia	2680	IET	-Eutrófica para clorofila-a
(Campos, Solís 2015)	Laguna Ñahuinpuquio - Perú	3400	IET	Hipereutrofia para transparencia
(Hernández et al., 2013)	Lagunas Tota	3015	IET	-Oligotrófica para clorofila-a.
(Hernández et al. 2013)	Fúquene	2543	IET	-Oligotrófica a eutrófica para la transparencia.
Naranjo & Velasco (2024)	Laguna de Busa	2820	IET	-Mesotrófica en estiaje y lluvia.

En contraposición, lagunas como La Cocha en Colombia y Ñahuinpuquio en Perú presentan estados tróficos más bajos, oscilando entre oligotrófico y mesotrófico (Campos Solís, 2015; López Martínez y Madroñero Palacios, 2015). La variabilidad de los estados tróficos entre diferentes

cuerpos de agua sugiere que el IET puede estar fuertemente influenciado por factores específicos del sitio, como la topografía, el clima y las prácticas de uso del suelo en las cuencas de drenaje. Estudios como el de You et al., (2019) han demostrado que la topografía y el clima influyen en la calidad del agua de la superficie; las áreas de menor elevación o con pendientes suaves generalmente están asociadas a mejores calidades de agua.

En la Laguna de Busa, el análisis específico del IET, bajo diferentes condiciones de muestreo, revela que las fluctuaciones temporales de los niveles de nutrientes, observadas en nuestro estudio, podrían ser el resultado de las variaciones estacionales en el flujo de entrada de nutrientes, y en la dinámica hidrológica de la laguna.

También los sistemas fluviales que alimentan a los lagos influyen significativamente en la calidad del agua y en la distribución espacial de los contaminantes, lo cual destaca cómo las características geográficas y las actividades humanas modulan estos procesos (Angela Kuriata-Potasznik, Sławomir Szymczyk, y Andrzej Skwierawski, 2020). Por lo tanto, la altitud y las condiciones climáticas pueden afectar la tasa de acumulación de nutrientes en las lagunas, mientras que las prácticas agrícolas intensivas y la gestión deficiente pueden aumentar la carga de nutrientes.

4.2. Análisis espacio - temporal de la calidad de agua de la laguna Busa

4.2.1. Análisis de Correlación entre los diferentes parámetros y el Índice IET

Los resultados del análisis de correlación de Pearson se visualizan en la **tabla 16**, donde se muestra la relación entre el IET y diversos parámetros durante las temporadas de sequía y de lluvias.

- **pH:** Exhibió valores altos tanto en el estiaje (0.97) como en la época de lluvia (0.96), lo cual sugiere que el pH es un indicador consistente del estado trófico de la laguna. Esto

puede deberse a que el pH influye directamente en la solubilidad y disponibilidad de nutrientes claves para promover la eutrofización (Corona Encinas 2020).

- **Turbidez (NTU):** también mostró una correlación positiva alta (0.86) en ambas temporadas, lo que indica la presencia de material algal y sedimento suspendido. Ambos están directamente relacionados con la clorofila-a y la transparencia que se encuentran dentro de los datos de análisis del índice IET.
- **Oxígeno Disuelto (mg/l):** la correlación negativa de -0.73, tanto durante el estiaje como durante la época de lluvias, sugiere que niveles más altos de oxígeno están asociados con condiciones menos eutróficas en la laguna. Nguyen, Bac, y Hoang (2016) sostienen que el oxígeno disuelto es un indicador clave de la eutrofización en cuerpos de agua dulce, y que su inestabilidad puede afectar negativamente la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. Mantener niveles adecuados de DO es crucial para prevenir la eutrofización y proteger la biodiversidad.

Los parámetros de transparencia, fosfatos y clorofila-a no fueron considerados en este análisis para evitar la interferencia estadística, ya que estas variables se utilizan para el cálculo del índice IET.

Los siguientes parámetros mostraron correlaciones significativas con el IET:

- **Aceites y grasas (mg/l):** la correlación positiva de 0.64 en ambas épocas sugiere que los altos niveles de este parámetro se encuentran relacionados con condiciones eutróficas en la laguna; posiblemente al permanecer en la superficie reducen la transparencia del agua.
- **Coliformes totales:** el estudio sobre coliformes totales mostró una correlación moderada de 0.51, tanto durante el estiaje como durante la época de lluvia. El aumento en la carga de coliformes podría estar relacionado con un incremento de la materia orgánica y los nutrientes. Los resultados de Izicki et al. (2012) en una laguna en Malibú sugieren que factores ambientales y estacionales pueden influir significativamente en las concentraciones de coliformes en el agua.

Tabla 16

Resultados del análisis de correlación entre el Índice IET y parámetros de calidad del agua

Parámetros analizados	Correlación con Índice IET	Correlación con índice IET
	Estiaje	Lluvia
STD	-0.0328	-0.033
Cond	0.6581	0.6582
pH	0.9661	0.9641
OD	-0.7375	-0.734
Turbidez	0.8645	0.8643
Temperatura	0.2507	0.2492
Aceites y grasas	0.6433	0.6436
Color	-0.6771	-0.6786
DBO5	0.2072	0.2113
DQO	0.0516	0.0516
Nitratos	-0.179	-0.1729
Nitritos	0.1455	0.1914
Sulfatos	-0.2968	-0.2962
Coliformes fecales	0.3318	0.332
Coliformes totales	0.512	0.5122
Índice IET	1	1

El análisis de correlación reveló que existe una fuerte relación entre el pH y la turbidez medida con el IET; ambos parámetros son indicadores clave de la eutrofización. El pH, con correlaciones que oscilan entre 0.96 y 0.97 bajo estiaje y lluvia respectivamente, influye en la solubilidad de nutrientes y, por ende, el aumento de la proliferación algal, según (Jean 2020). Así mismo, Lefever et al. (2017) descubrieron que la variación del pH influye significativamente en la producción de

clorofila y destacaron la sensibilidad de la clorofila a los cambios del pH del medio de cultivo. Esta observación es pertinente para el cuerpo de agua, ya que sugiere que variaciones similares en el pH del agua de la Laguna de Busa podrían estar afectando de manera significativa la concentración de clorofila-a en el agua, lo cual a su vez influye en el estado trófico evaluado a través del índice IET.

La turbidez mostró una correlación consistente de aproximadamente 0.86, lo cual refleja la presencia de sólidos suspendidos, que según Mariano et al. (2010) explican que puede deberse al lento reciclaje de nutrientes en la laguna, por la baja temperatura del agua. Dicha presencia de material suspendido puede deberse a la erosión acelerada causada por las actividades humanas de la zona, como la deforestación, el sobrepastoreo o la construcción.

En el río Nakdong, Seo, Lee, y Kim (2019) encontraron una correlación significativa ($p < 0.01$) entre los coliformes totales y las variables de calidad del agua, especialmente el fósforo total. La importancia de esta correlación radica en el hecho de que son buenos predictores de la calidad del agua, lo que podría determinar las medidas de tratamiento y gestión. El estudio de Seo et al. (2019) hace mucho énfasis en el control de la contaminación por coliformes mediante la verificación del fósforo total como un indicador. Esos resultados pueden, por lo tanto, ser aplicables y útiles para la gestión de la laguna de Busa.

4.2.2. ANOVA Factorial

- Análisis para estiaje según el Índice IET

El análisis estadístico del IET en la laguna de Busa durante la época de estiaje (**tabla 17**), reveló patrones interesantes conforme el índice variaba. Según el ANOVA factorial, no se encontraron diferencias significativas entre los P1, P2, P4 y P5 de muestreo ($p = 0.2814$), lo cual indica que la variación espacial del IET es mínima y consistente, a través de los puntos evaluados. Sin embargo, se observó una variación temporal significativa en el IET ($p = 0.0374$), lo que sugiere que el índice varía de manera importante a lo largo del tiempo, sobre todo durante el período de estiaje cuando el caudal de entrada es mínimo.

Las pruebas post-hoc de Tukey corroboraron la ausencia de diferencias significativas entre los puntos de muestreo. Además, la interacción entre los puntos de muestreo y las fechas tampoco fue significativa, lo que refuerza la idea de que las fluctuaciones del IET fueron principalmente temporales, y no espaciales, durante el periodo de estudio. La variabilidad temporal del IET puede estar influenciada por diversos factores estacionales específicos de la época de estiaje. Durante estos períodos, los niveles de agua son más bajos, lo que puede concentrar los nutrientes y acelerar el proceso de eutrofización. Además, hubo cambios en las entradas de contaminantes, ya sea por actividades agrícolas, ganaderas o el turismo. Este último también juega un papel importante, ya que la afluencia de visitantes puede incrementar la presión sobre el ecosistema acuático, particularmente en las áreas cercanas a muelles y zonas de recreación.

- **Análisis para estiaje según el Índice ICA**

El ANOVA realizado en la para evaluar el ICA en distintos puntos de muestreo y fechas durante la época de estiaje no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los puntos ($p = 0.425$), pero sí presentó diferencias entre los diferentes meses de monitoreo ($p = 0.0312$) (**tabla 17**). Además, la interacción entre los puntos de muestreo y las fechas también resultó no significativa ($p = 0.097$), lo cual indica que los cambios del ICA no dependen específicamente de la combinación de puntos de muestreo y fecha. Las pruebas post-hoc de Tukey corroboraron estos hallazgos, ya que revelaron diferencias estadísticas no significativas entre los puntos de muestreo en todas las comparaciones realizadas.

Estos hallazgos subrayan la importancia de los factores temporales en la variación de la calidad del agua, potencialmente atribuibles a variaciones estacionales o eventos específicos durante el período de estiaje, los cuales afectan toda la laguna de manera homogénea. La interacción entre los puntos de muestreo y las fechas mostró una tendencia hacia la significancia, sugiriendo que el efecto temporal sobre la calidad del agua podría variar en diferentes puntos de la laguna. Sin embargo, este resultado no alcanzó la significancia estadística convencional. Por lo tanto, podría ser necesario realizar pruebas adicionales con un diseño experimental más robusto y un mayor tamaño de muestra con el objetivo de clarificar estas dinámicas.

Las pruebas post-hoc de Tukey corroboraron la ausencia de diferencias significativas entre los puntos de muestreo en cuanto al ICA. Esto apoya la noción de que la calidad del agua durante la época de estiaje es relativamente uniforme en toda la extensión de la laguna.

- **Análisis para la época de lluvia según el Índice IET**

El análisis ANOVA realizado para evaluar las variaciones del IET entre distintos puntos de muestreo en la laguna de Busa durante la época de invierno, no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los puntos ($p = 0.486$) como se muestra en la **tabla 17**. Tampoco hubo una interacción significativa entre las fechas ($p = 0.590$).

Sin embargo, el factor fecha, al acercarse a la significancia estadística ($p = 0.110$), sugiere que existe una posible variación temporal del IET que podría merecer una investigación más detallada una muestra más grande o datos adicionales. Las pruebas post-hoc de Tukey, que compararon las medias del IET entre los diferentes puntos, confirmaron la ausencia de diferencias significativas, ya que todos los valores p ajustados fueron cercanos o iguales a 1. Esto refuerza la falta de variabilidad espacial significativa del índice entre los puntos examinados.

Estos resultados sugieren una homogeneidad notable en el IET en los diferentes puntos de muestreo de la Laguna de Busa durante el período de estudio. Esto indica que las intervenciones para manejar o mitigar la eutrofización podrían aplicarse uniformemente, sin necesidad de focalizarlas en áreas específicas. La tendencia a la variación temporal del IET, aunque no sea estadísticamente significativa en este caso, puede deberse al aumento de los caudales de entrada o a los eventos climáticos que pueden influir en la eutrofización de la laguna. Este aprendizaje es crucial para la gestión efectiva y sostenible de los recursos hídricos de la laguna y para garantizar la conservación de sus valores ambientales y turísticos a largo plazo.

- **Análisis para la época de lluvia según el Índice ICA**

El análisis ANOVA presentado en la **Tabla 17** para evaluar las variaciones del ICA durante la época de lluvias en diferentes puntos de muestreo de la Laguna de Busa, indicó que no existen diferencias significativas entre los puntos ($p = 0.340$); tampoco aparecen interacciones

significativas entre las fechas de muestreo ($p = 0.6226$). Sin embargo, el factor 'fecha' mostró una tendencia hacia la significancia estadística ($p = 0.0972$), al igual que el análisis del índice IET. Esto sugiere que puede haber variaciones en el ICA que dependen del tiempo, aunque estas no alcanzaron un nivel de significancia estadística bajo el umbral convencional de 0.05. Además, los análisis post-hoc de Tukey confirmaron la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo; los valores p ajustados son muy altos lo cual indica que hay una uniformidad en la calidad del agua entre los puntos evaluados.

Los resultados del ANOVA y las pruebas post-hoc sugieren que, durante la época de lluvias, la calidad del agua en la laguna de Busa es uniforme en los diferentes puntos de muestreo. Esto implica que las condiciones ambientales que influyen en la calidad del agua son similares en todo el humedal durante este período. Esta situación favorece la implementación de medidas de gestión y mitigación uniforme en todo el cuerpo de agua. La ligera variabilidad temporal indicada por la tendencia del factor 'fecha' podría justificar un monitoreo continuo para entender mejor cómo los patrones temporales, posiblemente relacionados con variaciones climáticas o eventos específicos estacionales, afectan la calidad del agua.

Tabla 17

Comparación del análisis ANOVA con los índices IET e ICA en las estaciones seca y lluviosa

Índice/Valor p	Temporal	Espacial	Espacio- Temporal
IET Estiaje	0.0374	0.2814	0.995
ICA Estiaje	0.0312	0.425	0.097
IET Lluvia	0.110	0.486	0.590
ICA Lluvia	0.0972	0.340	0.6226

Con el objetivo de evaluar las diferencias significativas en la calidad del agua, Zefrehei et al. (2020) utilizaron imágenes Landsat para monitorear la transparencia del disco Secchi y la

concentración de clorofila-a en el humedal Choghakhor durante 32 años y encontraron diferencias espaciales y temporales significativas ($p < 0.05$).

En contraste, nuestro estudio sobre la laguna de Busa mostró diferencias temporales significativas del IET y del ICA durante el estiaje, tal y como se observa en la **tabla 17**, pero no existe variabilidad espacial significativa. Por lo tanto, se debe dar más énfasis a un monitoreo temporal que a un espacial en el cuerpo de agua, puesto que permitiría comprender mejor los cambios estacionales y los efectos de eventos atípicos.

Scannell (2023) encontró que el ICA en el lago St. Clair en la frontera Canadá-Estados Unidos no presentó diferencias significativas espaciales ni temporales ($p > 0.2$). En la laguna de Busa, el ANOVA factorial no mostró diferencias significativas ni en el ICA, ni en el IET durante la época de lluvia, como se observa en la **tabla 17**, aunque sí se acercó a la significancia temporal ($p < 0.1$).

Esto subraya la importancia de considerar las variaciones temporales en el análisis de la calidad del agua. La ausencia de diferencias espaciales significativas en ambos estudios podría indicar que la calidad del agua es relativamente homogénea en los diferentes puntos de muestreo dentro de cada cuerpo de agua.

En el estudio del embalse de Xili, se encontraron diferencias significativas en varios parámetros físicos y químicos como Cl-a, temperatura, STD, OD, NO₃-N y TN a lo largo de diferentes meses. Hubo variaciones a lo largo de las estaciones y los períodos de lluvia, lo que indicó una variabilidad temporal y espacial marcada (Song Yunlong et al., 2017).

Nuestro estudio sobre la laguna de Busa determinó que, aunque las variaciones temporales son significativas para el IET y el ICA durante la época de estiaje, las diferencias espaciales entre los puntos de muestreo no son significativas, lo cual indica que existe homogeneidad en la calidad del agua de toda la laguna. Tal diferencia podría atribuirse a aspectos propios del embalse de Xili y de la laguna de Busa.

El embalse de Xili, ubicado en la ciudad de Shenzhen en el sureste de China, es un importante recurso hídrico para el suministro de agua potable en una zona urbana densamente poblada. La

calidad del agua en Xili está influenciada por varios factores: la contaminación de fuentes puntuales y no puntuales, la entrada de nutrientes de actividades agrícolas y urbanas, y las condiciones climáticas subtropicales, caracterizadas por altas temperaturas durante gran parte del año.

Estos factores contribuyen a la variabilidad espacial y temporal de parámetros como la concentración de clorofila-a, temperatura del agua, turbidez, oxígeno disuelto, nitratos y nitrógeno total, resultando en diferencias significativas en estos parámetros a lo largo del año y entre diferentes sitios dentro del embalse. En contraste, la Laguna de Busa se encuentra en una zona rural de Ecuador, en la provincia del Azuay, a una altitud considerablemente mayor que Xili. Por lo tanto, está menos influenciado por actividades urbanas intensivas y más por prácticas ganaderas locales y actividades turísticas.

4.2.3. Análisis Clúster

Se llevó a cabo un análisis de clustering jerárquico utilizando la distancia Euclidiana y el método de enlace promedio, con el fin de evaluar las similitudes y diferencias en la calidad del agua entre los puntos de muestreo P1, P2, P4, P5 en la laguna de Busa, durante la temporada de estiaje y lluvia.

El dendograma generado en las **figuras 22 y 23** facilitó la visualización de la agrupación de los datos en seis clústeres distintos, basado en los parámetros de la calidad de agua que fueron medidos.

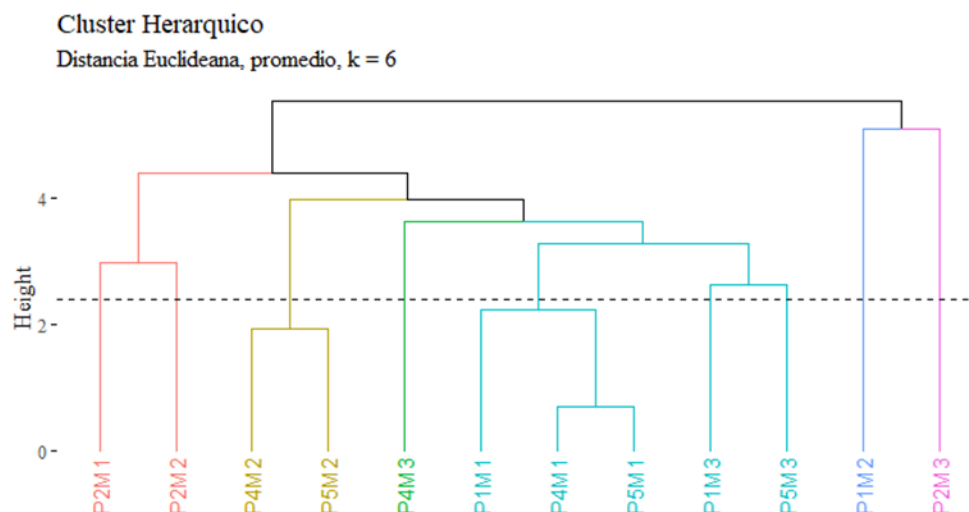


Figura 22. Dendrograma de las relaciones entre los diferentes puntos de muestreo con los parámetros de calidad de agua medidos en la laguna de Busa para la época de estiaje

Clúster rojo: está compuesto por los muestreos en el punto de entrada de la laguna (P2) durante octubre (P2M1) y noviembre (P2M2); se obtuvieron características similares entre estos dos puntos lo cual los distinguen de otros muestreos.

Clúster amarillo: está representado por el mes de noviembre en la zona de las totoras (P4M2) y cerca de los muelles (P5M2), puntos que indicaron una alta similitud por su altura (*height*) menor a 2, tal como se muestra en la **figura 22**. Esto puede deberse a que ambos puntos se encuentran en la parte profunda de la laguna de Busa donde ocurre una mejor mezcla.

Clúster verde: incluye únicamente el muestreo en la zona de las totoras (P4M3) en diciembre, indicando características únicas que lo diferencian del resto. Esta zona puede presentar una dinámica diferente debido a la presencia de vegetación acuática que influye en los procesos biogeoquímicos, como la absorción de nutrientes y la mitigación de contaminantes.

Clúster celeste: incluye los muestreos en la salida de la laguna en octubre (P1M1) y diciembre (P1M3), en la zona de las totoras en octubre (P4M1) y en la zona de los muelles en octubre

(P5M1) y diciembre (P5M3); se destaca una consistencia en las mediciones de calidad del agua en estos meses. Esta similitud puede deberse a varios factores.

Primero, la estacionalidad puede influir en la calidad del agua, ya que octubre y diciembre representan períodos de cambio estacional, los cuales afectan la precipitación y el flujo de agua. Segundo, la gestión del agua en estos puntos puede ser similar, ya que todos ellos están sujetos a influencias antropogénicas como la ganadería aguas arriba. Así, el grupo con mejor altura (height) fueron los P4M1 y P5M1 y mostraron una alta similitud entre sí. Esta consistencia sugiere que sus condiciones de profundidad y dilución al igual que ocurre en el clúster amarillo.

Clúster azul: está formado por el muestreo en el punto de salida en noviembre (P1M2), lo que podría indicar que existen características únicas en este lugar durante ese mes, ya que al ser el punto de salida ocurre una alta concentración de distintos compuestos arrastrados por la laguna.

Clúster morado: está compuesto por el muestreo en diciembre (P2M3), lo que sugiere que sus datos no fueron similares a los obtenidos en otros puntos y otras fechas. Esto concuerda con el bajo caudal de entrada y su alta turbidez, algo que lo diferencia de los otros puntos.

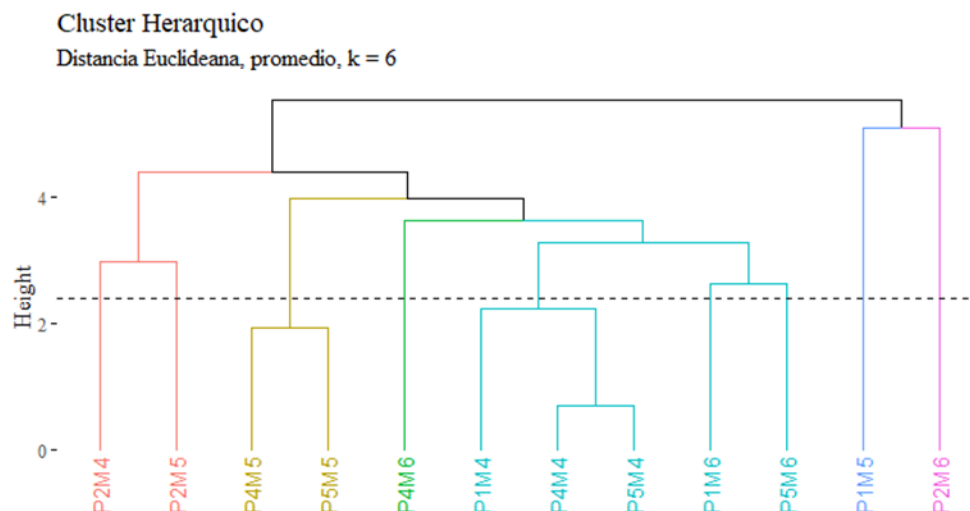


Figura 23. Dendograma de la relación entre los diferentes puntos de muestreo con los parámetros de calidad de agua medidos en la laguna de Busa para la época de lluvias

- **Clúster rojo:** incluye los muestreos en la zona de las totoras durante enero (P4M4) y febrero (P4M5); los resultados sugieren que existe una consistencia en las condiciones del agua entre estos dos meses, aunque sin gran similitud. En general, de los 18 parámetros medidos, seis muestran una alta similitud, lo cual refleja una consistencia significativa en las condiciones del agua entre enero y febrero en la zona de las totoras.
- **Clúster amarillo:** está compuesto por los muestreos en las totoras (P4M5) y en los muelles (P5M5) en febrero; los resultados indican que existen propiedades particulares y muy parecidas en estos dos puntos, posiblemente debido a la alta afluencia de turistas durante este mes.
- **Clúster verde:** la muestra se tomó exclusivamente en el punto cercano a las totoras en marzo (P4M6); presenta características únicas en este punto en las fechas muestreadas. Se obtuvo altos valores de aceites y grasa (33 mg/l) y bajos valores de sulfatos (9 mg/l)
- **Clúster celeste:** contiene la mayor agrupación de muestreos: la salida de la laguna en enero (P2M4) y marzo (P2M6); en el punto de las totoras en enero (P4M4) y en el punto de los muelles en enero (P5M4) y marzo (P5M6). De esta manera, la relación entre (P4M4) Y (P5M4) es la que presentó mayor similitud, lo que refleja una notable consistencia en las mediciones de calidad del agua a lo largo de los meses en estos puntos. Estos son los puntos más profundos de la laguna y los menos afectados por el ingreso de nutrientes por la entrada de la laguna.
- **Clúster azul:** está formado por el muestreo en el punto de salida en febrero (P1M5); se constató la falta de similitud con otros puntos en los meses analizados. En este mes se encontró una capa de *biofilm* en la zona de la salida.
- **Clúster morado:** está representado por el muestreo en el punto de entrada, en marzo (P2M6); demostró presentar características únicas en este período, como una alta

turbidez (0.71 NTU), una baja transparencia (0.38 m) y altos niveles de aceites y grasas (30 mg/l)

El estudio de Adujo et al. (2024) destaca variaciones significativas en la composición química del agua subterránea en diferentes estaciones; las obtuvieron utilizando técnicas de análisis multivariante, lo que se atribuye a la lixiviación de contaminantes del vertedero.

Este hallazgo resalta la importancia de considerar la variabilidad estacional en la gestión de los recursos hídricos. Además, se relaciona con los resultados de nuestro estudio de la laguna de Busa, donde la época de lluvia hubo una mayor carga de nutrientes en la laguna debido al aumento de la escorrentía superficial.

De esta manera, sería apropiado determinar las relaciones entre los clústeres identificados en la laguna de Busa y el impacto de la lluvia en el arrastre de nutrientes con el fin de identificar qué variaciones en la calidad del agua del humedal están vinculadas a la pobre gestión de vertederos de basura en los alrededores.

El estudio de Reynolds et al. (2021) sobre la identificación de fuentes de contaminación fecal en una pequeña cuenca urbana utiliza un análisis de clúster para examinar los contaminantes microbianos y su agrupación en diferentes puntos de la cuenca. En este estudio, el muestreo en estaciones 'centinelas' representativas de cada clúster permitió un monitoreo más eficiente y rápido de la contaminación fecal en el arroyo Elm Park.

Como resultado, en futuros análisis sólo serán necesarias cuatro estaciones en lugar de once. Esta metodología podría aplicarse a la laguna de Busa, reduciendo sus puntos de muestreo de cuatro a dos debido a la alta agrupación de los puntos 1, 4 y 5, tanto en estiaje como en épocas de lluvia.

4.2.4. Análisis T Pareado

El análisis estadístico conocido como T pareado se realizó para conocer si existen diferencias significativas entre el P2 “Entrada a la laguna” y el P3 “Aguas Arriba de la laguna”. Los resultados obtenidos que se muestran en la **tabla 18** sugieren que no existen diferencias estadísticamente

significativas entre estos puntos en las dos temporadas abordadas por este estudio. Por lo tanto, se puede concluir que el pozo de agua ubicado aguas arriba se encuentra igualmente contaminado por actividades ganaderas.

Los valores T obtenidos en los diferentes períodos indican que no hay diferencias sustanciales que puedan ser atribuidas a la distancia que existe entre estos puntos de monitoreo.

Tabla 18

Resultado del análisis T Pareado entre los puntos 2 y 3.

Período	T value	Grados de Libertad	P value	Intervalo de confianza 95%	Diferencia media de muestras
Estiaje	0.994	17	0.334	(-316.2313, 880.0031)	281.88
Lluvia	1.311	17	0.207	(-186.4621, 799.5399)	306.53

Esto se refleja en los valores P que exceden el umbral de 0.05, indicando que las diferencias no son significativas desde el punto de vista estadístico. Por lo tanto, el P3 se encuentra en el mismo estado trófico que la laguna, a pesar de ubicarse a 300 metros de distancia aproximadamente.

Los amplios intervalos de confianza observados sugieren una variabilidad alta en las mediciones entre los puntos de muestreo. Esta variabilidad podría estar influenciada por factores episódicos como eventos de lluvia intensa o descargas puntuales que no se capturan plenamente en el muestreo habitual.

De la misma manera, aunque se observaron algunas diferencias en las medias entre los puntos de muestreo, estas no alcanzaron un nivel de significancia estadística.

Durante el período de estiaje, como se observa en la **figura 24**, ciertos parámetros como coliformes fecales y totales presentan una mayor concentración en el punto de entrada, en comparación con lo que ocurre aguas arriba del cuerpo de agua.

Esto puede indicar un flujo de contaminantes proveniente de las actividades ganaderas que se realizan en el área entre el punto 3 y el punto 2, las cuales impactan directamente en el canal que llega a la entrada de la laguna.

La turbidez es mayor en el punto aguas arriba y su transparencia es menor, lo que puede deberse al estancamiento del agua ya que no hay circulación debido al bajo caudal y a la acumulación de partículas y material proveniente de la zona circundante.

Parámetros como los STD, la conductividad, los aceites y grasas, la DBO y DQO también mostraron aumento en la laguna en comparación con el pozo aguas arriba.

Aunque no se encontró diferencias significativas en el análisis T pareado si se encontró un cambio negativo en 9 de los parámetros monitoreados como se muestra en la **figura 24**.

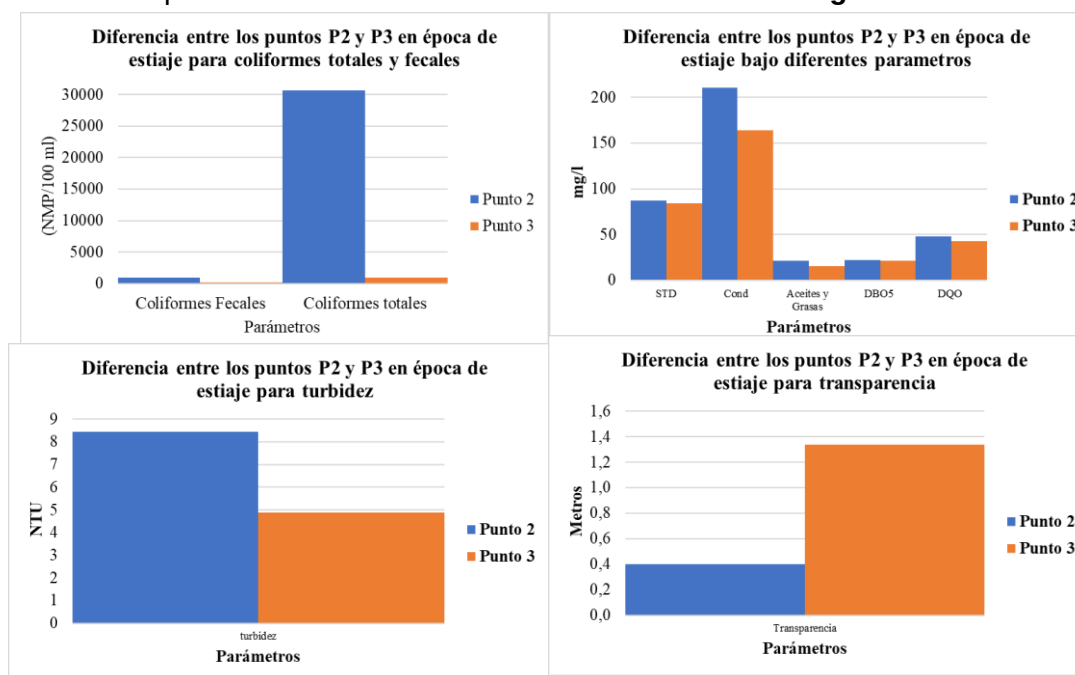


Figura 24. Histograma de la comparación de parámetros entre los puntos entrada y aguas arriba en la época de estiaje

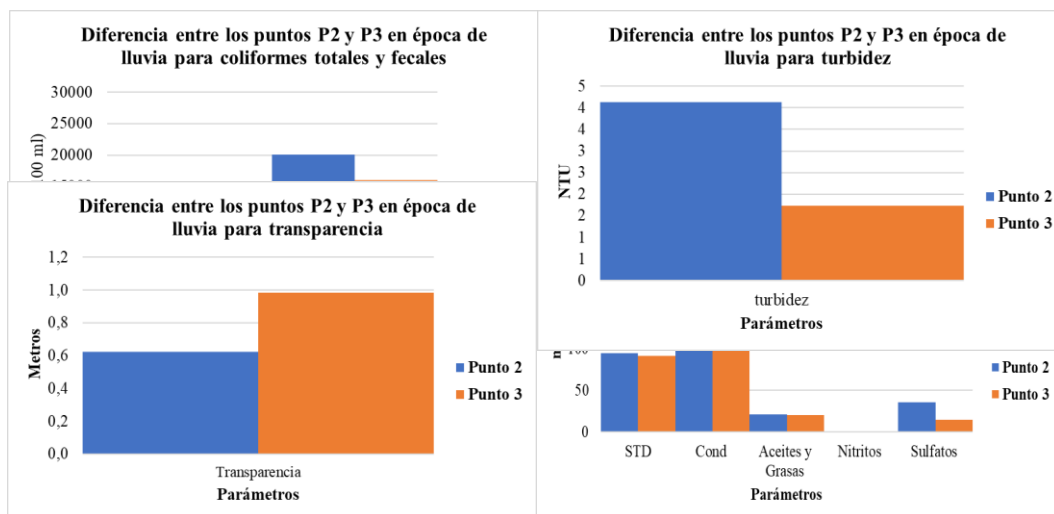
Los parámetros analizados en la época de lluvia se aprecian en la **figura 25**. Los parámetros como coliformes fecales y totales mostraron un aumento en el punto 2, lo que podría ser resultado de un mayor flujo de agua que transporta los nutrientes contaminantes desde las áreas circundantes.

En los sulfatos, nitritos, conductividad, STD y aceites y grasas se encontró un aumento con respecto al punto 2, que se debe a la escorrentía, ya que las precipitaciones son mayores en esta época.

El color y la transparencia disminuyeron, mientras que la turbidez aumentó en el punto 2 en relación con el punto 3, lo que indica un deterioro de la calidad de agua. Esto concuerda con los aumentos de conductividad y sólidos disueltos.

En el estudio sobre la cuenca del río Carrizal elaborado por Aveiga Ortiz et al. (2020), la prueba T pareada se aplicó para comparar los niveles de arsénico entre diferentes puntos de muestreo. Los resultados mostraron que no había diferencias significativas en los niveles de arsénico ($p > 0.05$).

De manera similar, en el estudio de la laguna de Busa, la prueba T pareada se utilizó para comparar parámetros como coliformes fecales, nitratos y turbidez entre los puntos de entrada y aguas arriba de la laguna.



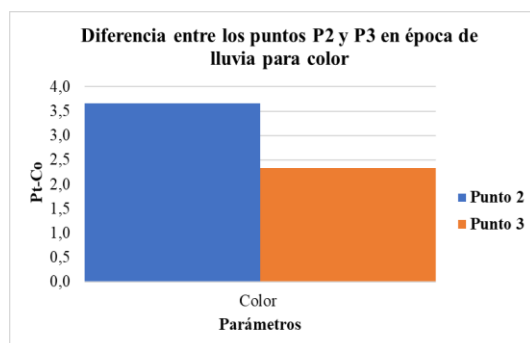


Figura 25. Histograma de la comparación de parámetros entre entrada y aguas arriba en la época de lluvias

Los resultados también indicaron que no había diferencias significativas en estos parámetros ($p > 0.05$). Ambos estudios encontraron que las diferencias observadas no eran estadísticamente significativas, lo que sugiere una uniformidad relativa en los parámetros medidos entre los puntos de muestreo.

En nuestro estudio, los amplios intervalos de confianza reflejan una alta variabilidad, posiblemente influenciada por factores externos como la lluvia y las actividades antrópicas.

En el estudio de evaluación de la calidad del agua superficial en la cuenca alta del Sis Icán, en Guatemala, realizado por Chan Santiesteban y Peña (2015), se tomaron muestras en diversos puntos de los ríos para determinar su aptitud para el consumo humano.

En dicho estudio se determinó que los puntos más bajos, cerca de las áreas de mayor actividad humana y agrícola, tendieron a mostrar niveles más altos de coliformes fecales, aunque esto no se reflejó en diferencias estadísticas significativas en todos los casos, de la misma manera que sucedió en los análisis de coliformes en la laguna de Busa.

El análisis T Pareado mostró que, a pesar de las diferencias visuales observadas en las concentraciones de varios parámetros entre los puntos de muestreo, estas no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que tanto la entrada de la laguna como el punto tomado aguas arriba se encuentra contaminado.

Además, la variabilidad en los intervalos de confianza, particularmente en parámetros como coliformes y nutrientes, indica que ciertos eventos específicos o cambios estacionales podrían influir en la calidad del agua de manera localizada, aunque no de forma consistente a lo largo del tiempo.

4.3. Análisis de las cargas de nitrógeno y fósforo

4.3.1. Análisis de cargas de nutrientes en época de estiaje

En esta temporada se consideraron los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2023. Durante este periodo, se determinaron las concentraciones medias de nutrientes como nitratos, nitritos y fosfatos para la aplicación del primer análisis con el Software PAMOLARE. En el programa, se introdujeron los valores de nitrógeno y fósforo medidos en el agua y en el sedimento y las cargas de nutrientes que ingresan al lago; así mismo, fue necesario determinar las características morfológicas, tales como, la profundidad promedio, el volumen y el tiempo de retención hidráulica del agua en el lago.

En la **figura 26** se presenta las proyecciones de nitrógeno y fósforo en el agua y el sedimento, la clorofila a, la transparencia de la laguna Busa en la época de estiaje considerando los tres escenarios explicados anteriormente, escenario A (control), escenario B (reducción de cargas), escenario C (aumento de cargas).

- Nitrógeno en el agua

En el escenario A, se observó un incremento sostenido de la concentración de nitrógeno en la laguna, a lo largo del tiempo. Durante los primeros dos años, la concentración de nitrógeno aumentó rápidamente hasta alcanzar 1 mg/l; posteriormente ascendió gradualmente hasta 1.3 mg/l y se estabilizó. Esto se debe a que, al no implementar ninguna medida de control, las actividades humanas alrededor de la laguna continuaron sin cambios. Como resultado, los aportes de nitrógeno provenientes del uso de fertilizantes, el vertido de aguas residuales y la escorrentía superficial, siguieron ingresando a la laguna sin restricciones.

En el escenario B, la gráfica mostró una reducción drástica de la concentración de nitrógeno. Esta disminuyó de aproximadamente 0.58 mg/l a menos de 0.42 mg/l en los primeros dos años, y luego se mantuvo relativamente constante. Esta reducción se atribuye a la implementación de medidas preventivas para reducir la contaminación, tales como la reducción o eliminación de la actividad ganadera alrededor de la laguna y la instalación de una barrera o filtro natural en el afluente principal. Con estas medidas disminuyó la entrada de nitrógeno y fósforo al lago y permitió que los procesos naturales de descomposición y asimilación por parte de la flora y fauna acuática mantuvieran la concentración de nutrientes en niveles más bajos y estables. La implementación de estas medidas de control y mitigación de la contaminación resultaría efectiva para reducir significativamente la eutrofización en este escenario.

En el escenario C, se observó un incremento notable en la concentración de nitrógeno, que creció rápidamente hasta alcanzar 7 mg/l y se estabilizó cerca de 8 mg/l al final del periodo de 10 años. Este aumento se debe a un significativo incremento de la contaminación causada por actividades humanas, incluyendo la expansión de la actividad ganadera alrededor de la laguna, la descarga directa de efluentes contaminados, el crecimiento poblacional y el manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas. En este escenario, los aportes de nutrientes provenientes de fertilizantes, excretas animales y descargas de aguas servidas superarían ampliamente la capacidad de asimilación y depuración natural del sistema lagunar que conduciría una eutrofización acelerada y al deterioro progresivo de la calidad del agua.

La falta de medidas de control y tratamiento de los contaminantes generaría un escenario de contaminación creciente y poco sostenible a largo plazo. Así, disminuirá notablemente la calidad del agua de la laguna y, consecuentemente, su atractivo turístico.

- **Nitrógeno en el sedimento**

En el escenario A, se observó un incremento sostenido de la concentración de nitrógeno en el sedimento, a lo largo del tiempo. La concentración aumentó de manera constante durante los 10 años de simulación hasta alcanzar 2.25 g/m². De forma similar a lo explicado para el nitrógeno en el agua, los aportes de este nutriente provenientes de actividades agropecuarias, descargas

de aguas residuales y la escorrentía superficial continuaron ingresando sin control. Esto se debe a la falta de implementación de medidas de prevención y restauración ambiental.

En el escenario B, la gráfica mostró que hubo un aumento drástico de la concentración de nitrógeno hasta alcanzar, alcanzando aproximadamente, 1.004 g/m^2 , seguido de un rápido descenso durante el primer año, hasta 0 g/m^2 . En el escenario B, la gráfica mostró un aumento drástico en la concentración de nitrógeno, alcanzando aproximadamente 1.004 g/m^2 , seguido de un rápido descenso durante el primer año hasta 0 g/m^2 . Este aumento inicial puede deberse a que cuando se redujo la entrada de nitrógeno al agua mediante la implementación de medidas preventivas, el nitrógeno ya presente comenzó a depositarse y concentrarse en el sedimento. Sin embargo, la reducción significativa de las fuentes de contaminación de nitrógeno, como la limitación de la ganadería y el uso de fertilizantes en las áreas circundantes, el tratamiento adecuado de aguas residuales y la implementación de barreras naturales como humedales artificiales, eventualmente propició la concentración y sedimentación de nitrógeno.

En el escenario C se registró un incremento notable de la concentración de nitrógeno; esta creció creciendo de manera constante hasta superar los 12 g/m^2 al final del periodo de 10 años, lo que podría comprometer seriamente el bienestar socioambiental de la zona. Esto se debe a un aumento considerable de la contaminación causado por la expansión de actividades ganaderas, el crecimiento demográfico, la gestión inadecuada de aguas residuales domésticas y la poca participación de la comunidad en el cuidado y la preservación del humedal de Busa.

- Fósforo en el agua

En el escenario A, la concentración de fósforo en el agua aumentó rápidamente durante los primeros dos años hasta superar los 0.032 mg/l , y luego se estabilizó alrededor de este valor. A pesar de que en este escenario se consideran las condiciones actuales sin la implementación de ningún tipo de medida, el fósforo en el agua solo alcanzó un nivel mesotrófico, según el índice propuesto por la OCDE (**tabla 2**). Además, al relacionarlo con el nitrógeno, el fósforo sigue siendo el nutriente limitante en la laguna, lo que sugiere que es posible controlar su entrada y disminuir el estado trófico.

En el escenario B, la gráfica mostró una reducción drástica de la concentración de fósforo desde aproximadamente, 0.1 mg/l hasta menos de 0.02 mg/l en los primeros dos años, y se mantuvo relativamente constante a lo largo del tiempo. Además, este valor corresponde a un nivel mesotrófico según el índice OCDE detallado en la tabla mencionada. Esta reducción se logró gracias a la aplicación de medidas preventivas detalladas anteriormente, lo que resultó en un notable aumento en la calidad del agua y una reducción del nivel trófico de la laguna.

En el escenario C, se observó un incremento notable de la concentración de fósforo, que creció aceleradamente hasta aproximadamente 0.28 mg/l, y se estabilizó cerca de este nivel hacia el final del periodo de 10 años. Esta cifra indica que hay un grado de hipertrofia en la laguna, según la clasificación propuesta por la OCDE (**tabla 2**). No obstante, el fósforo sigue siendo el nutriente limitante, lo que sugiere que se podría reducir la eutrofización restringiéndolo, a pesar de que en este escenario se haya registrado un aumento importante de la contaminación por nutrientes que provienen del uso de fertilizantes, el vertido de aguas residuales y la escorrentía superficial.

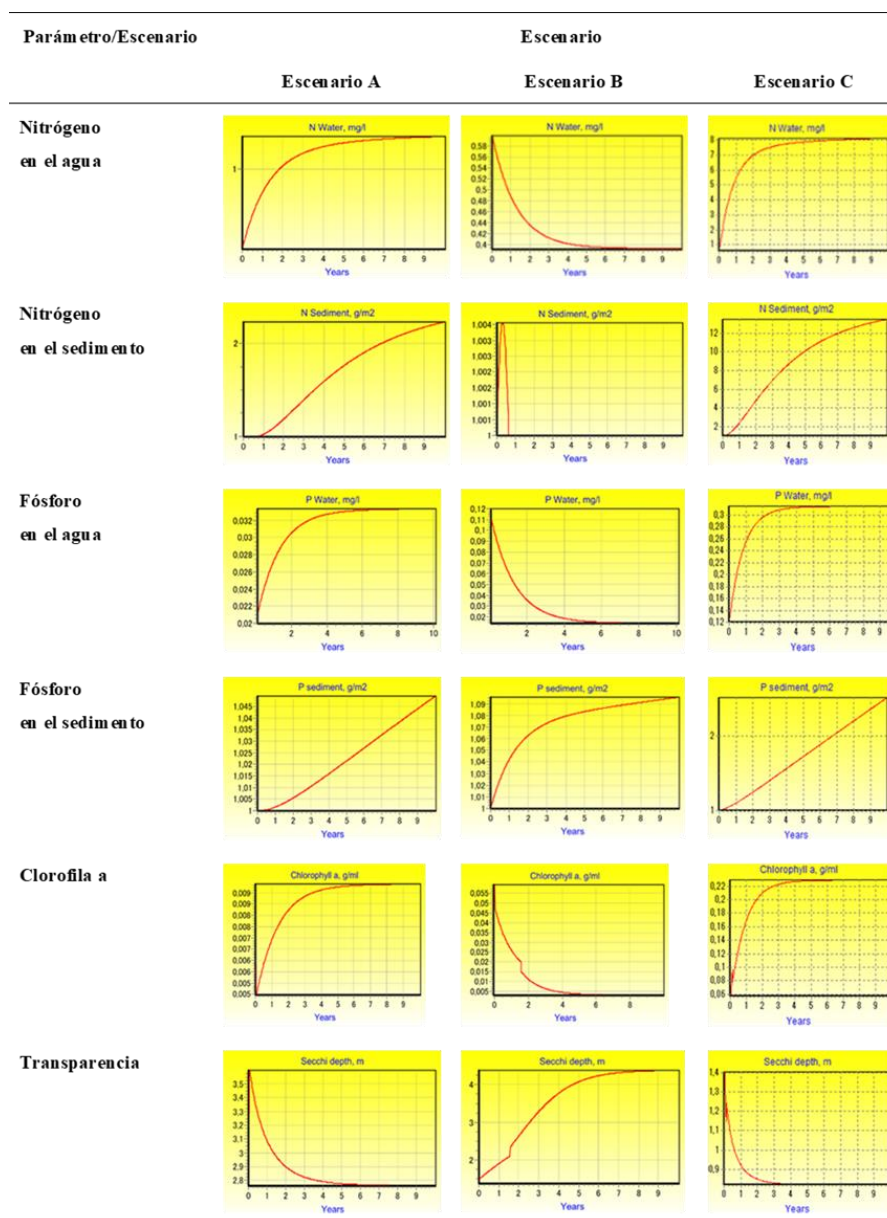


Figura 26. Escenarios A, B y C en el Software PAMOLARE para la época de estiaje

- Fósforo en el sedimento

En el escenario A, la concentración de fósforo en el sedimento mostró un aumento continuo desde 1.005 g/m² en el primer año hasta aproximadamente 1.045 g/m² al final de los 10 años. Al igual

que con el fósforo en el agua, los aportes de este nutriente provenientes de actividades agropecuarias, descargas de aguas residuales y de la escorrentía superficial que continuaron sin control, ya que no se han implementado medidas de prevención ni de restauración ambiental.

En el escenario B se observó un incremento gradual de fósforo en el sedimento, desde 1.01 g/m² hasta alcanzar, aproximadamente 1.09 g/m², al cabo de 10 años. Este incremento puede deberse a que una de las medidas más utilizadas para el control del fósforo en el agua es su precipitación, lo que eventualmente aumenta su concentración en el sedimento. Además, el fósforo se precipita con mucha más facilidad que el nitrógeno y, de esta manera, contribuye a este aumento gradual en el sedimento.

En el escenario C, la concentración de fósforo en el sedimento aumentó con mayor rapidez; partió de 1 g/m² hasta superar el umbral de 2 g/m² hacia el final del período de 10 años. A pesar de que este escenario presenta un aumento significativo de la contaminación del agua por nutrientes, el incremento del fósforo en el sedimento es menos de 1 g/m² en comparación con el escenario B. No obstante, el efecto de dicho incremento de nutrientes puede ser perjudicial para la biodiversidad acuática y los ecosistemas circundantes.

- **Clorofila-a**

En el escenario A, la concentración de clorofila-a en el agua aumentó rápidamente durante los primeros 3 años, hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 0.009 g/ml, para luego estabilizarse en este nivel. Este comportamiento se atribuye al descuido de las actividades alrededor de la laguna y a la falta de implementación de las medidas mencionadas anteriormente. La consecuencia es en una concentración de clorofila-a que indica un estado hipereutrófico según la clasificación de la OCDE (**tabla 2**). Este incremento también coincide con los aumentos de nitrógeno y fósforo presentes en este escenario, los cuales promueven directamente el crecimiento de algas y macrófitas debido a la eutrofización generada.

En el escenario B, la concentración de clorofila-a experimentó una reducción drástica desde aproximadamente 0.055 g/ml hasta menos de 0.005 g/ml en los primeros 4 años, y se mantuvo baja y estable durante el resto del período. Aunque este valor aún indica un estado hipereutrófico

según el índice de la OCDE, representa una disminución de casi el 50%. Esta mejora se atribuye a la implementación de medidas preventivas y correctivas de contaminación mencionadas en capítulos anteriores, las cuales han reducido la entrada de nutrientes y ha disminuido la producción de algas y macrófitas.

En el escenario C, la concentración de clorofila-a aumentó rápidamente: alcanzó cerca de 0.22 g/ml en los primeros 3 años y luego se estabilizó en este nivel elevado. Este valor supera significativamente el límite establecido por la OCDE para un estado de hipereutrofia (**tabla 2**) en el caso de la clorofila-a, e indica que hay un crecimiento exponencial de algas y macrófitas y una producción excesiva de este pigmento fotosintético. Este fenómeno se debe al aumento de la contaminación de la laguna debido a las altas cargas de nutrientes, impulsadas por el incremento poblacional y las actividades agropecuarias en la zona del humedal, así como por el vertido de aguas residuales domésticas al humedal.

- **Transparencia**

En el escenario A, la transparencia del agua, medida por la profundidad del disco de Secchi, disminuyó drásticamente desde aproximadamente 3.5 m a menos de 3 m en los primeros años, y se estabilizó cerca de este valor. Según la clasificación de la OCDE (**tabla 2**), este nivel corresponde a un grado de eutrofización eutrófico. Tal situación podría atribuirse a la falta de cambios en las condiciones actuales de la zona de influencia de la laguna y a la ausencia de medidas preventivas de contaminación, lo que ha permitido un aumento de nutrientes y microalgas que alteran la transparencia del agua.

En el escenario B, la transparencia del agua mostró una mejora gradual; partió de cerca de 2 m hasta superar los 4 m al final de los 10 años, lo cual indica que ha habido una significativa recuperación de la calidad del agua. Este valor también corresponde a un nivel mesotrófico según la OCDE (**tabla 2**). La mejora en la transparencia podría atribuirse a la reducción de la concentración de clorofila-a y nutrientes en el agua, resultado de la implementación de medidas preventivas y correctivas de contaminación, como se detalla en el escenario B.

En el escenario C, la transparencia del agua experimentó una notable disminución, desde 1.4 m hasta menos de 1 m, en los primeros años y se estabilizó en este bajo nivel, lo cual refleja una severa degradación de la calidad del agua. Según el índice de la OCDE mencionado en la (**tabla 2**), este valor indica un grado de hipereutrofia. Este deterioro se atribuye al aumento de la contaminación debido al crecimiento de las actividades humanas alrededor de la laguna, así como a una gestión deficiente de las aguas residuales y los residuos sólidos. Debido a esto, han incrementado los niveles de nutrientes y clorofila-a en el agua, afectando negativamente la transparencia del cuerpo de agua.

El análisis realizado con el software PAMOLARE en la laguna de Busa durante la época de estiaje ha permitido evaluar el impacto de distintas actividades y estrategias de manejo sobre la calidad del agua a través de tres escenarios: continuismo sin intervención, implementación de medidas preventivas, y aumento de la contaminación. Los resultados muestran que sin medidas correctivas (escenario A), hay un incremento progresivo de las concentraciones de nitrógeno y fósforo, tanto en el agua como en el sedimento, así como en la clorofila-a, lo que sugiere que se presenta una tendencia hacia la eutrofización y una disminución de la transparencia del agua.

Por otro lado, la adopción de medidas preventivas (Escenario B) ha demostrado ser efectiva en la reducción significativa de estos contaminantes según el software empleado, reflejada en la mejora de la transparencia del agua y una disminución en la clorofila-a, indicando una mejora sustancial en la calidad del agua. Sin embargo, el Escenario C revela un escenario alarmante donde el aumento de actividades contaminantes resulta en un incremento acelerado de nitrógeno y fósforo, con un deterioro considerable de la transparencia y un aumento en la clorofila-a, lo que resalta los riesgos de un manejo inadecuado y la urgencia de implementar estrategias eficaces para prevenir la degradación ambiental, evitando las consecuencias negativas de la eutrofización y garantizando la sustentabilidad del ecosistema acuático.

4.3.2. Análisis de cargas de nutrientes en época de lluvias

En esta temporada se consideraron los meses de enero, febrero y marzo de 2024, en las cuales se registraron las concentraciones medias de nutrientes como nitratos, nitritos y fosfatos, para aplicar el primer modelo del software PAMOLARE.

En el programa, se introdujeron los valores de nitrógeno y fósforo medidos en el agua y en el sedimento, las cargas de nutrientes que ingresan al lago; así mismo, fue necesario determinar las características morfológicas, tales como la profundidad promedio, el volumen y el tiempo de retención hidráulico del agua en el lago.

En la (**figura 27**) se presentan las proyecciones de nitrógeno y fósforo en el agua y en el sedimento, la clorofila a y la transparencia del agua de la laguna Busa para la época de lluvia. Para ello, se consideraron los tres escenarios establecidos anteriormente: escenario A, escenario B y escenario C.

- Nitrógeno en el agua

En el escenario A, la concentración de nitrógeno en el agua se mantuvo elevada, comenzó en menos de 1 mg/l y aumentó rápidamente hasta estabilizarse en 4 mg/l solo en un año. Este aumento se debe a la falta de medidas de mitigación contra la contaminación, lo que permite que los aportes de nutrientes por la escorrentía, las descargas de aguas residuales y el uso excesivo de fertilizantes contribuyan a un acelerado proceso de eutrofización.

En el escenario B, la concentración de nitrógeno en el agua disminuyó rápidamente, desde aproximadamente 0.58 mg/l, hasta menos de 0.42 mg/l en los primeros años, y se mantuvo relativamente constante después. Esta notable reducción del nitrógeno en el agua se logró gracias a la implementación de medidas que previenen o reducen la contaminación por exceso de nutrientes, tales como barreras naturales o artificiales para disminuir la escorrentía, el control de actividades agropecuarias y el manejo adecuado de aguas residuales. Estas acciones podrían mejorar la calidad del agua de la laguna y del bienestar socioambiental de la zona.

En el escenario C, la concentración de nitrógeno en el agua mostró un incremento significativo; comenzó con menos de 2 mg/l y aumentó rápidamente hasta 12 mg/l en el primer año, antes de estabilizarse. Aunque el fósforo puede precipitarse con relativa facilidad y rapidez, el nitrógeno tiende a mantenerse y acumularse en el agua, interactuando con otros elementos y produciendo excesos de nitritos, nitratos y otros compuestos. Este aumento en la contaminación por nutrientes, considerado en este escenario, puede llevar a una degradación de la calidad del agua y una eutrofización acelerada del humedal. Por lo tanto, se aconseja la implementación de medidas contra la contaminación de la laguna.

- **Nitrógeno en el sedimento**

En el escenario A, la concentración de nitrógeno en el sedimento aumentó constantemente desde aproximadamente 1 g/m² hasta cerca de 7 g/m² al final del período de 10 años, un reflejo de una acumulación continua de nitrógeno. Este fenómeno se debe a los aportes de nutrientes provenientes de aguas residuales, fertilizantes y excrementos de animales de granja presentes en las condiciones actuales de la zona de influencia del humedal. Estos aportes continuos y sin control acumulan el nitrógeno en el agua, y este eventualmente, se deposita en el fondo, y con ello aumentan la concentración en el sedimento, a la vez que contribuye a una disminución del volumen de la laguna.

En el escenario B, la concentración de nitrógeno en el sedimento se mantuvo extremadamente baja y estable; partió de 1 g/m² y experimentó aumentos y disminuciones insignificantes durante el período de 10 años. Esto indica que ha habido un control efectivo de la acumulación de nitrógeno gracias a las medidas preventivas implementadas en este escenario. Tales medidas contribuyeron a que disminuyera la carga de nutrientes hacia la laguna. Así, se ha evitado la acumulación de nitrógeno en el sedimento y, por ende, se ha minimizado el proceso de eutrofización, puesto que hay menos nutrientes para algas y macrófitas.

En el escenario C, se observó un incremento drástico en la concentración de nitrógeno en el sedimento; inicio con aproximadamente 2 g/m² y escaló hasta 22 g/m² hacia el final de los 10 años. Como era de esperarse, el aumento de la contaminación por exceso de nutrientes en la

laguna deteriora la calidad del agua, ya que se incrementa no solo la cantidad de sedimento y los nutrientes para la flora y microflora acuática, sino que también se altera gravemente la capacidad del humedal para retener retención de agua. Por lo tanto, se vuelve crucial implementar políticas públicas y medidas preventivas y correctivas para contrarrestar la contaminación en la zona de influencia de la laguna.

- **Fósforo en el agua**

En el escenario A, la concentración de fósforo en el agua comenzó siendo alta, aproximadamente 0.12 mg/l, aumentó durante los primeros años y se estabilizó en alrededor de 0.22 mg/l resto el período; este valor refleja un estado de hipereutrofia del humedal según el índice de la OCDE (**tabla 2**). En efecto, si las condiciones y actividades antrópicas alrededor de la laguna se mantiene sin ningún tipo de control, la calidad del agua y el estado de los ecosistemas circundantes se verán seriamente afectados. Esto se debe a que aumenta la concentración de nutrientes en la laguna y, con ella, la producción de microalgas provocando una reducción del oxígeno disuelto que afecta gravemente la biodiversidad acuática.

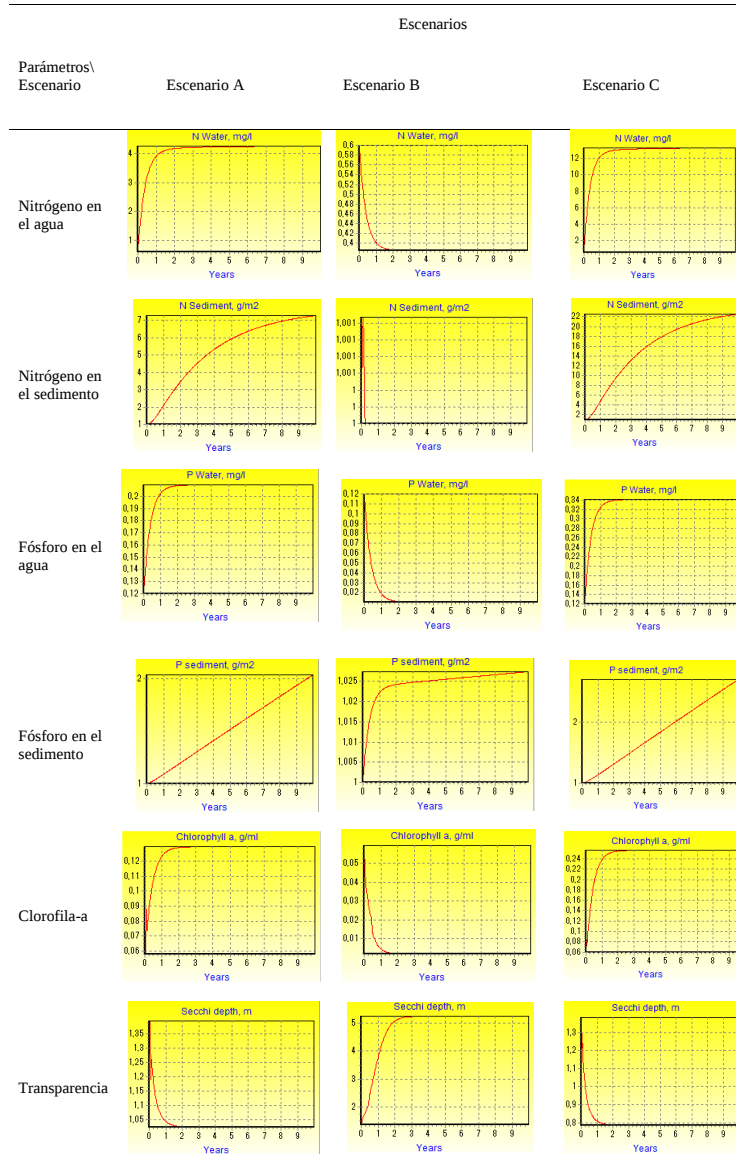


Figura 27. Escenarios A, B y C obtenidos en el Software PAMOLARE para la época de lluvias

En el escenario B, la concentración de fósforo en el agua disminuyó drásticamente desde 0.12 mg/l a niveles cercanos a 0 en los primeros años; esta baja concentración fue estable durante los

10 años, lo que refleja la efectividad de las medidas preventivas para controlar la contaminación por fósforo. Además, de acuerdo con la clasificación dictada por la OCDE, el nivel trófico de la laguna estaría entre oligotrófico y ultraoligotrófico. Ocurre gracias a que las cargas de nutrientes se han reducido; no hay un exceso de algas, las mismas que consumen mucho oxígeno y, por ende, afectan la supervivencia de las demás especies.

En el escenario C, la concentración de fósforo en el agua muestra un aumento notable; comienza en 0.14 mg/l , aproximadamente, y escala rápidamente hasta estabilizarse en 0.34 mg/l . Esto indica que ha habido un deterioro significativo de la calidad del agua debido al incremento de las actividades contaminantes. A pesar de que esta cifra supera ampliamente el valor correspondiente a la hipereutrofia establecido en el índice OCDE, al aplicar medidas de control para el fósforo sería posible mitigar o minimizar el fenómeno de eutrofización, ya que el fósforo sigue siendo el nutriente limitante.

- **Fósforo en el sedimento**

En el escenario A, la concentración de fósforo en el sedimento aumenta de manera constante desde aproximadamente 1 g/m^2 al inicio, hasta alcanzar cerca de 2 g/m^2 al final del período de 10 años. En consecuencia, ha habido una acumulación progresiva de fósforo. Esta situación se debe a los aportes, no regulados, de nutrientes a la laguna, provenientes de fertilizantes, aguas residuales y la escorrentía superficial, además de la facilidad del fósforo para sedimentar al fondo del cuerpo de agua. Por otro lado, gracias a la circulación del agua generada por eventos como cambios de temperatura o tormentas, podría aumentar la liberación de fósforo sedimentado y, así, promover la eutrofización del humedal.

En el escenario B, la concentración de fósforo en el sedimento muestra un ligero aumento al principio, hasta cerca de 1.025 g/m^2 , pero luego se estabiliza y permanece prácticamente constante a lo largo del tiempo, lo que refleja una efectiva estabilización del fósforo en el sedimento bajo las medidas de manejo aplicadas. Probablemente, se debió a que, al disminuir las entradas de nutrientes a la laguna, se reduce su concentración en el agua y, al mantenerse relativamente constante en el sedimento imposibilita el crecimiento excesivo de algas y

macrófitas. De esta manera, se logra la calidad de agua requerida y el bienestar socio ambiental deseado en la zona.

En el escenario C, se observa un aumento significativo de la concentración de fósforo en el sedimento; de 1 g/m², al inicio, asciende, rápidamente, hasta superar los 2 g/m² hacia el final de los 10 años. A pesar de que dicho nutriente no se ha incrementado de manera exponencial en el sedimento, esto puede significar que ha habido un aumento importante de la producción de algas y, por lo tanto, una eutrofización más acelerada y un importante deterioro de la calidad del agua. Por lo tanto, nuevamente se recomienda la aplicación de medidas preventivas y correctivas contra la contaminación de la laguna.

- Clorofila-a

En el escenario A, la concentración de clorofila-a en el agua aumentó rápidamente en el primer año hasta alcanzar un nivel de aproximadamente 0.12 g/ml, y luego se estabilizó alrededor de este valor por el resto del período de 10 años. Tal y como supone, la falta de medidas de mitigación contra la contaminación del agua por exceso de nutrientes ha provocado que la laguna presente un nivel hipereutrófico, según la OCDE (**tabla 2**). Esto se debe a que el incremento de la clorofila-a y de la concentración de nutrientes en el agua, como el nitrógeno y el fósforo, promueven la reproducción y desarrollo de algas y macrófitas junto con el deterioro de la calidad del agua del humedal.

En el escenario B, la concentración de clorofila-a muestra que hubo una disminución dramática, desde 0.05 g/ml, aproximadamente, hasta llegar a niveles insignificantes cerca de 0, en los primeros años, y que se mantuvo extremadamente baja durante el resto del período. Con tal reducción ha mejorado considerablemente el estado trófico y la calidad del agua de la laguna, gracias a la implementación de medidas de prevención y restauración para que disminuya la entrada de nutrientes al cuerpo de agua. Con ello, se han reducido, tanto la producción de algas como el consumo de oxígeno.

En el escenario C, se observa un incremento considerable de la concentración de clorofila-a, la misma que duplica los niveles del escenario A en 0.25 g/ml, aproximadamente. Este alto nivel se

mantiene hasta el final del periodo de 10 años. Lo que indica es que las condiciones de eutrofización han llegado a la hipereutrofia extrema: un inmenso crecimiento y acumulación de algas y macrófitas en el agua que seguramente es el resultado del aumento de la contaminación por nutrientes. Por lo tanto, insistimos en que es urgente implementar políticas públicas y medidas contra la contaminación de la laguna, con el fin de evitar la degradación de la calidad de su agua y poder mantener y mejorar los servicios ecosistémicos que brinda a la sociedad.

- Transparencia

En el escenario A, la transparencia del agua, medida por la profundidad del disco de Secchi, disminuyó rápidamente, desde aproximadamente 1.35 m, a menos de 1.05 m, en los primeros años, y luego se estabilizó cerca de este valor. Según la OCDE (**tabla 2**), esta cifra corresponde al nivel de hipereutrófico, escenario que conduce a una degradación de la calidad del agua de la laguna. Las condiciones del escenario A implican que las actividades antrópicas en las zonas aledañas están contaminando el humedal, lo que podría traer consigo una acumulación de nutrientes, materia orgánica y macrófitas en la superficie del agua, cuya transparencia disminuye por este motivo.

En el escenario B, la transparencia del agua muestra una mejora notable. Aumentó desde alrededor de 1 m hasta superar los 5 m en los primeros años, y se mantuvo alta durante el resto del período; el valor registrado se clasifica como ultraoligotrófico según la OCDE. La mejora sustancial de la calidad del agua se ha logrado gracias a la implementación de medidas preventivas y correctivas contra la contaminación por nutrientes, derivados de actividades humanas, en la zona de influencia de la laguna.

En el escenario C, la transparencia del agua disminuyó notablemente, desde 1.3 m a menos de 0.8 m en los primeros años y se estabilizó alrededor de este bajo nivel, lo cual indica que ha habido una reducción severa de la calidad del agua, mayor que la del escenario A. Al clasificar esta cifra según el índice mencionado, el estado corresponde a hipereutrófico. Puede deberse a que la contaminación por nutrientes en la laguna aumentó y con ella, la producción de algas y la presencia de materia orgánica en el agua, disminuyendo drásticamente su transparencia.

El análisis realizado con el software PAMOLARE en la laguna de Busa durante la época de lluvia ha permitido evaluar el impacto de distintas actividades y estrategias de manejo sobre la calidad del agua, a través de tres escenarios: continuismo sin intervención, implementación de medidas preventivas, y aumento de la contaminación. Los resultados muestran que sin medidas correctivas (escenario A), hay un incremento progresivo de las concentraciones de nitrógeno y fósforo, tanto en el agua como en el sedimento, así como en la clorofila-a, lo que sugiere una tendencia hacia la eutrofización y una disminución de la transparencia y de la calidad del agua. Por otro lado, la adopción de medidas preventivas (escenario B) ha demostrado ser efectiva en la reducción significativa de estos contaminantes, reflejada en la mejora de la transparencia del agua y una disminución de la clorofila-a, indicando una mejora sustancial en la calidad del agua.

Sin embargo, el escenario C es alarmante, porque el aumento de actividades contaminantes provoca un incremento acelerado de nitrógeno y fósforo, junto con un deterioro considerable de la transparencia y un aumento en la clorofila-a. Esta situación resalta los riesgos de un manejo inadecuado, del crecimiento poblacional y de la extensión de actividades agropecuarias, por lo que es crucial implementar estrategias eficaces para prevenir la degradación ambiental. Este escenario también evidencia el potencial de las consecuencias negativas de la eutrofización y la necesidad de un mejor manejo del ecosistema acuático mediante la implementación de políticas y prácticas de manejo ambiental robustas y efectivas.

4.3.3. Comparación entre los análisis de carga de nutrientes de las épocas de estiaje y de lluvias

Los análisis de cargas de nutrientes a la laguna de Busa realizados tanto para la temporada de estiaje como para la de lluvias, presentan diferencias importantes que se detallan en la **(tabla 19)**.

Mollocana Lara et al. (2024) analizaron el estado de eutrofización de la laguna Yahuarcocha usando el software de simulación AQUATOX. Para detener el deterioro, recomendaron sembrar una especie vegetal como medida de biorremediación. Basándose en las concentraciones de fósforo total y de un estado eutrófico con respecto a la clorofila y la profundidad del disco de

Secchi, en su estudio concluyen que la laguna presentaba un estado hipereutrófico. Así, el uso de *Myriophyllum spicatum* como agente de biorremediación ayudó a mejorar la calidad del agua, porque redujo el estado de hipereutrófico a eutrófico en términos de fósforo total y clorofila a, y mejoró la transparencia del agua de un estado eutrófico a mesotrófico.

Tabla 19

Comparación de los parámetros analizados en las épocas de estiaje y lluvia en la laguna de Busa

Parámetros	Escenarios		
	Escenario A	Escenario B	Escenario C
Nitrógeno en el agua	1.3 mg/l en estiaje 4 mg/l en lluvias.	0.42 mg/l en estiaje 0.42 mg/l en lluvias	8 mg/l en estiaje 12 mg/l en lluvias.
Nitrógeno en el sedimento	2.25 g/m ² en estiaje 7 g/m ² en lluvias.	0 g/m ² en estiaje 1 g/m ² en lluvias.	Más de 12 en estiaje Superior a 22 en lluvia
Fósforo en el agua	0.032 mg/l y mesotrofia en estiaje 0.22 mg/l e hipereutrofia en lluvias.	0.02 mg/l y mesotrofia en estiaje 0 mg/l y ultraoligotrofia en lluvias.	0.28 mg/l en estiaje 0.34 mg/l en lluvias, hipereutrofia en ambos casos.
Fósforo en el sedimento	1.045 g/m ² en estiaje 2 g/m ² en lluvias.	1.09 g/m ² en estiaje 1.025 g/m ² en lluvias.	2 g/m ² en estiaje 2 g/m ² en lluvias.
Clorofila-a	0.009 g/ml en estiaje 0.12 g/ml en lluvias.	0.005 g/ml en estiaje 0.05 g/ml en lluvias.	0.22 g/ml en estiaje 0.25 g/ml en lluvias.

Transparencia	3 m y eutrofia en estiaje 1.05 m e hipereutrofia en lluvias.	4 m en estiaje 5 m en lluvias; mesotrófico en ambos casos.	1 m en estiaje 0.8 m en lluvias, hipertrofia en ambos casos
---------------	---	---	--

En los lagos del noreste de los Estados Unidos, Milstead et al. (2013) estimaron las concentraciones de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, durante el verano utilizando una combinación de modelos SPARROW (Regresiones Espacialmente Referenciadas sobre Atributos de Cuencas Hidrográficas) y modelos de profundidad y volumen del lago. Este estudio empleó datos sobre las características de la cuenca del lago, como la profundidad y el volumen, así como las cargas de nutrientes que se vertían al lago. El estudio es similar a lo que realizamos en la laguna de Busa. Los resultados mostraron que las concentraciones esperadas de nutrientes eran bajas, debido a que las cargas al lago eran mínimas y la descomposición acuática aumentaba con la temperatura, algo similar a los resultados obtenidos en el análisis de cargas de nutrientes en el humedal de Busa.

Asimismo, Nyarumbu y Magadza (2016) utilizaron el software PAMOLARE, para simular el nitrógeno total y el fósforo en el agua y en el sedimento, así como la clorofila-a y la transparencia en el lago Chivero de Zimbabue. Dicho estudio demostró que los picos de clorofila-a se obtienen en las épocas de lluvias, además de que los menores valores de transparencia corresponden a los altos valores de la clorofila-a. Estos resultados concuerdan con los que obtuvimos en la laguna de Busa.

Por otro lado, en las cuencas hidrográficas del departamento de Canelones en Uruguay, Díaz (2013) utilizó datos de carga de nutrientes y características de las cuencas y lagos para estimar las concentraciones de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en los lagos y lagunas del departamento. Este estudio concluyó que las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua varían estacionalmente, alcanzando picos durante la época de lluvias debido al aumento de escorrentías y lixiviación. Resultados similares se obtuvieron en el caso de la laguna de Busa.

Además, Tasnim (2020) mejoró y rediseñó el modelo regional de calidad del agua de lagos (RLWQM), integrando la simulación de fósforo, nitrógeno y clorofila-a. Este estudio abarcó varios lagos, algunos de los cuales presentaron simulaciones con valores similares a los de la laguna de Busa. Por ejemplo, la simulación del fósforo en uno de los lagos durante tres años alcanzó un máximo de 0.33 mg/l, un valor aproximado al obtenido en el humedal de Busa.

En la evaluación de las tendencias de clorofila en la laguna de Busa durante la temporada de lluvia, se observaron incrementos significativos bajo el escenario C, lo que contrasta con las variaciones observadas en el estudio de Canfield Jr, Bachmann, y Hoyer (2018) donde el 14% mostró aumentos.

Mientras que ellos analizaron tendencias en períodos de más de 10 y 20 años, el estudio en la laguna de Busa se enfoca en un modelado a corto plazo de 10 años para evaluar el impacto inmediato de diferentes estrategias de manejo y proporcionar una visión de las respuestas rápidas del ecosistema a las intervenciones. La influencia antropogénica, según Canfield Jr et al. (2018), mostró resultados mixtos y no concluyentes, lo que se alinea con los resultados de este estudio bajo el Escenario A, donde la ausencia de medidas de manejo condujo a un aumento sostenido en la concentración de nutrientes y clorofila-a.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La medición de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la laguna de Busa se logró exitosamente durante los seis meses que cubrió el periodo de muestreo, y al comparar esas mediciones según el Registro Oficial Suplemento 387 del 4 de noviembre de 2015, donde se establece el acuerdo ministerial 097-A, se concluyó que once parámetros cumplen y cinco no cumplen con los límites establecidos.

Los parámetros que obtuvieron valores que se ubican dentro de los límites permisibles de la normativa citada son: el color, la conductividad, los fosfatos, los nitratos y nitritos, el pH, los sólidos totales disueltos, los sulfatos y la turbidez.

De los parámetros físico, la única variable que no cumplió es la transparencia del agua. El promedio que se obtuvo en nuestro estudio fue de 0.77 m, mientras que el límite establecido en la normativa es de 2 m. El resultado de nuestro estudio indica que hay un importante volumen de material suspendido en el agua.

En cuanto a los parámetros químicos, los aceites y grasas registraron un valor alto, 18.33 mg/l, el mismo que supera el límite de 0.3 mg/l, establecido en la normativa. El resultado de nuestro estudio indica que existe una grave contaminación. Además, el oxígeno disuelto presentó un valor promedio del 64.61% de saturación, valor inferior al 80% de la normativa. Así, lo que se desprende de nuestro estudio es que una deficiencia podría estar afectando la vida acuática. La DBO5 y la DQO cumplen con la normativa. Sin embargo, sus valores se encuentran muy cercanos, por lo que debería prestarse más atención a estos indicadores.

Los parámetros microbiológicos, coliformes totales y fecales, mostraron concentraciones muy por encima de los límites permitidos, 12600 NMP/100 ml y 390 NMP/100 ml respectivamente. Se trata de una fuerte señal sobre la alta contaminación biológica de la laguna, que probablemente puede ser una fuente de enfermedades. El valor promedio de la clorofila-a, 0.01 mg/l, no tiene un estándar normativo asociado, pero su concentración indica la presencia de fitoplancton, el cual reduce la penetración de luz y puede limitar la disponibilidad de nutrientes.

Por otra parte, a través de la valoración del estado de eutrofización de la laguna de Busa utilizando los índices tróficos OCDE e IET, se concluyó que, durante las épocas estudiadas, las condiciones generales de la laguna son eutróficas e hipereutróficas. A través del índice OCDE se identificó que, durante el estiaje, la condición de la laguna iba de eutrófica a hipereutrófica dependiendo del punto de muestreo, mientras que, en la temporada de lluvias, se había deteriorado hacia un estado hipereutrófico en la mayoría de los puntos. Este resultado refleja que hubo un aumento de la eutrofización, resultado de los flujos incrementados de nutrientes durante las lluvias. Para contrarrestar este estado se requiere de una correcta gestión de las actividades dentro y alrededor de la laguna. Asimismo, según el IET de Carlson, el estado de la laguna de Busa fue eutrófico durante la temporada de sequía, con una condición media de productividad biológica, mientras que en la temporada de lluvias el estado trófico aumentó hasta ubicarse en el estado hipereutrófico en un punto. Este aumento del IET durante las lluvias se atribuye al aumento de la escorrentía; esta lleva más nutrientes a la laguna provocando un aumento de la eutrofización.

En otro orden, el análisis espacio temporal de la calidad de agua de la laguna abarcó: un análisis de correlación entre parámetros de calidad de agua y el índice trófico IET; un análisis de varianza del IET a través de los puntos de muestreo; un análisis de clustering; y una prueba t pareada de los puntos de muestreo. Los resultados del análisis de correlación revelaron que el pH y la turbidez son dos parámetros muy sensibles con respecto al estado trófico; la correlación se aproxima a 0.96 y 0.86, respectivamente, tanto en condiciones de estiaje como de lluvia. El alto grado de correlación sugiere que estos parámetros influyen en la solubilidad y disponibilidad de nutrientes, situación que produce un aumento de los valores del índice trófico. Por otro lado, el oxígeno disuelto mostró una correlación negativa. Así, los niveles altos de OD, que están asociados a condiciones menos eutróficas, es un indicador de la buena calidad del agua.

El análisis de varianza ANOVA reveló que no existen diferencias significativas del IET entre las ubicaciones de los diversos puntos de muestreo colocados en la laguna durante la temporada de estiaje, aunque sí se observaron variaciones temporales significativas. Concluimos que las diferencias del estado trófico son más una cuestión temporal que espacial, en el caso de este

humedal. Estos resultados sirven para orientar los futuros estudios que se realicen en la laguna, ya que insinúan que se podrían analizar menos puntos, pero con un muestreo más frecuente.

Mediante el análisis de clustering de los puntos de muestreo en la laguna de Busa, se identificó grupos con características similares en cuanto a la calidad de agua, en los períodos de estiaje y lluvias. En la estación seca, el clúster que muestreó la salida de la laguna, las áreas cercanas a las totoras, y entre los muelles, durante los meses de octubre y diciembre, presentó similitudes en las mediciones de la calidad del agua. Por lo tanto, en los próximos estudios, el muestreo podría realizarse en un solo punto de la laguna. En la temporada de lluvias, otro clúster agrupó también puntos como la salida, las totoras y los muelles, durante enero y marzo. Los resultados sugieren que existían condiciones consistentes con respecto a la calidad de agua en las dos estaciones.

El análisis con la prueba t pareada mostró que no hay diferencia estadísticamente significativa entre el punto de entrada (P2) y el punto aguas arriba de la laguna (P3): la calidad del agua en estos dos lugares es similar. Este hallazgo puede sugerir que tal condición puede deberse a que la contaminación generada cerca del punto P3 ha homogeneizado la calidad del agua en estos dos puntos.

Por último, se realizó el análisis de las cargas de nutrientes que recibe la laguna durante las épocas de estiaje y de lluvias, a través de la aplicación del software PAMOLARE. Así, se simuló un total de tres escenarios de contaminación en cada estación, en los cuales varían las cargas de fósforo y nitrógeno que llegan a la laguna.

Durante la época de estiaje, se encontró que existe una gran variación en la cantidad de nutrientes en los escenarios planteados. En el escenario de control (A), el aumento de nitrógeno y fósforo siguió siendo constante, lo que supone que se trata del efecto directo de los afluentes de la laguna que recogen el agua de las explotaciones agropecuarias y las aguas residuales domésticas. El escenario de reducción de cargas (B) demostró que se produjo una disminución efectiva de las concentraciones de nutrientes. Es el resultado de las medidas de mitigación planteadas, tales como la instalación de barreras naturales y el uso de humedales artificiales. Por

otro lado, el aumento de cargas (C) conduce a un incremento significativo de las concentraciones de nutrientes, lo que podría provocar una mayor eutrofización junto con la pérdida, aún mayor, de la calidad del ecosistema acuático.

En la temporada de lluvias, el análisis reveló que las concentraciones de N y P también variaron considerablemente en los tres escenarios. El escenario A, sin intervención, mostró haber llegado a niveles elevados de nitrógeno y fósforo, debido a la escorrentía intensificada, que arrastra nutrientes hacia la laguna. En el escenario B, aplicando medidas de mitigación, se logró reducir estas concentraciones significativamente. Así, se evidencia la eficacia de las medidas hipotéticas tales como barreras naturales y tratamientos implementados para controlar la entrada de contaminantes. En el escenario C hubo un aumento de las actividades contaminantes y, en consecuencia, los niveles de nutrientes fueron mayores, lo cual destaca la necesidad de implementar estrategias de manejo ambiental efectivas, con el fin de prevenir la degradación de la calidad del agua y proteger la laguna.

En general, los resultados del software PAMOLARE evidencian la necesidad urgente de formular e implementar políticas públicas contra la contaminación de la Laguna de Busa, si se quiere mantener y mejorar la calidad del agua y, con ello, elevar el bienestar socioambiental de la zona.

5.2. Recomendaciones

- Evaluar las causas del aumento de los niveles de aceites y grasas en la laguna. Identificar las posibles fuentes de ese aumento, tales como las descargas ilegales o las actividades agropecuarias, y desarrollar estrategias para mitigar su impacto en la calidad del agua.
- Implementar sistemas de aireación para aumentar el oxígeno disuelto en el agua, lo cual es esencial para reducir la eutrofización. Los sistemas de aireación mecánica, como aireadores de superficie o difusores de aire, pueden ser efectivos para agitar el agua y mejorar, así, su calidad.
- Aplicar coagulantes naturales o sintéticos para juntar y precipitar partículas finas y nutrientes disueltos y, de esta manera, facilitar su decantación en el lecho de la laguna. Sustancias como

el sulfato de aluminio y polímeros pueden ser utilizadas para aumentar la transparencia en el agua, de manera efectiva, sin afectar el ecosistema acuático.

- Reducir los puntos de muestreo a tres ubicaciones: la entrada, la salida y aguas arriba de la laguna de Busa. Esto permitirá usar los recursos de manera eficiente, para obtener datos representativos y, así, comprender mejor la situación de la calidad del agua y su variación a lo largo de todo el sistema lacustre.
- Aumentar la frecuencia de muestreo, realizarlo cada 15 días o menos, para analizar la variabilidad temporal de los parámetros de la calidad del agua. Esto con el fin de entender mejor las dinámicas de los nutrientes y de otros contaminantes relacionados con el nivel de eutrofización bajo distintas condiciones climáticas.
- Implementar un vertedero en la entrada de la laguna para medir con precisión el caudal y reducir el nivel de ingreso de sedimentos. Asimismo, instalar un pluviómetro ayudará a relacionar estas dos variables con los eventos de lluvia, y proporciona datos confiables para el manejo del agua y la evaluación de escorrentías.
- Instalar sistemas biológicos de tratamiento de agua y sedimentos en el canal de entrada y en las zonas más altas que la laguna (humedales artificiales o barreras vivas) para retener en el suelo los contaminantes y tratar las aguas antes de que ingresen a la laguna. Esto ayudará a reducir las concentraciones de nutrientes provenientes de las actividades ganaderas.
- Realizar estudios para calcular la carga y liberación de nitrógeno y fósforo en los sedimentos de la laguna, con el objetivo de comprender cómo estos procesos afectan los índices de eutrofización, y poder planificar medidas correctivas adecuadas.
- Llevar a cabo análisis batimétricos para obtener información actual de la topografía subacuática de la laguna. Estos datos son importantes para conocer cómo las variaciones topográficas afectan la distribución de sedimentos y nutrientes.
- Establecer un sistema de monitoreo y regulación más estricto para los vertidos agrícolas en la cuenca de la laguna. Esto debería incluir inspecciones regulares, mejoramiento de la normativa y la aplicación de sanciones por incumplimiento.

- Delimitar las orillas de la laguna con al menos 3 metros de margen y establecer zonas prohibidas para animales domésticos y de granja. El control del acceso de animales podría ubicarse cerca de los canales de entrada para minimizar la entrada de nutrientes y purines directamente a la laguna.
- Implementar programas de educación y concientización ambiental, dirigidos a las comunidades de Busa y San Fernando, sobre la importancia de mantener la buena calidad de los sistemas hídricos. Así mismo, involucrar a la gente de las comunidades en las actividades de monitoreo y conservación.
- Comprobar la eficacia de las medidas implementadas como del modelo de gestión, mediante un seguimiento continuo durante los próximos años. Este seguimiento deberá incluir revisiones periódicas y ajustes basados en los resultados obtenidos.

6. Referencias

- Adujo, Ameloko Anthony, Olatunde Olu Mosobalaje, Okezie Uchegbulam, Allo Olawale Johnson, y Obihan Ifeanyi. 2024. «Multivariate analysis of seasonal changes of chemical elements in groundwater around Solous III dumpsite, Lagos, South-West Nigeria». *Scientific African* 23:e02084. doi: 10.1016/j.sciaf.2024.e02084.
- Ana Cecilia Diaz Medina y Leon Fabio Sotomayor Maguiña. 2013. «EVALUACIÓN DE LA EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA CONOCOCHA ANCASH A AGOSTO DE 2012». PDF Descargar libre». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://docplayer.es/40005815-Evaluacion-de-la-eutrofizacion-de-la-laguna-conococha-ancash-a-agosto-de-2012.html>).
- Angela Kuriata-Potasznik, Sławomir Szymczyk, y Andrzej Skwierawski. 2020. «Water | Free Full-Text | Influence of Cascading River–Lake Systems on the Dynamics of Nutrient Circulation in Catchment Areas». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1144>).
- Antonio Florez y Katherine Rios. 1998. «Las lagunas de alta montaña | Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/70831>).

- Arteaga-Cortez, Viviana M., Abel Quevedo-Nolasco, David H. del Valle-Paniagua, Martiniano Castro-Popoca, Ángel Bravo-Vinaja, y Jorge A. Ramírez-Zierold. 2019. «Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo / State of art: A current review of the mechanisms that make the artificial wetlands for the removal of nitrogen and phosphorus». *Tecnología y ciencias del agua* 10(5):319-42. doi: 10.24850/j-tyca-2019-05-12.
- Aveiga Ortiz, Ana María, Patricio Javier Noles Aguilar, Fabián Peñarrieta Macías, Erika Murgueitio Herrera, Ana María Aveiga Ortiz, Patricio Javier Noles Aguilar, Fabián Peñarrieta Macías, y Erika Murgueitio Herrera. 2020. «Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, manabí - ecuador». *Revista de la Sociedad Química del Perú* 86(3):260-75. doi: 10.37761/rsqp.v86i3.299.
- Barrera Gallo, Abigail Amparo, y Jessica Gabriela Cepeda Guasgua. 2020. «Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Cutuchi en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, período 2019-2020.» bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Bermeo Zapata, Raquel Estefanía, y Wendy Tamara Tigse Masapanta. 2019. «Islas Flotantes Artificiales con achira (*Canna indica*), como alternativa para la remoción de Nitratos y Fosfatos de agua procedente del río Cutuchi.» bachelorThesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Bertram Boehrer y Martin Schultze. 2008. «Stratification of lakes - Boehrer - 2008 - Reviews of Geophysics - Wiley Online Library». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006RG000210>).
- Blashfield, Roger K., y Mark S. Aldenderfer. 1978. «The Literature On Cluster Analysis». *Multivariate Behavioral Research* 13(3):271-95. doi: 10.1207/s15327906mbr1303_2.
- Bolaños-Alfaro, John Diego, Gloriana Cordero-Castro, y Gloriana Segura-Araya. 2017. «Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación

ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)». *Revista Tecnología en Marcha* 30(4):15-27. doi: 10.18845/tm.v30i4.3408.

Bridgewater, Laura L., Rodger B. Baird, Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice, American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Environment Federation, eds. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd edition. Washington, DC: American Public Health Association.

Bruning González, Mariana Beatriz. 2018. «Estudio de aporte de carga de nutrientes por fuentes contaminantes y análisis de escenarios de descontaminación mediante un modelo de calidad de aguas en el Lago Villarrica».

Bushra Tasnim. 2020. «Enhancement and Redevelopment of the Regional Lake Water Quality Model with Applications - ProQuest». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://www.proquest.com/openview/8b389a520f9571b411ed5f8e91941081/1?cbl=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=PwHncBysqSq1O2ZndoxF6A81DZxpti8Ooc7whYYbxsg%3D>).

C P Gerba y J S McLeod. 1976. «Effect of sediments on the survival of Escherichia coli in marine waters | Applied and Environmental Microbiology». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.32.1.114-120.1976>).

Campos Solis, Eleana Mavil. 2015. «Estudio de los efectos de las actividades ribereñas de la población en el comportamiento de la laguna de Ñahuinpuquio – Chupaca». *Universidad Nacional del Centro del Perú*.

Canal, González, y González Ubierna. 2015. «ACEITES USADOS DE COCINA. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, INCIDENCIAS EN REDES DE SANEAMIENTO Y COSTE DEL TRATAMIENTO EN DEPURADORAS».

- Cárdenas Cárdenas, Lizbeth Marilyn, y Diana Lisseth Lalvay Lazo. 2022. «Plan operativo turístico para la laguna de Busa cantón San Fernando provincia del Azuay». bachelorThesis, Universidad del Azuay.
- Carolina Aumassanne y Dardo Fontanella. 2015. «(PDF) Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina». Recuperado 24 de junio de 2024 (https://www.researchgate.net/publication/326942874_Variaciones_en_la_conductividad_electrica_del_agua_para_riego_en_la_cuenca_del_rio_Colorado_Argentina).
- Cayuela, Luis. 2014. «Modelos lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA».
- Chidiac, Sandra, Paula El Najjar, Naim Ouaini, Youssef El Rayess, y Desiree El Azzi. 2023. «A Comprehensive Review of Water Quality Indices (WQIs): History, Models, Attempts and Perspectives». *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 22(2):349-95. doi: 10.1007/s11157-023-09650-7.
- Chihara, Laura, Tim Hesterberg, y Albert Kim. 2019. «Resampled data: Data sets for mathematical statistics with re-sampling in R». *Data*.
- Corona Encinas, Francisco. 2020. «Estudio de la recuperación de nutrientes presentes en efluentes de sistemas de digestión anaerobia en forma de estruvita». Universidad de Valladolid.
- Damaris Leiva-Tafur, Malluri Goñas, Lorenzo Culqui, Carlos Santa Cruz, Jesús Rascón, y Manuel Oliva-Cruz. 2022. «Frontiers | Spatiotemporal distribution of physicochemical parameters and toxic elements in Lake Pomacochas , Amazonas, Peru». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.885591/full>).
- Díaz, Ismael. 2013. «Modelación de los aportes de nitrógeno y fósforo en cuencas hidrográficas del departamento de Canelones (Uruguay)».
- Díaz, Mónica, Fernando Pedrozo, Colin Reynolds, y Pedro Temporetti. 2007. «Chemical composition and the nitrogen-regulated trophic state of Patagonian lakes». *Limnologia* 37(1):17-27. doi: 10.1016/j.limno.2006.08.006.

- Echaniz, Santiago A., y Alicia M. Vignatti. 2013. «Trophic Status of Shallow Lakes of La Pampa (Argentina) and Its Relation with the Land Use in the Basin and Nutrient Internal Load». *Journal of Environmental Protection* 4(11):51-60. doi: 10.4236/jep.2013.411A007.
- Feng, Lian, Xuejiao Hou, y Yi Zheng. 2019. «Monitoring and understanding the water transparency changes of fifty large lakes on the Yangtze Plain based on long-term MODIS observations». *Remote Sensing of Environment* 221:675-86. doi: 10.1016/j.rse.2018.12.007.
- Flores, Mg Jesús Salinas. 2021. *Capítulo 6 Análisis Cluster | Técnicas Multivariadas con R*.
- Franco, Daniela Paola Moreno, y Jacqueline Quintero Manzano. 2010. «Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia».
- Fuentes L., Walter S., Yéssica Bendezú R., Rosalinda Rosado B., Amner R. Quispe M., y Jesús A. Reyes R. 2017. «Efecto de la aireación como alternativa de remediación para la eutrofización de la Laguna de Paca». *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Gao, Yan, Wen Zhang, Bin Gao, Wen Jia, Aijun Miao, Lin Xiao, y Liuyan Yang. 2018. «Highly efficient removal of nitrogen and phosphorus in an electrolysis-integrated horizontal subsurface-flow constructed wetland amended with biochar». *Water Research* 139:301-10. doi: 10.1016/j.watres.2018.04.007.
- García-Avila, Fernando, Pablo Loja-Suco, Christopher Siguenza-Jeton, Magaly Jiménez-Ordoñez, Lorgio Valdiviezo-Gonzales, Rita Cabello-Torres, y Alex Aviles-Añazco. 2023. «Evaluation of the water quality of a high Andean lake using different quantitative approaches». *Ecological Indicators* 154:110924. doi: 10.1016/j.ecolind.2023.110924.
- George A. Nossa y Timothy K. McDermott. 1978. «The Computation and Graphical Display of the NSF Water Quality Index from the STORET Data Base Using the Integrated Plotting Package». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/94005DMG.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976+Thru+1980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0>)

dOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C76thru80%5Ctxt%5C00000039%5C94005DMG.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL).

Glenda Marizol Aguilar Mora. 2020. «Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: Determinación del estado trófico actual de la laguna Busa cantón San Fernando mediante cuantificación de la clorofila “A”». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19563>).

Grijalva Endara, Ana De Las Mercedes. 2023. *La calidad del agua y la eutrofización en la zona estuarina del Estero Salado en Guayaquil, Ecuador, 2020*. 1°. CID - Centro de Investigación y Desarrollo.

Gurkan, Zeren, Jingjie Zhang, y Sven Erik Jørgensen. 2006. «Development of a structurally dynamic model for forecasting the effects of restoration of Lake Fure, Denmark». *Ecological Modelling* 197(1):89-102. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.03.006.

Heather Tallis, Anne Guerry, y Gretchen C. Daily. 2012. «Ecosystem Services | SpringerLink». Recuperado 24 de junio de 2024 (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-5755-8_6).

Héctor Rodríguez. 2022. «Los niveles de oxígeno de los lagos templados están en declive». Recuperado 24 de junio de 2024 (https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/niveles-oxigeno-lagos-templados-estan-declive_16972).

Henry Hsu y Peter A. Lachenbruch. 2014. «Paired t Test - Hsu - Major Reference Works - Wiley Online Library». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118445112.stat05929>).

Hermosilla Gomez, Zuriñe. 2009. «Desarrollo metodológico para la correcta evaluación del estado ecológico de las aguas costeras de la Comunidad Valenciana, en el ámbito de la Directiva Marco

del Agua, utilizando la clorofila a como parámetro indicador de la calidad.» Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain).

Hernández, Esnedy, Néstor Aguirre, Jaime Palacio, John Jairo Ramírez, Santiago R. Duque, Cástor Guisande, Nelson Aranguren, y Martha Mogollón. 2013. «Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes leníticos de Colombia». *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (69):216-28.

Hijosa-Valsero, María, Eloy Bécares, Camino Fernández-Aláez, Margarita Fernández-Aláez, Rebeca Mayo, y Juan José Jiménez. 2016. «Chemical pollution in inland shallow lakes in the Mediterranean region (NW Spain): PAHs, insecticides and herbicides in water and sediments». *Science of The Total Environment* 544:797-810. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.160.

Izbicki, John A., Peter W. Swarzenski, Carmen A. Burton, Laurie Van De Werfhorst, Patricia A. Holden, y Eric A. Dubinsky. 2012. «Sources of Fecal Indicator Bacteria to Groundwater, Malibu Lagoon and the Near-Shore Ocean, Malibu, California, USA». 6.

Jean, God Ophtanie. 2020. «Aplicación de microalgas para la remoción de nutrientes en efluentes agrícolas: Revisión de literatura».

John Scannell. 2023. «“Assessment of Water Quality Index, Light Attenuation, and Nutrient Seq” by John Scannell». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://scholar.uwindsor.ca/etd/8958/>).

Jr, Daniel E. Canfield, Roger W. Bachmann, y Mark V. Hoyer. 2018. «Long-Term Chlorophyll Trends in Florida Lakes». *J. Aquat. Plant Manage.*

Juan Gabriel Mollocana Lara, María Salomé Heredia Medina, César Iván Álvarez Mendoza, y Jessica Michelle Guaman Pozo. 2024. «Assessment of The Trophic State of Yaguarcocha Lagoon Using Aquatox Software | Revista de Gestão Social e Ambiental». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/5289>).

Kanchana, C. M., N. K. Chandrasekara, K. D. N. Weerasinghe, Sumith Pathirana, y Ranjana U. K. Piyadasa. 2021. «Heavy Metal, Oil and Grease Pollution of Water and Sediments in Estuarine Lagoons in Sri Lanka: A Case Study in Negombo Estuarine Lagoon». Pp. 429-42 en *Multi-Hazard*

Early Warning and Disaster Risks, editado por D. Amaratunga, R. Haigh, y N. Dias. Cham: Springer International Publishing.

- Károly Pálffy y Evangelia Smeti. 2024. «Combined effect of warming, nutrients, and species pool size on the seasonal variability of phytoplankton composition: A modeling perspective - Pálffy - 2024 - Limnology and Oceanography - Wiley Online Library». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lno.12548>).
- Kowe, Pedzisai, Elijah Ncube, James Magidi, Julius Musyoka Ndambuki, Donald Tendayi Rwasoka, Webster Gumindoga, Auther Maviza, Moisés de Jesus Paulo Mavaringana, y Eric Tshitende Kakanda. 2023. «Spatial-temporal variability analysis of water quality using remote sensing data: A case study of Lake Manyame». *Scientific African* 21:e01877. doi: 10.1016/j.sciaf.2023.e01877.
- Lee, ZhongPing, Shaoling Shang, Chuanmin Hu, Keping Du, Alan Weidemann, Weilin Hou, Junfang Lin, y Gong Lin. 2015. «Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility». *Remote Sensing of Environment* 169:139-49. doi: 10.1016/j.rse.2015.08.002.
- Lefever, Kerwin, Charles P. Laubscher, Patrick A. Ndakidemi, Felix Nchu, Kerwin Lefever, Charles P. Laubscher, Patrick A. Ndakidemi, y Felix Nchu. 2017. «Effects of pH and Phosphorus Concentrations on the Chlorophyll Responses of *Salvia Chamelaeagnea* (Lamiaceae) Grown in Hydroponics». en *Chlorophyll*. IntechOpen.
- Lew, Sylwia, y Katarzyna Glińska-Lewczuk. 2018. «Environmental controls on the abundance of methanotrophs and methanogens in peat bog lakes». *Science of The Total Environment* 645:1201-11. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.141.
- Li, Zhaoran, Chongguo Tian, y Yanqing Sheng. 2022. «Fluxes of chemical oxygen demand and nutrients in coastal rivers and their influence on water quality evolution in the Bohai Sea». *Regional Studies in Marine Science* 52:102322. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102322.
- Lloret, Ing Juan Cristóbal. 2023. «PREFECTO DE LA PROVINCIA DEL AZUAY».

- López Martínez, Mery Liliana, y Sandra Milena Madroñero Palacios. 2015. «ESTADO TRÓFICO DE UN LAGO TROPICAL DE ALTA MONTAÑA: CASO LAGUNA DE LA COCHA». *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 25(2):21-42. doi: 10.15665/re.v13i1.348.
- Maldonado Patiño, Diana Karina. 2018. «Determinación del estado trófico de la Laguna de San Miguel Almaya. Capulhuac, Estado de México».
- María Arévalo, Wout Van Echelpoel, Andrés Alvarado, Peter Goethals, y Josué Larriva. 2017. «Spatio-temporal analysis of processes related to dissolved oxygen concentrations in maturation ponds | Maskana». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1550>).
- María Florencia Gutierrez, Ülkü Nihan Tavşanoğlu, Nicolas Vidal, Jinlei Yu, Franco Teixeira-de Mello, Ayşe Idil Çakiroglu, Hu He, Zhengwen Liu, y Erik Jeppesen. 2018. «Salinity shapes zooplankton communities and functional diversity and has complex effects on size structure in lakes | Hydrobiologia». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-018-3529-8>).
- Mariano, Mauro, Pedro Huaman, Egma Mayta, Haydee Montoya, y Magda Chanco. 2010. «Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú». *Revista Peruana de Biología* 17(1):137-40.
- Mariuxi Riofrío Rogel. 2020. «ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SAN FERNANDO 2020 – 2032».
- Milton Leonel Chan Santiesteban y Wagner Peña. 2015. «Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala». Recuperado 24 de junio de 2024 (https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-42662015000100019&script=sci_arttext&tlng=en).
- Moreta Pozo, Juan Carlos. 2011. «La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Ibarra 2008». bachelorThesis.

- Natalia Eugenia Samboni Ruiz, Yesid Carvajal Escobar, y Juan Carlos Escobar. 2007. «Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua». Recuperado 24 de junio de 2024 (http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-56092007000300019&script=sci_arttext).
- Nguyen, Duc-Viet, Nguyen Bac, y Thu Huong Hoang. 2016. *Dissolved Oxygen as an Indicator for Eutrophication in Freshwater Lakes*.
- Noori, Roohollah, Ronny Berndtsson, Majid Hosseinzadeh, Jan Franklin Adamowski, y Maryam Rabiee Abyaneh. 2019. «A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index». *Environmental Pollution* 244:575-87. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.076.
- Nyarumbu, Trish Olga, y Christopher H. D. Magadza. 2016. «Using the Planning and Management Model of Lakes and Reservoirs (PAMOLARE) as a tool for planning the rehabilitation of Lake Chivero, Zimbabwe». *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 5:1-12. doi: 10.1016/j.enmm.2015.10.002.
- Parween, Samsad, Nigar Alam Siddique, Mir Talas Mahammad Diganta, Agnieszka I. Olbert, y Md Galal Uddin. 2022. «Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India». *Environmental and Sustainability Indicators* 16:100202. doi: 10.1016/j.indic.2022.100202.
- Posada, Enrique, Daniel Mojica, Natalia Pino, Carlos Bustamante, y Andrés Monzón Pineda. 2013. «Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia». *Dyna* 80(181):192-200.
- Pulido-López, Paulo César, Gabriel Antonio Pinilla-Agudelo, Paulo César Pulido-López, y Gabriel Antonio Pinilla-Agudelo. 2017. «Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá». *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 41(158):41-50. doi: 10.18257/raccefyn.411.

- Qinghui You, Na Fang, Lingling Liu, Wenjing Yang, Li Zhang, y Yeqiao Wang. 2019. «Effects of land use, topography, climate and socio-economic factors on geographical variation pattern of inland surface water quality in China | PLOS ONE». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0217840>).
- Quintana, Déniz, y Fabián Alberto. 2010. «Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa».
- Ramírez, Carlos Alberto Sierra. 2021. *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Reynolds, Liam J., Niamh A. Martin, Laura Sala-Comorera, Kevin Callanan, Padraig Doyle, Clare O'Leary, Paul Buggy, Tristan M. Nolan, Gregory M. P. O'Hare, John J. O'Sullivan, y Wim G. Meijer. 2021. «Identifying Sources of Faecal Contamination in a Small Urban Stream Catchment: A Multiparametric Approach». *Frontiers in Microbiology* 12. doi: 10.3389/fmicb.2021.661954.
- Robert E. Carlson. 1977. «A trophic state index for lakes1 - Carlson - 1977 - Limnology and Oceanography - Wiley Online Library». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.1977.22.2.0361>).
- Rosendo Guadarrama-Tejas, Juan Kido-Miranda, Gustavo Roldan-Antunez, y Marco Salas-Delgado. 2016. «Contaminación del agua - Artículo Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Septiembre - Studocu». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://www.studocu.com/co/document/corporacion-unificada-nacional-de-educacion-superior/bioquimica/contaminacion-del-agua/21260082>).
- Sander, Bettina C., y Jacob Kalff. 1993. «Factors Controlling Bacterial Production in Marine and Freshwater Sediments». *Microbial Ecology* 26(2):79-99. doi: 10.1007/BF00177045.
- Sarai Díaz y Javier González. 2022. «La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento | Ingeniería del Agua». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/17366>).

- Seo, Mijin, Haejin Lee, y Yongseok Kim. 2019. «Relationship between Coliform Bacteria and Water Quality Factors at Weir Stations in the Nakdong River, South Korea». *Water* 11(6):1171. doi: 10.3390/w11061171.
- Sigler, Por W. Adam, y Jim Bauder. 2017. «Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales».
- Silva, J., L. Ramírez, A. Alfieri, G. Rivas, y M. Sánchez. 2004. «Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela.» *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 24(1-2):46-49.
- Sims, Briam G., y Félix Rodríguez V. 2000. «Impacto de barreras vivas sobre suelos de ladera en los valles inter-andinos de Bolivia: 1. efecto sobre la erosión». *Ceiba: A Scientific and Technical Journal* 41(1):1-9.
- Song Yunlong, Jinsong Zhang, Jia Zhu, Wang Li, Aimin Chang, y Tao Yi. 2017. «Spatial and Temporal Variations of Water Quality and Trophic Status in Xili Reservoir: a Subtropics Drinking Water Reservoir of Southeast China - IOPscience». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/100/1/012183/meta>).
- Thulin, Måns. 2021. *Modern Statistics with R*.
- Van Heyst, A., Sinclair A, y R. Jamieson. 2022. «Application of phosphorus loading models to understand drivers of eutrophication in a complex rural lake-watershed system». *Journal of Environmental Management* 302:114010. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114010.
- Varol, Memet. 2020. «Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study». *Environmental Pollution* 266:115417. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115417.
- Villanueva, María Custodio, y Rafael Pantoja Esquivel. 2012. «Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas». *Apuntes de Ciencia & Sociedad* 2(2). doi: 10.18259/acs.2012015.
- Vollenweider R. A. y Kerekes J. J. 1982. «OECD: Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. — 154 pp. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development 1982.

(Publié en français sous le titre »Eutrophication des Eaux. Méthodes de Surveillance, d'Evaluation et de Lutte«) - Caspers - 1984 - Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie - Wiley Online Library». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/iroh.19840690206>).

W. Adam Sigler y Jim Bauder. 2012. «Nitrato y Nitrito».

W. Bryan Milstead, Jeffrey W. Hollister, Richard B. Moore, y Henry A. Walker. 2013. «Estimating Summer Nutrient Concentrations in Northeastern Lakes from SPARROW Load Predictions and Modeled Lake Depth and Volume | PLOS ONE». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0081457>).

Wei, Qianqian, Mukadasi Abudureheman, Abudureheman Halike, Kaixuan Yao, Lei Yao, Hua Tang, y Buweiyaxiemu Tuhti. 2022. «Temporal and spatial variation analysis of habitat quality on the PLUS-InVEST model for Ebinur Lake Basin, China». *Ecological Indicators* 145:109632. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109632.

World Health Organization. 2017. «Water quality and health: Review of turbidity». Recuperado 24 de junio de 2024 (<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-WSH-17.01>).

Wu, Yundong, Chengrong Peng, Genbao Li, Feng He, Licheng Huang, Xiuqiong Sun, y Sirui Wu. 2024. «Integrated evaluation of the impact of water diversion on water quality index and phytoplankton assemblages of eutrophic lake: A case study of Yilong Lake». *Journal of Environmental Management* 357:120707. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120707.

Zefrehei, Ahmad Reza Pirali, Aliakbar Hedayati, Saeid Pourmanafi, Omid Beyraghdar Kashkooli, y Rasoul Ghorbani. 2020. «Monitoring Spatiotemporal Variability of Water Quality Parameters Using Landsat Imagery in Choghakhor International Wetland during the Last 32 Years». *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 56:6. doi: 10.1051/limn/2020004.

Zhou, Lei, Yongqiang Zhou, Yang Hu, Jian Cai, Chengrong Bai, Keqiang Shao, Guang Gao, Yunlin Zhang, Erik Jeppesen, y Xiangming Tang. 2017. «Hydraulic connectivity and evaporation control

the water quality and sources of chromophoric dissolved organic matter in Lake Bosten in arid northwest China». *Chemosphere* 188:608-17. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.09.006.

7. Anexos

Anexo A. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario según la normativa ambiental TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 1

TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁺	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Nota: Podrán usarse aguas con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicados en esta Tabla, siempre y cuando las características de las aguas tratadas sean entregadas de acuerdo con la Norma INEN correspondiente.

Anexo B. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario según la normativa ambiental TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 1

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoníaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	•	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃	mg/l	13	200
DOO	DQO	mg/l	40	•
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	20	•
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	•

(1) Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l
(2) Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce
(3) Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

Anexo C. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario según la normativa ambiental TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 1

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	PelículaVisible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ^{VI}	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/ l	0, 2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Anexo D. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario según la normativa ambiental TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 1

TABLA 4: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero Moderado	Severo
Salinidad: (1)	<u>milimhos/cm</u>	<u>0.7</u>	<u>0.7-3.0</u>	<u>>3.0</u>
CE (2) SDT	<u>mg/l</u>	<u>450</u>	<u>450-2000</u>	<u>>2000</u>
(3)				
Infiltración: (4)				
<u>RAS=0-3yCE=</u>		<u>0. 7</u>	<u>0. 7-0. 2</u>	<u><0. 2</u>
<u>RAS=3-6yCE=</u>		<u>1. 2</u>	<u>1. 2-0. 3</u>	<u><0. 3</u>
<u>RAS=6-</u>		<u>2</u>	<u>3 1,9 0</u>	<u><0,5</u>
<u>RAS=12-</u>		<u>2.9</u>	<u>2.9-1. 3</u>	<u><1.3</u>
<u>20yCE=</u>		<u>5.0</u>	<u>5.0-2. 9</u>	<u><2. 9</u>
Toxicidad por iones	<u>meq/l</u>	<u>3.0</u>	<u>3.0-9.0</u>	<u>>9</u>
específicos (5) Sodio:	<u>meq/l</u>	<u>3.0</u>	<u>3.0</u>	<u>>10</u>
<u>Irrigación superficial RAS (6)</u>	<u>meq/l</u>	<u>4.0</u>	<u>4.0-10.0</u>	<u>>10</u>
<u>Aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>3.0</u>	<u>3.0 0,7-</u>	<u>>3</u>
Cloruros:	<u>mg/l</u>	<u>0,7</u>	<u>3,0</u>	<u>>3</u>
<u>Irrigación superficial</u>				
<u>Aspersión</u>				
Boro:				
Efectos misceláneos (7)				
<u>Nitrógeno (N NO₃)</u>	<u>mg/l</u>	<u>5.0</u>	<u>5.0-30.0</u>	<u>>30</u>
<u>Bicarbonato (HCO₃) Solo</u>				
<u>aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>1.5</u>	<u>1.5-8.5</u>	<u>>8.5</u>
pH	Rango normal		<u>6,5-8,4</u>	

* Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos
- (2) CE =Conductividad eléctrica del agua de regadío (1milimhos/cm=1000micromhos/cm)
- (3) SDT = Sólidos disueltos totales
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles

Anexo E. Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario según la normativa ambiental TULSMA Libro VI Anexo 1 Tabla 1

TABLA 6: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA FINES RECREATIVOS MEDIANTE CONTACTO PRIMARIO*			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Parásitos Nemátodos Intestinales			Ausencia
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	200
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 ml	2000
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Grasas y aceites	Película visible		Ausencia
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	>80
pH	pH		6,5 - 8,3
Relación Nitrógeno - Fósforo Total			15:1
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
La visibilidad al disco Secchi será de por lo menos 2m de profundidad			
*Siempre y cuando no se refiera a piscinas.			

Anexo F. Resultados del laboratorio para el periodo de estiaje

-Octubre

DATOS DE LA MUESTRA				
*NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - PUNTO ENTRE MIRADORES				
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA BUSA - COORDENADAS: X: 692945 - Y: 9650954		TIPO DE MUESTRA: AGUA		*TIPO DE ENVASE: VIDRIO Y PET
*PRESENTACIONES: 1 L Y 500 ml		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI86223	*LOTE: N/A		*FECHA ELAB: 2023-10-19	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-10-19		FECHA ANALISIS: 2023-10-19 - 2023-10-31		FECHA ENTREGA: 2023-10-31
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS				
PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	20	---
*ALCALINIDAD TOTAL	APHA 2320 B - VOLUMETRIA	mg/L	96	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*CLORUROS	APHA 4500 CL B - VOLUMETRIA	mg/L	42.54	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	5	---
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	APHA 2510 B / PEMS VFQ002 - ELECTROMETRIA	uS/cm	152.95	±8.46%
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/L O2	<20	±26.44%
*DUREZA TOTAL	APHA 2340 C - VOLUMETRIA	mg/L	85	---
*FOSFORO	APHA 4500-P-B Y E - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	4.7x10 ²	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	7.3x10 ²	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	1.25	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.005	---
*NITROGENO AMONICAL	MÉTODO NESSLER - VOLUMETRIA	mg/l	3.92	---
PH	APHA 4500H-B / PEMSVMFQ001 - POTENCIOMETRICO	upH	7.73	±3.75%
*SOLIDOS DISUELTOS	APHA 2540 C - GRAVIMETRIA	mg/L	102.477	---
SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	APHA 2540-D / PEMSVMFQ005 - GRAVIMETRIA	mg/L	12	±14.66%
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	33.5	---
*TURBIDEZ	APHA 2130 B - TURBIDIMETRIA	NTU	11	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - PUNTO PROFUNDO				
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692792 - Y: 9650917		TIPO DE MUESTRA: AGUA		*TIPO DE ENVASE: VIDRIO Y PET
*PRESENTACIONES: 1 L Y 500 ml		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI86123	*LOTE: N/A		*FECHA ELAB: 0203-10-19	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-10-19		FECHA ANALISIS: 2023-10-19 - 2023-10-31		FECHA ENTREGA: 2023-10-31
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	19	---
*ALCALINIDAD TOTAL	APHA 2320 B - VOLUMETRIA	mg/L	96	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*CLORUROS	APHA 4500 CL B - VOLUMETRIA	mg/L	35.45	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	4	---
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	APHA 2510 B / PEMS VFQ002 - ELECTROMETRIA	uS/cm	153.4	±8.46%
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	<20	±26.44%
*DUREZA TOTAL	APHA 2340 C - VOLUMETRIA	mg/L	84	---
*FOSFORO	APHA 4500-P-B Y E - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.8	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.004	---
*NITRÓGENO AMONIAICAL	MÉTODO NESSLER - VOLUMETRIA	mg/l	4.48	---
PH	APHA 4500H-B / PEMS VFQ001 - POTENCIOMETRICO	upH	7.775	±3.75%
*SÓLIDOS DISUELTOS	APHA 2540 C - GRAVIMETRIA	mg/L	102.778	---
SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	APHA 2540-D / PEMS VFQ005 - GRAVIMETRIA	mg/L	<12	±14.66%
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	32	---
*TURBIDEZ	APHA 2130 B - TURBIDIMETRIA	NTU	9	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	5.2x10 ²	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	1.4x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - MITAD LAGUNA				
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692837 - Y: 9651083		TIPO DE MUESTRA: AGUA		*TIPO DE ENVASE: VIDRIO Y PET
*PRESENTACIONES: 1 L Y 500 ml		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI86023	*LOTE: N/A		*FECHA ELAB: 2023-10-19	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-10-19		FECHA ANALISIS: 2023-10-19 - 2023-10-31		FECHA ENTREGA: 2023-10-31
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	18	---
*ALCALINIDAD TOTAL	APHA 2320 B - VOLUMETRIA	mg/L	96	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*CLORUROS	APHA 4500 CL B - VOLUMETRIA	mg/L	35.45	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	4	---
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	APHA 2510 B / PEMSVMFQ002 - ELECTROMETRIA	uS/cm	152.2	±8.46%
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	<20	±26.44%
*DUREZA TOTAL	APHA 2340 C - VOLUMETRIA	mg/L	86	---
*FOSFORO	APHA 4500-P-B Y E - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.6	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.005	---
*NITROGENO AMONICAL	MÉTODO NESSLER - VOLUMETRIA	mg/l	2.8	---
PH	APHA 4500H-B / PEMSVMFQ001 - POTENCIOMETRICO	upH	7.7	±3.75%
*SOLIDOS DISUELTOS	APHA 2540 C - GRAVIMETRIA	mg/L	101.974	---
SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	APHA 2540-D / PEMSVMFQ005 - GRAVIMETRIA	mg/L	<12	±14.66%
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	33	---
*TURBIDEZ	APHA 2130 B - TURBIDIMETRIA	NTU	9	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	7.8x10 ²	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	1.7x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - ENTRADA DE LA LAGUNA				
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:692688 - Y: 9651113		*TIPO DE MUESTRA: AGUA		*TIPO DE ENVASE: VIDRIO, PET
*PRESENTACIONES: 1 L Y 500 ml		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE
CODIGO MUESTRA: OI85923	*LOTE: N/A		*FECHA ELAB: 2023-10-19	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-10-19		FECHA ANALISIS: 2023-10-19 - 2023-10-31		FECHA ENTREGA: 2023-10-31
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	21	---
*ALCALINIDAD TOTAL	APHA 2320 B - VOLUMETRIA	mg/L	132	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*CLORUROS	APHA 4500 CL B - VOLUMETRIA	mg/L	28.36	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	1	---
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	APHA 2510 B / PEMS VFQ002 - ELECTROMETRIA	uS/cm	228	±8.46%
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	<20	±26.44%
*DUREZA TOTAL	APHA 2340 C - VOLUMETRIA	mg/L	100	---
*FOSFORO	APHA 4500-P-B Y E - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.2	---

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.004	---
*NITROGENO AMONIAICAL	MÉTODO NESSLER - VOLUMETRIA	mg/l	4.48	---
PH	APHA 4500H-B / PEMS VFQ001 - POTENCIOMETRICO	upH	7.32	±3.75%
*SOLIDOS DISUELTOS	APHA 2540 C - GRAVIMETRIA	mg/L	152.76	---
SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	APHA 2540-D / PEMS VFQ005 - GRAVIMETRIA	mg/L	<12	±14.66%
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	23	---
*TURBIDEZ	APHA 2130 B - TURBIDIMETRIA	NTU	2	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FCALES	APHA 9222 D / PEMSVM820 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	1.0x10 ³	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVM806 - NMP	NMP/100ml	2.2x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - SALIDA DE LA LAGUNA				
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:692858 - Y: 9651249		TIPO DE MUESTRA: AGUA		*TIPO DE ENVASE: VIDRIO, PET
*PRESENTACIONES: 1 L, 500 ml		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI85823	*LOTE: N/A		*FECHA ELAB: 2023-10-19	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-10-19		FECHA ANALISIS: 2023-10-19 - 2023-10-31		FECHA ENTREGA: 2023-10-31
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	20	---
*ALCALINIDAD TOTAL	APHA 2320 B - VOLUMETRIA	mg/L	92	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*CLORUROS	APHA 4500 CL B - VOLUMETRIA	mg/L	35.45	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRIA,	unidadesPt-Co	4	---
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	APHA 2510 B / PEMSVMFQ002 - ELECTROMETRIA	uS/cm	152	±8.46%
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	<20	±26.44%
*DUREZA TOTAL	APHA 2340 C - VOLUMETRIA	mg/L	86	---
*FOSFORO	APHA 4500-P-B Y E - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.7	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.005	---
*NITROGENO AMONICAL	MÉTODO NESSLER - VOLUMETRIA	mg/l	7.84	---
PH	APHA 4500H-B / PEMSVMFQ001 - POTENCIOMETRICO	upH	7.48	±3.75%
*SOLIDOS DISUELTOS	APHA 2540 C - GRAVIMETRIA	mg/L	101.84	---
SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	APHA 2540-D / PEMSVMFQ005 - GRAVIMETRIA	mg/L	16	±14.66%
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	33	---
*TURBIDEZ	APHA 2130 B - TURBIDIMETRIA	NTU	8	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	7.0x10 ³	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	2.1x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

- Noviembre

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - SALIDA DE LA LAGUNA				
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 698246 - Y: 9651248		TIPO DE MUESTRA: AGUA		*TIPO DE ENVASE: PET Y VIDRIO
*PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI92423	*LOTE: N/A		*FECHA ELAB: 2023-11-23	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-11-24		FECHA ANALISIS: 2023-11-24 - 2023-12-06		FECHA ENTREGA: 2023-12-06
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	19	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	4	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	19.333	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	28	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	1.1	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.001	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	28	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVM B20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	4.2x10 ¹	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVM B06 - NMP	NMP/100ml	4.3x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

² NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - ENTRADA GRANDE				
² MARCA COMERCIAL: N/A		² FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692689 - Y: 9651172		TIPO DE MUESTRA: AGUA		² TIPO DE ENVASE: PLASTICO
² PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		² FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI92523	² LOTE: N/A		² FECHA ELAB: 2023-11-23	² FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-11-24		FECHA ANALISIS: 2023-11-24 - 2023-12-06		FECHA ENTREGA: 2023-12-06
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	20	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	2	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	35	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.5	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.004	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	35	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMS VMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	3.2x10 ¹	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	3.5x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - ENTRADA ESTACIONARIA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692470 - Y: 9651376		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PLASTICO
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI92623	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2023-11-23	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-11-24		FECHA ANALISIS: 2023-11-24 - 2023-12-06		FECHA ENTREGA: 2023-12-06
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	30	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	7	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	30	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	68	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	2.3	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.001	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.01	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMS VB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	2.3x10 ³	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VB06 - NMP	NMP/100ml	5.4x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - PARTE PROFUNDA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA COORDENADAS: X: 692763 - Y: 9650997		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PLASTICO
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI92723	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2023-11-23	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-11-24		FECHA ANALISIS: 2023-11-24 - 2023-12-06		FECHA ENTREGA: 2023-12-06
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	4	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	5	---
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	36	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.8	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.001	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	35	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMS VMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	3.6x10 ¹	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	1.2x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

² NOMBRE DE LA MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA DE BUSA - ENTRE MIRADORES				
² MARCA COMERCIAL: N/A		² FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692903 - Y: 9651018		TIPO DE MUESTRA: AGUA		² TIPO DE ENVASE: PLASTICO
² PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		² FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI92823	² LOTE: N/A		² FECHA ELAB: 2023-11-24	² FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-11-24		FECHA ANALISIS: 2023-11-24 - 2023-12-06		FECHA ENTREGA: 2023-12-06
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	9	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR REAL	APHA 2120 C - ESPECTROFOTOMETRÍA,	unidadesPt-Co	4	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<19.23	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	26.5	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.7	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.001	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	24	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMS VMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	1.2x10 ¹	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	5.8x10 ²	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

-Diciembre

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P5 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRE MUELLES				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:-3.155921 - Y:-79264107		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml - 1L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRUGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI96723	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2023-12-07	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-12-08		FECHA ANALISIS: 2023-12-08 - 2023-12-18		FECHA ENTREGA: 2023-12-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISCO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	9	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	4	---
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	24	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	34	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.7	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.002	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	33	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	<1	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	5.8x10 ²	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P4 LAGUNA DE BUSA - TOTORA - PROFUNDO				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:-3.155819 - Y: -79.265321		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: VIDRIO, PET
²PRESENTACIONES: 500 ml - 1L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI96623	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2023-12-07	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-12-08		FECHA ANALISIS: 2023-12-08 - 2023-12-18		FECHA ENTREGA: 2023-12-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRÍA	mg/L	24	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRÍA	PT-Co	4	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRÍA	mg/L	26	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRÍA	mg/LO2	73	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRÍA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.1	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.004	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	33	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACIÓN DE MEMBRANA	UFC/100ml	<1	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	3.9x10 ²	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: P3 AGUA DE LAGUNA - QUEBRADA DE ENTRADA DE AGUAS ARRIBA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:-3,15275 - Y:-79,26805		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: VIDRIO, PET
²PRESENTACIONES: 500ml - 1L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI96523	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2023-12-07	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-12-08		FECHA ANALISIS: 2023-12-08 - 2023-12-18		FECHA ENTREGA: 2023-12-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	21	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	8	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	30	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	73	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	1	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.003	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.01	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVMB20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	4.0x10 ¹	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMB06 - NMP	NMP/100ml	2.1x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: P2 AGUA DE LAGUNA DE BUSA -ENTRADA			
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:-315462 - Y:-7926610	TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500ml - 1L	²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%	
CODIGO MUESTRA: OI96423	²LOTE: N/A	²FECHA ELAB: 2023-12-07	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-12-08	FECHA ANALISIS: 2023-12-08 - 2023-12-18	FECHA ENTREGA: 2023-12-18	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	22	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	6	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVEFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	28	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVEFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	89	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.5	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.002	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	25	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVM B20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	1.7x10 ³	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVM B06 - NMP	NMP/100ml	3.5x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹ NOMBRE DE LA MUESTRA: P1 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - SALIDA DE LA LAGUNA			
² MARCA COMERCIAL: N/A		² FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:-3,153863 - Y:-79,264635	TIPO DE MUESTRA: AGUA		² TIPO DE ENVASE: PET
² PRESENTACIONES: 500 ml, 1L	² FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI96323	² LOTE: N/A	² FECHA ELAB: 2023-12-07	² FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-12-08	FECHA ANALISIS: 2023-12-08 - 2023-12-18		FECHA ENTREGA: 2023-12-18
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	17	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	4	---
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVM B03 - ELECTROMETRIA	mg/L	30	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVM B04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	58	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS	mg/L	0.9	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	0.003	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	34	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
COLIFORMES FECALES	APHA 9222 D / PEMSVM B20 - FILTRACION DE MEMBRANA	UFC/100ml	2.0x10 ¹	±8%
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVM B06 - NMP	NMP/100ml	9.4x10 ²	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

Anexo G. Resultados del laboratorio para el periodo de lluvia

-Enero

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P1 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - SALIDA DE LAGUNA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692846.84 - Y: 9651248.15		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI07624	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-01-31	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-01		FECHA ANALISIS: 2024-02-01 - 2024-02-16		FECHA ENTREGA: 2024-02-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRÍA	mg/L	20	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.021	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRÍA	PT-Co	5	---
*DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRÍA	mg/L	14.667	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRÍA	mg/LO2	48	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRÍA	mg/L	0.21	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	4.6	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.015	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	29	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	2.0x10 ⁰	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	7.0x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P2 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRADA LAGUNA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:692685.6 - Y: 9651169.64		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI07724	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-01-31	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-01		FECHA ANALISIS: 2024-02-01 - 2024-02-16		FECHA ENTREGA: 2024-02-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRÍA	mg/L	18	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRÍA	PT-Co	5	---
*DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRÍA	mg/L	13.333	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRÍA	mg/LO2	47	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRÍA	mg/L	0.22	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	5.6	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.022	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	51	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	1.1x10 ²	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	4.3x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: P3 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - AGUAS ARRIBA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:692477.38 - Y: 9651373.82		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI07824	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-01-31	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-01		FECHA ANALISIS: 2024-02-01 - 2024-02-16		FECHA ENTREGA: 2024-02-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	20	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	2	---
*DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO ₅	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	14	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO ₂	25	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	0.21	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO ₃ -E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	6.5	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO ₂ -B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.007	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO ₄ E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	13	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	6.1x10 ⁰	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	3.5x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P4 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRE PINOS PARTE PROFUNDA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692716.58 - Y: 9650999.30		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI07924	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-01-31	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-01		FECHA ANALISIS: 2024-02-01 - 2024-02-16		FECHA ENTREGA: 2024-02-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRÍA	mg/L	13	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.019	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRÍA	PT-Co	4	---
*DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRÍA	mg/L	16	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRÍA	mg/LO2	51	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRÍA	mg/L	0.27	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	4.1	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.003	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	24	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	<1.8	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	3.5x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P5 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRE LOS MUELLES				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692900.16 - Y: 9651043.72		TIPO DE MUESTRA: AGUA		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACION		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI08024	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-01-31	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-01		FECHA ANALISIS: 2024-02-01 - 2024-02-16		FECHA ENTREGA: 2024-02-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	8	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	0.022	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	5	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	20	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	77	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	0.17	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	4.2	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.005	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	24	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	4.5x10 ⁰	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	4.3x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

-Febrero

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P1 - AGUA DE LAGUNA DE BUSA - SALIDA DE LAGUNA			
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA COORDENADAS: X:692846.84 - Y:9651248.18		TIPO DE MUESTRA: AGUAS	²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI15324	²LOTE: N/A	²FECHA ELAB: 2024-02-26	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-27		FECHA ANALISIS: 2024-02-27 - 2024-03-13	FECHA ENTREGA: 2024-03-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRÍA	mg/L	17	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.041	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRÍA	PT-Co	7	---
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRÍA	mg/L	37.333	±32.88%
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRÍA	mg/LO2	112	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRÍA	mg/L	<0.1	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	<0.01	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.001	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	20	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	2.4x10 ¹	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	5.4x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: P2 - AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRADA DE LAGUNA				
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A		
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA COORDENADAS: X: 692685.6 - Y: 9651169.64		TIPO DE MUESTRA: AGUAS		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI15424	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-02-26	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-27		FECHA ANALISIS: 2024-02-27 - 2024-03-13		FECHA ENTREGA: 2024-03-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRÍA	mg/L	16	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRÍA	PT-Co	4	---
*DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRÍA	mg/L	<5	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRÍA	mg/LO2	20	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRÍA	mg/L	0.27	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	3	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.007	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	42	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	4.0x10 ²	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMS VMB06 - NMP	NMP/100ml	1.7x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

¹NOMBRE DE LA MUESTRA: P3 - AGUA DE LAGUNA DE BUSA - AGUAS ARRIBA				
²MARCA COMERCIAL: N/A			²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA COORDENADAS: X: 692477.38 - Y: 9651373.82		TIPO DE MUESTRA: AGUAS		²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN		CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI15524	²LOTE: N/A		²FECHA ELAB: 2024-02-26	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-27		FECHA ANALISIS: 2024-02-27 - 2024-03-13		FECHA ENTREGA: 2024-03-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE		NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	18	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	3	---
*DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	<5	---
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	27	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	0.38	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	5.1	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.013	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	14	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALIS	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	9.3x10 ⁰	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMBO6 - NMP	NMP/100ml	1.3x10 ⁴	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: P4- AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRE PINOS			
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA COORDENADAS: X: 692716.98 - Y: 9650999.30		TIPO DE MUESTRA: AGUAS	*TIPO DE ENVASE: PET
*PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI15624	*LOTE: N/A	*FECHA ELAB: 2024-02-26	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-27		FECHA ANALISIS: 2024-02-27 - 2024-03-13	FECHA ENTREGA: 2024-03-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	10	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	3	---
*DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMS VFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	7.333	---
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO	APHA 5220 D / PEMS VFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	22	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	0.16	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	3.9	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	0.003	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	24	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	2.0x10 ⁰	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVMBO6 - NMP	NMP/100ml	2.8x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: P5 - AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRE MUELLES			
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA COORDENADAS: X: 692900.16 - Y: 9551043.72		TIPO DE MUESTRA: AGUAS	*TIPO DE ENVASE: PET
*PRESENTACIONES: 500 ml, 1 L		*FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACIÓN	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI15724	*LOTE: N/A	*FECHA ELAB: 2024-02-26	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-02-27		FECHA ANALISIS: 2024-02-27 - 2024-03-13	FECHA ENTREGA: 2024-03-18
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	11	---
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	0.025	---
*COLOR	APHA 2120 B - COLORIMETRIA	PT-Co	6	---
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DBO5	APHA 5210 B / PEMSVMFQ03 - ELECTROMETRIA	mg/L	19.667	±32.88%
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	APHA 5220 D / PEMSVMFQ04 - COLORIMETRIA	mg/LO2	45	±26.44%
*FOSFATOS	APHA 4500-P B Y 450 - COLORIMETRIA	mg/L	0.2	---
*NITRATOS	APHA 4500-NO3-E - ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS	mg/L	0.6	---
*NITRITOS	APHA 4500-NO2-B - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	<0.001	---
*SULFATOS	APHA 4500-SO4 E - ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/L	27	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*COLIFORMES FECALES	APHA 9221 E (15) - NMP	NMP/100ml	1.0x10 ¹	---
COLIFORMES TOTALES	APHA 9221 B (15) / PEMSVM06 - NMP	NMP/100ml	1.7x10 ³	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

-Marzo

DATOS DE LA MUESTRA

² NOMBRE DE LA MUESTRA: P1 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - SALIDA DE LA LAGUNA			
² MARCA COMERCIAL: NA		² FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:698246 - Y:9651248	TIPO DE MUESTRA: AGUA	² TIPO DE ENVASE: PET	
² PRESENTACIONES: 1L	² FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACION	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%	
CODIGO MUESTRA: OI36424	² LOTE: N/A	² FECHA ELAB: 2024-04-02	² FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-04-02	FECHA ANALISIS: 2024-04-02 - 2024-04-16	FECHA ENTREGA: 2024-04-16	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	30
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P2 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - ENTRADA			
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X:692685.6 - Y: 9651169.6		TIPO DE MUESTRA: AGUA	²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 1L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACION	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI36524	²LOTE: N/A	²FECHA ELAB: 2024-04-02	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-04-02		FECHA ANALISIS: 2024-04-02 - 2024-04-16	FECHA ENTREGA: 2024-04-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	34
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P4 AGUA LAGUNA DE BUSA - TOTORAS			
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692716.9 - Y: 9650909.3		TIPO DE MUESTRA: AGUA	²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 1L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACION	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI36724	²LOTE: N/A	²FECHA ELAB: 2024-04-02	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-04-02		FECHA ANALISIS: 2024-04-02 - 2024-04-16	FECHA ENTREGA: 2024-04-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	33
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	13
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

DATOS DE LA MUESTRA

²NOMBRE DE LA MUESTRA: P3 AGUA DE LAGUNA DE BUSA - AGUAS ARRIBA			
²MARCA COMERCIAL: N/A		²FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: LAGUNA DE BUSA - COORDENADAS: X: 692477.3 - Y:9651373.8		TIPO DE MUESTRA: AGUA	²TIPO DE ENVASE: PET
²PRESENTACIONES: 1 L		²FORMA DE CONSERVACION: REFRIGERACION	CONDICIONES DE ANALISIS: TEMPERATURA AMBIENTE T 25°C ±5, HR 50 ±5%
CODIGO MUESTRA: OI36624	²LOTE: N/A	²FECHA ELAB: 2024-04-02	²FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2024-04-02		FECHA ANALISIS: 2024-04-02 - 2024-04-16	FECHA ENTREGA: 2024-04-16
ENSAYO EN: LABORATORIO		MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*ACEITES Y GRASAS	APHA 5520 B - GRAVIMETRIA	mg/L	31
*CLOROFILA-A	APHA 10200 H - ESPECTROFOTOMETRIA	mg/L	<0.01

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

Anexo H. Resultados obtenidos en anteriores estudios

-AS1

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	37863-1	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A			
COLOR REAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	15,00	± 1,56 Pt-Co	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	7,37	± 0,11 U pH	6,5 - 9	CUMPLE
TURBIDEZ	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 A y 2130 B	PA - 37.00	NTU	4,7	± 0,8 NTU	NO APLICA	NO APLICA
FOSFATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	<1,23	± 0,15 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO3- E	PA - 48.00	mg/l	<1,00	± 0,23 mg/l	13	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	<4,75	± 0,79 mg/l	20	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	<10,0	± 2,3 mg/l	40	CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 C	PA - 51.00	mg/l	<0,20	± 0,04 mg/l	0,3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	167,4	± 1,6 uS/cm	NO APLICA	NO APLICA
DUREZA TOTAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2340 A y 2340 C	PA - 40.00	mg/l	68,6	± 4,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
ALCALINIDAD	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2320 B	PA - 42.00	mg/l	60,0	± 2,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	110,0	± 3,2 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRITOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO2- E	PA - 13.00	mg/l	<0,010	± 0,002 mg/l	0,2	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	<1,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA
COLIFORMES TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	<1,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA

-AS2

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	37863-2	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A			
COLOR REAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	10,00	± 1,56 Pt-Co	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	7,48	± 0,11 U pH	6,5 - 9	CUMPLE
TURBIDEZ	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 A y 2130 B	PA - 37.00	NTU	11,2	± 0,8 NTU	NO APLICA	NO APLICA
FOSFATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	<1,23	± 0,15 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO3- E	PA - 48.00	mg/l	<1,00	± 0,23 mg/l	13	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	<4,75	± 0,79 mg/l	20	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	<10,0	± 2,3 mg/l	40	CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 C	PA - 51.00	mg/l	<0,20	± 0,04 mg/l	0,3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	239,3	± 1,6 uS/cm	NO APLICA	NO APLICA
DUREZA TOTAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2340 A y 2340 C	PA - 40.00	mg/l	96,0	± 4,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
ALCALINIDAD	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2320 B	PA - 42.00	mg/l	62,0	± 2,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	190,0	± 3,2 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRITOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO2- E	PA - 13.00	mg/l	<0,010	± 0,002 mg/l	0,2	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	6,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA
COLIFORMES TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	13,0	± 1,2 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA

-AS3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	37863-3	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A			
COLOR REAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	40,00	± 4,02 Pt-Co	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	6,30	± 0,11 U pH	6,5 - 9	NO CUMPLE
TURBIDEZ	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 A y 2130 B	PA - 37.00	NTU	40,6	± 0,8 NTU	NO APLICA	NO APLICA
FOSFATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	<1,23	± 0,15 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO3- E	PA - 48.00	mg/l	1,53	± 0,23 mg/l	13	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	37,27	± 2,53 mg/l	20	NO CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	98,1	± 4,0 mg/l	40	NO CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 C	PA - 51.00	mg/l	<0,20	± 0,04 mg/l	0,3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	83,3	± 1,2 uS/cm	NO APLICA	NO APLICA
DUREZA TOTAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2340 A y 2340 C	PA - 40.00	mg/l	56,8	± 4,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
ALCALINIDAD	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2320 B	PA - 42.00	mg/l	46,0	± 2,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	184,0	± 3,2 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRITOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO2- E	PA - 13.00	mg/l	0,010	± 0,002 mg/l	0,2	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	23,0	± 1,2 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA
COLIFORMES TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	49,0	± 1,2 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA

-AS4

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	37863-5	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A			
COLOR REAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	10,00	± 1,56 Pt-Co	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	7,45	± 0,11 U pH	6,5 - 9	CUMPLE
TURBIDEZ	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 A y 2130 B	PA - 37.00	NTU	5,8	± 0,8 NTU	NO APLICA	NO APLICA
FOSFATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	<1,23	± 0,15 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO3- E	PA - 48.00	mg/l	<1,00	± 0,23 mg/l	13	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	<4,75	± 0,79 mg/l	20	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	<10,0	± 2,3 mg/l	40	CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 C	PA - 51.00	mg/l	<0,20	± 0,04 mg/l	0,3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	166,1	± 1,6 uS/cm	NO APLICA	NO APLICA
DUREZA TOTAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2340 A y 2340 C	PA - 40.00	mg/l	70,6	± 4,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
ALCALINIDAD	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2320 B	PA - 42.00	mg/l	60,0	± 2,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	126,0	± 3,2 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRITOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO2- E	PA - 13.00	mg/l	<0,010	± 0,002 mg/l	0,2	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	<1,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA
COLIFORMES TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	<1,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA

-AS5

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	37863-4	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A			
COLOR REAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	15,00	± 1,56 Pt-Co	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	7,36	± 0,11 U pH	6,5 - 9	CUMPLE
TURBIDEZ	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 A y 2130 B	PA - 37.00	NTU	<4,0	± 0,8 NTU	NO APLICA	NO APLICA
FOSFATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	<1,23	± 0,15 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO3- E	PA - 48.00	mg/l	<1,00	± 0,23 mg/l	13	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	<4,75	± 0,79 mg/l	20	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	<10,0	± 2,3 mg/l	40	CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 C	PA - 51.00	mg/l	<0,20	± 0,04 mg/l	0,3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	65,8	± 1,2 uS/cm	NO APLICA	NO APLICA
DUREZA TOTAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2340 A y 2340 C	PA - 40.00	mg/l	68,6	± 4,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
ALCALINIDAD	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2320 B	PA - 42.00	mg/l	60,0	± 2,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	126,0	± 3,2 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRITOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO2- E	PA - 13.00	mg/l	<0,010	± 0,002 mg/l	0,2	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	2,0	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA
COLIFORMES TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	7,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA

-AS6

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	37863-6	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A			
COLOR REAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	10,00	± 1,56 Pt-Co	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	7,60	± 0,11 U pH	6,5 - 9	CUMPLE
TURBIDEZ	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2130 A y 2130 B	PA - 37.00	NTU	<4,0	± 0,8 NTU	NO APLICA	NO APLICA
FOSFATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	<1,23	± 0,15 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO3- E	PA - 48.00	mg/l	<1,00	± 0,23 mg/l	13	CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	<4,75	± 0,79 mg/l	20	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	<10,0	± 2,3 mg/l	40	CUMPLE
ACEITES Y GRASAS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 C	PA - 51.00	mg/l	<0,20	± 0,04 mg/l	0,3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	165,6	± 1,6 uS/cm	NO APLICA	NO APLICA
DUREZA TOTAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2340 A y 2340 C	PA - 40.00	mg/l	66,6	± 4,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
ALCALINIDAD	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2320 B	PA - 42.00	mg/l	62,0	± 2,1 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	110,0	± 3,2 mg/l	NO APLICA	NO APLICA
NITRITOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NO2- E	PA - 13.00	mg/l	<0,010	± 0,002 mg/l	0,2	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	<1,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA
COLIFORMES TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	<1,8	± 0,0 NMP/100ml	NO APLICA	NO APLICA

Anexo I. Resultados in situ para el periodo de estiaje y lluvia

Muestreos Punto 1 "Salida"						
Parametros/Muestreo	1	2	3	4	5	6
Transparencia (m)	0.36	0.15	0.45	0.60	0.80	0.42
STD(ppm)	93.00	78.00	86.00	93.00	90.00	81.10
Cond (us/cm)	168.00	181.26	177.20	171.50	175.90	148.20
pH	6.94	7.11	7.45	9.67	6.53	7.88
OD	5.20	5.20	7.03	9.27	6.89	6.86
turbidez(NTU)	8.00	30.80	5.74	8.02	6.33	5.54
Temperatura (°C)	18.69	18.40	22.00	20.30	21.07	19.80

Muestreos Punto 2 "Entrada"						
Parametros/Muestreo	1	2	3	4	5	6
Velocidad	0.15	0.46	0.20	0.30	0.16	0.25
Largo	0.23	0.18	0.46	1.00	0.25	0.42
Profundidad	0.05	0.03	0.02	0.04	0.14	0.06
Caudal	0.002	0.002	0.002	0.012	0.006	0.005
Transparencia (m)	0.33	0.60	0.27	0.67	0.81	0.39
STD(ppm)	92.39	91.00	78.00	89.00	94.00	101.40
Cond (us/cm)	193.33	243.00	199.07	210.70	213.86	182.20
pH	7.40	6.88	7.09	6.61	7.04	7.34
OD	5.83	5.45	5.24	6.02	5.91	5.84
turbidez(NTU)	9.00	3.61	12.76	3.02	2.23	7.15
Temperatura (°C)	18.69	17.10	19.80	16.50	17.90	17.04

Muestreos Punto 4 "Totoras"						
Parametros/Muestreo	1	2	3	4	5	6
Transparencia (m)	1.10	1.54	1.37	0.60	0.81	0.41
STD(ppm)	93.00	73.00	86.00	91.00	88.00	79.90
Cond (us/cm)	170.70	146.00	175.50	172.00	174.98	132.80
pH	7.02	5.90	7.15	9.55	7.23	7.57
OD	4.78	7.03	6.49	8.57	7.58	7.07
turbidez(NTU)	9.00	3.39	2.24	3.02	2.23	6.44
Temperatura (°C)	17.40	18.26	21.20	20.09	22.06	19.64

Muestreos Punto 3 "Aguas arriba"						
Parametros/Muestreo	1	2	3	4	5	6
Transparencia (m)	1.03	0.89	0.89	1.19	0.93	0.83
STD(ppm)	93.00	73.00	87.00	102.00	94.00	78.00
Cond (us/cm)	183.55	146.00	135.97	154.80	160.53	132.00
pH	7.02	6.39	6.65	6.31	5.54	7.63
OD	5.28	5.84	4.98	3.33	2.27	2.61
turbidez(NTU)	9.00	1.93	1.93	1.23	1.80	2.15
Temperatura (°C)	17.75	12.71	16.70	18.39	14.58	14.55

Muestreos Punto 5 "Muelles"						
Parametros/Muestreo	1	2	3	4	5	6
Transparencia (m)	1.13	1.55	1.25	0.58	0.76	0.44
STD(ppm)	93.00	82.00	96.00	88.00	91.00	80.10
Cond (us/cm)	170.45	164.00	163.47	171.40	166.56	133.20
pH	7.02	6.16	7.35	9.69	7.32	7.97
OD	4.79	6.55	6.35	9.51	7.96	7.09
turbidez(NTU)	11.00	2.92	4.75	2.87	2.47	5.86
Temperatura (°C)	17.20	18.47	21.50	21.60	21.04	19.14

Anexo J. Análisis Estadístico en Rstudio

-Correlaciones

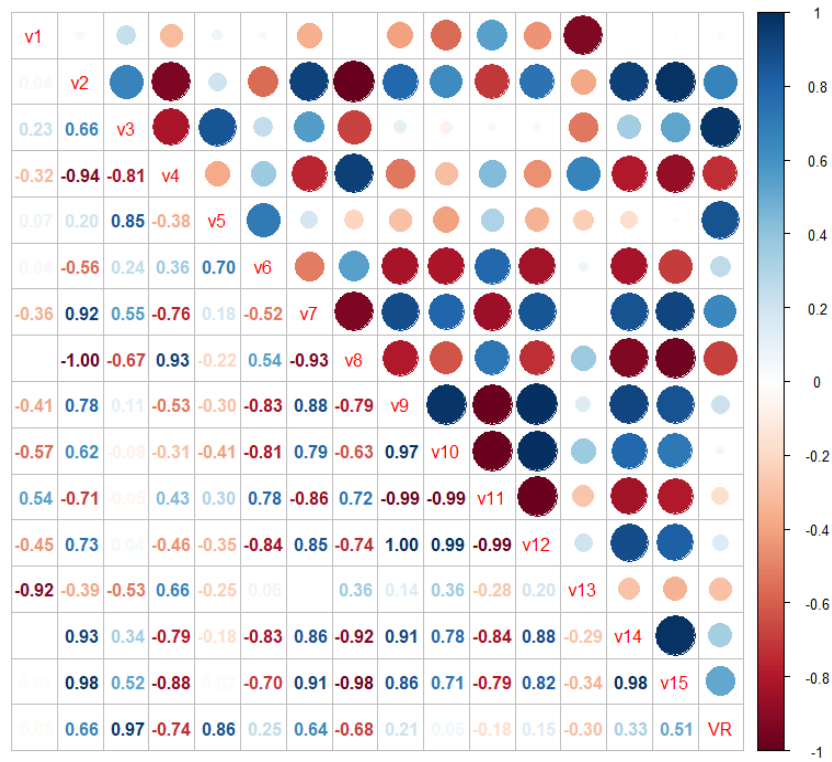
Estiaje.

```
> C = round(cor(MBD), digits=2);C
```

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	1.00	0.04	0.23	-0.32	0.07	0.04	-0.36	0.00	-0.41	-0.57	0.54	-0.45
v2	0.04	1.00	0.66	-0.94	0.20	-0.56	0.92	-1.00	0.78	0.62	-0.71	0.73
v3	0.23	0.66	1.00	-0.81	0.85	0.24	0.55	-0.67	0.11	-0.08	-0.05	0.04
v4	-0.32	-0.94	-0.81	1.00	-0.38	0.36	-0.76	0.93	-0.53	-0.31	0.43	-0.46
v5	0.07	0.20	0.85	-0.38	1.00	0.70	0.18	-0.22	-0.30	-0.41	0.30	-0.35
v6	0.04	-0.56	0.24	0.36	0.70	1.00	-0.52	0.54	-0.83	-0.81	0.78	-0.84
v7	-0.36	0.92	0.55	-0.76	0.18	-0.52	1.00	-0.93	0.88	0.79	-0.86	0.85
v8	0.00	-1.00	-0.67	0.93	-0.22	0.54	-0.93	1.00	-0.79	-0.63	0.72	-0.74
v9	-0.41	0.78	0.11	-0.53	-0.30	-0.83	0.88	-0.79	1.00	0.97	-0.99	1.00
v10	-0.57	0.62	-0.08	-0.31	-0.41	-0.81	0.79	-0.63	0.97	1.00	-0.99	0.99
v11	0.54	-0.71	-0.05	0.43	0.30	0.78	-0.86	0.72	-0.99	-0.99	1.00	-0.99
v12	-0.45	0.73	0.04	-0.46	-0.35	-0.84	0.85	-0.74	1.00	0.99	-0.99	1.00
v13	-0.92	-0.39	-0.53	0.66	-0.25	0.06	-0.01	0.36	0.14	0.36	-0.28	0.20
v14	0.00	0.93	0.34	-0.79	-0.18	-0.83	0.86	-0.92	0.91	0.78	-0.84	0.88
v15	0.01	0.98	0.52	-0.88	0.02	-0.70	0.91	-0.98	0.86	0.71	-0.79	0.82
VR	-0.03	0.66	0.97	-0.74	0.86	0.25	0.64	-0.68	0.21	0.05	-0.18	0.15

	v13	v14	v15	VR
v1	-0.92	0.00	0.01	-0.03
v2	-0.39	0.93	0.98	0.66
v3	-0.53	0.34	0.52	0.97
v4	0.66	-0.79	-0.88	-0.74
v5	-0.25	-0.18	0.02	0.86
v6	0.06	-0.83	-0.70	0.25
v7	-0.01	0.86	0.91	0.64
v8	0.36	-0.92	-0.98	-0.68
v9	0.14	0.91	0.86	0.21
v10	0.36	0.78	0.71	0.05
v11	-0.28	-0.84	-0.79	-0.18
v12	0.20	0.88	0.82	0.15
v13	1.00	-0.29	-0.34	-0.30
v14	-0.29	1.00	0.98	0.33
v15	-0.34	0.98	1.00	0.51
VR	-0.30	0.33	0.51	1.00

```
> library('corrplot')
corrplot 0.92 loaded
> corrplot.mixed(C)
> |
```



-Correlación lluvia

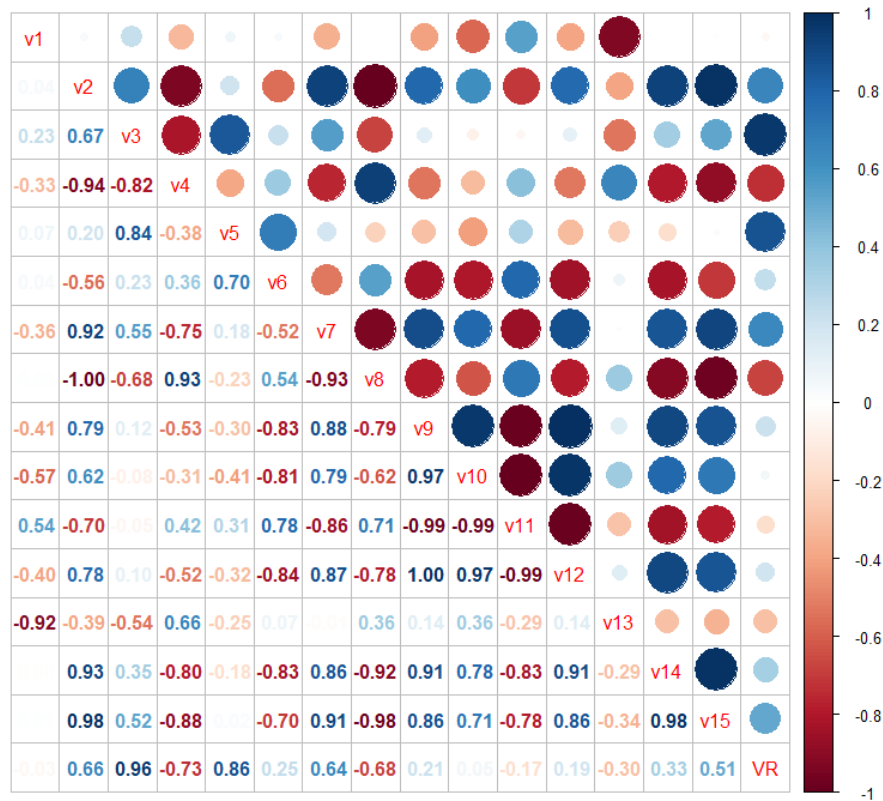
```

> C = round(cor(datos), digits=4);C
      v1      v2      v3      v4      v5      v6      v7      v8      v9      v10     v11     v12     v13     v14     v15
v1  1.0000  0.0352  0.2323 -0.3266  0.0667  0.0392 -0.3565  0.0014 -0.4071 -0.5732  0.5423 -0.3999 -0.9246 -0.0023  0.0099
v2  0.0352  1.0000  0.6701 -0.9395  0.2035 -0.5594  0.9210 -0.9990  0.7857  0.6161 -0.7031  0.7785 -0.3949  0.9271  0.9831
v3  0.2323  0.6701  1.0000 -0.8163  0.8449  0.2264  0.5506 -0.6797  0.1223 -0.0790 -0.0473  0.1050 -0.5379  0.3481  0.5243
v4 -0.3266 -0.9395 -0.8163  1.0000 -0.3807  0.3628 -0.7547  0.9323 -0.5330 -0.3132  0.4185 -0.5250  0.6592 -0.7951 -0.8844
v5  0.0667  0.2035  0.8449 -0.3807  1.0000  0.6977  0.1845 -0.2258 -0.2959 -0.4143  0.3096 -0.3162 -0.2486 -0.1781  0.0212
v6  0.0392 -0.5594  0.2264  0.3628  0.6977  1.0000 -0.5209  0.5401 -0.8288 -0.8062  0.7811 -0.8406  0.0709 -0.8292 -0.7015
v7 -0.3565  0.9210  0.5506 -0.7547  0.1845 -0.5209  1.0000 -0.9348  0.8837  0.7883 -0.8594  0.8738 -0.0115  0.8597  0.9112
v8  0.0014 -0.9990 -0.6797  0.9323 -0.2258  0.5401 -0.9348  1.0000 -0.7897 -0.6242  0.7124 -0.7818  0.3641 -0.9180 -0.9784
v9 -0.4071  0.7857  0.1223 -0.5330 -0.2959 -0.8288  0.8837 -0.7897  1.0000  0.9699 -0.9878  0.9998  0.1374  0.9077  0.8630
v10 -0.5732  0.6161 -0.0790 -0.3132 -0.4143 -0.8062  0.7883 -0.6242  0.9699  1.0000 -0.9920  0.9712  0.3593  0.7845  0.7140
v11  0.5423 -0.7031 -0.0473  0.4185  0.3096  0.7811 -0.8594  0.7124 -0.9878 -0.9920  1.0000 -0.9869 -0.2894 -0.8316 -0.7830
v12 -0.3999  0.7785  0.1050 -0.5250 -0.3162 -0.8406  0.8738 -0.7818  0.9998  0.9712 -0.9869  1.0000  0.1358  0.9081  0.8593
v13 -0.9246 -0.3949 -0.5379  0.6592 -0.2486  0.0709 -0.0115  0.3641  0.1374  0.3593 -0.2894  0.1358  1.0000 -0.2908 -0.3445
v14 -0.0023  0.9271  0.3481 -0.7951 -0.1781 -0.8292  0.8597 -0.9180  0.9077  0.7845 -0.8316  0.9081 -0.2908  1.0000  0.9800
v15  0.0099  0.9831  0.5243 -0.8844  0.0212 -0.7015  0.9112 -0.9784  0.8630  0.7140 -0.7830  0.8593 -0.3445  0.9800  1.0000
VR  -0.0330  0.6582  0.9641 -0.7340  0.8643  0.2492  0.6436 -0.6786  0.2113  0.0516 -0.1729  0.1914 -0.2962  0.3320  0.5122

      VR
v1  -0.0330
v2   0.6582
v3   0.9641
v4  -0.7340
v5   0.8643
v6   0.2492
v7   0.6436
v8  -0.6786
v9   0.2113
v10  0.0516
v11 -0.1729
v12  0.1914
v13 -0.2962
v14  0.3320
v15  0.5122
VR   1.0000

> library('corrplot')
> corrplot.mixed(C)
> |

```



-ANOVA Estiaje EIT

```
> summary(modelo)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Punto   3  64.26   21.42   1.833 0.2814
Fecha   1 109.89  109.89   9.403 0.0374 *
Punto:Fecha 3   0.71    0.24   0.020 0.9955
Residuals 4  46.74   11.69
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> library(multcomp)
> comparaciones <- glht(modelo, linfct = mcp(Punto = "Tukey"))
Aviso:
In mcp2matrix(model, linfct = linfct) :
  covariate interactions found -- default contrast might be inappropriate
> summary(comparaciones)

      Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts

Fit: aov(formula = IndiceIET ~ Punto * Fecha, data = datos)

Linear Hypotheses:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Punto2 - Punto1 == 0    -2.310     7.385  -0.313   0.988
Punto4 - Punto1 == 0    -5.027     7.385  -0.681   0.899
Punto5 - Punto1 == 0    -5.347     7.385  -0.724   0.883
Punto4 - Punto2 == 0    -2.717     7.385  -0.368   0.981
Punto5 - Punto2 == 0    -3.037     7.385  -0.411   0.974
Punto5 - Punto4 == 0    -0.320     7.385  -0.043   1.000
(Adjusted p values reported -- single-step method)
```

-ANOVA estiaje ICA

```

> summary(modelo)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Punto   3  20.67    6.89   1.172 0.4246
Fecha   1  62.27   62.27  10.592 0.0312 *
Punto:Fecha 3  75.22   25.07   4.265 0.0975 .
Residuals 4   23.52    5.88
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> library(multcomp)
> comparaciones <- glht(modelo, linfct = mcp(Punto = "Tukey"))
Aviso:
In mcp2matrix(model, linfct = linfct) :
  covariate interactions found -- default contrast might be inappropriate
> summary(comparaciones)

      Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts


Fit: aov(formula = ICA ~ Punto * Fecha, data = datos)

Linear Hypotheses:

      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Punto2 - Punto1 == 0    2.568     5.238   0.490   0.957
Punto4 - Punto1 == 0   -9.493     5.238  -1.812   0.385
Punto5 - Punto1 == 0   -9.461     5.238  -1.806   0.387
Punto4 - Punto2 == 0  -12.061     5.238  -2.303   0.240
Punto5 - Punto2 == 0  -12.029     5.238  -2.296   0.242
Punto5 - Punto4 == 0    0.032     5.238   0.006   1.000
(Adjusted p values reported -- single-step method)

```

-ANOVA Lluvia IET

```
> summary(modelo)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Punto   3  31.58   10.53   0.979  0.486
Fecha   1  45.03   45.03   4.187  0.110
Punto:Fecha 3  23.23    7.74   0.720  0.590
Residuals 4  43.02   10.76

> library(multcomp)
> comparaciones <- glht(modelo, linfct = mcp(Punto = "Tukey"))
Aviso:
In mcp2matrix(model, linfct = linfct) :
  covariate interactions found -- default contrast might be inappropriate
> summary(comparaciones)

Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts

Fit: aov(formula = IndiceIET ~ Punto * Fecha, data = datos)

Linear Hypotheses:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Punto2 - Punto1 == 0    -0.240     7.085  -0.034   1.000
Punto4 - Punto1 == 0     5.240     7.085   0.740   0.877
Punto5 - Punto1 == 0     0.830     7.085   0.117   0.999
Punto4 - Punto2 == 0     5.480     7.085   0.774   0.863
Punto5 - Punto2 == 0     1.070     7.085   0.151   0.999
Punto5 - Punto4 == 0    -4.410     7.085  -0.622   0.920
(Adjusted p values reported -- single-step method)
```

-ANOVA Lluvia ICA

```
> summary(modelo)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Punto   3  83.42   27.81   1.511 0.3406
Fecha   1  85.63   85.63   4.653 0.0972 .
Punto:Fecha 3  35.95   11.98   0.651 0.6226
Residuals 4  73.62   18.40
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> library(multcomp)
> comparaciones <- glht(modelo, linfct = mcp(Punto = "Tukey"))
Aviso:
In mcp2matrix(model, linfct = linfct) :
  covariate interactions found -- default contrast might be inappropriate
> summary(comparaciones)
```

Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts

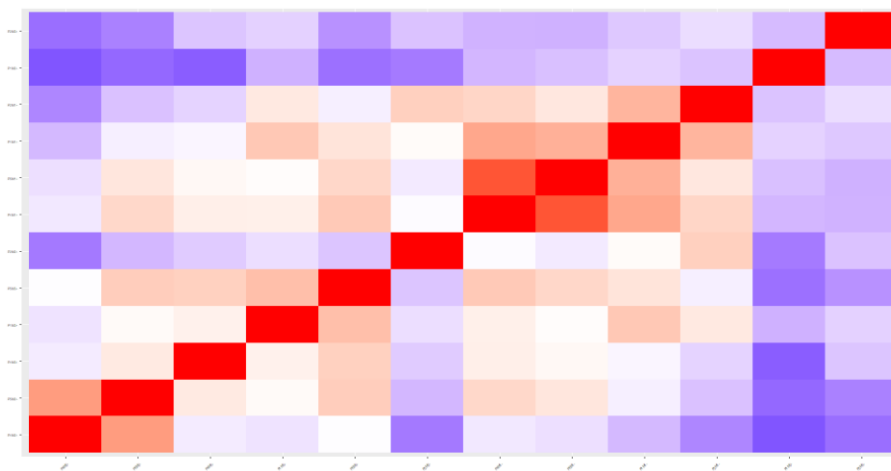
Fit: aov(formula = ICA ~ Punto * Fecha, data = datos)

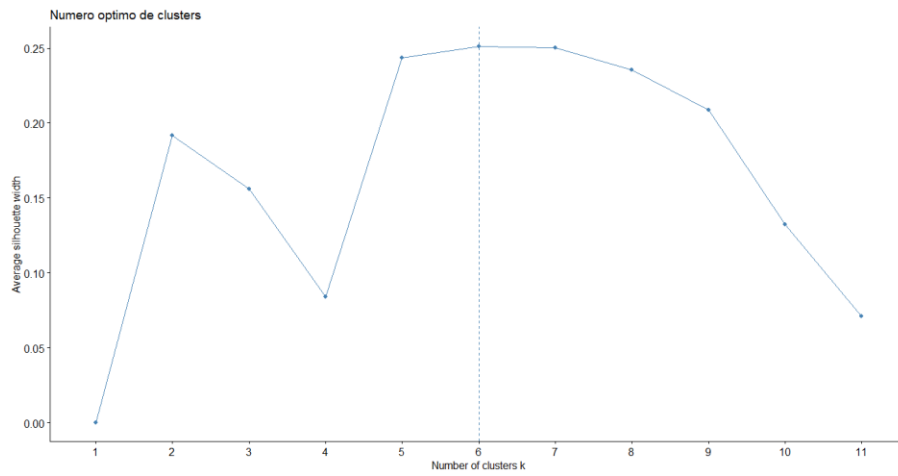
Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Punto2 - Punto1 == 0	0.7877	9.2676	0.085	1.000
Punto4 - Punto1 == 0	-1.3947	9.2676	-0.150	0.999
Punto5 - Punto1 == 0	-8.4180	9.2676	-0.908	0.803
Punto4 - Punto2 == 0	-2.1823	9.2676	-0.235	0.995
Punto5 - Punto2 == 0	-9.2057	9.2676	-0.993	0.762
Punto5 - Punto4 == 0	-7.0233	9.2676	-0.758	0.869

(Adjusted p values reported -- single-step method)

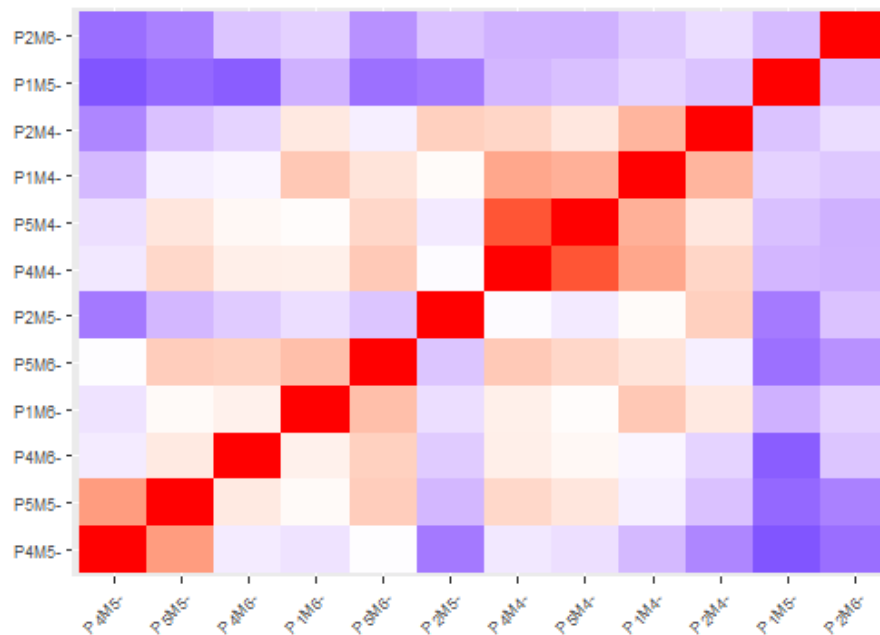
-Clústeres Estiaje

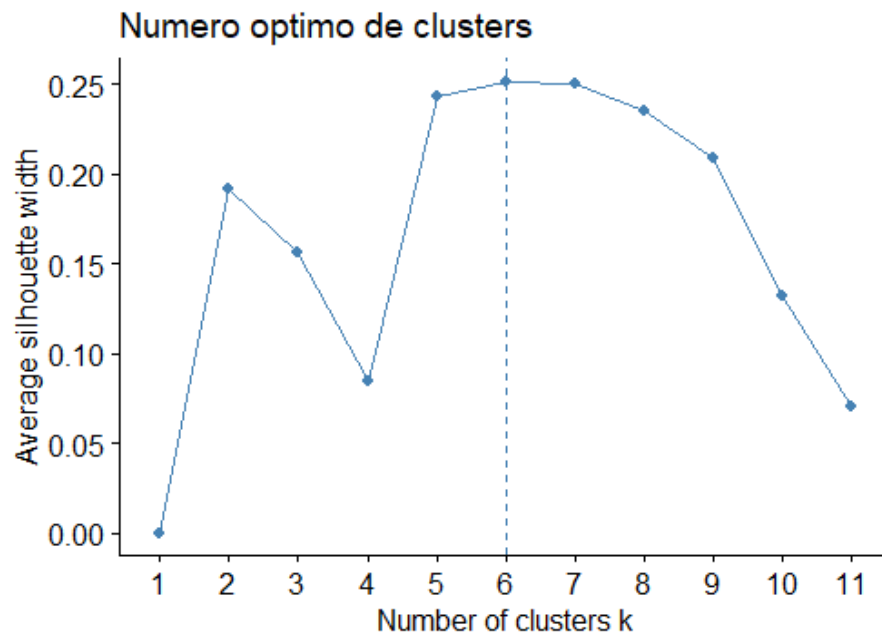




```
> fviz_silhouette(sil.obj = km_clusters, print.summary = TRUE, palette = "jco",
+               ggtheme = theme_classic())
  cluster size ave.sil.width
1         1   2         0.14
2         2   3         0.48
3         3   1         0.00
4         4   2         0.49
5         5   1         0.00
6         6   3         0.11
> #Dendograma con linkage complete y average
> hc_euclidean_complete <- hclust(d=MS, method="complete")
> hc_euclidean_average <- hclust(d=MS, method="average")
> hc_euclideanward2 <- hclust(d=MS, method="ward.D2")
> cor(x=MS, cophenetic(hc_euclidean_complete))
[1] 0.7914195
> cor(x=MS, cophenetic(hc_euclidean_average))
[1] 0.8317898
> cor(x=MS, cophenetic(hc_euclideanward2))
[1] 0.6213969
```

Clúster Lluvia





```
> fviz_silhouette(sil.obj = km_clusters, print.summary = TRUE, palette = "jco",
+ ggtheme = theme_classic())
  cluster size ave.sil.width
1         1  2          0.14
2         2  3          0.48
3         3  1          0.00
4         4  2          0.49
5         5  1          0.00
6         6  3          0.11
> #Dendograma con linkage complete y average
> hc_euclidean_complete <- hclust(d=MS, method="complete")
> hc_euclidean_average <- hclust(d=MS, method="average")
> hc_euclideanward2 <- hclust(d=MS, method="ward.D2")
> cor(x=MS, cophenetic(hc_euclidean_complete))
[1] 0.7914195
> cor(x=MS, cophenetic(hc_euclidean_average))
[1] 0.8317898
> cor(x=MS, cophenetic(hc_euclideanward2))
[1] 0.6213969
```

-T pareado estiaje

```
> print(resultados_t)
```

```
Paired t-test
```

```
data: promedio_entrada and promedio_aguas_arriba
t = 0.99433, df = 17, p-value = 0.334
alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-316.2313  880.0031
sample estimates:
mean difference
281.8859
```

-T Pareado Lluvia

```
> print(resultados_t)
```

```
Paired t-test
```

```
data: promedio_entrada and promedio_aguas_arriba
t = 1.3118, df = 17, p-value = 0.207
alternative hypothesis: true mean difference is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-186.4621  799.5399
sample estimates:
mean difference
306.5389
```