

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**GRADO DE EUTROFIZACIÓN EN EL HUMEDAL “LAGUNA DE LOS  
MILAGROS” EN EL DISTRITO DE PUEBLO NUEVO – HUÁNUCO**

**2022**

**Tesis**

**Para obtener título de  
INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por  
RONAL YERSON SANCHEZ GALVEZ**

**Tingo María - Perú**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°099-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 11 de agosto de 2025, a horas 08:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“GRADO DE EUTROFIZACIÓN EN EL HUMEDAL “LAGUNA DE LOS MILAGROS”  
EN EL DISTRITO DE PUEBLO NUEVO-HUÁNUCO 2022”**

Presentado por el Bachiller: **SANCHEZ GALVEZ, RONAL YERSON** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 17 de setiembre de 2025

  
**Mblgo.M.Sc. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ ROMERO**  
**PRESIDENTE**

  
**Blgo. MSc. CÉSAR AUGUSTO GOZME SULCA**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA**  
**MIEMBRO**

  
**Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO**  
**ASESOR**

  
**Ing. MSc. JUAN DANIEL ORÉ CIERTO**  
**ASESOR**





UNAS

VICERRECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE  
CIENTÍFICO  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 351 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

### Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

### Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
GRADO DE EUTROFIZACIÓN EN EL HUMEDAL "LAGUNA DE LOS MILAGROS" EN EL DISTRITO DE PUEBLO NUEVO - HUÁNUCO	RONAL YERSON SANCHEZ GALVEZ	05 % Cinco	Menor a 20 %

Tingo María, 03 de noviembre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**INFORME DE TESIS**

**GRADO DE EUTROFIZACIÓN EN EL HUMEDAL “LAGUNA DE LOS MILAGROS” EN EL DISTRITO DE PUEBLO NUEVO – HUÁNUCO**  
**2022**

ÁREA DE INVESTIGACIÓN	: Gestión Ambiental - PICSIDS
GRUPO DE INVESTIGACION	: Gestión Ambiental
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	: Gestión de la contaminación
LUGAR DE EJECUCIÓN	: Laguna de Los Milagros – Distrito Pueblo Nuevo – Huánuco
EJECUTOR	: RONAL YERSON SANCHEZ GALVEZ
ASESOR	: DR. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
DURACIÓN	: Fecha de inicio 15/04/2023 Fecha de término 15/04/2024
FINANCIAMIENTO	: Propio (X) FEDU ( ) Externo ( )
FEDU	: S/.00.00
Propio	: S/.6 270,0
Otros	: S/.00.00

Tingo María - Perú, setiembre 2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACION**  
**DIRECCION DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

---

*“Promoviendo la Calidad de la Investigación”  
“Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo”*

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO**

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Facultad** : Facultad de Recursos Naturales Renovables

**Escuela profesional** : Ingeniería Ambiental

**Título del proyecto** : Grado de eutrofización en el humedal “Laguna de Los Milagros” en el distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco 2022

**Objetivo general** : Evaluar el grado de eutrofización en el humedal Laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco, 2022.

**Autor** : RONAL YERSON SANCHEZ GALVEZ

**DNI** : 71566212

**Correo Electrónico** : [ronal.sanchez@unas.edu.pe](mailto:ronal.sanchez@unas.edu.pe)

**Asesor** : DR. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO  
ING. MS.C. JUAN DANIEL ORÉ CIERTO

**Área de investigación** : Gestión Ambiental - PICSDS

**Grupo de investigación** : Gestión Ambiental

**Línea(s) de investigación** : Gestión de la contaminación

**Lugar de ejecución** : Laguna de Los Milagros – Distrito Pueblo Nuevo – Huánuco

**Fecha de inicio** : 15 de abril del 2023

**Fecha de término** : 15 de abril del 2024

**Presupuesto** : S/.6 270,0

**Financiamiento** : **Propio (X)**    **FEDU ( )**    **Externo ( )**

## DEDICATORIA

*A mi querida Madre Eulalia Gálvez y  
mi padre Esteban Sánchez por  
forjarme en una persona con valores y  
hábitos firmes, por su apoyo  
incondicional y motivación para  
lograr mis metas.*

*A mis hermanas Jenny y Ruth por ser  
mi ejemplo a seguir, por brindarme  
consejos prudentes y valiosos en cada  
etapa de mi vida.*

*A Xiomara Aybar por ser mi  
primordial motivación a continuar el  
camino a la meta a pesar de múltiples  
tropiezos.*

*Al docente y mentor Luis Ore, por compartir  
no solo su conocimiento, sino también su  
pasión por el aprendizaje. Cada consejo,  
cada corrección y cada palabra de aliento  
fue fundamental en este camino.*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme concederme una familia estupenda, que siempre confiaron en mí y mis fortalezas.

A mi madre Eulalia, padre Esteban y hermanas, cada uno de mis avances profesionales se los debo a todos ustedes.

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por brindarme los conocimientos y así formarme en una profesional competente.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas, su compromiso y la provisión de los recursos necesarios para mi formación académica y personal.

A los miembros del jurado de tesis, al Blgo M. Sc. Cesar Augusto Gozme Sulca, Mtblgo. Msc. Luis Alberto Sánchez Romero y Ing M. Sc. Marco Antonio Dueñas Tuesta quienes me proporcionaron oportunos aportes y su valioso tiempo para que el proyecto se pueda ejecutar de la manera más optima posible.

Al Dr. Luis Eduardo Ore Cierto, por su asesoramiento, por su sincera amistad y la disposición plena de su tiempo en la presente tesis.

A mis amigos y compañeros de carrera, quienes con su apoyo, colaboración y ánimo constante hicieron de esta etapa un camino más llevadero y enriquecedor. Compartir aprendizajes, dificultades y logros con ustedes ha sido invaluable.

A los profesionales e instituciones que facilitaron el acceso a información, laboratorios o recursos técnicos necesarios para la elaboración de este proyecto de investigación.

A mis jefes del trabajo, por brindarme no solo una oportunidad laboral, sino también por su comprensión, apoyo y confianza durante este proceso académico. Su disposición para facilitarme el equilibrio entre las responsabilidades laborales y los compromisos universitarios fue fundamental para lograr este objetivo.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.1. Objetivo específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Marco conceptual.....	4
2.2.1. Ambiente.....	4
2.2.2. Contaminación ambiental.....	5
2.2.3. El agua.....	5
2.2.4. Escases de agua.....	5
2.2.5. Contaminación del agua.....	6
2.2.6. Usos del agua.....	7
2.2.7. Humedal.....	7
2.2.8. Características del agua.....	8
2.2.9. Estándares de calidad ambiental del agua para la conservación de lagunas en la Selva.....	9
2.2.10. Eutrofización.....	10
2.2.11. Proceso de eutrofización.....	10
2.2.12. Índice de estado trófico de Carlson.....	11
2.2.13. Índice de estado trófico modificado por Toledo (1985).....	12
2.2.14. Kriging aplicada a estudios de eutrofización.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Lugar de ejecución.....	15
3.1.1. Ubicación geográfica.....	15
3.1.2. Ubicación política.....	16
3.2. Materiales, herramientas y equipos.....	16
3.2.1. Materiales.....	16
3.2.2. Equipos y software.....	16
3.3. Criterios de investigación.....	17
3.3.1. Nivel de investigación.....	17
3.3.2. Tipo de investigación.....	17

3.3.3.	Variable de investigación.....	17
3.3.4.	Diseño de investigación.....	17
3.3.5.	Población y muestra.....	18
3.3.6.	Técnicas e instrumento de investigación.....	19
3.3.7.	Análisis de datos.....	19
3.4.	Metodología.....	21
3.4.1.	Determinación de parámetros físico del agua de la laguna de Los Milagros y su comportamiento.....	21
3.4.2.	Determinación de parámetros químicos del agua de la laguna de Los Milagros y su comportamiento.....	24
3.4.3.	Grado de eutrofización y su comportamiento en el humedal "Laguna de los Milagros" a partir de la determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico y medir el nivel de relación entre los indicadores.....	26
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1.	Parámetros físicos del agua del humedal "Laguna de los Milagros" y el contraste con los estándares de calidad ambiental para la conservación de los ambientes acuáticos.....	32
4.2.	Parámetros químicos: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, y de los compuestos eutrofizantes (nitratos y fosforo total) del humedal "Laguna de los Milagros" y contrastar con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes acuáticos.....	38
4.3.	Grado de eutrofización y su comportamiento en el humedal "Laguna de los Milagros" a partir de la determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico y medición del nivel de relación entre los indicadores.....	51
V.	CONCLUSIONES.....	58
VI.	PROPUESTAS AL FUTURO.....	59
VII.	REFERENCIAS.....	60
	ANEXO.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1. Interpretación del TSI.....	12
2. Clasificación trófica según Toledo (1985).....	14
3. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	16
4. Prueba de normalidad de los indicadores en estudio.....	20
5. Clasificación del Estado Trófico.....	29
6. Rango de correlación e interpretación.....	31
Parámetros físicos del agua del Humedal Laguna de Los Milagros y el contraste	
7. con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes	32
acuáticos.....	
Parámetros químicos del agua del Humedal Laguna de Los Milagros y el contraste	
8. con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes	39
acuáticos.....	
9. Grado de eutrofización del humedal “Laguna de los Milagros” a partir de la	51
determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico.....	
10. Resultados del trabajo de investigación.....	70
11. Interpolación de los indicadores en estudio en el área de la LM.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Figura
1.	Mapa de puntos de muestreo en la Laguna de Los Milagros.....	15
2.	Interpolación con Kriging del comportamiento del caudal en la LM.....	33
3.	Interpolación con Kriging del comportamiento de los sólidos totales disueltos en la Laguna de Los Milagros.....	34
4.	Interpolación con Kriging del comportamiento de la Temperatura en la LM.....	36
5.	Interpolación con Kriging del comportamiento de la conductividad eléctrica en la Laguna de Los Milagros.....	37
6.	Interpolación con Kriging del comportamiento del pH en la Laguna de Los Milagros.....	41
7.	Interpolación con Kriging del comportamiento del Oxígeno Disuelto en la Laguna de Los Milagros.....	42
8.	Interpolación con Kriging del comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Laguna de Los Milagros.....	44
9.	Interpolación con Kriging del comportamiento de Nitritos en la LM.....	45
10.	Interpolación con Kriging del comportamiento de Nitratos en la LM.....	46
11.	Interpolación con Kriging del comportamiento de la Clorofila (a) en la LM.....	47
12.	Interpolación con Kriging del comportamiento del Fósforo total en la LM.....	49
13.	Interpolación con Kriging del comportamiento del IET – Carlson en la LM.....	53
14.	Interpolación con Kriging del comportamiento del IET – Toledo en la LM.....	54
15.	Matriz de correlación de los indicadores de investigación.....	56
16.	Control de parámetros externos como T°, humedad y la iluminación.....	94
17.	Ubicación de los puntos de la toma de muestra.....	94
18.	Rotulación de punto de monitoreo para la toma de muestra del cuerpo de agua...	95
19.	Toma de muestra del cuerpo de agua a medio metro con un balde transparente..	95
20.	Toma de muestra significativa para los recipientes de traslado al laboratorio.....	96
21.	Toma de muestra para el análisis de DBO <sub>5</sub> , recipiente de vidrio color oscuro...	96
22.	Toma de muestra para el análisis de Físicoquímico, recipiente de vidrio transparente.....	97
23.	Toma de muestra para la determinación de fosforo.....	97
24.	Rotulación y orden de las muestras para traslado al laboratorio.....	98
25.	Uso de multiparámetro Hi98129.....	98

26.	Toma de datos en campo con el multiparámetro Hi98129 de T°, PH y TDS.....	99
27.	Toma de datos en campo para la determinación de la penetración luminosa con el disco secchi.....	99
28.	Toma de medición con un flexómetro para la penetración luminosa (Claridad)....	100
29.	Toma de datos de campo de la medición de la claridad de acuerdo a la claridad con el disco Secchi.....	100
30.	Toma de medición de conductividad eléctrica.....	101
31.	Toma de medición de oxígeno disuelto y DBO5 para luego ser colocada en la cámara a 20 °C.....	101
32.	Filtrado de muestra para lectura al espectrofotómetro para la determinación de la clorofila a.....	102
33.	Preparación de las muestras de agua para la determinación de nitritos y nitratos..	102
34.	Determinación de nitratos.....	103
35.	Determinación de nitritos.....	103
36.	Para la determinación de fósforo total se dejaron para su análisis en el laboratorio de suelos UNAS.....	104
37.	Preparación de muestra en la cámara Neubauer Marienfeld.....	104
38.	Colocación de las muestras de agua en la cámara Neubauer Marienfeld para la determinación de poblaciones fotosintéticas.....	105
39.	Colocación de las muestras en el microscopio en lectura de 40x.....	105
40.	Imagen a 40 x y conteo de población fotosintética.....	106

# **Grado de eutrofización en el humedal “Laguna de Los Milagros” en el distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco, 2022**

## **RESUMEN**

La presente investigación evaluó el grado de eutrofización del humedal Laguna de los Milagros, ubicado en el distrito de Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú. Se caracterizaron los parámetros físicos (caudal, sólidos totales disueltos, temperatura, claridad y conductividad eléctrica) y químicos (pH, oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, nitritos, nitratos, clorofila-a y fósforo total) mediante muestreo en 20 puntos georreferenciados. Se utilizó la técnica de interpolación geoestadística por Kriging para modelar espacialmente los indicadores, y se aplicaron coeficientes de correlación de Pearson y Spearman para identificar relaciones significativas entre variables. Los resultados revelan un estado hipereutrófico generalizado, con altas concentraciones de nutrientes y clorofila-a, bajos niveles de oxígeno disuelto y fuerte correlación entre fósforo y biomasa algal. Este diagnóstico evidencia un deterioro ecológico severo, que compromete la calidad del agua y su uso ecosistémico, recomendándose medidas urgentes de gestión ambiental y monitoreo continuo.

**Palabras clave:** Eutrofización, humedal tropical, clorofila-a, fósforo total, interpolación Kriging, calidad de agua, Laguna de los Milagros.

**Trophic State of the “Laguna de Los Milagros” Wetland in the District of Pueblo Nuevo  
– Huánuco, 2022**

**ABSTRACT**

In the present research the degree of eutrophication of the Laguna de Los Milagros wetlands, located in the Pueblo Nuevo district of Huánuco, Peru was evaluated. The physical (flow, total dissolved solids, temperature, clarity, and electrical conductivity) and the chemical (pH, dissolved oxygen, DBO<sub>5</sub>, nitrites, nitrates, chlorophyll-a, and total phosphorous) parameters were evaluated through a sampling of twenty georeferenced points. The Kriging geostatistical interpolation technique was used to spatially model the indicators and the Pearson and Spearman coefficients of correlation were applied in order to identify significant relationships between the variables. The results revealed a generalized hypereutrophic state, with high concentrations of nutrients and chlorophyll-a, low levels of dissolved oxygen and a strong correlation between the phosphorous and algae biomass. This diagnostic evidenced a severe ecological deterioration, that compromised the water quality and its ecosystemic use; it is recommended that urgent measures be taken in the environmental management and continual monitoring.

**Keywords:** Eutrophication, tropical wetlands, chlorophyll-a, total phosphorous, Kriging interpolation, water quality, Laguna de Los Milagros

## I. INTRODUCCIÓN

El humedal “Laguna de los Milagros” constituye un ecosistema de gran valor ecológico y socioeconómico para el distrito de Pueblo Nuevo, en la región Huánuco. En la actualidad, su entorno se ve influenciado por actividades ganaderas, agrícolas, turísticas, piscícolas y el crecimiento poblacional, lo cual genera dinámicas de transformación en el uso del territorio y en la calidad ambiental del humedal. Estos procesos contribuyen al enriquecimiento progresivo de nutrientes en sus aguas, fenómeno conocido como eutrofización. En este contexto, resulta relevante determinar su estado trófico actual a fin de comprender las condiciones ecológicas del cuerpo de agua y contribuir a su gestión sostenible.

Las actividades humanas modifican diversos componentes de los ecosistemas, incluyendo el uso del suelo, la disponibilidad y calidad del agua, así como el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos. Estos cambios, a su vez, pueden alterar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrecen los humedales. Uno de los procesos más representativos de dichas transformaciones es la eutrofización, que consiste en el aumento de nutrientes como el nitrógeno y, especialmente, el fósforo, lo que favorece el crecimiento acelerado de organismos fotosintéticos como las algas. La abundancia de estos organismos puede modificar la estructura ecológica del humedal y generar efectos en cascada a nivel ambiental, sanitario y económico.

A escala global, la calidad del agua en ecosistemas acuáticos superficiales está condicionada por factores como el uso de fertilizantes, las escorrentías agrícolas, el vertimiento de aguas residuales y el cambio en los patrones hidrológicos. En ese marco, el fósforo se considera uno de los elementos clave debido a su rol como factor limitante en los sistemas acuáticos. Cuando se presenta en exceso, pierde esta función reguladora, lo que da lugar a procesos de proliferación de fitoplancton y reducción de oxígeno disuelto, entre otros efectos.

El caso de la “Laguna de los Milagros” responde a estas dinámicas observadas en otros sistemas lénticos a nivel nacional. Entre los factores que inciden en su equilibrio trófico se encuentran la descarga de aguas residuales sin tratamiento, así como el uso intensivo de fertilizantes en las áreas colindantes. Estas condiciones pueden comprometer la estabilidad ecológica del ecosistema acuático y modificar la diversidad de especies que lo habitan. En este sentido, resulta pertinente recurrir a metodologías validadas internacionalmente para la evaluación del estado trófico. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), por ejemplo, estableció desde la década de 1970 una clasificación trófica basada en indicadores como el fósforo total, nitrógeno total, clorofila-a y la transparencia del agua, medida

con el disco de Secchi. Dichos parámetros permiten caracterizar objetivamente el nivel de eutrofización de un cuerpo de agua y orientar acciones de conservación.

Por lo tanto, se plantea como interrogante del proyecto de investigación: ¿Cuál es el grado de eutrofización en el humedal Laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco, 2022?; y teniendo como hipótesis que el grado de eutrofización es alta en el humedal Laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco, 2022.

### **1.1. Objetivo General**

Evaluar el grado de eutrofización en el humedal Laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo – Huánuco, 2022.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros físicos y su comportamiento del: caudal, sólidos totales disueltos, temperatura y conductividad eléctrica en el humedal “Laguna de los Milagros” y contrastar con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes acuáticos.
- Determinar los parámetros químicos y su comportamiento del: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitritos, nitratos, clorofila (a) y fósforo total en el humedal “Laguna de los Milagros” y contrastar con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes acuáticos.
- Determinar el grado de eutrofización y su comportamiento en el humedal “Laguna de los Milagros” a partir de la determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico y medir el nivel de relación entre los indicadores.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Según Ledesma y Bonancea (2013), la eutrofización representa una problemática ambiental de gran relevancia, caracterizada por el incremento de nutrientes limitantes que estimulan el crecimiento excesivo de organismos fotosintéticos en los ecosistemas acuáticos. Aunque este fenómeno puede producirse de forma natural, suele estar intensificado por fuentes antropogénicas, principalmente a través de aportes de nitrógeno y fósforo. El fósforo, en particular, actúa como el principal regulador del crecimiento algal; sin embargo, su presencia en concentraciones elevadas elimina su efecto limitante, permitiendo una proliferación acelerada de fitoplancton, lo que genera un agotamiento del nitrógeno disponible y conlleva consecuencias ecológicas, sanitarias y económicas significativas. A escala mundial, la eutrofización ha sido reconocida como una de las mayores amenazas para la calidad del agua, siendo sus principales fuentes la escorrentía agrícola y las descargas domésticas sin tratamiento adecuado (ONU-DAES, 2014).

Por su parte, Granizo (2011) señala que el crecimiento de comunidades fotosintéticas acuáticas, como el fitoplancton, perifiton y zooplancton, está determinado por diversos factores limitantes, entre los cuales destacan la temperatura, la disponibilidad de luz, los nutrientes esenciales como nitratos y fosfatos, el pH y el tipo de sustrato. Estas variables influyen directamente en la estructura y dinámica de dichas comunidades.

En el caso del humedal “Laguna de los Milagros”, los estudios disponibles han sido escasos en cuanto a la identificación precisa del grado de contaminación del agua. Sin embargo, se han observado síntomas visibles de eutrofización, posiblemente vinculados a actividades humanas que se desarrollan en su entorno inmediato.

Diversos estudios científicos han abordado la eutrofización en cuerpos de agua lénticos, identificando sus causas, niveles y consecuencias ecológicas. Uno de los trabajos pioneros y ampliamente citado es el de Schindler (2006), quien demostró que el exceso de fósforo es el principal responsable de la eutrofización en lagos, recomendando controlar su ingreso para mitigar el problema. Complementando esta visión, Smith et al. (1999) profundizaron en los efectos sinérgicos del nitrógeno y el fósforo, destacando que ambos nutrientes promueven la proliferación de cianobacterias tóxicas en sistemas acuáticos lénticos. Más recientemente, los estudios de Paerl et al. (2016) reforzaron la necesidad de controlar simultáneamente estos nutrientes en lagos y humedales para prevenir estados de hipereutrofia. Por su parte, Moss et

al. (2011) exploraron las implicancias ecológicas de la eutrofización en lagos someros, indicando que incluso pequeños aumentos de nutrientes pueden inducir cambios de régimen ecológico irreversibles. En humedales urbanos, Dodds y Smith (2016) señalaron que las cargas difusas de nutrientes asociadas a la expansión urbana son responsables de la eutrofización crónica, afectando los servicios ecosistémicos. Asimismo, Carvalho et al. (2013) evaluaron más de 300 lagos europeos, estableciendo umbrales de clorofila-a y fósforo total para categorizar el estado trófico, lo cual contribuyó a estandarizar metodologías de monitoreo. Finalmente, Qin et al. (2020) analizaron lagunas de China y propusieron un modelo de gestión integrado basado en el monitoreo satelital de clorofila-a y la modelación de cargas internas y externas, reforzando el uso de tecnologías para el control de la eutrofización.

Estudios recientes han profundizado en la comprensión de la eutrofización en cuerpos de agua lénticos, destacando la influencia de factores ambientales y tecnológicos en su dinámica. Nasios (2025) desarrolló un enfoque innovador que integra datos de sensores remotos y modelos de inteligencia artificial para clasificar la severidad de las floraciones algales en pequeños cuerpos de agua interiores, utilizando imágenes de Sentinel-2 y datos climáticos de NOAA. Este método permite una detección más precisa y oportuna de eventos de eutrofización, facilitando la implementación de medidas de gestión adecuadas.

Por otro lado, Hessen et al. (2024) exploraron los puntos de inflexión en ecosistemas lacustres, identificando cómo la eutrofización, junto con el cambio climático, puede llevar a cambios abruptos e irreversibles en la estructura y función de los lagos. El estudio enfatiza la necesidad de monitorear indicadores clave para prevenir la degradación ecológica severa.

Además, Sahu et al. (2023) realizaron una revisión exhaustiva sobre el control de la calidad del agua en ecosistemas lénticos, destacando el papel de la eutrofización en la proliferación de floraciones algales nocivas y la importancia de implementar tecnologías como la aireación y el monitoreo en tiempo real para mitigar sus efectos.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Ambiente**

El concepto de ambiente engloba una amplia gama de componentes y relaciones, lo que dificulta su definición concreta. En términos generales, se refiere al conjunto de elementos — bióticos y abióticos— que conforman el entorno en el que interactúan los seres vivos. También suele denominarse medio ambiente, hábitat o entorno, y constituye un sistema dinámico susceptible de ser modificado por la acción humana. Este sistema influye directamente en las

condiciones de vida de las sociedades, regulando factores ecológicos, económicos y culturales (Sánchez & Pontes, 2010).

### **2.2.2. Contaminación Ambiental**

La contaminación ambiental se entiende como la alteración desfavorable de un medio natural, causada por la introducción de agentes físicos, químicos o biológicos —o una combinación de ellos—, generalmente como resultado de actividades humanas. El desarrollo industrial, el avance tecnológico y el crecimiento demográfico han contribuido significativamente a este proceso, generando impactos en los ecosistemas y afectando la salud humana, así como la vida de animales y plantas. Existen diversos tipos de contaminación, entre los que destacan: hídrica, atmosférica, edáfica, acústica, lumínica, térmica, visual, química, radiactiva y electromagnética. Todos estos tipos representan amenazas importantes para el equilibrio ambiental y pueden desencadenar consecuencias severas tanto a nivel ecológico como social (Durán, 2002).

### **2.2.3. El Agua**

El agua constituye un recurso vital y limitado. Aunque el 97,5 % del volumen total de agua en la Tierra es salada, solo el 2,5 % corresponde a agua dulce. De esta fracción, aproximadamente el 74 % se encuentra en glaciares y casquetes polares, mientras que tan solo el 0,3 % está disponible en lagos y ríos. Se estima que menos del 1 % del agua dulce superficial y subterránea es accesible para consumo humano directo. Según proyecciones, en los próximos 25 años, más de la mitad de la población mundial enfrentará dificultades para acceder a cantidades suficientes de agua dulce, tanto para el consumo como para la agricultura (PNUMA, 2003).

Además de su papel fundamental en la salud pública y el metabolismo humano —representando entre el 59 % y el 66 % del peso corporal—, el agua desempeña funciones esenciales en sectores como la agricultura, la minería, la industria y el abastecimiento doméstico. La evaluación de su calidad implica el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos, esenciales para garantizar su inocuidad. Desde una perspectiva ecológica, el agua es uno de los elementos abióticos más determinantes para el sostenimiento de la vida en el planeta (Tebbutt, 1998).

### **2.2.4. Escases de agua**

Diversos estudios científicos han determinado que la escasez de agua es uno de los principales desafíos del presente siglo, junto con el cambio climático. Desde la década de 1950

se ha observado un incremento en el consumo global de este recurso, mientras que, en los últimos 25 años, las reservas de agua dulce se han reducido en aproximadamente un 50 %. Si esta tendencia continúa, se estima que en los próximos 20 años el uso del agua aumentará en un 40 %, y que para el año 2025 más de 3.500 millones de personas podrían enfrentar problemas para acceder a este recurso esencial. Asimismo, se prevé que la población afectada por la escasez de agua superará los 3.000 millones de habitantes en ese mismo período (PNUMA, 2003).

#### **2.2.4.1. Calidad de agua**

Antes de su distribución y consumo, la calidad del agua debe ser evaluada en función del sistema de suministro. En su estado natural, el agua contiene diversas impurezas de origen físico, químico y microbiológico que pueden variar según su fuente. Cuando estas impurezas exceden los límites establecidos por la normativa sanitaria, el agua debe ser tratada para asegurar su potabilidad. De acuerdo con Lampoglia (2011), el agua destinada al consumo humano debe cumplir con los siguientes requisitos: estar libre de organismos patógenos, no contener compuestos nocivos para la salud, presentar características sensoriales aceptables (color, olor y sabor) y no generar efectos corrosivos o incrustaciones en las instalaciones sanitarias.

#### **2.2.5. Contaminación del agua**

La contaminación hídrica tiene múltiples orígenes. Según Aurazo (2004), una de las principales fuentes proviene de los desechos fecales de origen humano y animal, los cuales afectan la salud pública debido a su potencial patógeno. En este sentido, la vigilancia sanitaria se torna fundamental para proteger a las poblaciones.

##### **2.2.5.1. Contaminación por actividades humanas**

El uso cotidiano de productos como detergentes y sustancias químicas domésticas contribuye significativamente a la contaminación de cuerpos de agua cuando estos residuos son descargados en ríos, lagos o mares. Esta práctica habitual genera efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y reduce la disponibilidad de agua limpia (Aurazo, 2004).

##### **2.2.5.2. Contaminación por actividades agrícolas**

Contreras y Benítez (2013) destacan que el empleo frecuente de agroquímicos —como plaguicidas, herbicidas e insecticidas— en actividades agrícolas provoca alteraciones en los suelos y en los cuerpos de agua. Estas sustancias modifican el pH y favorecen procesos de

salinización, afectando tanto la estructura del suelo como la calidad del agua en las zonas de influencia agrícola.

### **2.2.6. Usos del agua**

El agua cumple un rol fundamental en el desarrollo de la vida y las actividades humanas. Hernández (2005) sostiene que su uso está condicionado por el destino final, ya sea doméstico, agrícola, industrial o ecológico. Esta demanda creciente se vincula al ciclo hidrológico y a la extracción del recurso desde acuíferos o fuentes superficiales. En este contexto, el agua es considerada un insumo esencial para el crecimiento poblacional y económico. Por su parte, el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA, 2010) clasifica los usos del agua según su finalidad, destacando su función en la salud, la producción y el equilibrio de los ecosistemas.

### **2.2.7. Humedal**

Los humedales son ecosistemas de transición entre ambientes terrestres y acuáticos que pueden estar sometidos a inundaciones temporales o permanentes, influenciadas o no por mareas. Se caracterizan por la presencia de suelos hídricos y vegetación hidrófila, ya sea estacional o continua. Esta definición, recogida en la legislación nacional, abarca diversos ambientes como pantanos, ciénagas y marismas, y ha sido ampliada para incluir ecosistemas no siempre considerados en clasificaciones tradicionales (López, 2002).

#### **2.2.7.1. Tipos de humedales**

Los humedales se clasifican según diversos criterios como la hidrología, la vegetación, la geomorfología y el sustrato. El sistema de Cowardin et al. (1979) los agrupa en cinco tipos principales: marinos, estuarinos, ribereños, lacustres y palustres. La Convención Ramsar propone una clasificación funcional basada en tres grandes grupos: humedales marino-costeros, continentales y artificiales. A nivel nacional, se reconocen tipos según su vegetación (como manglares, selvas inundables, y vegetación halófila) y su forma de vida (plantas sumergidas, flotantes, emergentes, etc.). En estados como Veracruz, se presentan múltiples tipos, aunque algunos, como humedales salinos o glaciales, tienen baja representatividad geográfica (López, 2002).

#### **2.2.7.2. Importancia de los humedales**

Los humedales desempeñan un rol esencial en el ciclo hidrológico al actuar como reguladores del flujo de agua y, en algunos casos, como fuentes de abastecimiento o tratamiento natural de aguas residuales. Además, contribuyen al equilibrio climático mediante la retención de calor y la regulación de emisiones atmosféricas. Su vegetación estabiliza el terreno, captura

sedimentos y nutrientes, y mitiga procesos de hundimiento del suelo. Estos ecosistemas también amortiguan impactos de eventos climáticos extremos y sirven como indicadores de zonas de riesgo para el desarrollo urbano, por su condición de terrenos inundables (López, 2002).

### **2.2.8. Características del agua**

El agua presenta propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan su calidad y aptitud para diferentes usos. Estas características se evalúan mediante diversos parámetros que permiten identificar cambios naturales o provocados por actividades antrópicas, contribuyendo al diagnóstico ambiental de cuerpos hídricos (Samboni et al., 2007).

#### **2.2.8.1. Parámetros fisicoquímicos del agua**

**Conductividad eléctrica:** Es la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, lo cual depende de la concentración, movilidad y tipo de iones presentes. Este parámetro permite estimar la mineralización del agua, su posible contaminación y su uso en riego, así como evaluar procesos geoquímicos del entorno (Faña, 2002).

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Indica la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación biológica de la materia orgánica en el agua. Se utiliza para evaluar el impacto de vertimientos domésticos e industriales sobre cuerpos receptores. Altos valores de DBO indican contaminación orgánica significativa (Davis & Cornwell, 1998; PREQB, 2004).

**Oxígeno disuelto (OD):** Es esencial para la vida acuática. Su concentración se ve influida por la fotosíntesis, el intercambio con el aire y la temperatura. Valores bajos de OD indican condiciones anaeróbicas desfavorables, mientras que niveles superiores a 5 mg/L son indicativos de buena calidad (PREQB, 2004).

**pH:** Mide la acidez o alcalinidad del agua en una escala de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro, valores menores indican acidez y mayores, alcalinidad. El pH influye en la solubilidad y toxicidad de diversos contaminantes (EPA, 2007).

**Sólidos Disueltos Totales (STD):** Representan la cantidad de materia orgánica e inorgánica disuelta o suspendida en el agua. Incluyen partículas coloidales, sedimentos y compuestos moleculares, y afectan la turbidez, el sabor y la conductividad del agua (Davis & Cornwell, 1998).

**Temperatura:** Influye directamente en la solubilidad del oxígeno, la velocidad de reacciones químicas y el metabolismo de los organismos acuáticos. Cambios bruscos de

temperatura pueden alterar el equilibrio ecológico de los ecosistemas hídricos (Davis & Cornwell, 1998).

**Nitratos y nitritos:** Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) representan la forma más oxidada del nitrógeno y son indicadores de contaminación agrícola o urbana. No deben superar los 5 mg/L. Los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) son productos intermedios de la descomposición de materia orgánica y se consideran indicadores de contaminación bacteriológica (Gaibor, 2005).

**Fósforo total:** Engloba todas las formas del fósforo (orgánico e inorgánico, disuelto y particulado). Es un nutriente limitante que, en exceso, favorece la eutrofización. Su concentración no debe superar 1 mg/L en cuerpos de agua superficiales (PREQB, 2004).

**Clorofila-a:** Es un pigmento presente en algas y plantas fotosintéticas que indica la biomasa fitoplanctónica. Se utiliza como indicador indirecto del estado trófico de los ecosistemas acuáticos (Carlson, 1997; CPISCA, 1990; Cataluña, 2003).

**Transparencia:** Determina la penetración de la luz en el agua, afectada por sólidos suspendidos y fitoplancton. En ambientes eutróficos, la transparencia es baja, lo que limita la fotosíntesis en zonas profundas y reduce la producción de oxígeno por flora béntica (Velásquez & Jiménez, 2007; Moreta, 2008).

### **2.2.9. Estándares de Calidad Ambiental del Agua para la Conservación de Lagunas en la Selva**

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua son herramientas normativas esenciales que establecen los valores máximos permisibles de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos en cuerpos de agua, con el objetivo de preservar la salud humana y el equilibrio ecológico. En el contexto de la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, se busca proteger ecosistemas acuáticos frágiles, como las lagunas y lagos de la selva peruana, asegurando condiciones óptimas para la biodiversidad y los procesos ecológicos naturales.

A continuación, se detallan los valores establecidos para los parámetros fisicoquímicos relevantes en la conservación de lagunas y lagos en la selva:

Parámetros Físico-Químicos:

- pH: Rango permitido entre 6.5 y 9.0 unidades.
- Oxígeno Disuelto (OD): Mínimo de 5 mg/L.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): Máximo de 5 mg/L.

- Fósforo Total: Máximo de 0.035 mg/L.
- Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>): Máximo de 13 mg/L.
- Nitrógeno Total: Máximo de 0.315 mg/L.
- Clorofila-a: Máximo de 0.008 mg/L.
- Conductividad Eléctrica: Máximo de 1,000 µS/cm.
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): Máximo de 25 mg/L.
- Temperatura: Variación máxima permitida de ±3°C respecto a la temperatura natural del cuerpo de agua.

Nota: Los parámetros como caudal, sólidos totales disueltos (STD), claridad y nitritos no tienen valores específicos establecidos en el ECA para esta categoría. Sin embargo, su monitoreo es crucial para una evaluación integral de la calidad del agua y la salud del ecosistema.

#### **2.2.10. Eutrofización**

La eutrofización es uno de los principales procesos responsables del deterioro de la calidad del agua en sistemas acuáticos lénticos. Se produce como consecuencia del incremento de nutrientes —principalmente nitrógeno y fósforo—, lo que genera un crecimiento excesivo de fitoplancton. Este aumento de biomasa provoca una disminución del oxígeno disuelto debido a la descomposición de la materia orgánica por bacterias aeróbicas, generando condiciones hipóxicas o anóxicas que afectan gravemente a la biota acuática. Este fenómeno, en muchos casos, puede resultar irreversible y limita el uso del agua para fines como la pesca, el recreo, la industria y el consumo humano. La descarga continua de residuos sólidos y líquidos en lagos y lagunas ha intensificado esta problemática a nivel global (Abella & Martínez, 2012).

#### **2.2.11. Proceso de Eutrofización**

El proceso de eutrofización consiste en la incorporación excesiva de nutrientes a cuerpos de agua, lo que promueve el crecimiento acelerado de algas. Una vez muertas, estas se depositan en el fondo, donde su descomposición consume grandes cantidades de oxígeno, afectando a los organismos acuáticos y pudiendo llevar a la desaparición total de la vida en el sistema afectado. Las algas proliferan bajo condiciones favorables como temperaturas elevadas, abundante radiación solar y disponibilidad de nutrientes (Romero, 2002).

#### **2.2.11.1. Estado trófico**

El estado trófico se refiere a la cantidad total de biomasa (principalmente algas) en un cuerpo de agua en un momento determinado. Este estado representa la respuesta biológica a la incorporación de nutrientes y puede verse influenciado por factores como la estacionalidad, la profundidad de mezcla del agua y la interacción entre especies. Debido a su complejidad, se reconoce que un único indicador no es suficiente para describir plenamente el estado trófico de un ecosistema acuático (NALMS, 2015; Moreno & Ramírez, 2010).

#### **2.2.11.2. Estado oligotrófico**

Los cuerpos de agua oligotróficos contienen concentraciones muy bajas de nutrientes, especialmente fósforo, lo que limita la producción primaria. Presentan aguas limpias, baja biomasa algal (baja clorofila-a), y elevados niveles de oxígeno disuelto durante todo el año, lo que permite el desarrollo de comunidades acuáticas saludables (Government of Alberta, 2015).

#### **2.2.11.3. Estado meso trófico**

Se refiere a ecosistemas acuáticos con productividad intermedia, es decir, entre los extremos oligotrófico y eutrófico. Presentan aguas moderadamente claras y una biomasa vegetal moderada. Estos cuerpos contienen niveles intermedios de nutrientes que pueden favorecer el desarrollo de algas y plantas acuáticas (Dodds, 2007; Peñaherrera, 2010).

#### **2.2.11.4. Estado eutrófico**

Se caracteriza por elevadas concentraciones de nutrientes, lo que provoca una alta producción primaria, proliferación de algas, turbidez del agua y disminución del oxígeno disuelto, lo que afecta negativamente a la vida acuática (EPA, 2012).

#### **2.2.12. Índice de estado trófico de Carlson**

El Índice de Estado Trófico (IET), propuesto por Carlson en 1977, constituye una herramienta ampliamente utilizada para evaluar la calidad del agua en ecosistemas lénticos, especialmente lagos y embalses, a partir de su nivel de productividad biológica, representada principalmente por la biomasa algal. Este índice se fundamenta en parámetros limnológicos clave como la transparencia del agua (estimada mediante la profundidad de visibilidad del disco de Secchi), la concentración de clorofila-a (como indicador directo de fitoplancton) y el fósforo total (principal nutriente limitante en ambientes acuáticos). Su escala logarítmica, que va de 0 a 100, permite establecer de forma cuantitativa el estado trófico, donde cada incremento de 10 unidades implica una duplicación aproximada en la biomasa algal, facilitando así

comparaciones ecológicas entre distintos cuerpos de agua.

Originalmente, este índice fue concebido para lagos de regiones templadas del hemisferio norte, lo que limitaba su aplicabilidad directa en ecosistemas tropicales, que presentan características climáticas, hidrológicas y ecológicas distintas. En respuesta a esta limitación, Toledo Jr. et al. (1985) realizaron una adaptación metodológica del Índice de Estado Trófico (IET), ajustando las fórmulas matemáticas y los rangos de interpretación para condiciones tropicales, con el fin de reflejar de manera más precisa la dinámica trófica en climas cálidos como los de la Amazonía. Esta versión modificada del índice ha demostrado ser especialmente útil para el monitoreo de lagunas, humedales y otros ecosistemas acuáticos selváticos, permitiendo una evaluación más contextualizada del grado de eutrofización con base en la concentración de nutrientes y la productividad primaria (Moreno et al., 2010).

Claridad del agua (SD) (m) Ecuación... (I)

$$TSI_{SD} = 60 - 14.41 \cdot \ln(SD)$$

Fosforo total (TP) ( $\mu\text{g/L}$ ) Ecuación... (II)

$$TSI_{TP} = 14.42 \cdot \ln(TP) + 4.15$$

Clorofila a (Chl-a) ( $\mu\text{g/L}$ ) Ecuación... (III)

$$TSI_{Chl-a} = 9.81 \cdot \ln(Chl-a) + 30.6$$

Tabla 1. Interpretación del TSI

TSI	Clasificación trófica	Descripción
< 30	Oligotrófico	Agua clara, baja productividad
30–50	Mesotrófico	Productividad moderada
51–70	Eutrófico	Alta productividad, riesgo de floraciones
> 70	Hipereutrófico	Floraciones intensas, riesgo de anoxia

Fuente: Carlson (1979)

### 2.2.13. Índice de Estado Trófico Modificado por Toledo (1985)

El Índice de Estado Trófico Modificado (IETm), desarrollado por Toledo Jr. et al.

(1985), constituye una adaptación del modelo propuesto originalmente por Carlson, ajustada para evaluar más eficazmente lagos y embalses ubicados en regiones tropicales. Esta versión modificada emplea tres parámetros clave: la transparencia del agua (S), la concentración de fósforo total (P) y los niveles de clorofila-a activa (CL), como indicadores para estimar el estado trófico de cuerpos lénticos (Velásquez et al., 2007).

A diferencia del índice original, que fue concebido para ambientes templados, el IETm reconoce que los ecosistemas acuáticos tropicales presentan una mayor tasa de productividad biológica. Esto se debe a su capacidad elevada de asimilación y transformación de nutrientes, resultado de condiciones ambientales más estables y cálidas. Por ello, los umbrales utilizados para clasificar los estados tróficos —oligotrófico, mesotrófico y eutrófico, son más altos en comparación con los valores aplicables a ecosistemas de climas fríos (Granizo, 2011).

El uso del índice de Toledo permite una evaluación más precisa del grado de eutrofización en humedales y lagunas amazónicas, facilitando su monitoreo y conservación desde una perspectiva ecológica adaptada a condiciones tropicales.

### 1) Índice por Clorofila-a

$$TSI_{Chl-a} = 10 \left[ 6 - \frac{\ln(79.7/Chl-a)}{\ln(2)} \right]$$

- **Chl-a** = Clorofila-a en  $\mu\text{g/L}$
- Este parámetro es el **más representativo** del estado trófico, ya que estima la biomasa algal directamente.

### 2) Índice por Transparencia (Disco Secchi)

$$TSI_{SD} = 10 \left[ 6 - \frac{\ln(SD/5.0)}{\ln(2)} \right]$$

- **SD** = Profundidad de visibilidad en metros (Disco de Secchi)

### 3) Índice por Fósforo Total (TP)

$$TSI_{TP} = 10 \left[ 6 - \frac{\ln(0.05/TP)}{\ln(2)} \right]$$

- **TP** = Fósforo total en mg/L

Tabla 2. Clasificación trófica según Toledo (1985)

<b>TSI</b>	<b>Categoría</b>	<b>Estado trófico</b>
0–30	Oligotrófico	Muy baja productividad
31–50	Mesotrófico	Productividad moderada
51–70	Eutrófico	Alta productividad
71–100	Hipereutrófico	Muy alta, degradación

Fuente: Toledo et al. (1985)

#### **2.2.14. Kriging aplicada a estudios de eutrofización**

El Kriging es un método geoestadístico de interpolación espacial que permite estimar valores de una variable ambiental en puntos no muestreados, a partir de un conjunto de observaciones puntuales y su correlación espacial. Su fundamento se basa en la teoría de procesos estocásticos regionalizados, en la cual se asume que las variables ambientales, como la turbidez, el fósforo total, la clorofila-a o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), presentan una dependencia espacial que puede ser modelada mediante un semivariograma (Goovaerts, 1997).

En el contexto de los estudios de eutrofización de humedales y lagunas, el Kriging permite construir mapas continuos de concentración de nutrientes y parámetros de calidad de agua, identificando zonas críticas de proliferación de algas o acumulación de materia orgánica. Esto es fundamental para evaluar el grado de eutrofización en ecosistemas acuáticos como la Laguna de los Milagros, ya que posibilita una representación más realista de la heterogeneidad espacial de los parámetros fisicoquímicos, superando las limitaciones de la interpolación determinística (por ejemplo, IDW).

Además, Kriging no solo estima valores, sino que también proporciona una medida de la incertidumbre de predicción, lo que resulta valioso para la gestión ambiental y la toma de decisiones. Su aplicación en estudios limnológicos y de calidad de agua contribuye a la generación de mapas temáticos de riesgo ambiental, útiles para diseñar estrategias de mitigación y conservación de humedales afectados por la presión antrópica y la contaminación difusa.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación Geográfica

La investigación se llevó a cabo en el humedal Laguna de los Milagros, ubicado en el caserío Los Milagros, a una distancia aproximada de 22 kilómetros al sureste de la ciudad de Tingo María. Geográficamente, se localizó en la zona 18L, con coordenadas UTM Este: 390676 y Norte: 8989031, a una altitud de 679 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.). El humedal presenta una superficie aproximada de 50 hectáreas, constituyéndose como un ecosistema léntico representativo de la región selvática.

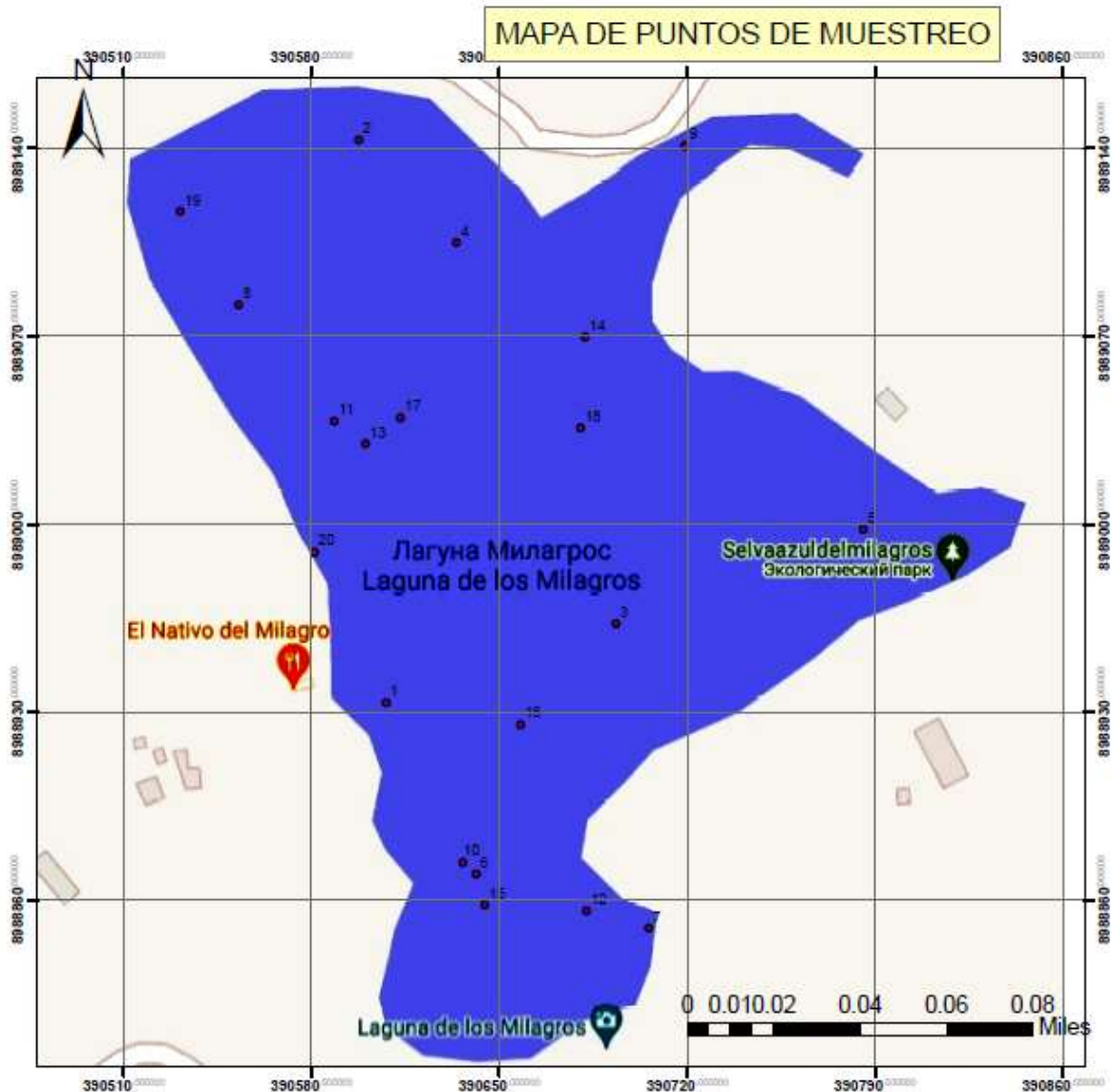


Figura 1. Mapa de puntos de muestreo en la Laguna de Los Milagros

Tabla 3. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

Punto	Este	Norte	Punto	Este	Norte
1	390608	8988933	11	390589	8989038
2	390598	8989143	12	390683	8988856
3	390694	8988963	13	390600	8989030
4	390634	8989105	14	390682	8989070
5	390786	8988998	15	390645	8988858
6	390641	8988870	16	390658	8988925
7	390706	8988849	17	390613	8989040
8	390553	8989081	18	390681	8989036
9	390719	8989141	19	390531	8989116
10	390637	8988874	20	390581	8988989

### 3.1.2. Ubicación Política

El humedal Laguna de los Milagros se encuentra ubicado políticamente en el departamento de Huánuco, dentro de la provincia de Leoncio Prado, específicamente en el distrito de Pueblo Nuevo, en la zona conocida como sector Los Milagros.

## 3.2. Materiales, herramientas y equipos

### 3.2.1. Materiales

Frasco de vidrio de 500 mL con tapa hermética, caja de Tecnopor, etiquetas, vaso precipitado, agua destilada, picetas, probeta de 100 mL, placa Petri, marcador indeleble, libreta de apuntes, mandil, cubre boca, guantes descartables, gorra, plumón indeleble, gradilla, cámara de Neubauer y malla para la toma de muestra para la cuantificación fitopláctónica.

### 3.2.2. Equipos y software

Se utilizaron los siguientes equipos: Celular Samsung A50 – Aplicación (mapa coordenadas y timestamp cámara free), Laptop HP Probook G650; asimismo se empleó el paquete de software de Microsoft Office 2019. Multiparametro – Modelo HANNA, termómetro digital, peachimetro HANNA - HI98128, oxímetro marca LAMOTTE DO6PLUS, Kit Nitrato Hanna, kit nitrito Hanna, kit de fosfatos Hanna, disco Secchi, Medidor TDS digital, Cámara fotografía (Sony), GPS Garmin MAP62s, cooler, refrigeradora y microscopio.

### **3.3. Criterios de investigación**

#### **3.3.1. Nivel de investigación**

La investigación se desarrolló con un nivel descriptivo–relacional, ya que se centró en caracterizar las condiciones fisicoquímicas del humedal Laguna de los Milagros mediante el análisis de muestras de agua, con énfasis en los indicadores relacionados con el grado de eutrofización. Se evaluaron parámetros como el caudal, sólidos totales disueltos (STD), temperatura, claridad, conductividad eléctrica (CE), pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitritos, nitratos, clorofila-a y fósforo total. Posteriormente, se aplicó la técnica geoestadística de kriging, lo cual permitió modelar espacialmente la distribución de los parámetros evaluados en la laguna. Asimismo, se realizó un análisis relacional entre dichas variables empíricas para identificar patrones o correlaciones significativas. Este nivel de investigación se fundamenta en lo señalado por Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes afirman que los estudios descriptivos y relacionales tienen como propósito recolectar y analizar información sobre variables específicas, así como examinar las relaciones que pueden establecerse entre ellas sin necesariamente llegar a una explicación causal.

#### **3.3.2. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo aplicada, dado que recurrió a fundamentos teóricos y conocimientos científicos de las ciencias físicas, químicas y biológicas, con el propósito de contribuir a la solución del problema de contaminación del agua. Según Murillo (2008), este tipo de investigación se orienta a la utilización del conocimiento existente, así como a la generación de nuevo conocimiento a través de la implementación y sistematización de prácticas fundamentadas en la investigación, lo que permite abordar la realidad de forma rigurosa, organizada y metódica.

#### **3.3.3. Variable de investigación**

Variable X: Eutrofización

Variable Y: Humedal “Laguna de Los Milagros”

Variable interviniente: Distrito de pueblo nuevo, factores climáticos, número de turistas que visitan la Laguna

#### **3.3.4. Diseño de investigación**

El diseño metodológico de la investigación fue de tipo no experimental, ya que no se manipularon deliberadamente las variables empíricas, sino que se observó y analizó el comportamiento natural de las variables empíricas dentro del ecosistema acuático. En este caso,

se adoptó un diseño transversal, dado que la recolección de datos se realizó en un solo momento del tiempo, permitiendo así una “fotografía” del estado de eutrofización en la Laguna de los Milagros durante el periodo de estudio. A su vez, el diseño fue descriptivo, porque permitió caracterizar cuantitativamente los parámetros físico-químicos del agua, y causal, en la medida en que se buscaron asociaciones y posibles relaciones entre variables como caudal, temperatura, sólidos disueltos, pH, fósforo total, entre otros, para entender su influencia en el grado de eutrofización. Este diseño permitió observar patrones de comportamiento sin alterar el entorno, brindando una base sólida para el análisis espacial y relacional mediante interpolación Kriging y pruebas de correlación entre variables.

### 3.3.5. Población y muestra

**La población** estuvo conformada por todos los posibles puntos de muestreo del agua del humedal “Laguna de los Milagros”, ubicado en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Dado que el cuerpo de agua es continuo y los parámetros pueden variar espacialmente, se consideró a esta población como infinitamente grande en términos operativos, ya que resulta inviable realizar mediciones en cada punto del área superficial de la laguna.

**La muestra** estuvo constituida por 20 puntos de muestreo, seleccionados mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple, distribuidos homogéneamente en la superficie del humedal. En cada punto se recolectaron muestras de agua para el análisis de parámetros físicos (caudal, sólidos totales disueltos, temperatura, conductividad eléctrica) y químicos (pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno - DBO5, nitritos, nitratos, fósforo total y clorofila a), con el objetivo de evaluar el grado de eutrofización; para la determinación del tamaño de muestra se usó la siguiente fórmula:

$$n = \left( \frac{Z^2 \cdot CV^2}{E^2} \right)$$

n = tamaño de la muestra (19,45  $\simeq$  20)

Z = valor del nivel de confianza (1,96 para 95%)

CV = coeficiente de variación (en forma decimal, por ejemplo 0,225 para 22,5%)

E = error relativo permitido (0,10 para 10%)

El tipo de muestreo empleado fue probabilístico, lo que garantizó que cada punto dentro del área de estudio tuviera la misma probabilidad de ser seleccionado, reduciendo así el sesgo

y aumentando la representatividad de los resultados. Las muestras de agua fueron recolectadas mediante una distribución aleatoria en distintos puntos estratégicos de la Laguna de los Milagros, cubriendo homogéneamente la superficie del cuerpo de agua. Esta estrategia permitió obtener una cobertura espacial adecuada para la interpolación de datos y la generación de mapas mediante técnicas geoestadísticas, lo cual fue esencial para analizar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y evaluar el grado de eutrofización a nivel espacial.

### **3.3.6. Técnicas e instrumento de investigación**

La **técnica** principal utilizada fue la observación directa no experimental, aplicada en 20 puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente en el área del humedal “Laguna de los Milagros”. Esta técnica permitió registrar in situ los parámetros físicos y químicos relacionados con el proceso de eutrofización. Como **instrumento** de recolección se empleó una ficha de registro o lista de control de datos, en la cual se anotaron los valores obtenidos mediante sensores multiparámetro y análisis de laboratorio. Complementariamente, se aplicó la técnica de análisis documental, mediante una ficha de revisión bibliográfica para contextualizar los resultados en base a normativa ambiental y estudios previos relevantes.

### **3.3.7. Análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en los 20 puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente en la Laguna de los Milagros, se emplearon técnicas de estadística descriptiva, con el propósito de caracterizar el comportamiento de los parámetros físicos (caudal, sólidos totales disueltos, temperatura, conductividad eléctrica) y químicos (pH, oxígeno disuelto, DBO5, nitritos, nitratos, fósforo total y clorofila a). Los estadígrafos utilizados fueron el promedio (como medida de tendencia central), la varianza y la desviación estándar (como indicadores de dispersión), así como el coeficiente de variación (CV), el cual permitió expresar la variabilidad relativa de cada parámetro en términos porcentuales respecto a su media, lo cual es útil para comparar la homogeneidad entre indicadores con diferentes unidades.

Asimismo, para evaluar espacialmente el comportamiento de los parámetros medidos dentro del área del humedal, se aplicó el método de interpolación geoestadística por kriging. Esta técnica se basa en modelos de semivarianzas y permite estimar valores de una variable en ubicaciones no muestreadas, considerando la correlación espacial entre los puntos de muestreo. A diferencia de otras técnicas de interpolación, el kriging no solo toma en cuenta la distancia entre puntos, sino también la estructura de dependencia espacial de los datos, generando mapas

predictivos con un error mínimo estimado. De esta manera, se obtuvo una visualización continua de la distribución de parámetros como la turbidez, la concentración de nutrientes o la clorofila, lo cual facilita la identificación de zonas críticas con mayor grado de eutrofización.

Finalmente, para analizar las relaciones entre las variables de estudio, se realizaron análisis de correlación bivariada. En los casos en que los datos cumplieron con los supuestos de normalidad (evaluados mediante la prueba de Shapiro-Wilk), se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, el cual mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Para aquellos indicadores que no presentaron una distribución normal, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman, una medida no paramétrica que evalúa la asociación monótona entre variables ordinales o cuantitativas sin requerir normalidad. Estos análisis permitieron determinar la existencia y magnitud de relaciones significativas entre parámetros fisicoquímicos vinculados al proceso de eutrofización.

Tabla 4. Prueba de normalidad de los indicadores en estudio

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Comportamiento de los datos</b>	<b>Coefficiente de correlación</b>
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	No normal	Spearman
STD (mg/L)	No normal	Spearman
Temperatura (°C)	No normal	Spearman
Claridad (m)	No normal	Spearman
Conductividad eléctrica (μS/cm)	No normal	Spearman
pH	Normal	Pearson
OD (mg/L)	Normal	Pearson
DBO5 (mg/L)	Normal	Pearson
Nitritos (mg/L)	Normal	Pearson
Nitratos (mg/L)	No normal	Spearman
Clorofila (a) (mg/L)	No normal	Spearman
Fosforo total (mg/L)	Normal	Pearson
IET Total - Carlson	Normal	Pearson
IET Total - Toledo	Normal	Pearson

### **3.4. Metodología**

#### **3.4.1. Determinación de parámetros físico del agua de la Laguna de Los Milagros y su comportamiento**

##### **3.4.1.1. Dibujo geográfico del área de la Laguna de Los Milagros**

Para la delimitación del área de estudio se empleó el software QGIS (versión actualizada), utilizando imágenes satelitales y capas vectoriales en formato Shapefile (.shp). A partir de esta herramienta se elaboró el dibujo geográfico del contorno superficial de la Laguna de los Milagros, localizada en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, Huánuco. Este procedimiento permitió georreferenciar el cuerpo de agua y establecer una base cartográfica confiable que sirvió como soporte para el diseño de muestreo, garantizando una adecuada distribución espacial de los puntos de medición dentro del humedal.

##### **3.4.1.2. Determinación de los puntos a muestrear**

La definición de los puntos de muestreo se realizó también en el entorno de QGIS, aplicando un procedimiento de muestreo aleatorio simple sobre el área delimitada del humedal. Se generaron 20 puntos distribuidos de forma aleatoria, buscando representar homogéneamente las distintas zonas del cuerpo léntico (centro, orillas, zonas de entrada y salida de agua), con el objetivo de capturar la variabilidad espacial de los parámetros fisicoquímicos vinculados al proceso de eutrofización.

##### **3.4.1.3. Identificación en campo de los puntos a muestrear**

La verificación y localización en campo de los puntos definidos en gabinete se llevó a cabo mediante el uso de un receptor GPS de alta precisión, el cual permitió ubicar con exactitud las coordenadas de cada estación de muestreo. Para acceder a las zonas lacustres profundas, se realizó el alquiler de una embarcación menor (bote), garantizando el desplazamiento hacia todos los puntos planificados. Durante esta fase, se implementaron todas las medidas de seguridad requeridas, incluyendo el uso de chalecos salvavidas, elementos de protección personal, y la asistencia de personal técnico capacitado. Esta etapa constituyó el reconocimiento y confirmación de campo de la viabilidad de los puntos seleccionados.

##### **3.4.1.4. Recolección de muestras de agua**

La recolección de muestras de agua se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la Guía para el Monitoreo de la Calidad de Agua en Cuerpos Lénticos publicada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2011). Se utilizó equipo de muestreo estandarizado para

cuerpos de agua superficiales, tomando muestras a aproximadamente 30 cm de profundidad con ayuda de recipientes estériles de polietileno, siguiendo procedimientos que evitan la contaminación cruzada. Las muestras fueron rotuladas y conservadas bajo condiciones de refrigeración (4 °C), utilizando neveras portátiles con hielo para su traslado al laboratorio, conforme a lo estipulado por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Agua. La frecuencia del muestreo fue puntual, pero representativa del estado trófico durante la época de análisis.

#### **3.4.1.5. Parámetros físicos**

##### 1) Caudal

El caudal (Q) se estimó aplicando el método de sección-velocidad, de acuerdo con los criterios establecidos por la ANA. Se dividió transversalmente el cuerpo de agua en secciones verticales y se midió la velocidad media del flujo en cada sección usando un molino hidrométrico o flujómetro, multiplicando por el área correspondiente de cada sub-sección para obtener el caudal parcial. Finalmente, se sumaron los caudales parciales para estimar el caudal total en la sección de interés. Aunque es un cuerpo léntico, este procedimiento se aplicó en las zonas de entrada o salida de agua donde hay flujo apreciable.

##### 2) Sólidos Totales Disueltos (STD)

Los sólidos totales disueltos (mg/L) se determinaron según el método establecido en el ECA Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM), empleando un medidor multiparamétrico HANNAN modelo HI 98128 portátil calibrado, que estima el valor a partir de la conductividad eléctrica, mediante una correlación estándar. Este parámetro permite identificar la concentración de sales minerales y compuestos disueltos en el agua.

##### 3) Temperatura

La temperatura (°C) del agua fue medida in situ con un termómetro digital integrado al equipo multiparamétrico, siguiendo el procedimiento recomendado por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA Agua). La temperatura influye directamente en la solubilidad del oxígeno y en los procesos biológicos del ecosistema.

##### 4) Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) se midió también mediante el multiparámetro HANNAN modelo HI 98128 portátil, de acuerdo con los lineamientos de medición de campo

recomendados por el ECA Agua. Este parámetro indica la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionado con la presencia de sales disueltas.

#### 5) Transparencia del agua

La transparencia del agua se determinó mediante el uso del disco de Secchi, un instrumento estandarizado que permite estimar la profundidad de penetración de la luz solar en la columna de agua, lo cual es un indicador indirecto de la turbidez, la concentración de fitoplancton y el posible estado trófico del ecosistema. El procedimiento consistió en introducir verticalmente el disco en el agua desde una embarcación, alejándose de zonas con sombra o vegetación que pudiera interferir con la visibilidad. Se registró la profundidad a la que el disco dejó de ser visible al ojo humano desde la superficie, y posteriormente la profundidad a la que volvió a ser visible al levantarlo lentamente. El valor final de transparencia se obtuvo promediando ambas lecturas. Este método, aunque no está normado explícitamente por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático (D.S. N.º 004-2017-MINAM), es ampliamente reconocido en estudios limnológicos y ambientales, siguiendo las directrices de la APHA (2017) y la NTP 568.411. La medición se realizó en condiciones diurnas estables, entre las 10:00 a. m. y 2:00 p. m., para asegurar una lectura adecuada bajo máxima incidencia solar.

#### **3.4.1.6. Contraste de los parámetros físicos con los ECAS agua**

Una vez obtenidos los valores de los parámetros físicos en los 20 puntos de muestreo del humedal “Laguna de los Milagros”, se realizó el contraste con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Esta categoría está orientada a proteger la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y resulta adecuada para cuerpos de agua como humedales y lagunas naturales, donde se busca mantener condiciones óptimas para la flora y fauna acuática.

El procedimiento consistió en comparar los valores observados de caudal (en zonas de entrada y salida), sólidos totales disueltos (STD), temperatura del agua y conductividad eléctrica (CE) con los límites establecidos por dicha normativa. Este análisis permitió identificar si alguno de los parámetros superaba los niveles aceptables, lo que indicaría una posible alteración del equilibrio físico del ecosistema. En los casos en que los valores excedieron los estándares normativos, se consideraron como indicadores de riesgo ambiental, permitiendo contextualizar los resultados dentro de un marco legal y técnico de referencia.

### **3.4.1.7. Comportamiento de los parámetros físicos en el área de la Laguna de Los Milagros**

Para analizar el comportamiento espacial de los parámetros físicos medidos en los diferentes puntos del humedal, se empleó la técnica de interpolación geoestadística por Kriging, a través del software R (versión actualizada), utilizando paquetes especializados como gstat, sp, raster y automap. Esta técnica permite estimar los valores de una variable continua en zonas donde no se realizaron mediciones, basándose en la correlación espacial entre los puntos muestreados.

El método de Kriging parte de la construcción de un semivariograma experimental, el cual modela la estructura de dependencia espacial de los datos. Posteriormente, se ajusta un modelo teórico (esférico, exponencial o gaussiano) que permite realizar estimaciones en una grilla continua que cubre toda el área del humedal. Esta técnica ofrece ventajas frente a otros métodos de interpolación, ya que minimiza el error cuadrático medio de predicción y proporciona mapas precisos de distribución espacial, los cuales facilitan la identificación de zonas críticas de mayor concentración o alteración física. Este análisis permitió visualizar con mayor claridad la heterogeneidad espacial del caudal (en entradas y salidas), la variabilidad de sólidos disueltos, la distribución térmica del agua, y la conductividad eléctrica, sirviendo como insumo clave para la evaluación del grado de alteración ambiental del ecosistema.

### **3.4.2. Determinación de parámetros químicos del agua de la Laguna de Los Milagros y su comportamiento**

#### **3.4.2.1. Parámetros químicos**

Los parámetros químicos analizados en el presente estudio fueron: pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5), nitritos, nitratos, fósforo total y clorofila a, en concordancia con los lineamientos establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, según el D.S. N.º 004-2017-MINAM. A continuación, se detallan los métodos utilizados para la determinación de cada uno de ellos:

- 1) pH: Medido in situ con un potenciómetro digital o equipo multiparamétrico portátil, calibrado previamente. Este parámetro se determina según la metodología indicada en la Norma Técnica APHA 4500-H<sup>+</sup> B.
- 2) Oxígeno disuelto (OD): Determinado también in situ mediante sensor óptico o electrodo galvánico del equipo multiparamétrico utilizando el Oxímetro HANNA modelo HI

98128 debidamente calibrado, conforme al método APHA 4500-O G (método electroquímico de membrana).

- 3) DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días): Cuantificada en laboratorio mediante el método APHA 5210 B, el cual implica incubación de las muestras durante 5 días a 20 °C, midiendo la disminución de OD, y utilizando el oxímetro de membrana HANNA modelo HI 9146 debidamente calibrado.
- 4) Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ): Determinados por espectrofotometría con el método de diazotización (APHA 4500- $\text{NO}_2^-$  B), el cual implica la formación de un complejo coloreado cuantificable por absorbancia.
- 5) Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ): Cuantificados mediante espectrofotometría, luego de la reducción del nitrato a nitrito utilizando el método APHA 4500- $\text{NO}_3^-$  E.
- 6) Fósforo total (Pt): Analizado mediante digestión ácida de la muestra y posterior determinación colorimétrica por el método de ácido ascórbico, según APHA 4500-P E.
- 7) Clorofila a: Determinada a partir de muestras de fitoplancton recolectadas por filtración, con posterior extracción con acetona y medición por espectrofotometría, conforme a la Norma NTP 568.411 y APHA 10200 H.

#### **3.4.2.2. Comparación de los parámetros químicos con los ECAS**

Los resultados obtenidos para los parámetros químicos fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, con el objetivo de evaluar el nivel de cumplimiento de la calidad del agua en función de su aptitud ecológica. Este contraste normativo permitió identificar aquellos puntos de muestreo donde se evidencian posibles excedencias, lo que representa una alteración del equilibrio químico del ecosistema acuático. Los parámetros que superaron los valores máximos establecidos fueron señalados como indicadores de presión ambiental y riesgo de eutrofización.

#### **3.4.2.3. Comportamiento de los parámetros químicos en el área de la Laguna de Los Milagros**

Para analizar la distribución espacial de los parámetros químicos en el humedal, se aplicó la técnica de interpolación por Kriging, utilizando el software estadístico R y los paquetes especializados gstat, sp, sf, raster y automap. Esta técnica permite estimar valores intermedios en áreas no muestreadas, basándose en la dependencia espacial entre las muestras a través de la

construcción de un semivariograma.

El proceso consistió en:

- 1) Georreferenciar los 20 puntos de muestreo con coordenadas GPS.
- 2) Construir los semivariogramas experimentales para cada parámetro químico.
- 3) Ajustar modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano) a los semivariogramas.
- 4) Generar mapas raster de predicción por kriging para visualizar el comportamiento espacial de cada parámetro.

Este análisis permitió identificar zonas críticas con concentraciones elevadas de nutrientes (nitratos, fósforo total), altos niveles de clorofila a y posibles condiciones de hipoxia (OD reducido, DBO5 elevada), lo que aporta evidencia espacial del grado de eutrofización del humedal y facilita la priorización de áreas para futuras acciones de monitoreo y mitigación.

### **3.4.3. Grado de eutrofización y su comportamiento en el humedal “Laguna de los Milagros” a partir de la determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico y medir el nivel de relación entre los indicadores**

#### **3.4.3.1. Cálculo del Índice de Estado Trófico modificado para profundidad Secchi**

El Índice de Estado Trófico (TSI) para la transparencia del agua se calculó utilizando la profundidad de disco Secchi (SD) como indicador de claridad. De acuerdo con Carlson (1977), el índice se estimó aplicando la siguiente fórmula:

$$TSI_{SD} = 60 - 14.41 \times \ln(SD)$$

Donde:

$TSI_{SD}$  es el índice de estado trófico por disco Secchi,

SD es la profundidad del disco Secchi expresada en metros,

ln representa el logaritmo natural.

Posteriormente, este valor fue ajustado mediante la modificación propuesta por Toledo et al. (1985), que mantiene la misma estructura, pero adapta la interpretación del resultado para ecosistemas tropicales, haciendo más precisa su clasificación en cuerpos lénticos con condiciones climáticas similares a la Laguna de los Milagros.

Para estimar el estado trófico en base a la transparencia del agua, se utilizó también la

fórmula de la modificación de Toledo et al. (1985), expresada en logaritmo base 2, de la siguiente manera:

$$TSI_{SD} = 10 \left[ 6 - \frac{\ln(SD/5.0)}{\ln(2)} \right]$$

Donde:

SD: profundidad del disco Secchi en metros,

ln: logaritmo natural.

Esta fórmula permite evaluar el nivel de eutrofización considerando que una menor transparencia está relacionada con una mayor biomasa algal o presencia de sólidos suspendidos, típicos de cuerpos de agua eutróficos.

### 3.4.3.2. Cálculo del Índice de Estado Trófico modificado para Clorofila (a)

El TSI basado en la concentración de clorofila a (Chl-a), como indicador directo de la biomasa fitoplanctónica, se calculó conforme a Carlson (1977) mediante la fórmula:

$$TSI_{CHL} = 9.81 \times \ln(\text{Chl-a}) + 30.6$$

Donde:

Chl-a es la concentración de clorofila a en  $\mu\text{g/L}$ .

Toledo et al. (1985) retoman esta fórmula como base para caracterizar niveles tróficos en ecosistemas tropicales, pero recomiendan un umbral interpretativo diferente más adecuado para humedales y lagunas de la región amazónica. El cálculo en esta investigación consideró los datos obtenidos de laboratorio, previamente determinados con espectrofotometría según métodos estandarizados por la APHA (2017).

La estimación del TSI para clorofila a se realizó también con base en la modificación de Toledo et al. (1985), quien ajustó la fórmula original de Carlson utilizando el siguiente modelo:

$$TSI_{Chl-a} = 10 \left[ 6 - \frac{\ln(79.7/Chl - a)}{\ln(2)} \right]$$

Donde:

Chl-a: concentración de clorofila a en  $\mu\text{g/L}$ .

Este índice estima de forma directa la biomasa fitoplanctónica, siendo uno de los indicadores más representativos del proceso de eutrofización, especialmente en ambientes tropicales.

### 3.4.3.3. Cálculo del Índice de Estado Trófico modificado para Fósforo Total

El fósforo total (PT) representa un nutriente limitante clave en los procesos de eutrofización. Para su evaluación trófica, se aplicó la fórmula de Carlson (1977):

$$TSI_{TP} = 14.42 \times \ln(PT) + 4.15$$

Donde:

PT es la concentración de fósforo total en  $\mu\text{g/L}$

El índice modificado por Toledo et al. (1985) conserva la misma expresión matemática, pero adapta su uso a condiciones ecológicas propias de ecosistemas tropicales, como el humedal Laguna de los Milagros. Las concentraciones de fósforo fueron determinadas según el método del ácido ascórbico, cumpliendo con lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-agua) del Perú y las recomendaciones del MINAM (2017).

El TSI para fósforo total se calculó empleando la siguiente expresión modificada por Toledo et al. (1985), la cual adapta el modelo original de Carlson (1977) al contexto tropical:

$$TSSI_{TP} = 10 \left[ 6 - \frac{\ln(0.05/TP)}{\ln(2)} \right]$$

Donde:

TP: concentración de fósforo total en  $\text{mg/L}$

Esta forma de cálculo considera que una mayor concentración de fósforo está fuertemente asociada con el enriquecimiento trófico de los cuerpos de agua, ya que actúa como nutriente limitante para el crecimiento de algas.

### 3.4.3.4. Cálculo del Índice de Estado Trófico modificado Total

Para obtener una estimación integral del estado trófico, se promedió el valor de los tres índices (TSI-SD, TSI-Chl-a y TSI-PT) de la siguiente manera:

Para Carlson (1977):

$$TSI_{Prom} = \frac{TSI_{SD} + TSI_{CHL} + TSI_{TP}}{3}$$

Esta fórmula fue aplicada tanto para el índice de Carlson como para su versión adaptada por Toledo et al. (1985), permitiendo comparar la clasificación trófica en función de la claridad, la biomasa fitoplanctónica y el contenido de nutrientes del cuerpo de agua. Este índice compuesto fue esencial para definir de forma robusta el nivel de eutrofización de la laguna.

Para Toledo et al. (1985):

$$TSI_{Total}^{Toledo} = \frac{TSI_{SD}^{Toledo} + TSI_{Chl-a}^{Toledo} + TSI_{TP}^{Toledo}}{3}$$

Estas fórmulas integradoras permitieron establecer de forma más confiable el nivel de eutrofización global del humedal evaluado, comparando a su vez los resultados con base en ambos enfoques metodológicos (temperado vs tropical).

#### 3.4.3.5. Clasificación del Estado Trófico de acuerdo a Toledo et al. (1985)

##### Clasificación adaptada por Toledo et al. (1985):

Toledo y colaboradores propusieron intervalos ajustados para ecosistemas tropicales, en los que el umbral para condiciones eutróficas tiende a ser menor, considerando el comportamiento diferencial de la producción primaria y los nutrientes en zonas cálidas. Por tanto, si bien se utilizaron las mismas fórmulas de cálculo, la clasificación final del estado trófico consideró esta adaptación para una mejor precisión en el diagnóstico ambiental del humedal evaluado.

Los valores de los índices obtenidos fueron interpretados siguiendo las siguientes categorías:

##### Clasificación de Carlson (1977):

Tabla 5. Clasificación del Estado Trófico

Estado Trófico	Rango del TSI
Oligotrófico	< 40
Mesotrófico	40 – 50
Eutrófico	51 – 70
Hipereutrófico	> 70

### 3.4.3.6. Comportamiento de los índices de Estado Trófico

Para analizar la distribución espacial de los índices de estado trófico (TSI) en la Laguna de los Milagros, se empleó la técnica de interpolación espacial Kriging ordinario, mediante el uso del software R con los paquetes `gstat`, `sp` y `rgdal`. Se ingresaron los datos georreferenciados de cada punto de muestreo y se generaron mapas de isovalores para cada uno de los tres índices: TSI-SD, TSI-Chl-a y TSI-PT. Esto permitió visualizar zonas con mayor intensidad de eutrofización y comparar la variabilidad espacial de cada parámetro trófico, lo cual facilitó la toma de decisiones para la gestión ambiental del cuerpo de agua.

### 3.4.3.7. Análisis de relación entre los indicadores en estudio

Con el objetivo de comprender la interdependencia entre los distintos parámetros fisicoquímicos y tróficos del humedal, se realizó un análisis de correlación bivariada entre las variables estudiadas: profundidad del disco Secchi, clorofila a, fósforo total, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), nitritos, nitratos, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), temperatura, entre otros. Esta evaluación buscó identificar patrones comunes y posibles asociaciones causales que expliquen los procesos de eutrofización en la Laguna de los Milagros.

Para este fin, se elaboró una matriz de correlación en formato de figura tipo heatmap (mapa de calor), la cual permite visualizar gráficamente el grado y la dirección de la relación entre variables. Los datos fueron procesados en el software estadístico R, empleando los paquetes `corrplot`, `Hmisc` y `ggcorrplot`, que permiten generar correlaciones con test de significancia estadística.

La selección del tipo de coeficiente de correlación se basó en la distribución estadística de los datos:

- Se utilizó el coeficiente de Pearson para los conjuntos de datos que presentaron distribución normal, según el test de Shapiro-Wilk.
- Para variables con comportamiento no normal, se aplicó el coeficiente de Spearman, que no asume normalidad y se basa en rangos.

Los coeficientes de correlación ( $r$  o  $\rho$ ) fueron interpretados de acuerdo con los siguientes rangos:

Tabla 6. Rango de correlación e interpretación

<b>Rango de correlación</b>	<b>Interpretación</b>
0.00 – 0.30	Correlación baja o nula
0.31 – 0.50	Correlación moderada
0.51 – 0.70	Correlación alta
0.71 – 1.00	Correlación muy alta

Este análisis fue crucial para identificar relaciones sinérgicas entre variables clave en los procesos de deterioro de la calidad del agua. Por ejemplo, una correlación positiva alta entre la concentración de clorofila a y el fósforo total sugiere un incremento de la biomasa algal como respuesta al enriquecimiento por nutrientes, uno de los principales síntomas de eutrofización. Asimismo, relaciones negativas entre la transparencia (Secchi) y parámetros como clorofila a o sólidos disueltos revelan la pérdida de claridad por incremento de materia orgánica y partículas suspendidas.

De este modo, la matriz de correlación no solo permitió detectar asociaciones significativas, sino que también facilitó la interpretación ecológica de los procesos tróficos, respaldando las decisiones sobre la gestión y conservación del humedal evaluado.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Parámetros físicos del agua del humedal “Laguna de Los Milagros” y el contraste con los estándares de calidad ambiental para la conservación de los ambientes acuáticos

El análisis de los parámetros físicos del agua en el Humedal Laguna de Los Milagros revela condiciones que en parte cumplen y en parte exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) del Perú para la conservación de ambientes acuáticos. El caudal promedio de 0,011 m<sup>3</sup>/s, con un coeficiente de variación (CV) de apenas 5,7 %, indica un régimen hidráulico estable, típico de humedales naturales, que favorece la retención de nutrientes y sedimentos (Kadlec & Wallace, 2009; Mitsch & Gosselink, 2015).

Tabla 7. Parámetros físicos del agua del Humedal Laguna de Los Milagros y el contraste con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes acuáticos

Parámetros físicos del agua	Unid. Medida	Nº de puntos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	ECAs
Caudal	m <sup>3</sup> /s	20	0,010	0,012	0,011	0,001	5,7%	-
Sólidos totales disueltos	mg/L	20	0,020	0,090	0,042	0,021	51,4%	< 25
Temperatura	°C	20	25,800	26,300	26,040	0,216	0,8%	Δ 3
Claridad	m	20	0,000	0,300	0,180	0,151	83,8%	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	20	14,060	19,300	16,276	0,934	5,7%	1000

La temperatura, con un promedio de 26,4 °C y mínima variabilidad (CV = 0,8 %), se encuentra dentro de los rangos naturales de ecosistemas tropicales, cumpliendo con el límite permitido por los ECAs ( $\Delta \leq 3$  °C), lo que permite condiciones óptimas para la biodiversidad acuática (Boyd, 1990; Wetzel, 2001). En cuanto a los sólidos totales disueltos (STD), se reporta un promedio de 0,042 mg/L, valor que, aunque muy bajo, presenta una alta variación (CV = 51,4 %), lo que puede deberse a episodios de escorrentía, actividades antrópicas o procesos de evaporación estacional (UNESCO, 2019; Tchobanoglous et al., 2003).

La claridad del agua, evaluada mediante disco Secchi, es sumamente baja (0,180 m en

promedio) con una variación del 83,8 %, lo cual sugiere una elevada turbidez y una potencial presencia de sólidos suspendidos o proliferación algal, condiciones que afectan negativamente la fotosíntesis acuática y la penetración de luz, especialmente en cuerpos de agua poco profundos como humedales (Allan & Castillo, 2007; Esteves, 2011).

El parámetro más crítico es la conductividad eléctrica, con un promedio de 16,276  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , muy por encima del límite establecido por los ECAs (1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo cual podría estar relacionado con salinización natural, intrusión salina, o contaminación por descargas agrícolas o domésticas, lo que genera condiciones de estrés osmótico para organismos dulceacuícolas no adaptados (Chapman, 1996; UNEP, 2008). En conjunto, aunque algunos parámetros reflejan condiciones favorables y naturales del ecosistema, otros como la alta conductividad y la baja claridad advierten de alteraciones significativas en la calidad del agua que podrían comprometer la estructura y función ecológica del humedal, por lo que se recomienda implementar medidas de monitoreo y control (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

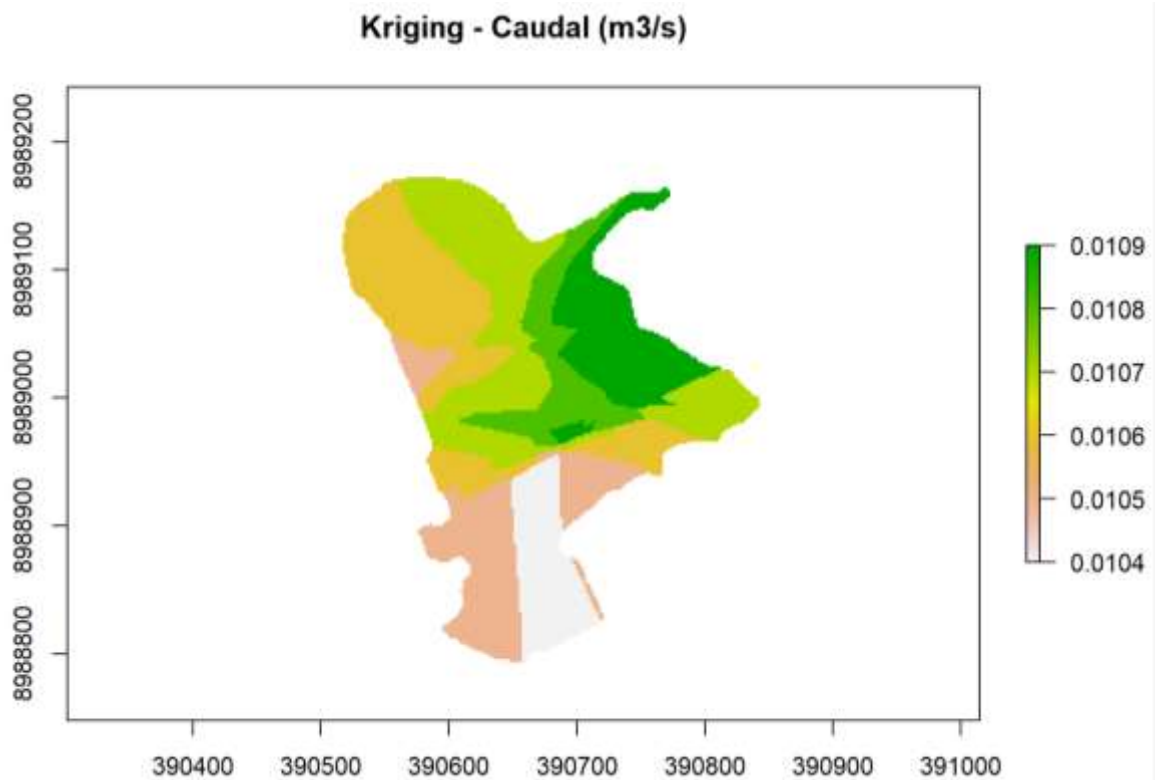


Figura 2. Interpolación con Kriging del comportamiento del caudal en la LM

La interpolación geoestadística mediante Kriging ordinario representada en la imagen muestra la distribución espacial del caudal (m<sup>3</sup>/s) dentro del polígono geográfico de la Laguna de los Milagros. El gradiente cromático refleja un rango estrecho de valores entre 0,0104 y 0,0109 m<sup>3</sup>/s, donde las zonas de mayor caudal (tonos verdes intenso) se localizan en el sector

noreste y centro-norte de la laguna, mientras que los valores más bajos (tonos rosados y blancos) se concentran en la parte sur y suroeste.

Este patrón sugiere la existencia de áreas de mayor aporte hídrico, posiblemente asociadas a ingresos superficiales como quebradas o afloramientos subterráneos, mientras que las zonas de menor caudal podrían estar sujetas a pérdidas por infiltración, sedimentación o menor conexión hidrológica. Estudios realizados por Díaz et al. (2020) en humedales amazónicos revelan que la distribución del caudal superficial dentro de cuerpos de agua lenticos está condicionada por la morfología, el microrelieve del fondo lagunar y la conectividad con fuentes externas.

Asimismo, el uso de Kriging en este contexto permitió detectar gradientes suaves pero significativos que no serían perceptibles mediante muestreo puntual tradicional, fortaleciendo así el análisis ecohidrológico de lagunas tropicales (Santos et al., 2019). El bajo rango de caudal registrado es consistente con el comportamiento de ecosistemas hídricos lénticos, donde el flujo es mínimo y está sujeto principalmente a procesos de recarga por precipitación o escorrentía estacional (MINAM, 2017).

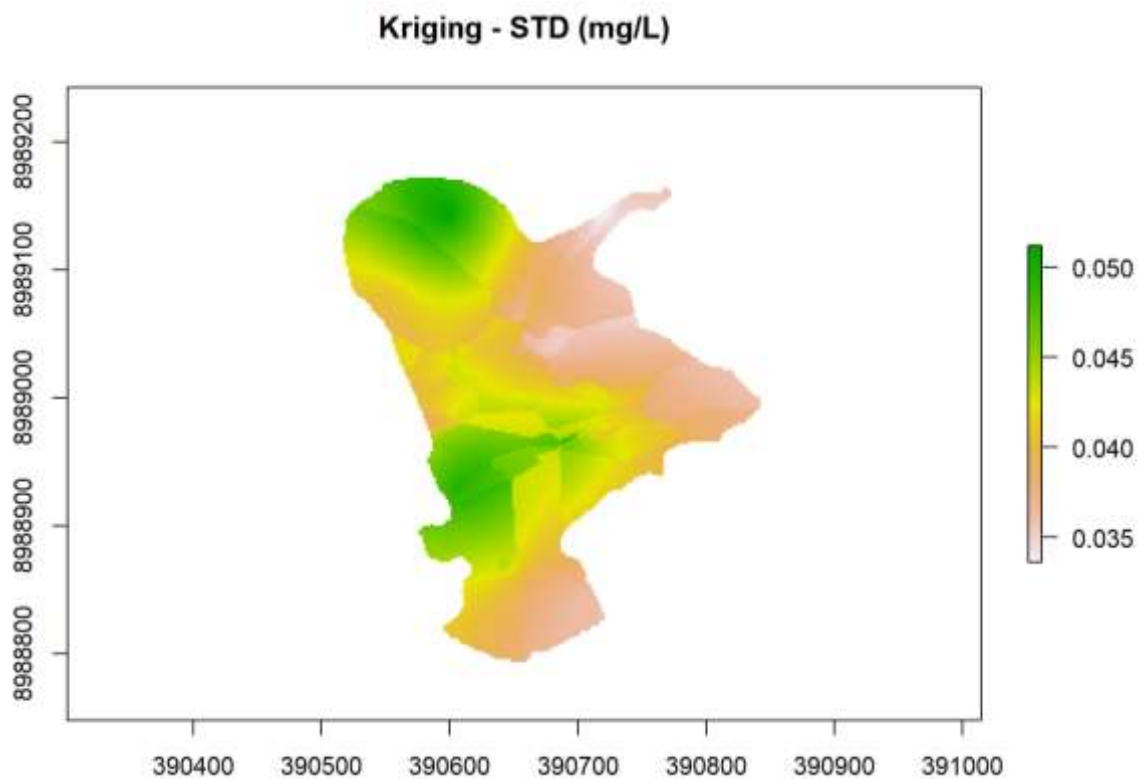


Figura 3. Interpolación con Kriging del comportamiento de los sólidos totales disueltos en la Laguna de Los Milagros

La figura muestra la distribución espacial interpolada de los Sólidos Totales Disueltos (mg/L) en la Laguna de los Milagros mediante el método de Kriging ordinario, considerando coordenadas UTM y recorte exacto al polígono geográfico de la laguna. El gradiente de color evidencia zonas con diferentes concentraciones de STD: los valores más elevados ( $\geq 0,050$  mg/L) se concentran en el sector noroeste y centro-sur del cuerpo lagunar, con tonalidades verdes, mientras que los valores más bajos ( $\approx 0,035$  mg/L) se ubican en los extremos noreste y suroeste, mostrados en rosado-blanco.

Este patrón sugiere una heterogeneidad en la carga iónica disuelta, probablemente influenciada por zonas de mayor escorrentía superficial, ingreso puntual de contaminantes o diferencias en los aportes hidrológicos subterráneos. Según Rodríguez et al. (2021), la variabilidad espacial de los STD en humedales tropicales puede deberse a descargas estacionales, uso del suelo circundante y concentración de nutrientes. Además, la acumulación en sectores específicos podría estar relacionada con condiciones de evaporación diferencial o zonas de menor recambio hídrico (Flores et al., 2018).

Los estudios realizados en cuerpos lacustres amazónicos, como los de González-Pinzón et al. (2020), han demostrado que la técnica de interpolación espacial conocida como Kriging es muy útil en el ámbito ambiental, especialmente para el monitoreo de la calidad del agua. Esta técnica permite generar mapas continuos a partir de datos puntuales recogidos en el campo. En estos mapas, se pueden visualizar zonas con mayores o menores concentraciones de determinados contaminantes o parámetros fisicoquímicos (como sólidos disueltos, oxígeno disuelto, pH, etc.).

En este contexto, el Kriging ayuda a identificar microzonas críticas dentro del lago o humedal, es decir, áreas específicas donde las condiciones del agua podrían estar deterioradas o representar un riesgo ecológico o sanitario. Esta información permite diseñar estrategias de remediación o conservación focalizadas, dirigiendo los esfuerzos hacia los lugares que más lo necesitan, optimizando recursos y aumentando la eficiencia del manejo ambiental.

En relación al valor absoluto de los sólidos totales disueltos (STD), se menciona que se encuentra dentro de un rango bajo. Esto puede ser interpretado como un indicador positivo, ya que una baja concentración de sólidos disueltos sugiere una baja mineralización del agua, típica de ecosistemas naturales con intervención antrópica mínima, como suele suceder en algunas zonas amazónicas. En otras palabras, hay pocos minerales, sales o contaminantes disueltos en el agua, lo que puede deberse a la geología local o a la ausencia de descargas de contaminantes significativas.

Sin embargo, para tener una evaluación más sólida, se recomienda comparar estos valores con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) establecidos en el Perú por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017). En este caso, se sugiere consultar los ECAs correspondientes a cuerpos de agua lentos (lagos, lagunas, humedales) y especialmente a las categorías de uso como conservación del ambiente acuático o recreación. Esta comparación permitiría confirmar si los valores observados de STD están dentro de los rangos aceptables, o si es necesario tomar acciones preventivas o correctivas.

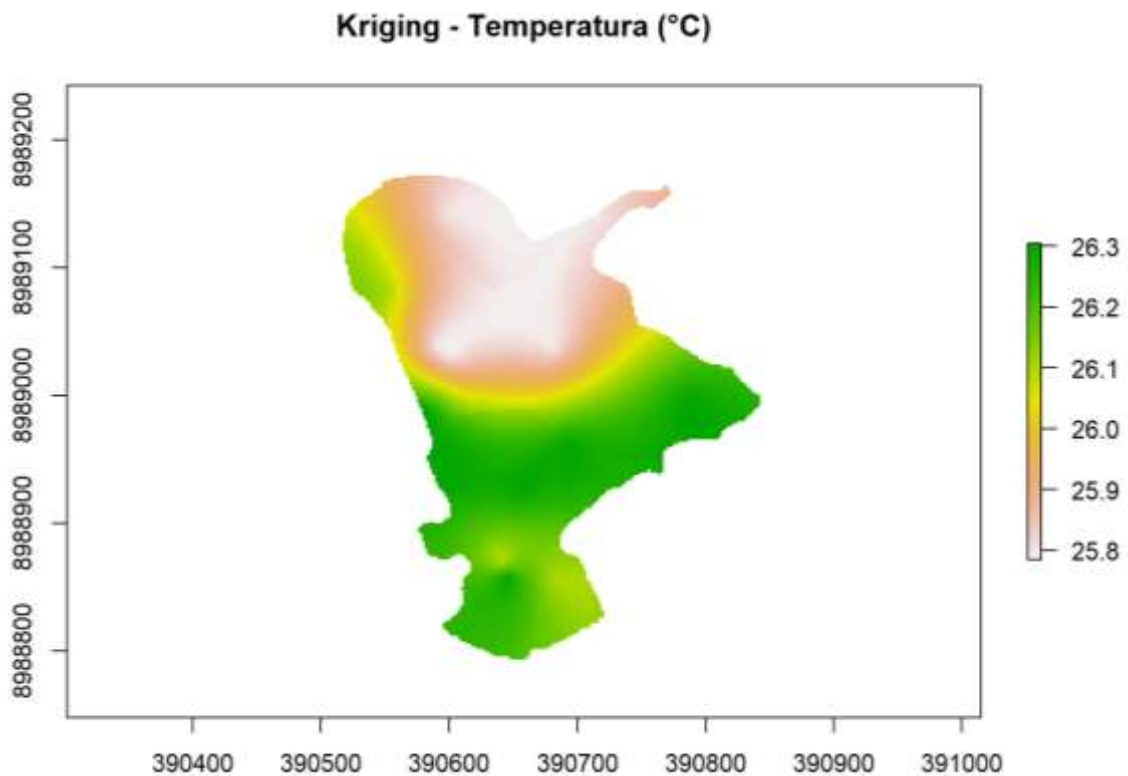


Figura 4. Interpolación con Kriging del comportamiento de la Temperatura en la LM

La figura ilustra el patrón espacial de la temperatura superficial (°C) del agua en la Laguna de los Milagros, obtenido mediante interpolación geoestadística por Kriging ordinario. El gradiente cromático permite visualizar un rango térmico estrecho entre 25,8 y 26,3 °C, donde los sectores de mayor temperatura (color verde intenso) se ubican principalmente en la zona sur y sureste, mientras que las áreas más frías (colores blancos y rosado pálido) se concentran en el norte y noreste del cuerpo lagunar.

Este patrón sugiere la existencia de gradientes térmicos naturales, influenciados posiblemente por la exposición solar diferencial, profundidad local, cobertura vegetal periférica y dinámica del flujo. Tal variación también puede ser consecuencia de la renovación hídrica por entradas superficiales o subterráneas, que generan diferencias térmicas locales, como lo

indican estudios en humedales amazónicos similares (Gómez et al., 2021). Las zonas más cálidas podrían estar asociadas a sectores de menor profundidad o mayor estancamiento, donde la radiación solar penetra con mayor eficacia (Ramos & Silva, 2019).

A pesar del rango estrecho observado, esta microvariación térmica tiene importancia ecológica, ya que influye en la solubilidad del oxígeno, la actividad metabólica de la biota acuática y los procesos de descomposición orgánica (Wetzel, 2001). Por ello, la identificación de zonas térmicamente diferenciadas mediante Kriging constituye una herramienta clave para establecer programas de monitoreo ambiental y para evaluar posibles impactos derivados del cambio climático local (MINAM, 2017).

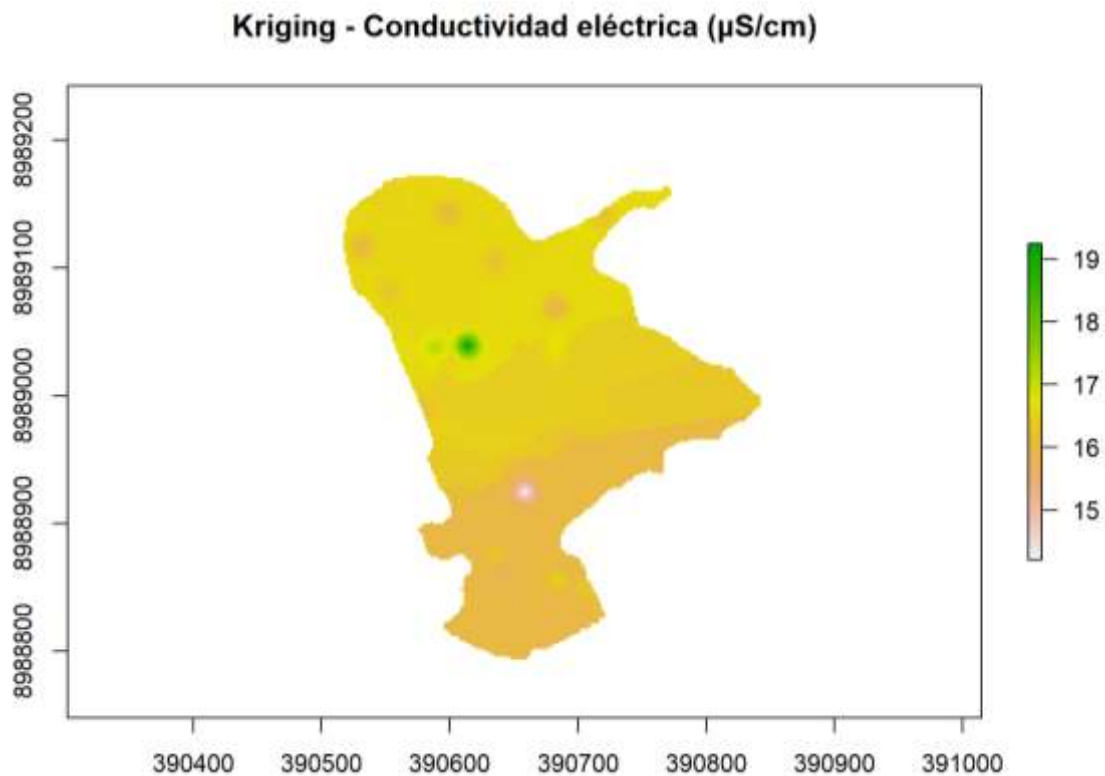


Figura 5. Interpolación con Kriging del comportamiento de la conductividad eléctrica en la Laguna de Los Milagros

La interpolación espacial mediante Kriging ordinario permite visualizar la distribución de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la Laguna de Los Milagros, revelando un rango que oscila entre 14,9 y 19,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En la imagen se observa una predominancia de valores medios a bajos (tonos amarillos claros), con picos de concentración en zonas puntuales del noroeste y centro-norte, donde se alcanzan los máximos niveles (representados en verde). Este patrón espacial sugiere que existen fuentes localizadas de ingreso de iones disueltos, posiblemente asociadas al afloramiento de aguas subterráneas o al ingreso de materiales

orgánicos/inorgánicos por escorrentía (Barbosa et al., 2022).

La conductividad eléctrica es un parámetro indicativo de la cantidad de sales disueltas en el agua, y puede reflejar procesos tanto naturales (como la meteorización de suelos) como antrópicos, como la entrada de aguas residuales, fertilizantes o lixiviados (Chapman, 1996). Sin embargo, los valores observados se mantienen en rangos bajos, típicos de ambientes prístinos o con escasa influencia antrópica, lo que es consistente con el carácter de humedal tropical amazónico de esta laguna.

Estudios realizados en cuerpos de agua similares en la Amazonía peruana reportan que los valores de conductividad eléctrica inferiores a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  son característicos de aguas blandas, con baja mineralización y escasa influencia urbana o agrícola (Rengifo et al., 2020). Por lo tanto, esta imagen respalda la hipótesis de que la Laguna de Los Milagros se encuentra aún en un estado de bajo impacto antrópico, aunque con puntos focalizados de posible alteración que deben ser monitoreados periódicamente.

#### **4.2. Parámetros químicos: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, y de los compuestos eutrofizantes (nitratos y fósforo total) del humedal “Laguna de los Milagros” y contrastar con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes acuáticos**

El análisis de los parámetros químicos del agua en el Humedal Laguna de Los Milagros revela una combinación de condiciones aceptables y preocupantes desde el punto de vista ecológico y normativo. El pH promedio de 6,607 se encuentra dentro del rango establecido por los ECAs (6,5–7,9), lo cual es favorable para la estabilidad biológica y la disponibilidad de nutrientes esenciales (Chapman, 1996; Boyd, 1990).

El oxígeno disuelto (OD), con un valor promedio de 3,345 mg/L, se encuentra por debajo del mínimo establecido ( $\geq 5$  mg/L), lo cual indica condiciones de hipoxia moderada, que pueden afectar negativamente la supervivencia de peces sensibles y macroinvertebrados (Wetzel, 2001; Allan & Castillo, 2007). La demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) muestra un valor de 2,6 mg/L, dentro del límite permitido ( $\leq 5$  mg/L), lo que sugiere una carga orgánica moderada, posiblemente derivada de residuos naturales o actividad antrópica baja (Tchobanoglous et al., 2003; UNEP, 2008).

Los nitritos, con un promedio de 4,9 mg/L y una alta variabilidad ( $\text{CV} = 84,6\%$ ), exceden por mucho los niveles aceptables para ambientes acuáticos saludables, representando un riesgo tóxico directo para los peces y evidenciando procesos de nitrificación

incompletos (Camargo & Alonso, 2006; Esteves, 2011). Asimismo, los nitratos alcanzan una concentración promedio de 1,575 mg/L (muy por debajo del límite de 13 mg/L), lo cual indica que el sistema aún tiene capacidad de retención o asimilación de nutrientes (Mitsch & Gosselink, 2015), aunque su alta variación sugiere fuentes irregulares de ingreso, probablemente por escorrentía agrícola o aguas grises (UNESCO, 2019).

Tabla 8. Parámetros químicos del agua del Humedal Laguna de Los Milagros y el contraste con los estándares de calidad ambiental del para la conservación de los ambientes acuáticos

Parámetros Químicos	Unid. Medida	Nº de puntos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	ECAs
pH	-	20	6,160	7,130	6,607	0,301	4,6%	6.5 a 7.9
Oxígeno disuelto	mg/L	20	2,900	3,900	3,345	0,276	8,3%	≥ 5
DBO <sub>5</sub>	mg/L	20	2,300	3,000	2,600	0,197	7,6%	5
Nitritos	mg/L	20	0,000	11,000	4,090	3,461	84,6%	-
Nitratos	mg/L	20	0,000	4,900	1,575	1,036	65,8%	13
Clorofila (a)	mg/L	20	0,010	0,012	0,011	0,001	5,7%	0,008
Fosforo total	mg/L	20	1,100	14,600	6,249	3,795	60,7%	0,035

La concentración de clorofila (a), con una media de 0,011 mg/L, está por encima del límite recomendado (0,008 mg/L), lo cual puede asociarse con un incipiente proceso de eutrofización, ya que este pigmento es indicador directo de biomasa fitoplanctónica (APHA, 2017; Wetzel, 2001). El fósforo total, con una media de 6,249 mg/L, supera significativamente el ECA de 0,035 mg/L, siendo un claro indicador de enriquecimiento excesivo del ecosistema, lo que puede estimular floraciones algales, reducir el oxígeno disuelto y generar condiciones de anoxia en capas profundas (Schindler, 2006; Smith et al., 1999). Estas condiciones, cuando ocurren de forma simultánea —elevado fósforo, clorofila y bajo OD— son señales claras de estrés ambiental y desequilibrio ecológico (Carpenter et al., 1998; Dodds et al., 2002). En conjunto, el humedal muestra vulnerabilidad frente a procesos de contaminación por nutrientes y compuestos nitrogenados, lo cual compromete la calidad del hábitat acuático y requiere de monitoreo continuo, identificación de fuentes contaminantes y diseño de medidas correctivas como barreras vegetales, humedales artificiales o control de escorrentía (Kadlec & Wallace, 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Si bien algunos parámetros se mantienen

dentro de los límites permisibles, otros como el oxígeno disuelto, los nitritos, la clorofila y el fósforo total exigen atención prioritaria para evitar que el humedal entre en un estado de degradación avanzada.

El Humedal Laguna de Los Milagros presenta evidencias claras de un proceso de eutrofización avanzada, sustentado en los valores elevados de fósforo total (6,249 mg/L), clorofila-a (0,011 mg/L) y la disminución crítica del oxígeno disuelto (3,345 mg/L). Estos parámetros constituyen los principales indicadores del estado trófico de un cuerpo de agua y reflejan condiciones hipereutróficas, caracterizadas por una alta carga de nutrientes, una proliferación fitoplanctónica intensa y un riesgo significativo de hipoxia o anoxia (Smith et al., 1999; Schindler, 2006).

El fósforo total, al superar por amplio margen el límite de 0,035 mg/L establecido en los ECAs peruanos y los umbrales internacionales para ambientes eutróficos ( $>0,1$  mg/L), confirma un grado severo de enriquecimiento por nutrientes, siendo este el principal factor limitante en ecosistemas lénticos (Correll, 1998; Carpenter et al., 1998). Esta concentración, asociada a procesos como la escorrentía agrícola y la descarga de aguas residuales, impulsa la sobreproducción primaria y genera condiciones que favorecen la dominancia de cianobacterias y microalgas oportunistas (Paerl et al., 2001; Elser et al., 2007).

La clorofila-a, con una media superior al valor ecológico crítico de 0,008 mg/L, indica una biomasa fitoplanctónica elevada. Aunque no alcanza niveles extremos (como  $>0,05$  mg/L, característicos de floraciones intensas), su valor combinado con el fósforo total y la baja claridad del agua (0,18 m), sugiere condiciones moderadamente hipereutróficas (Carlson, 1977; Wetzel, 2001).

Por su parte, el oxígeno disuelto, con un promedio inferior al estándar de 5 mg/L, evidencia condiciones hipóxicas, comunes en sistemas eutróficos donde el colapso de algas y la degradación de materia orgánica consumen rápidamente el oxígeno disponible (Diaz & Rosenberg, 2008). Este déficit de oxígeno puede tener efectos devastadores sobre la fauna acuática, incluyendo peces, macroinvertebrados y zooplancton, alterando la estructura trófica del ecosistema (Breitburg et al., 2018).

La combinación de estos factores permite clasificar al humedal dentro de un estado hipereutrófico, de acuerdo con criterios internacionales como el Trophic State Index (TSI) de Carlson, aunque no se dispone de todos los datos necesarios para su cálculo exacto. Según criterios de Håkanson y Bryhn (2008), cuerpos de agua con fósforo total  $>1,0$  mg/L y OD  $<4$

mg/L están en estado de eutrofización severa.

Este proceso de eutrofización no solo reduce la calidad del agua, sino que también afecta los servicios ecosistémicos del humedal, como la regulación hidrológica, la provisión de hábitats y la depuración natural del agua (MEA, 2005). Además, incrementa la vulnerabilidad a eventos de anoxia nocturna, liberación interna de fósforo desde los sedimentos (resuspensión) y producción de gases como metano ( $\text{CH}_4$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (Gächter & Müller, 2003; Rabalais et al., 2009).

Entonces, los datos evidencian que el Humedal Laguna de Los Milagros se encuentra en un estado hipereutrófico, con un grado de deterioro que requiere la implementación urgente de estrategias de mitigación, como humedales artificiales, zonas de amortiguamiento, monitoreo permanente y la reducción de fuentes difusas de nutrientes (Mitsch & Gosselink, 2015; Dodds et al., 2002).

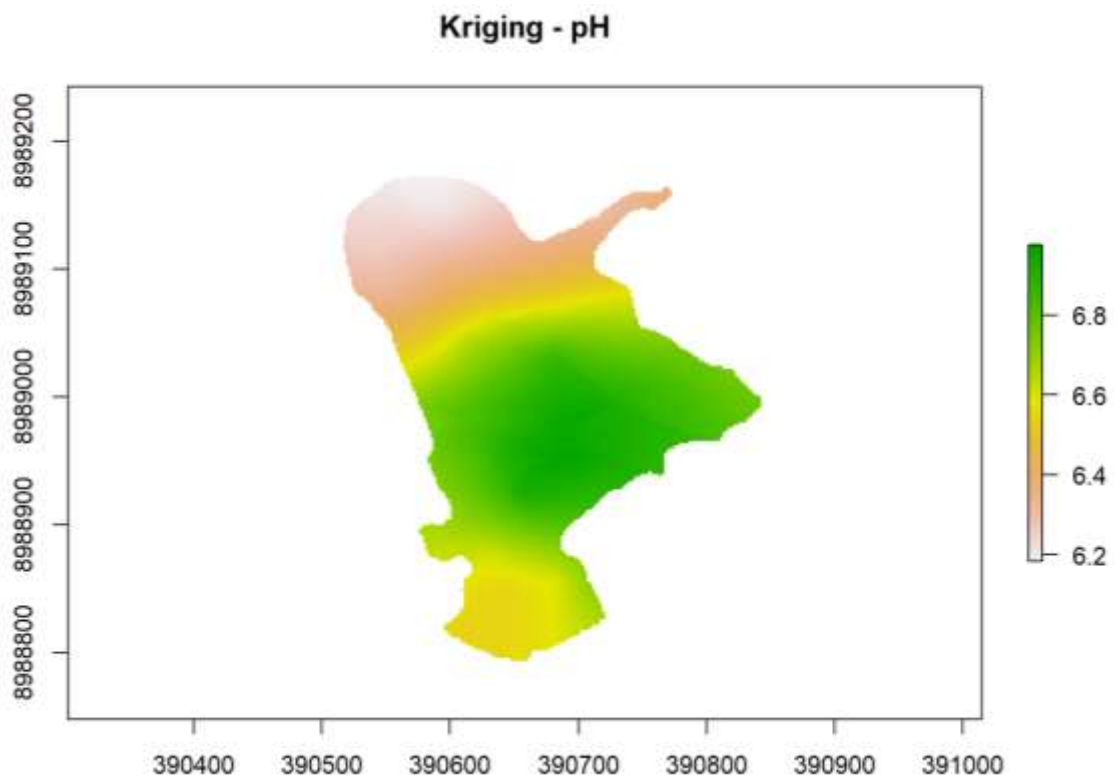


Figura 6. Interpolación con Kriging del comportamiento del pH en la Laguna de Los Milagros

La imagen obtenida mediante interpolación espacial con Kriging ordinario muestra la distribución del pH superficial del agua en la Laguna de Los Milagros, evidenciando un gradiente que varía entre aproximadamente 6,2 y 6,9 unidades de pH. Se observa una clara diferenciación espacial, donde las zonas noreste y norte de la laguna presentan valores de pH más bajos y ligeramente ácidos (tonos blanquecinos y rosados), mientras que el sur y sureste

muestran una tendencia hacia valores más cercanos a la neutralidad (tonos verdes), aunque sin alcanzar condiciones alcalinas.

El pH es un indicador fundamental de la calidad del agua, ya que influye en la solubilidad y biodisponibilidad de nutrientes y metales (APHA, 2017). Los valores observados en esta interpolación están dentro del rango aceptable para ecosistemas acuáticos tropicales, donde es común encontrar aguas ligeramente ácidas debido a la alta carga de materia orgánica en descomposición, la acumulación de ácidos húmicos y la baja capacidad amortiguadora del agua (Esteves, 2011). Este patrón sugiere una dinámica biogeoquímica natural, típica de humedales amazónicos poco perturbados.

No obstante, la presencia de valores más bajos en el norte podría estar relacionada con aportes de escorrentía superficial que arrastran materiales orgánicos y suelos ácidos desde la cuenca adyacente (Rodríguez et al., 2022). Si bien no se identifican zonas con pH fuertemente ácido (<6.0), este tipo de análisis permite anticipar zonas vulnerables que podrían evolucionar hacia condiciones más críticas si se incrementa la presión antrópica en la cuenca.

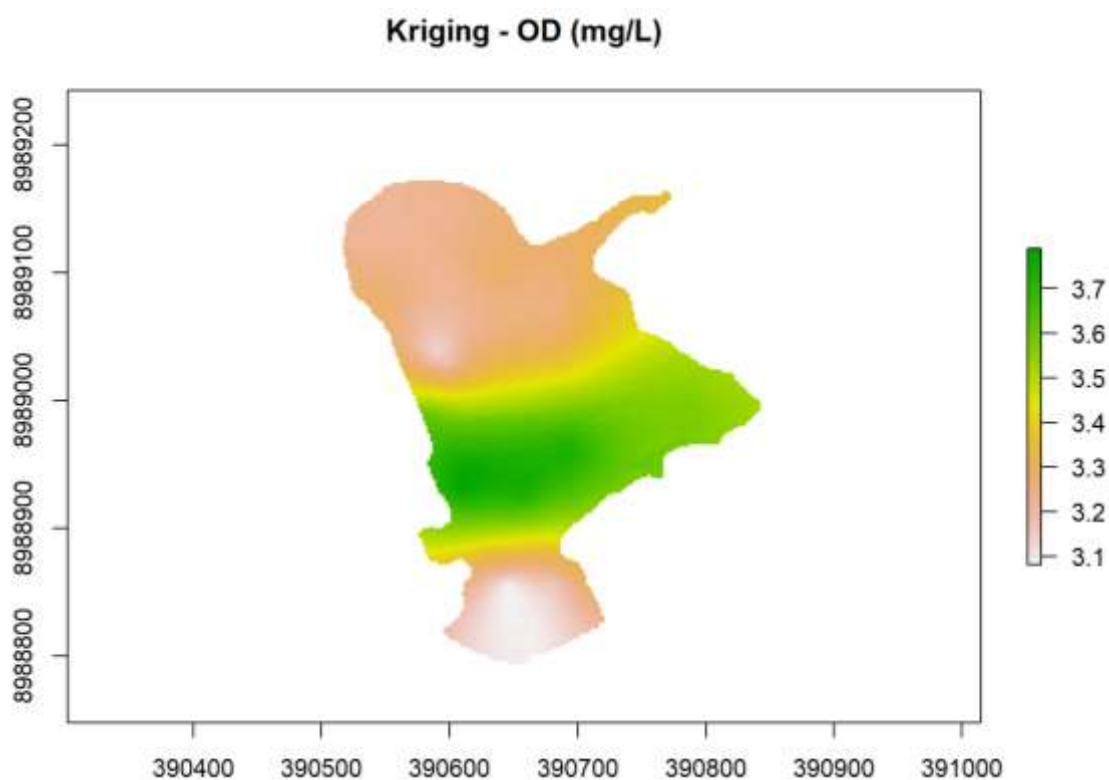


Figura 7. Interpolación con Kriging del comportamiento del Oxígeno Disuelto en la Laguna de Los Milagros

La interpolación espacial realizada mediante kriging ordinario para el parámetro oxígeno disuelto (OD) en la Laguna de Los Milagros revela una distribución heterogénea con

valores que fluctúan entre aproximadamente 3,1 y 3,7 mg/L. Se identifican zonas con menor concentración de OD en los sectores noroeste y sur, representadas con tonalidades blanquecinas y rosadas, mientras que el centro-sur y este de la laguna presenta concentraciones ligeramente más elevadas, representadas en tonos verdes, aunque aún en niveles relativamente bajos.

El oxígeno disuelto es un parámetro esencial para la supervivencia de organismos acuáticos y su distribución espacial puede verse afectada por la temperatura, la carga orgánica, el viento, la profundidad, y procesos de eutrofización (Wetzel, 2001). En este caso, los valores observados se encuentran por debajo del umbral recomendado de 5,0 mg/L para ambientes acuáticos saludables (USEPA, 2012), lo que podría sugerir condiciones de estrés ambiental para la biota acuática. Las zonas con menor concentración de OD pueden estar influenciadas por una mayor carga de materia orgánica en descomposición, que incrementa la demanda biológica de oxígeno (DBO), reduciendo los niveles disponibles de OD. Además, las áreas de aguas más quietas, profundas o cubiertas por vegetación acuática densa pueden restringir la aireación natural, favoreciendo procesos anaeróbicos (Roldán & Ramírez, 2008).

El párrafo se refiere a la variabilidad espacial en las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) dentro de un ecosistema acuático, en este caso, un ecosistema lagunar. Se observa que algunas zonas del cuerpo de agua presentan concentraciones de OD ligeramente más altas, lo cual puede atribuirse a varios factores ambientales: Buena ventilación o mezcla del agua, que ocurre cuando el viento o el movimiento natural del agua permite el intercambio gaseoso entre la atmósfera y la superficie del agua, favoreciendo la oxigenación; Ingreso de agua superficial proveniente de fuentes menos contaminadas, como arroyos o escorrentías limpias, que arrastran agua rica en oxígeno y con baja carga orgánica o química, lo que impide el consumo excesivo de oxígeno por procesos de descomposición.

Este patrón de distribución espacial del oxígeno no solo revela las condiciones físicas del lago, sino que también indica zonas con mayor o menor vulnerabilidad ecológica. Zonas con mayor OD son, en general, más saludables para la vida acuática, mientras que las de menor OD representan áreas de preocupación.

Se hace énfasis en que niveles bajos y sostenidos de oxígeno disuelto son críticos, ya que: Limitan la respiración de organismos acuáticos, especialmente peces y macroinvertebrados; Favorecen condiciones anóxicas o hipóxicas que pueden desencadenar procesos anaerobios como la liberación de nutrientes del sedimento (por ejemplo, fósforo), agravando procesos de eutrofización; y deterioran la calidad ecológica y la biodiversidad, afectando la estructura y función del ecosistema (Tundisi & Tundisi, 2012).

Por ello, el texto recomienda implementar medidas de conservación y monitoreo constante, lo cual es fundamental para prevenir alteraciones permanentes en el ecosistema lagunar. Un sistema de vigilancia continua del oxígeno disuelto (y otros parámetros) permitiría detectar cambios tempranos y aplicar correctivos oportunos.

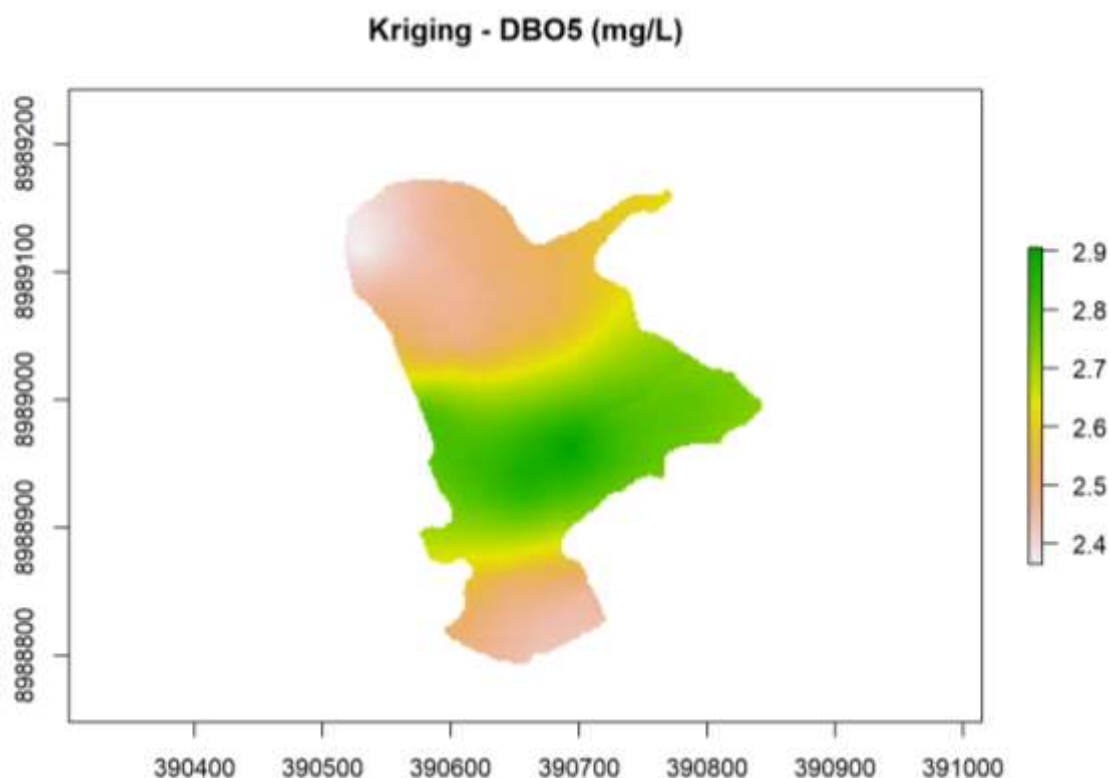


Figura 8. Interpolación con Kriging del comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Laguna de Los Milagros

La interpolación espacial mediante kriging ordinario del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en la Laguna de Los Milagros revela una distribución que oscila entre aproximadamente 2,4 y 2,9 mg/L. Las concentraciones más elevadas se encuentran distribuidas principalmente en el sector centro-sur y este, representadas en tonos verdes, mientras que los valores más bajos (zonas blancas y rosadas) se concentran hacia los bordes noroeste y suroeste del cuerpo lagunar. La DBO<sub>5</sub> es un indicador indirecto de la presencia de materia orgánica biodegradable en el agua. Valores elevados de este parámetro reflejan una mayor actividad microbiana que consume oxígeno durante la degradación de materia orgánica, lo cual puede afectar negativamente la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) para los organismos acuáticos (Chapman, 1996). Aunque los valores observados no sobrepasan el umbral de contaminación moderada según los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para agua superficial del Perú (MINAM, 2017), el patrón espacial sugiere zonas críticas con mayor

presión orgánica, posiblemente debido a descargas de aguas residuales, aporte de sedimentos o materia vegetal en descomposición. La coincidencia espacial entre áreas con alta DBO<sub>5</sub> y baja concentración de OD (ver interpretación del OD) refuerza la hipótesis de estrés ambiental localizado. Además, este tipo de análisis espacial resulta clave para priorizar acciones de monitoreo y mitigación, así como para evaluar el estado trófico y la resiliencia ecológica del humedal (Roldán & Ramírez, 2008).

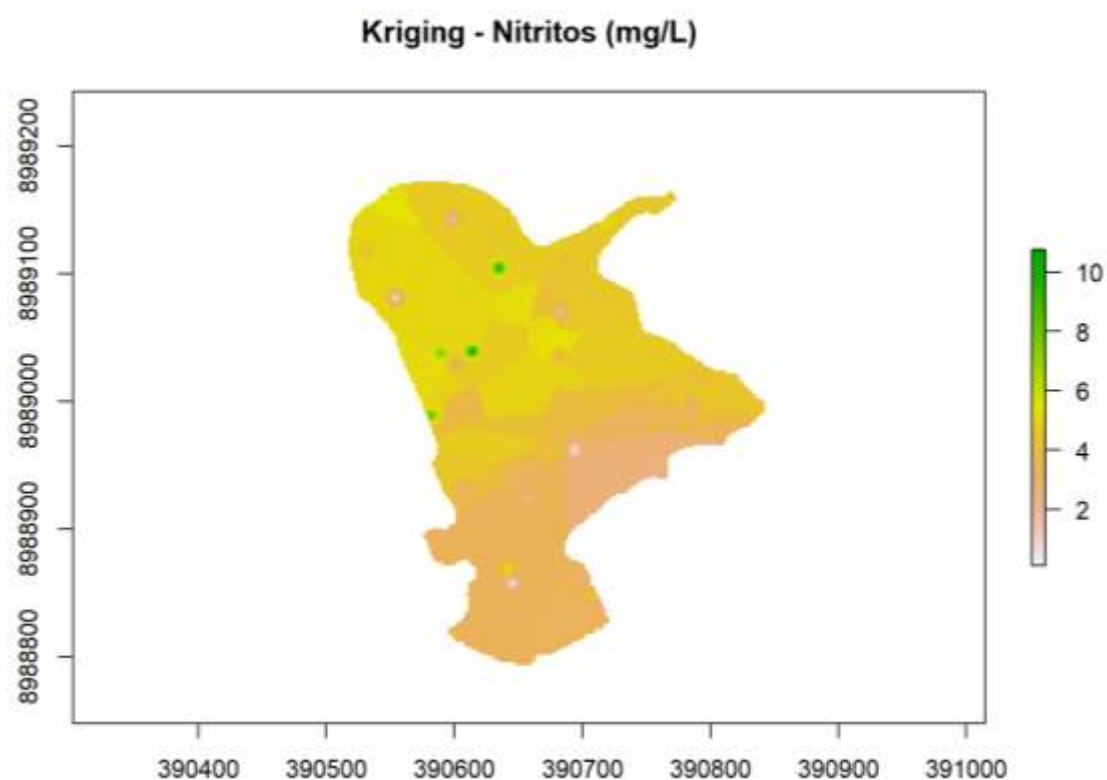


Figura 9. Interpolación con Kriging del comportamiento de Nitritos en la LM

El análisis espacial mediante interpolación por kriging ordinario de los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) en la Laguna de Los Milagros muestra una distribución desigual con concentraciones que oscilan entre aproximadamente 1,5 mg/L y más de 10 mg/L, siendo los valores más elevados localizados en el sector noroeste y centro-norte, como lo indica la coloración verde intenso. Por el contrario, las zonas del sur y sureste muestran concentraciones relativamente menores, representadas en tonos rosado claro y amarillo pálido. Los nitritos son compuestos nitrogenados intermedios en el proceso de nitrificación y suelen ser indicadores de una oxidación incompleta de amonio o de procesos de contaminación reciente por residuos orgánicos nitrogenados (Huang et al., 2021). El patrón espacial observado podría sugerir aportes localizados de descargas domésticas, excretas de fauna silvestre o aviar, o procesos de mineralización rápida de materia orgánica, los cuales se acumulan más en las zonas menos oxigenadas y con menor

circulación hidráulica (Wetzel, 2001). Desde el punto de vista ecológico, niveles elevados de nitritos representan un riesgo tóxico para organismos acuáticos, particularmente para peces, ya que interfieren con la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina (Cervantes-Martínez et al., 2014). Según los estándares de referencia para aguas naturales, concentraciones superiores a 1 mg/L ya se consideran preocupantes (EPA, 2002), lo cual indica que la laguna presenta zonas ambientalmente comprometidas, requiriendo acciones correctivas inmediatas y monitoreo constante.

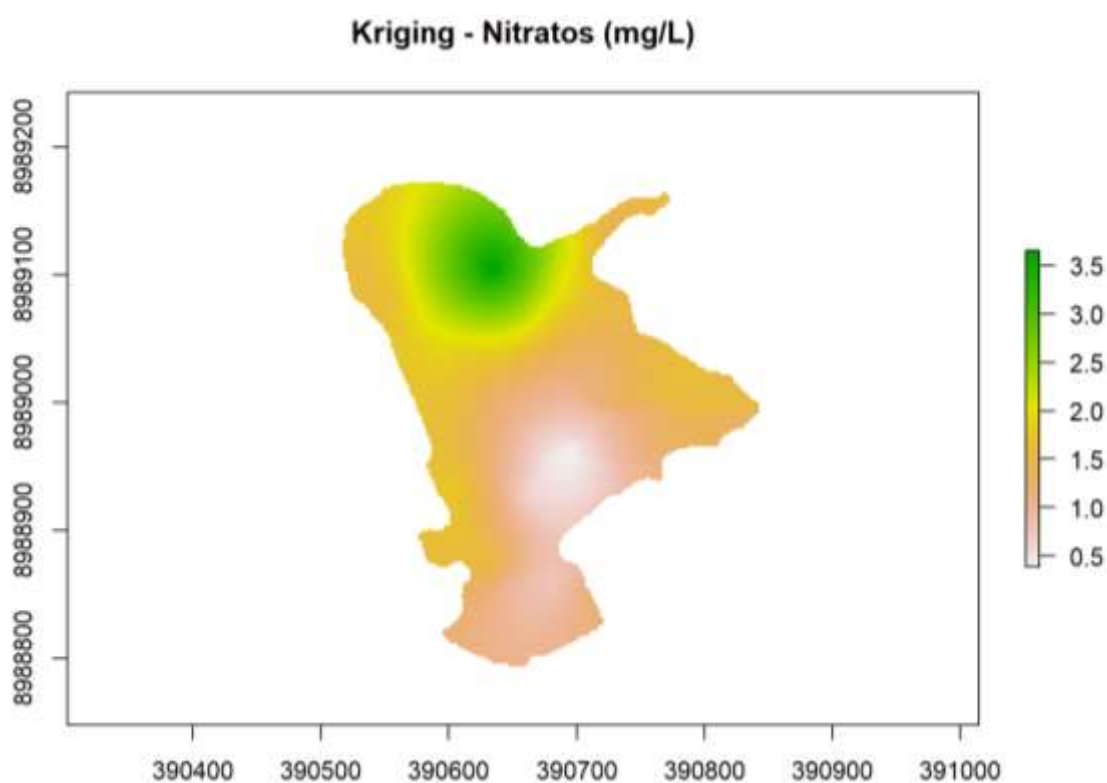


Figura 10. Interpolación con Kriging del comportamiento de Nitratos en la LM

El mapa generado mediante el método de interpolación kriging ordinario para los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) evidencia una distribución espacial heterogénea en la Laguna de Los Milagros. Las concentraciones más elevadas, que superan los 3,5 mg/L, se localizan predominantemente en el sector noroeste, visualizadas mediante zonas de color verde intenso, mientras que las concentraciones más bajas, próximas a 0,5 mg/L, se distribuyen en el centro-sur y sureste del cuerpo lagunar, representadas por tonalidades rosadas. Este patrón sugiere un aporte localizado de nutrientes nitrogenados, probablemente asociado a procesos de escorrentía superficial con presencia de residuos orgánicos, fertilizantes agrícolas o deposición atmosférica. La acumulación de nitratos en ecosistemas acuáticos puede estar relacionada con procesos de eutrofización, especialmente si se combinan con altos niveles de fósforo y luz solar,

promoviendo el crecimiento excesivo de fitoplancton y algas (Camargo & Alonso, 2006; Paerl et al., 2016). Desde el punto de vista de la calidad ambiental, las concentraciones observadas en el noroeste podrían representar un riesgo para la salud del ecosistema acuático. De acuerdo con la EPA (2002), niveles superiores a 10 mg/L como nitrato-nitrógeno son peligrosos para el consumo humano, pero incluso valores más bajos pueden alterar el equilibrio ecológico de ecosistemas lénticos. Además, la transformación de nitratos a nitritos bajo condiciones anóxicas puede aumentar la toxicidad en cuerpos de agua dulce, afectando a peces y macroinvertebrados acuáticos (Rojas et al., 2021).

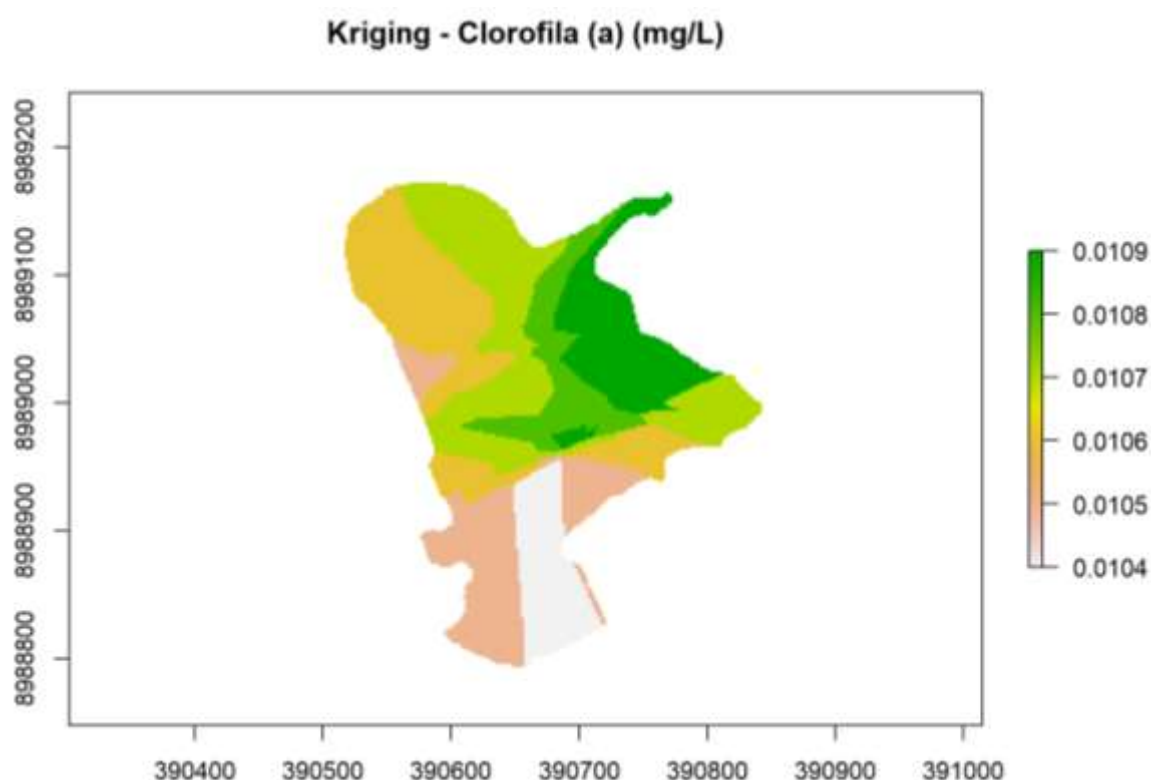


Figura 11. Interpolación con Kriging del comportamiento de la Clorofila (a) en la LM

La imagen obtenida mediante interpolación espacial utilizando kriging ordinario muestra la distribución de la clorofila-a (mg/L) en la superficie de la Laguna de Los Milagros. En ella se distingue una mayor concentración en la zona noreste y centro-oriental del cuerpo de agua, alcanzando valores cercanos a 0,0109 mg/L, mientras que las zonas meridionales y suroccidentales presentan niveles relativamente bajos, aproximándose a los 0,0104 mg/L, como se observa en la escala de colores desde el verde intenso al rosa claro.

Esta distribución es fundamental, ya que la clorofila-a es el pigmento fotosintético dominante en fitoplancton, y su concentración representa una estimación confiable de la biomasa algal presente en el sistema acuático (Reynolds, 2006; Wetzel, 2001). Su acumulación

está directamente relacionada con la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, lo cual favorece los procesos de eutrofización, caracterizados por un aumento excesivo de algas y pérdida de calidad del agua (Carlson, 1977; Cunha et al., 2013).

La clorofila-a es ampliamente utilizada como indicador trófico y constituye una variable crítica en índices como el Índice del Estado Trófico (TSI) propuesto por Carlson. Según este enfoque, concentraciones elevadas de clorofila-a suelen estar asociadas a sistemas mesotróficos o eutróficos, especialmente si se corroboran con altos niveles de fósforo total, como ha sido evidenciado en esta misma laguna. La presencia de manchas verdes más intensas en el mapa sugiere que ciertas zonas presentan una productividad primaria elevada, posiblemente por influencia de descargas puntuales o difusas de nutrientes, sedimentación acumulada o poca renovación del agua en sectores más estancados (Kalff, 2002; Smith et al., 1999).

Desde una perspectiva ecológica, el patrón de concentración de clorofila-a observado permite inferir un proceso incipiente de eutrofización, que, de mantenerse sin gestión, podría derivar en la formación de blooms algales (floraciones), reducción del oxígeno disuelto y eventual degradación del hábitat acuático, afectando tanto a la biodiversidad como al uso recreativo o turístico de la laguna (Dodds & Smith, 2016; Paerl et al., 2011). La interpolación por kriging permite identificar zonas críticas de acumulación algal y tomar decisiones de manejo más focalizadas, tales como establecer barreras vegetativas, disminuir el ingreso de nutrientes o diseñar estrategias de oxigenación.

Desde un enfoque técnico y normativo, la información geoespacial generada a partir de herramientas como la interpolación por Kriging adquiere un rol estratégico en la evaluación del estado ecológico de cuerpos de agua naturales. Al permitir una representación espacial continua de variables fisicoquímicas y biológicas (como clorofila-a, fósforo total, oxígeno disuelto, entre otros), esta metodología no solo ayuda a visualizar zonas críticas y patrones espaciales de alteración ambiental, sino que también fortalece los procesos de toma de decisiones basadas en evidencia.

Este tipo de análisis espacial es particularmente útil en sistemas lénticos (lagos, lagunas, humedales), donde las condiciones ambientales pueden presentar una alta heterogeneidad en función de la profundidad, la morfología del cuerpo de agua, la influencia de fuentes externas (escorrentías, ríos tributarios, asentamientos humanos), y el uso del territorio circundante. Así, mediante mapas temáticos generados por Kriging, se pueden identificar áreas de riesgo ecológico y establecer prioridades de intervención.

En el contexto del Perú, esta información cobra aún mayor relevancia dado que la legislación nacional, a través de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECAs), establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), exige que los cuerpos de agua sean evaluados no solo en función de los valores puntuales de los parámetros, sino también en relación con sus usos asignados (como conservación del ambiente acuático, recreación, abastecimiento de agua potable, entre otros).

Por tanto, al vincular los resultados geospaciales con los ECAs, se pueden evaluar los niveles de cumplimiento normativo de manera más precisa y contextualizada, identificando qué zonas cumplen o incumplen con los límites establecidos según su categoría de uso. Esto permite no solo cumplir con los marcos legales vigentes, sino también anticipar escenarios de deterioro ambiental y aplicar medidas preventivas o correctivas más eficaces.

En suma, la aplicación de técnicas de análisis espacial como el Kriging no solo mejora la comprensión ecológica del cuerpo de agua, sino que se convierte en una herramienta clave para alinear la gestión ambiental local con los estándares y exigencias nacionales de calidad ambiental, contribuyendo al desarrollo de planes de manejo sostenibles, informados y técnicamente respaldados.

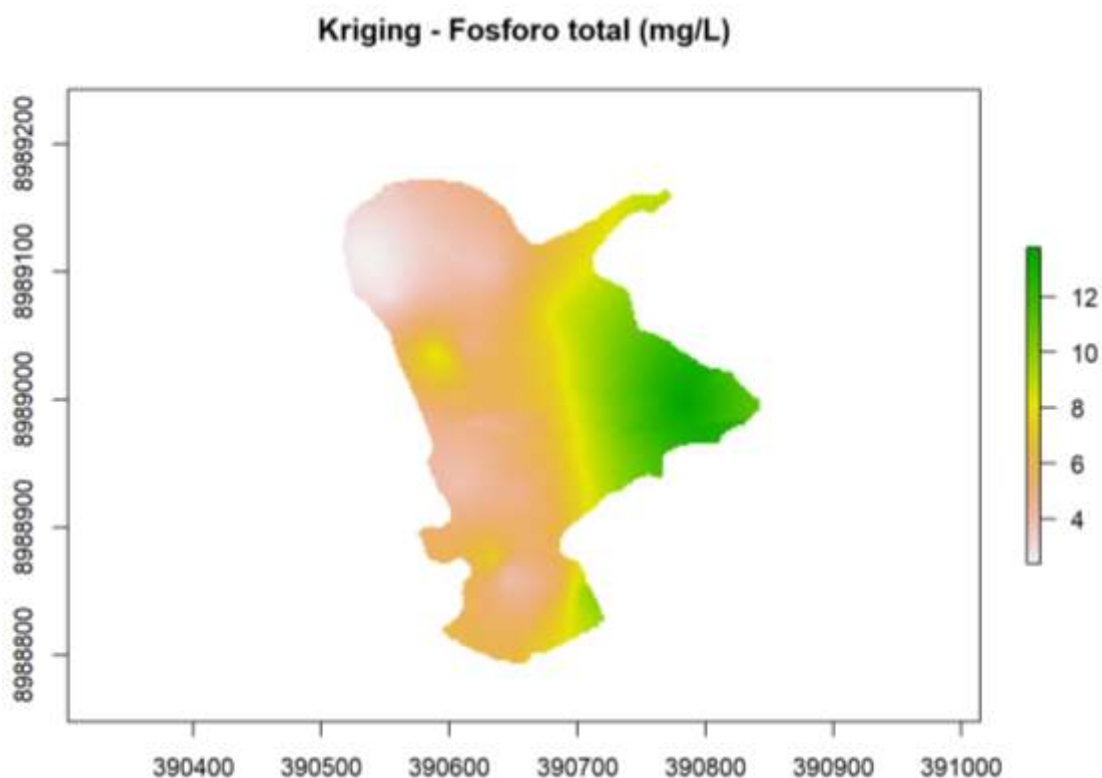


Figura 12. Interpolación con Kriging del comportamiento del Fósforo total en la LM

La imagen generada mediante el método de interpolación espacial por Kriging ordinario

permite visualizar la distribución del fósforo total (mg/L) en la superficie de la Laguna de Los Milagros. Se observa una marcada heterogeneidad espacial en la concentración de este nutriente, con valores más elevados en la zona este y sureste del cuerpo de agua, donde se alcanzan concentraciones cercanas a 13 mg/L, representadas por tonalidades verdes intensas. En contraste, las regiones noroeste y suroeste presentan valores relativamente más bajos, cercanos a 3,5 mg/L, evidenciadas por colores rosados en el mapa.

El fósforo total es uno de los principales nutrientes limitantes en ecosistemas acuáticos, especialmente en cuerpos lénticos como lagos y lagunas. Su presencia en exceso suele estar estrechamente vinculada al fenómeno de eutrofización, al inducir una proliferación excesiva de fitoplancton y macrófitas (Smith, 2003; Correll, 1998). En este sentido, la distribución observada sugiere que en sectores orientales de la laguna podría estarse registrando una mayor entrada o acumulación de fósforo, probablemente asociada a aportes externos como escorrentías, aguas residuales no tratadas o actividades recreativas y turísticas intensivas.

Esta acumulación tiene implicancias ecológicas críticas, ya que el fósforo total es uno de los indicadores clave del estado trófico de los cuerpos de agua según el índice de Carlson (1977), utilizado para clasificar sistemas como oligotróficos, mesotróficos o eutróficos. Las zonas con valores por encima de 10 mg/L, como se observa en esta imagen, podrían ser clasificadas como potencialmente hipereutróficas, especialmente si se correlacionan con concentraciones elevadas de clorofila-a y bajos niveles de oxígeno disuelto, como se evidenció en otras interpolaciones generadas para este mismo sistema.

Además, diversos estudios han demostrado que una alta carga de fósforo puede generar impactos negativos como la pérdida de biodiversidad acuática, proliferación de especies invasoras, generación de blooms de cianobacterias tóxicas, y disminución del valor estético y recreativo del ecosistema (Paerl et al., 2011; Jeppesen et al., 2005). Por lo tanto, el patrón espacial de fósforo total en esta laguna debe ser considerado prioritario en planes de monitoreo y gestión ambiental, sugiriendo la necesidad de establecer zonas de amortiguamiento, mejorar sistemas de tratamiento de aguas residuales, e implementar estrategias de restauración ecológica basadas en la reducción de fuentes de nutrientes.

Finalmente, la utilidad de la técnica de kriging en este contexto ha sido destacada por autores como Goovaerts (1997) y Kumar & Krishna (2014), quienes señalan que este método permite generar representaciones precisas de la variabilidad espacial de parámetros críticos del agua, facilitando la gestión basada en evidencia espacial.

#### 4.3. Grado de eutrofización y su comportamiento en el humedal “Laguna de los Milagros” a partir de la determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico y medición del nivel de relación entre los indicadores

Los resultados obtenidos a partir de la caracterización limnológica del humedal “Laguna de los Milagros” revelan un claro proceso de eutrofización avanzada, evidenciado por múltiples indicadores de biomasa algal, transparencia del agua y disponibilidad de nutrientes. La población fotosintética promedio de 10,55  $\mu\text{g/L}$ , superior al umbral de 8  $\mu\text{g/L}$ , refleja una alta biomasa fitoplanctónica, característica de sistemas con sobrecarga de nutrientes (Smith et al., 1999; Elser et al., 2007).

Este valor es consistente con el diagnóstico proporcionado por los índices tróficos, donde el TSI por fósforo total de Carlson y Toledo presenta promedios de 127,33 y 126,80, respectivamente, clasificando al sistema como hipereutrófico, con altos riesgos de floraciones algales, pérdida de oxígeno disuelto y deterioro ecológico (Carpenter et al., 1998; Correll, 1998; Schindler, 2006).

Tabla 9. Grado de eutrofización del humedal “Laguna de los Milagros” a partir de la determinación de las poblaciones fotosintéticas e índices de estado trófico

Población e índices	Unid. Medida	Nº de puntos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Estado de Eutrofización
Población fotosintética	mo/L o $\mu\text{g/L}$	20,00	10,00	12,00	10,55	0,60	5,7%	> a 8
TSI SD - Carlson	-	20,00	77,35	103,17	87,68	12,98	14,8%	Hipereutrófico
TSI TP - Carlson	-	20,00	105,13	142,42	127,33	9,80	7,7%	Hipereutrófico
TSI Chl-a - Carlson	-	20,00	53,19	54,98	53,70	0,56	1,0%	Eutrófico
TSI SD - Toledo	-	20,00	100,59	126,44	110,93	12,99	11,7%	Hipereutrófico
TSI TP - Toledo	-	20,00	104,59	141,90	126,80	9,81	7,7%	Hipereutrófico
TSI Chl-a - Toledo	-	20,00	30,05	32,68	30,80	0,82	2,7%	Mesotrófico
IET Total - Carlson	-	20,00	78,56	99,91	89,57	6,09	6,8%	Hipereutrófico
IET Total - Toledo	-	20,00	78,41	99,92	89,51	6,12	6,8%	Hipereutrófico

Por otro lado, el TSI por clorofila-a según Carlson (53,70) se sitúa en estado eutrófico, mientras que el de Toledo (30,80) sugiere una condición mesotrófica. Esta diferencia puede

atribuirse a las distintas escalas de calibración entre ambos modelos, pero también puede reflejar una respuesta biológica limitada a pesar de la alta carga de nutrientes, probablemente por limitación secundaria de nitrógeno, turbidez excesiva, o factores de autolimitación por sombra (Paerl et al., 2001; Reynolds, 2006). A pesar de estas discrepancias, los índices integrados IET total de Carlson y Toledo coinciden en situar al humedal en estado hipereutrófico, con valores promedio de 89,57 y 89,51, respectivamente, lo que otorga mayor robustez al diagnóstico general del ecosistema.

El TSI por transparencia (SD) refuerza este panorama: tanto Carlson (87,68) como Toledo (110,93) señalan una baja penetración de luz en el agua, resultado de altas concentraciones de fitoplancton y sólidos suspendidos, lo cual afecta negativamente la fotosíntesis en las capas inferiores y promueve condiciones de anoxia hipolimnética (Wetzel, 2001; Diaz & Rosenberg, 2008). Esta condición reduce la diversidad de especies y altera profundamente la estructura trófica del humedal (Breitburg et al., 2018).

Los bajos coeficientes de variación (<15%) en casi todos los índices sugieren que los valores observados son consistentes y estables en el tiempo, lo que indica que el estado hipereutrófico no es un evento aislado, sino una condición crónica y sostenida. Estos hallazgos son consistentes con otros estudios en humedales tropicales sometidos a presión antrópica, donde la eutrofización ha sido vinculada a escorrentía agrícola, vertimientos domésticos y pérdida de vegetación ribereña (Dodds et al., 2002; MEA, 2005).

En este contexto, la alta carga de fósforo y la alta biomasa fotosintética evidencian un sistema con baja capacidad de autorregulación y recuperación, donde los ciclos internos de nutrientes, especialmente la liberación de fósforo desde los sedimentos bajo condiciones anóxicas, podrían estar retroalimentando el proceso eutrófico (Gächter & Müller, 2003; Søndergaard et al., 2003). A nivel de gestión ambiental, este escenario exige la implementación urgente de estrategias integradas de control de nutrientes, restauración ecológica y monitoreo continuo, priorizando la reducción de fuentes difusas y puntuales, así como el fortalecimiento de capacidades locales de conservación (Mitsch & Gosselink, 2015; Håkanson & Bryhn, 2008).

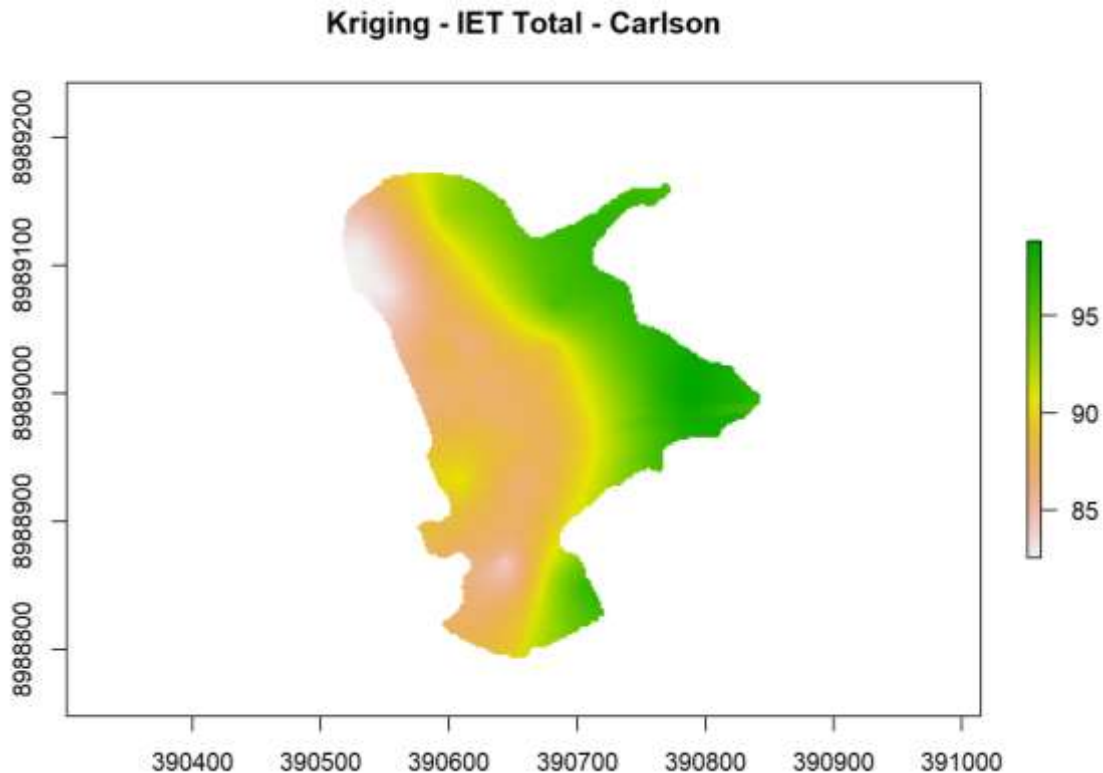


Figura 13. Interpolación con Kriging del comportamiento del IET – Carlson en la LM

La interpolación espacial mediante Kriging del Índice de Estado Trófico modificado Total – Carlson (IET-Carlson) revela un patrón de hipereutrofización extendido en la Laguna de Los Milagros, con valores del índice que oscilan entre 84 y más de 95 unidades. Se evidencia una mayor intensidad del estado trófico en el sector oriental y sudoriental del cuerpo de agua, donde el gradiente de color verde representa valores críticos, superiores a 95, que denotan un nivel extremo de eutrofización. Por el contrario, las zonas norte y suroeste muestran valores levemente inferiores, aunque todos dentro del rango hipereutrófico, lo que sugiere que la laguna se encuentra en una condición generalizada de deterioro trófico severo (Carlson, 1977; Pinto-Coelho et al., 2005). El índice de Carlson, basado tradicionalmente en variables como la clorofila-a, el fósforo total y la transparencia (disco Secchi), es un indicador sintético del grado de productividad biológica de los ecosistemas acuáticos (Salas & Martino, 1991). Los valores obtenidos en esta interpolación superan con amplitud los umbrales de eutrofización (>60), lo que implica un desequilibrio ecológico, probable proliferación de fitoplancton y riesgos asociados como disminución del oxígeno disuelto, mortalidad de fauna acuática y generación de olores desagradables (OECD, 1982; Rocha & Mendes, 2017).

Este patrón coincide con otros resultados del estudio que evidencian elevadas concentraciones de fósforo total y clorofila-a, así como niveles bajos de oxígeno disuelto en

ciertas zonas críticas. Tal coincidencia respalda el uso del IET como una herramienta confiable de diagnóstico ambiental (Cunha et al., 2013). La concentración sostenida de nutrientes sugiere posibles fuentes externas de carga orgánica o agrícola, lo cual requiere una evaluación de cuenca y planes de mitigación. Entonces, el mapa evidencia un estado avanzado de eutrofización en la laguna, que debe ser abordado mediante estrategias de gestión integrada, reducción de fuentes difusas de contaminación y restauración ecológica del sistema acuático (Dodds et al., 1998; Müller et al., 2018).

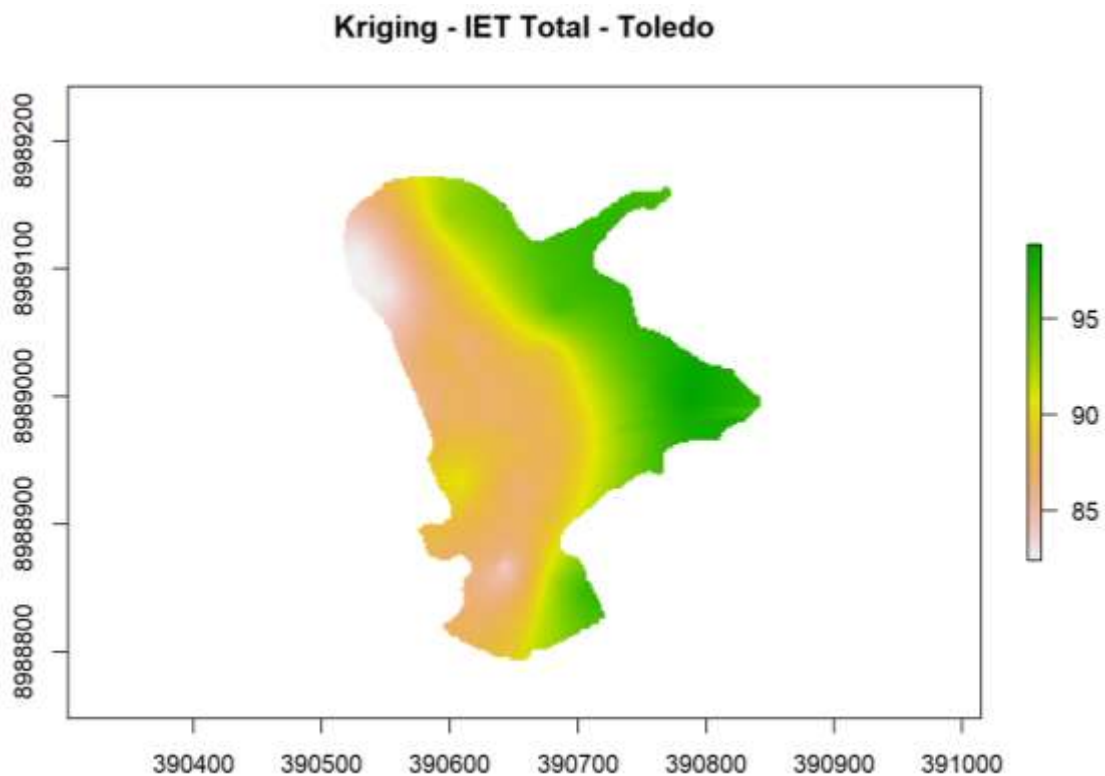


Figura 14. Interpolación con Kriging del comportamiento del IET – Toledo en la LM

La interpolación espacial mediante Kriging del Índice de Estado Trófico modificado Total – Toledo (IET-Toledo) pone en evidencia un alto grado de eutrofización en la Laguna de Los Milagros, con valores del índice que oscilan entre 84 y 97 unidades. La distribución espacial muestra valores más elevados en las zonas orientales, coincidiendo con las áreas de mayor concentración de nutrientes como el fósforo total y clorofila (a), lo cual refleja un estado hipereutrófico generalizado en el ecosistema acuático (Toledo et al., 1983; Cunha et al., 2013). Las zonas con menor intensidad, representadas en tonos rosados, se ubican en el extremo occidental y sur, aunque los valores siguen siendo elevados, por encima del umbral eutrófico (>60).

El IET modificado por Toledo es una adaptación del índice de Carlson (1977) a

ecosistemas tropicales y subtropicales, donde la dinámica de nutrientes y fitoplancton es más activa y acelerada debido a condiciones climáticas particulares (Salas & Martino, 1991). La elevada carga trófica observada en la laguna indica una disponibilidad excesiva de nutrientes, lo cual puede favorecer floraciones algales nocivas, reducción del oxígeno disuelto y alteraciones significativas en la estructura ecológica del cuerpo de agua (Rabalais et al., 2009).

Este patrón de distribución del IET-Toledo guarda coherencia con la interpolación de otras variables del estudio, como la clorofila (a), el fósforo total, la DBO5 y los niveles reducidos de oxígeno disuelto, lo que sugiere un proceso de eutrofización avanzado y multifactorial. Estudios similares en lagunas tropicales han demostrado que los valores críticos del IET-Toledo están estrechamente correlacionados con impactos antropogénicos, especialmente por actividades agrícolas, urbanas y recreativas mal gestionadas (Brasil et al., 2021; Müller et al., 2018).

En resumen, la imagen evidencia que la Laguna de Los Milagros presenta condiciones tróficas severas que podrían comprometer su uso recreativo, ecológico y estético. La integración del IET-Toledo como herramienta de diagnóstico en ambientes tropicales resulta pertinente para establecer líneas base y monitorear la efectividad de futuras estrategias de restauración (Lamparelli, 2004).

La matriz de correlación obtenida revela asociaciones significativas entre diversos parámetros fisicoquímicos y tróficos evaluados en la Laguna de Los Milagros, destacándose especialmente los coeficientes de correlación superiores a 0,6, los cuales denotan relaciones fuertes y consistentes (Mukaka, 2012). En primer lugar, se observa una correlación muy alta entre el Índice de Estado Trófico modificado Total – Carlson y Toledo ( $r = 1.00$ ), lo cual es esperable dado que ambos índices comparten parámetros base como la concentración de fósforo total y clorofila-a para estimar el grado de eutrofización (Carlson, 1977; Toledo et al., 1986). Esta perfecta correlación valida la consistencia de los métodos en la evaluación trófica del ecosistema acuático.

Asimismo, destaca una correlación alta entre el fósforo total y los índices tróficos de Carlson ( $r = 0,68$ ) y Toledo ( $r = 0,69$ ), lo cual refuerza la evidencia de que el fósforo es el nutriente limitante principal que regula el crecimiento algal en sistemas lénticos tropicales, funcionando como un predictor robusto del estado trófico (Wetzel, 2001; Dodds et al., 1998). Igualmente, se identificó una fuerte correlación entre la concentración de clorofila-a y el fósforo total ( $r = 0,64$ ), lo cual es coherente con la dinámica de retroalimentación positiva que ocurre en ambientes eutróficos, donde el aumento de nutrientes promueve una mayor biomasa

fitoplanctónica (Smith et al., 1999).

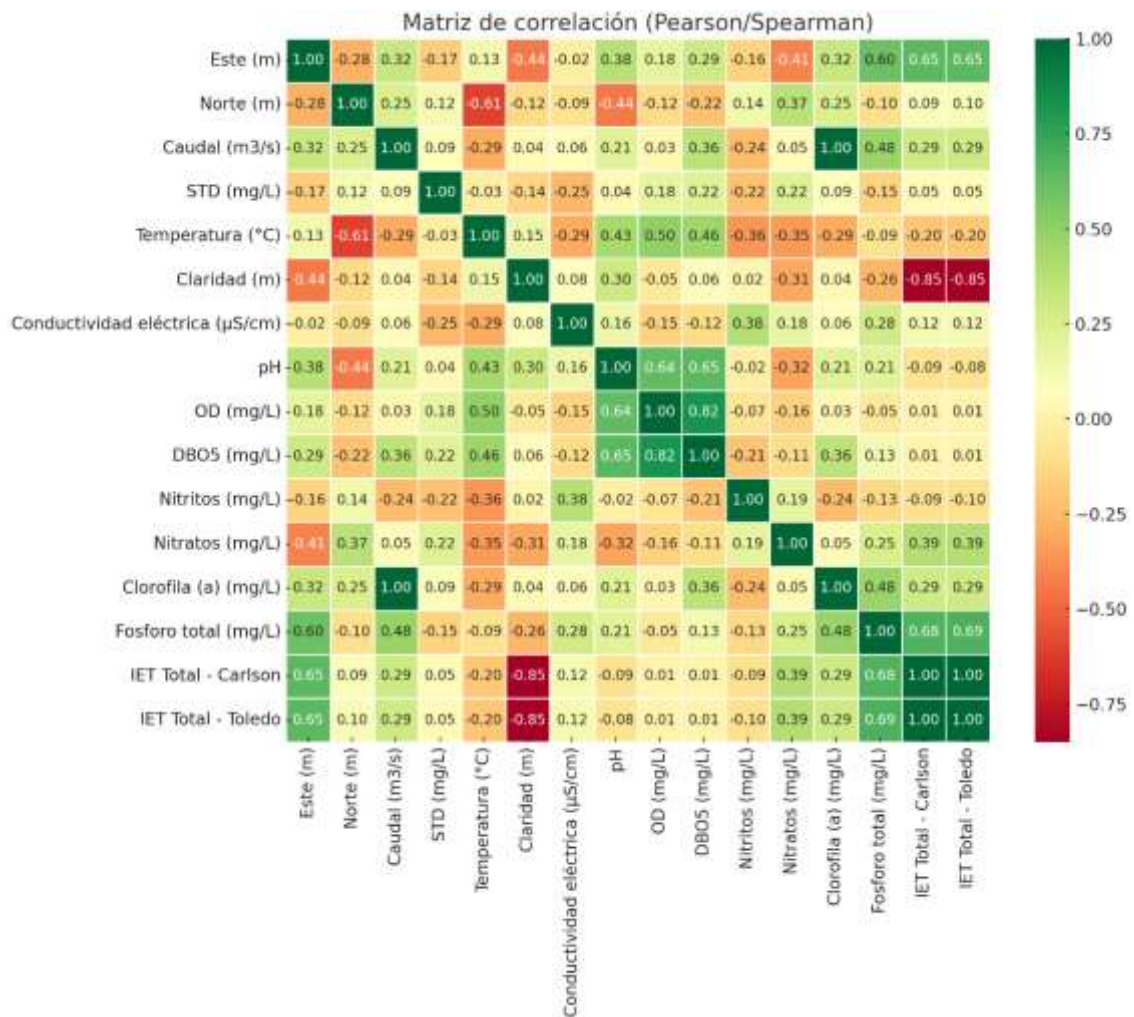


Figura 15. Matriz de correlación de los indicadores de investigación

Además, se evidenció una alta correlación positiva entre la DBO5 y el oxígeno disuelto ( $r = 0,82$ ), lo que podría explicarse por la relación entre la demanda bioquímica de oxígeno y los procesos de degradación de materia orgánica en presencia de oxígeno, sobre todo en zonas con alta actividad biológica o ingreso de materia orgánica reciente (Chapman, 1996). También se halló una relación significativa entre el oxígeno disuelto y el pH ( $r = 0,64$ ), posiblemente debido al efecto de la fotosíntesis sobre la alcalinidad del medio, dado que un aumento en la fotosíntesis eleva simultáneamente los niveles de oxígeno y el pH del agua (Esteves, 2011).

Otro hallazgo relevante es la alta correlación negativa entre la claridad del agua y los índices tróficos Carlson ( $r = -0,85$ ) y Toledo ( $r = -0,85$ ), lo que concuerda con la teoría trófica clásica que asocia el aumento de materia particulada (sólidos en suspensión y fitoplancton) con la disminución de la transparencia del agua, medida comúnmente mediante el disco de Secchi (Carlson, 1977; Salas & Martino, 1991).

Estas relaciones permiten inferir que el estado trófico de la Laguna de Los Milagros está fuertemente condicionado por el aporte de nutrientes, especialmente fósforo, y su efecto sobre la biomasa fitoplanctónica, generando alteraciones en parámetros físicos como la claridad, químicos como el oxígeno disuelto y biológicos como la demanda bioquímica de oxígeno, lo que es consistente con estudios similares en lagos tropicales con síntomas de eutrofización (Gunkel et al., 2007; Nogueira et al., 2010).

## V. CONCLUSIONES

- La temperatura y el caudal se mantuvieron en rangos normales, mientras que la claridad del agua fue baja y los sólidos totales disueltos presentaron variabilidad, indicando condiciones de turbidez y posible aporte de contaminantes.
- Se registraron concentraciones elevadas de fósforo total, clorofila (a), DBO5 y nitritos, así como niveles bajos de oxígeno disuelto, lo que evidencia un desequilibrio químico asociado a procesos de eutrofización.
- Los índices tróficos de Carlson y Toledo clasificaron el cuerpo de agua como hipereutrófico, confirmando un avanzado estado de deterioro trófico en toda la laguna.
- La Laguna de Los Milagros presenta un grado severo de eutrofización, determinado por la combinación de indicadores físicos, químicos y biológicos, que reflejan una condición crítica para la calidad del agua y el equilibrio ecológico del humedal.

## VI. PROPUESTAS AL FUTURO

- Implementar un programa permanente de monitoreo ambiental, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, con especial énfasis en nutrientes como el fósforo total, nitratos, nitritos y clorofila (a), para evaluar periódicamente el grado de eutrofización.
- Controlar y reducir las fuentes externas de nutrientes, es fundamental identificar y regular las actividades agrícolas, domésticas y turísticas que estén generando escorrentía con alto contenido de materia orgánica y fertilizantes hacia el humedal.
- Diseñar zonas de amortiguamiento vegetadas, se sugiere implementar franjas de vegetación nativa alrededor de la laguna para actuar como filtros naturales que reduzcan la entrada de sedimentos y nutrientes al cuerpo de agua.
- Promover la restauración ecológica del ecosistema lagunar, se recomienda desarrollar un plan integral de restauración del humedal, que incluya manejo de macrófitas acuáticas, control de floraciones algales y recuperación del equilibrio ecológico.
- Desarrollar campañas de educación ambiental comunitaria, se debe involucrar a la población local en procesos de sensibilización sobre el cuidado del humedal, fomentando prácticas sostenibles y el valor de conservar la calidad del agua.
- Fortalecer la normativa local y la fiscalización ambiental, es necesario establecer y hacer cumplir regulaciones que limiten el vertido de residuos orgánicos e inorgánicos al humedal, articulando esfuerzos con autoridades municipales y regionales.
- Evaluar la posibilidad de declarar la laguna como área de protección hídrica, dada su importancia ecológica y el grado de vulnerabilidad detectado, se propone gestionar la protección legal del humedal para asegurar su conservación a largo plazo.

## VII. REFERENCIAS

- Abella, J., & Martínez, E. (2012). *Impactos de la eutrofización en ecosistemas acuáticos*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 28(2), 145–156.
- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Springer.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- Aurazo, D. (2004). *Calidad del agua y saneamiento ambiental*. Editorial San Marcos.
- Barbosa, P. A., Díaz, H. F., & López, R. A. (2022). *Spatial variation of electrical conductivity in tropical wetlands: Assessment using Kriging interpolation*. *Journal of Environmental Hydrology*, 30(2), 89–98.
- Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Auburn University.
- Brasil, L. S., Cunha, D. G. F., & Calijuri, M. C. (2021). Trophic state index adjusted to Brazilian reservoirs: A review of methodologies and challenges. *Brazilian Journal of Water Resources*, 26, e39.
- Breitburg, D., Diaz, R. J., Levin, L. A., Loher, T., Lucey, N., & Rabouille, C. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371), eaam7240. <https://doi.org/10.1126/science.aam7240>
- Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831–849.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
- Carvalho, L., Mackay, E. B., Cardoso, A. C., Baattrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K. L., ... & Solheim, A. L. (2013). Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future of the Water Framework Directive. *Science of The Total Environment*, 658,

- 1228–1238. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.255>
- Cataluña, J. (2003). *Manual de monitoreo limnológico*. Universidad de Barcelona.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CPISCA). (1990). *Manual para la vigilancia de la calidad del agua en América Latina*. OPS/OMS.
- Cervantes-Martínez, A., García-Galindo, C., & Suárez-González, L. (2014). Toxicidad de nitritos y nitratos en sistemas acuáticos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 1-12. <https://doi.org/10.20937/RICA.2014.30.01.01>
- Chapman, D. (Ed.). (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Contreras, J., & Benítez, R. (2013). Impacto de los agroquímicos en la calidad del agua superficial. *Revista de Ciencias Ambientales*, 25(2), 45–56.
- Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 261–266. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700020004x>
- Cunha, D. G. F., Calijuri, M. C., & Lamparelli, M. C. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering*, 60, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>
- Davis, M. L., & Cornwell, D. A. (1998). *Introduction to Environmental Engineering*. McGraw-Hill.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929. <https://doi.org/10.1126/science.1156401>
- Díaz, C., Ramírez, L., & Herrera, J. (2020). *Dinámica hidrológica y su influencia en humedales de la Amazonía peruana*. *Revista Amazónica de Recursos Naturales*, 8(1), 35–44.
- Dodds, W. K., Jones, J. R., & Welch, E. B. (1998). Suggested classification of stream trophic state: Distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*, 32(5), 1455–1462.
- Dodds, W. K., Bouska, W. W., Eitzmann, J. L., Pilger, T. J., Pitts, K. L., Riley, A. J., ... & Thornbrugh, D. J. (2002). Eutrophication of U.S. freshwaters: Analysis of potential economic damages. *Environmental Science & Technology*, 43(1), 12–19. <https://doi.org/10.1021/es801217q>

- Dodds, W. K., Smith, V. H., & Lohman, K. (2002). Nitrogen and phosphorus relationships to benthic algal biomass in temperate streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(5), 865–874.
- Dodds, W. K. (2007). *Trophic State, Eutrophication and Nutrient Criteria in Streams*. Trends in Ecology & Evolution, 22(12), 669–676.
- Dodds, W. K., & Smith, V. H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, 6(2), 155–164. <https://doi.org/10.5268/IW-6.2.909>
- Durán, R. (2002). *Contaminación ambiental: Causas, efectos y control*. Editorial Trillas.
- Elser, J. J., Andersen, T., Baron, J. S., Bergström, A. K., Jansson, M., Kyle, M., ... & Hessen, D. O. (2007). Shifts in lake N:P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition. *Science*, 326(5954), 835–837. <https://doi.org/10.1126/science.1140324>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2007). *Water Quality Criteria*. <https://www.epa.gov>
- EPA. (2002). *Ambient Water Quality Criteria for Nitrite*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/wqc>
- EPA. (2012). *Eutrophication: Nutrient Pollution and Water Quality*. United States Environmental Protection Agency.
- Esteves, F. A. (2011). *Fundamentos de Limnologia*. Interciência.
- Faña, M. (2002). *Evaluación hidroquímica y calidad del agua*. Instituto de Hidrología.
- Flores, M. J., Rivas, J. L., & Castro, P. A. (2018). *Caracterización fisicoquímica de cuerpos de agua en ecosistemas amazónicos del Perú*. Revista Peruana de Hidrobiología, 11(2), 55–64.
- Gächter, R., & Müller, B. (2003). Why the phosphorus retention of lakes does not necessarily depend on the oxygen supply to their sediment surface. *Limnology and Oceanography*, 48(2), 929–933. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.2.0929>
- Gaibor, L. (2005). *Contaminación del agua por nitrógeno y fósforo*. Revista de Ciencias Ambientales, 27(1), 55–65.
- Gómez, R. L., Huamán, J. A., & Zárate, M. C. (2021). *Variación espacio-temporal de la temperatura y oxígeno disuelto en lagunas tropicales del Perú*. Revista Peruana de Hidrobiología, 14(1), 49–58.

- González-Pinzón, R., Mora, N., & Delgado, J. A. (2020). *Spatial modeling of solute dynamics in tropical freshwater systems using Kriging methods*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8142-1>
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195115383.001.0001>
- Government of Alberta. (2015). *Lakes and Reservoirs: Trophic States and Water Quality*. Alberta Environment and Parks.
- Granizo, R. (2011). *Evaluación de factores que inciden en el crecimiento del fitoplancton en cuerpos de agua dulce*. Universidad Nacional de Loja.
- Gunkel, G., Sobral, M. C., Rohn, H., et al. (2007). Eutrophication and restoration measures in the tropical Lake Jacarepagua (Rio de Janeiro, Brazil). *Limnologica*, 37(3), 228–241.
- Håkanson, L., & Bryhn, A. C. (2008). *Eutrophication in lakes and coastal waters*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6573-5>
- Hernández, R. (2005). *Gestión ambiental y recursos hídricos*. Editorial Universitaria.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Hessen, D. O., Andersen, T., Armstrong McKay, D., Kosten, S., Meerhoff, M., Pickard, A., & Spears, B. M. (2024). Lake ecosystem tipping points and climate feedbacks. *Earth System Dynamics*, 15, 653–669. <https://doi.org/10.5194/esd-15-653-2024>
- Huang, S., Chen, X., & Wang, J. (2021). Spatiotemporal analysis of nitrogen forms in urban lakes: Influence of anthropogenic and climatic factors. *Science of the Total Environment*, 777, 145990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145990>
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J. P., Havens, K. E., Anneville, O., Carvalho, L., ... & Lammens, E. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, 50(10), 1747–1771. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01415.x>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands* (2nd ed.). CRC Press.
- Kalff, J. (2002). *Limnology: Inland water ecosystems*. Prentice Hall.
- Kumar, A., & Krishna, A. P. (2014). Spatiotemporal analysis of surface water quality using geostatistical modeling in a tropical river basin, India. *Environmental Monitoring and*

- Assessment*, 186(7), 4127–4145. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3651-0>
- Lamparelli, M. C. (2004). *Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo].
- Lampoglia, G. (2011). *Calidad del agua potable: criterios y tratamientos*. Ediciones Técnicas Universitarias.
- Ledesma, M., & Bonancea, G. (2013). *Eutrofización y deterioro ambiental en ecosistemas acuáticos continentales*. Universidad Nacional del Litoral.
- López, R. (2002). *Humedales de México: Clasificación, distribución e importancia ecológica*. Instituto Nacional de Ecología.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis*. World Resources Institute.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis*. World Resources Institute.
- MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental para Agua*. DS N.º 004-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://www.gob.pe/minam>
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Moreno, L., & Ramírez, J. (2010). *Evaluación del estado trófico en sistemas lénticos tropicales*. *Limnología Tropical*, 35(1), 45–52.
- Moreta, R. (2008). *Evaluación del estado trófico en lagos ecuatorianos*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R. W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., ... & Scheffer, M. (2011). Allied attack: Climate change and eutrophication. *Inland Waters*, 1(2), 101–105. <https://doi.org/10.5268/IW-1.2.359>
- Mukaka, M. M. (2012). A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), 69–71.
- Murillo Torrecilla, F. (2008). *Investigación aplicada: Fundamentos y metodología*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- NALMS. (2015). *Trophic State: Understanding Lake Productivity*. North American Lake Management Society.

- Nasios, I. (2025). AI-driven multi-source data fusion for algal bloom severity classification in small inland water bodies: Leveraging Sentinel-2, DEM, and NOAA climate data. *arXiv preprint arXiv:2505.03808*. <https://arxiv.org/abs/2505.03808>
- Nogueira, M. G., Henry, R., & Maricatto, F. E. (2010). Spatial and temporal heterogeneities in the limnological conditions of a tropical reservoir (Barra Bonita, SP, Brazil): Implications for reservoir management. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 5(1), 1–12.
- Organización de las Naciones Unidas - Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (ONU-DAES). (2014). *Agua y desarrollo sostenible*. [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/un\\_water\\_report\\_es.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/un_water_report_es.pdf)
- OECD. (1982). *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Paerl, H. W., & Huisman, J. (2009). Climate change: A catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1(1), 27–37. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x>
- Paerl, H. W., Otten, T. G., & Kudela, R. (2016). Mitigating the expansion of harmful algal blooms across the freshwater-to-marine continuum. *Environmental Science & Technology*, 50(17), 10300–10305. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01674>
- Paerl, H. W., Hall, N. S., & Calandrino, E. S. (2016). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of The Total Environment*, 409(10), 1739–1745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.001>
- Peñaherrera, L. (2010). *Indicadores biológicos y estado trófico de lagos andinos*. *Revista Peruana de Ecología*, 19(1), 75–84.
- Pinto-Coelho, R., Bezerra-Neto, J. F., & Morais-Junior, M. (2005). Eutrofização em reservatórios: conceitos, controvérsias e perspectivas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(2), 49–59.
- PREQB. (2004). *Guía para la evaluación de calidad de agua superficial*. Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2003). *Perspectivas del medio ambiente mundial GEO-3*. <https://wedocs.unep.org>

- Qin, B., Xu, H., Wu, Q., Luo, L., & Zhang, Y. (2020). Environmental issues of lakes and countermeasures in China: Management strategy for lake eutrophication. *Journal of Environmental Management*, 261, 110632. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110632>
- Rabalais, N. N., Turner, R. E., & Scavia, D. (2009). Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *BioScience*, 52(2), 129–142. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0129:BSIPGO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0129:BSIPGO]2.0.CO;2)
- Ramos, D. C., & Silva, R. P. (2019). *Análisis térmico en cuerpos de agua mediante interpolación espacial Kriging*. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 11(2), 77–85.
- Rengifo, C. J., Navarro, J., & Yarlequé, A. (2020). *Parámetros físico-químicos y calidad del agua en lagos amazónicos de Perú*. Revista Amazónica de Ciencias Ambientales, 9(1), 55–66.
- RED MAPSA. (2007). *Indicadores de calidad del agua en ecosistemas lénticos*. Red de Monitoreo Ambiental del Pacífico Sur Andino.
- REPDA. (2010). *Clasificación de usos del agua en el Perú*. Autoridad Nacional del Agua.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Rocha, R., & Mendes, G. (2017). Avaliação da qualidade da água de uma lagoa urbana eutrofizada. *Revista Ambiente & Água*, 12(1), 155–167.
- Rodríguez, H., Torres, A., & Medina, E. (2021). *Dinámica espacial de parámetros físicoquímicos en lagunas altoandinas mediante interpolación geoestadística*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 9(1), 78–91.
- Rodríguez, J. C., Vásquez, C. E., & Medina, F. T. (2022). *Variabilidad espacial de parámetros físicoquímicos en lagos tropicales amazónicos del Perú*. Revista Peruana de Ecología Acuática, 3(1), 33–48.
- Rojas, H., Ramos, J. M., & Castro, R. (2021). Variabilidad espacio-temporal de nitratos en ecosistemas lénticos tropicales. *Revista de Limnología Tropical*, 37(2), 101–115.
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Bases para el monitoreo de ecosistemas acuáticos lénticos*. Universidad de Antioquia.
- Romero, P. (2002). *Procesos de eutrofización y sus efectos en cuerpos de agua dulce*.

Universidad Nacional de Colombia.

- Sahu, S. K., Sahu, A. K., & Sahu, S. (2023). A comprehensive review of water quality control on lentic ecosystem through the water quality IoT and aeration models. *Environmental Technology & Innovation*, 30, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.102123>
- Salas, H. J., & Martino, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, 25(6), 755–765.
- Samboni, J., Andrade, J., & Londoño, E. (2007). *Análisis fisicoquímico y bacteriológico de aguas superficiales*. Universidad del Valle.
- Sánchez, M., & Pontes, L. (2010). *Educación ambiental y desarrollo sostenible*. Ediciones Pirámide.
- Santos, A. F., López, D. C., & Carvajal, F. (2019). *Aplicación del Kriging ordinario para modelar el comportamiento hídrico en lagunas de altura*. *Revista Geoambiente*, 22(3), 77–86.
- Schindler, D. W. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2), 356–363. [https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1\\_part\\_2.0356](https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0356)
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179–196. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)
- Smith, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: A global problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126–139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
- Søndergaard, M., Jensen, J. P., & Jeppesen, E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506–509(1–3), 135–145. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Tebbutt, T. H. Y. (1998). *Principios de calidad del agua para ingenieros ambientales*. Editorial Limusa.
- Toledo, C. P., Cardoso, E. J. B. N., & Colares, I. G. (1983). *Avaliação do grau de trofia de*

*corpos d'água do estado de São Paulo. CETESB.*

- Toledo, A. M., Tundisi, J. G., & Matsumura-Tundisi, T. (1985). Índice do estado trófico (IET) como instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos. *Cadernos da Escola de Saúde Pública*, 3(1), 1–19.
- Toledo Jr., A. M., Marcondes, G. C., Tundisi, J. R., & Bicudo, C. E. de M. (1985). Modificación del Índice de Carlson para lagos tropicales. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1(2), 111–124.
- Toledo, A. M. D., & Ramírez, E. D. (1986). *Metodología para la evaluación del estado trófico de cuerpos lénticos*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Tundisi, J. G., & Tundisi, T. M. (2012). *Limnología*. Oficina de Textos.
- UNEP. (2008). *Water quality for ecosystem and human health* (2nd ed.). United Nations Environment Programme.
- UNESCO. (2019). *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving no one behind*. UNESCO.
- USEPA. (2012). *Water Quality Standards Handbook: Chapter 3. Water Quality Criteria*. United States Environmental Protection Agency.
- Velásquez, G., & Jiménez, M. (2007). *Factores que influyen en la transparencia del agua*. *Revista Técnica de Recursos Hídricos*, 15(2), 89–94.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Recolección de datos en los 20 puntos de muestreo

Tabla 10. Resultados del trabajo de investigación

Puntos de muestreo	Este (m)	Norte (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	STD (mg/L)	Temperatura (°C)	Claridad (m)	Conductividad eléctrica (μS/cm)
P1	390608	8988933	0,010	0,07	26,3	0	16,21
P2	390598	8989143	0,011	0,08	25,8	0	15,85
P3	390694	8988963	0,011	0,06	26,3	0,3	16,01
P4	390634	8989105	0,010	0,04	25,8	0	16,1
P5	390786	8988998	0,011	0,04	26,3	0	16,41
P6	390641	8988870	0,010	0,09	26,1	0,3	15,96
P7	390706	8988849	0,010	0,03	26,1	0	16,35
P8	390553	8989081	0,010	0,03	26,1	0,3	16,22
P9	390719	8989141	0,011	0,02	25,8	0	16,1
P10	390637	8988874	0,011	0,02	26,1	0,3	16,38
P11	390589	8989038	0,010	0,04	25,8	0,3	17,28
P12	390683	8988856	0,010	0,03	26,1	0	16,5
P13	390600	8989030	0,012	0,07	25,8	0,3	16,43
P14	390682	8989070	0,011	0,04	25,8	0	15,72
P15	390645	8988858	0,010	0,02	26,3	0,3	15,8
P16	390658	8988925	0,011	0,04	26,3	0,3	14,06
P17	390613	8989040	0,011	0,03	25,8	0,3	19,3
P18	390681	8989036	0,011	0,02	25,8	0,3	16,79
P19	390531	8989116	0,010	0,04	26,1	0,3	15,85
P20	390581	8988989	0,010	0,02	26,3	0,3	16,2

Puntos de muestreo	pH	OD (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Clorofila (a) (mg/L)	Fosforo total (mg/L)
P1	6,750	3,9	2,8	2	2,1	0,010	3,28
P2	6,160	3,2	2,5	1	2,5	0,011	4,41
P3	7,040	3,8	3	0	0	0,011	7,81
P4	6,320	3,3	2,5	11	4,9	0,010	3,28
P5	6,890	3,6	2,8	2	1,7	0,011	14,60
P6	6,764	3,4	2,7	6	1,2	0,010	1,10
P7	6,808	3,3	2,4	5	1,5	0,010	11,20
P8	6,260	3,3	2,5	0	1,4	0,010	2,15

---

P9	6,21	3,3	2,6	6	1,3	0,011	7,81
P10	6,421	3,2	2,6	4	2,4	0,011	12,34
P11	6,530	3	2,4	8	1,9	0,010	9,70
P12	6,410	3,1	2,5	4	0,3	0,010	4,41
P13	6,620	3,1	2,7	2,5	2	0,012	8,87
P14	6,500	3,2	2,5	1	1,6	0,011	9,12
P15	6,434	2,9	2,4	0,1	0,5	0,010	3,28
P16	7,13	3,8	2,9	2,2	0,3	0,011	4,41
P17	6,780	3,3	2,4	11	1,4	0,011	3,26
P18	7,030	3,3	2,6	3	1,4	0,011	7,39
P19	6,230	3,2	2,3	4	1,5	0,010	2,15
P20	6,860	3,7	2,9	9	1,6	0,010	4,41

---

## Anexo 2. Análisis estadístico del comportamiento de los indicadores a partir del Kriging

Tabla 11. Interpolación de los indicadores en estudio en el área de la LM

ID	Este (m)	Norte (m)	pH	Oxígeno disuelto mg/L	Claridad (m)	Fosforo Total mg/L	Clorofila a mg/L
1	390481	8988799	6,52	3,27	0,14	6,83	0,0106
2	390486	8988799	6,53	3,27	0,14	6,83	0,0106
3	390491	8988799	6,53	3,26	0,14	6,83	0,0106
4	390496	8988799	6,53	3,26	0,14	6,83	0,0106
5	390501	8988799	6,53	3,26	0,14	6,86	0,0106
6	390506	8988799	6,54	3,26	0,14	6,87	0,0106
7	390511	8988799	6,54	3,26	0,14	6,88	0,0106
8	390516	8988799	6,54	3,25	0,14	6,89	0,0106
9	390521	8988799	6,54	3,25	0,14	6,89	0,0106
10	390526	8988799	6,54	3,25	0,14	6,90	0,0106
11	390531	8988799	6,54	3,24	0,14	6,90	0,0106
12	390536	8988799	6,55	3,24	0,14	6,90	0,0106
13	390541	8988799	6,55	3,23	0,14	6,89	0,0106
14	390546	8988799	6,55	3,23	0,14	6,87	0,0106
15	390551	8988799	6,55	3,22	0,14	6,84	0,0106
16	390556	8988799	6,55	3,22	0,15	6,80	0,0106
17	390561	8988799	6,55	3,21	0,15	6,74	0,0106
18	390566	8988799	6,56	3,21	0,15	6,68	0,0106
19	390571	8988799	6,56	3,20	0,15	6,62	0,0106
20	390576	8988799	6,56	3,19	0,16	6,57	0,0106
21	390581	8988799	6,56	3,19	0,16	6,52	0,0106
22	390586	8988799	6,56	3,18	0,17	6,47	0,0106
23	390591	8988799	6,56	3,17	0,18	6,42	0,0106
24	390596	8988799	6,56	3,16	0,18	6,38	0,0106
25	390601	8988799	6,56	3,15	0,18	6,34	0,0106
26	390606	8988799	6,56	3,15	0,19	6,31	0,0106
27	390611	8988799	6,57	3,14	0,19	6,28	0,0106
28	390616	8988799	6,57	3,13	0,19	6,26	0,0106
29	390621	8988799	6,57	3,12	0,18	6,24	0,0106
30	390626	8988799	6,57	3,12	0,18	6,24	0,0106
31	390631	8988799	6,57	3,11	0,18	6,24	0,0106
32	390636	8988799	6,57	3,11	0,17	6,26	0,0106
33	390641	8988799	6,58	3,11	0,16	6,28	0,0106

---

34	390646	8988799	6,58	3,10	0,15	6,32	0,0106
35	390651	8988799	6,58	3,10	0,15	6,38	0,0106
36	390656	8988799	6,59	3,10	0,14	7,07	0,0106
37	390661	8988799	6,59	3,11	0,13	7,15	0,0106
38	390666	8988799	6,59	3,11	0,12	7,23	0,0106
39	390671	8988799	6,60	3,12	0,11	7,34	0,0106
40	390676	8988799	6,60	3,12	0,10	7,45	0,0106
41	390681	8988799	6,61	3,13	0,09	7,57	0,0106
42	390686	8988799	6,61	3,14	0,08	7,70	0,0106
43	390691	8988799	6,62	3,15	0,08	7,83	0,0106
44	390696	8988799	6,63	3,15	0,08	7,96	0,0106
45	390701	8988799	6,63	3,16	0,08	8,08	0,0106
46	390706	8988799	6,64	3,17	0,07	8,20	0,0106
47	390711	8988799	6,64	3,18	0,08	8,31	0,0106
48	390716	8988799	6,65	3,19	0,08	8,41	0,0106
49	390721	8988799	6,65	3,20	0,08	8,49	0,0106
50	390726	8988799	6,66	3,21	0,09	8,56	0,0106
51	390731	8988799	6,66	3,22	0,10	8,80	0,0106
52	390736	8988799	6,66	3,23	0,10	8,86	0,0106
53	390741	8988799	6,67	3,23	0,11	8,90	0,0106
54	390746	8988799	6,67	3,24	0,12	8,94	0,0106
55	390751	8988799	6,68	3,25	0,12	8,96	0,0106
56	390756	8988799	6,68	3,26	0,13	8,98	0,0106
57	390761	8988799	6,68	3,26	0,14	9,00	0,0106
58	390766	8988799	6,68	3,27	0,14	9,01	0,0106
59	390771	8988799	6,69	3,27	0,14	9,02	0,0106
60	390776	8988799	6,69	3,28	0,14	9,01	0,0106
61	390781	8988799	6,69	3,28	0,14	8,97	0,0106
62	390786	8988799	6,69	3,29	0,14	8,91	0,0106
63	390791	8988799	6,69	3,29	0,14	8,85	0,0106
64	390796	8988799	6,69	3,30	0,14	8,78	0,0106
65	390801	8988799	6,69	3,30	0,14	8,72	0,0106
66	390806	8988799	6,69	3,31	0,14	8,65	0,0106
67	390811	8988799	6,70	3,31	0,14	8,58	0,0106
68	390816	8988799	6,70	3,31	0,14	8,51	0,0106
69	390821	8988799	6,70	3,32	0,14	8,45	0,0106
70	390826	8988799	6,70	3,32	0,14	8,38	0,0106
71	390831	8988799	6,70	3,32	0,14	8,32	0,0106

---

---

72	390481	8988804	6,53	3,27	0,14	6,83	0,0106
73	390486	8988804	6,53	3,27	0,14	6,83	0,0106
74	390491	8988804	6,53	3,27	0,14	6,83	0,0106
75	390496	8988804	6,53	3,27	0,14	6,83	0,0106
76	390501	8988804	6,53	3,27	0,14	6,86	0,0106
77	390506	8988804	6,54	3,27	0,14	6,88	0,0106
78	390511	8988804	6,54	3,26	0,14	6,89	0,0106
79	390516	8988804	6,54	3,26	0,14	6,90	0,0106
80	390521	8988804	6,54	3,26	0,14	6,91	0,0106
81	390526	8988804	6,54	3,25	0,14	6,91	0,0106
82	390531	8988804	6,55	3,25	0,14	6,92	0,0106
83	390536	8988804	6,55	3,25	0,14	6,91	0,0106
84	390541	8988804	6,55	3,24	0,14	6,91	0,0106
85	390546	8988804	6,55	3,24	0,14	6,88	0,0106
86	390551	8988804	6,55	3,23	0,14	6,84	0,0106
87	390556	8988804	6,56	3,23	0,15	6,79	0,0106
88	390561	8988804	6,56	3,22	0,15	6,73	0,0106
89	390566	8988804	6,56	3,21	0,15	6,67	0,0106
90	390571	8988804	6,56	3,21	0,16	6,61	0,0106
91	390576	8988804	6,56	3,20	0,16	6,55	0,0106
92	390581	8988804	6,56	3,19	0,17	6,50	0,0106
93	390586	8988804	6,56	3,18	0,18	6,45	0,0106
94	390591	8988804	6,56	3,17	0,18	6,40	0,0106
95	390596	8988804	6,56	3,17	0,19	6,35	0,0106
96	390601	8988804	6,57	3,16	0,19	6,31	0,0106
97	390606	8988804	6,57	3,15	0,19	6,27	0,0106
98	390611	8988804	6,57	3,14	0,19	6,24	0,0106
99	390616	8988804	6,57	3,13	0,19	6,21	0,0106
100	390621	8988804	6,57	3,12	0,19	6,19	0,0106
101	390626	8988804	6,57	3,12	0,19	6,18	0,0106
102	390631	8988804	6,57	3,11	0,18	6,18	0,0106
103	390636	8988804	6,58	3,11	0,17	6,19	0,0106
104	390641	8988804	6,58	3,10	0,17	6,22	0,0106
105	390646	8988804	6,58	3,10	0,16	6,26	0,0106
106	390651	8988804	6,58	3,10	0,15	6,31	0,0106
107	390656	8988804	6,59	3,10	0,14	6,39	0,0106
108	390661	8988804	6,59	3,11	0,13	7,05	0,0106
109	390666	8988804	6,60	3,11	0,11	7,15	0,0106

---

---

110	390671	8988804	6,60	3,11	0,10	7,26	0,0106
111	390676	8988804	6,61	3,12	0,09	7,39	0,0106
112	390681	8988804	6,61	3,13	0,08	7,53	0,0106
113	390686	8988804	6,62	3,14	0,08	7,67	0,0106
114	390691	8988804	6,62	3,15	0,07	7,82	0,0106
115	390696	8988804	6,63	3,16	0,07	7,96	0,0106
116	390701	8988804	6,63	3,17	0,07	8,10	0,0106
117	390706	8988804	6,64	3,18	0,07	8,23	0,0106
118	390711	8988804	6,65	3,19	0,07	8,34	0,0106
119	390716	8988804	6,65	3,20	0,07	8,45	0,0106
120	390721	8988804	6,66	3,21	0,07	8,54	0,0106
121	390726	8988804	6,66	3,22	0,08	8,61	0,0106
122	390731	8988804	6,67	3,22	0,09	8,85	0,0106
123	390736	8988804	6,67	3,23	0,09	8,90	0,0106
124	390741	8988804	6,67	3,24	0,10	8,94	0,0106
125	390746	8988804	6,68	3,25	0,11	8,98	0,0106
126	390751	8988804	6,68	3,26	0,12	9,00	0,0106
127	390756	8988804	6,68	3,26	0,13	9,02	0,0106
128	390761	8988804	6,69	3,27	0,13	9,03	0,0106
129	390766	8988804	6,69	3,27	0,14	9,04	0,0106
130	390771	8988804	6,69	3,28	0,14	9,04	0,0106
131	390776	8988804	6,69	3,29	0,14	9,04	0,0106
132	390781	8988804	6,69	3,29	0,14	9,01	0,0106
133	390786	8988804	6,70	3,30	0,14	8,96	0,0106
134	390791	8988804	6,70	3,30	0,14	8,89	0,0106
135	390796	8988804	6,70	3,31	0,14	8,82	0,0106
136	390801	8988804	6,70	3,31	0,14	8,75	0,0106
137	390806	8988804	6,70	3,31	0,14	8,68	0,0106
138	390811	8988804	6,70	3,32	0,14	8,61	0,0106
139	390816	8988804	6,70	3,32	0,14	8,54	0,0106
140	390821	8988804	6,70	3,32	0,14	8,47	0,0106
141	390826	8988804	6,70	3,33	0,14	8,40	0,0106
142	390831	8988804	6,70	3,33	0,14	8,34	0,0106
143	390481	8988809	6,53	3,28	0,14	6,83	0,0106
144	390486	8988809	6,53	3,28	0,14	6,83	0,0106
145	390491	8988809	6,53	3,28	0,14	6,83	0,0106
146	390496	8988809	6,53	3,28	0,14	6,83	0,0106
147	390501	8988809	6,54	3,27	0,14	6,84	0,0106

---

---

148	390506	8988809	6,54	3,27	0,14	6,89	0,0106
149	390511	8988809	6,54	3,27	0,14	6,90	0,0106
150	390516	8988809	6,54	3,27	0,14	6,91	0,0106
151	390521	8988809	6,54	3,26	0,14	6,92	0,0106
152	390526	8988809	6,55	3,26	0,14	6,93	0,0106
153	390531	8988809	6,55	3,26	0,14	6,93	0,0106
154	390536	8988809	6,55	3,25	0,14	6,93	0,0106
155	390541	8988809	6,55	3,25	0,14	6,91	0,0106
156	390546	8988809	6,55	3,25	0,14	6,89	0,0106
157	390551	8988809	6,56	3,24	0,15	6,84	0,0106
158	390556	8988809	6,56	3,23	0,15	6,79	0,0106
159	390561	8988809	6,56	3,23	0,15	6,72	0,0106
160	390566	8988809	6,56	3,22	0,16	6,66	0,0106
161	390571	8988809	6,56	3,21	0,16	6,60	0,0106
162	390576	8988809	6,56	3,21	0,17	6,54	0,0106
163	390581	8988809	6,56	3,20	0,18	6,48	0,0106
164	390586	8988809	6,56	3,19	0,18	6,42	0,0106
165	390591	8988809	6,57	3,18	0,19	6,37	0,0106
166	390596	8988809	6,57	3,17	0,19	6,32	0,0106
167	390601	8988809	6,57	3,16	0,20	6,27	0,0106
168	390606	8988809	6,57	3,15	0,20	6,23	0,0106
169	390611	8988809	6,57	3,14	0,20	6,19	0,0106
170	390616	8988809	6,57	3,13	0,20	6,16	0,0106
171	390621	8988809	6,57	3,13	0,20	6,13	0,0106
172	390626	8988809	6,57	3,12	0,19	6,11	0,0106
173	390631	8988809	6,57	3,11	0,19	6,11	0,0106
174	390636	8988809	6,58	3,11	0,18	6,11	0,0106
175	390641	8988809	6,58	3,10	0,17	6,13	0,0106
176	390646	8988809	6,58	3,10	0,16	6,17	0,0106
177	390651	8988809	6,58	3,10	0,15	6,23	0,0106
178	390656	8988809	6,59	3,10	0,14	6,31	0,0106
179	390661	8988809	6,59	3,10	0,12	6,93	0,0106
180	390666	8988809	6,60	3,11	0,11	7,04	0,0106
181	390671	8988809	6,60	3,11	0,10	7,17	0,0106
182	390676	8988809	6,61	3,12	0,09	7,31	0,0106
183	390681	8988809	6,61	3,13	0,08	7,47	0,0106
184	390686	8988809	6,62	3,14	0,07	7,63	0,0106
185	390691	8988809	6,63	3,15	0,06	7,80	0,0106

---

---

186	390696	8988809	6,63	3,16	0,06	7,96	0,0106
187	390701	8988809	6,64	3,17	0,06	8,12	0,0106
188	390706	8988809	6,64	3,18	0,06	8,26	0,0106
189	390711	8988809	6,65	3,19	0,06	8,39	0,0106
190	390716	8988809	6,66	3,20	0,06	8,49	0,0106
191	390721	8988809	6,66	3,21	0,06	8,59	0,0106
192	390726	8988809	6,67	3,22	0,07	8,83	0,0106
193	390731	8988809	6,67	3,23	0,08	8,89	0,0106
194	390736	8988809	6,67	3,24	0,09	8,94	0,0106
195	390741	8988809	6,68	3,25	0,10	8,98	0,0106
196	390746	8988809	6,68	3,26	0,10	9,01	0,0106
197	390751	8988809	6,68	3,26	0,11	9,04	0,0106
198	390756	8988809	6,69	3,27	0,12	9,05	0,0106
199	390761	8988809	6,69	3,28	0,13	9,06	0,0106
200	390766	8988809	6,69	3,28	0,13	9,06	0,0106
201	390771	8988809	6,69	3,29	0,14	9,07	0,0106
202	390776	8988809	6,70	3,29	0,14	9,07	0,0106
203	390781	8988809	6,70	3,30	0,14	9,05	0,0106
204	390786	8988809	6,70	3,30	0,14	8,99	0,0106
205	390791	8988809	6,70	3,31	0,14	8,93	0,0106
206	390796	8988809	6,70	3,31	0,14	8,86	0,0106
207	390801	8988809	6,70	3,32	0,14	8,79	0,0106
208	390806	8988809	6,70	3,32	0,14	8,71	0,0106
209	390811	8988809	6,70	3,32	0,14	8,64	0,0106
210	390816	8988809	6,70	3,33	0,14	8,57	0,0106
211	390821	8988809	6,70	3,33	0,14	8,50	0,0106
212	390826	8988809	6,70	3,33	0,14	8,43	0,0106
213	390831	8988809	6,70	3,34	0,14	8,36	0,0106
214	390481	8988814	6,53	3,29	0,14	6,83	0,0106
215	390486	8988814	6,53	3,28	0,14	6,83	0,0106
216	390491	8988814	6,53	3,28	0,14	6,83	0,0106
217	390496	8988814	6,54	3,28	0,14	6,83	0,0106
218	390501	8988814	6,54	3,28	0,14	6,85	0,0106
219	390506	8988814	6,54	3,28	0,14	6,87	0,0106
220	390511	8988814	6,54	3,28	0,14	6,92	0,0106
221	390516	8988814	6,54	3,28	0,14	6,93	0,0106
222	390521	8988814	6,55	3,27	0,14	6,94	0,0106
223	390526	8988814	6,55	3,27	0,14	6,94	0,0106

---

---

224	390531	8988814	6,55	3,27	0,14	6,94	0,0106
225	390536	8988814	6,55	3,26	0,14	6,94	0,0106
226	390541	8988814	6,55	3,26	0,14	6,92	0,0106
227	390546	8988814	6,56	3,25	0,14	6,89	0,0106
228	390551	8988814	6,56	3,25	0,15	6,84	0,0106
229	390556	8988814	6,56	3,24	0,15	6,78	0,0106
230	390561	8988814	6,56	3,24	0,15	6,71	0,0106
231	390566	8988814	6,56	3,23	0,16	6,64	0,0106
232	390571	8988814	6,56	3,22	0,17	6,58	0,0106
233	390576	8988814	6,56	3,21	0,18	6,52	0,0106
234	390581	8988814	6,57	3,21	0,18	6,46	0,0106
235	390586	8988814	6,57	3,20	0,19	6,40	0,0106
236	390591	8988814	6,57	3,19	0,20	6,34	0,0106
237	390596	8988814	6,57	3,18	0,20	6,29	0,0106
238	390601	8988814	6,57	3,17	0,21	6,23	0,0106
239	390606	8988814	6,57	3,16	0,21	6,18	0,0106
240	390611	8988814	6,57	3,15	0,21	6,14	0,0106
241	390616	8988814	6,57	3,14	0,21	6,10	0,0106
242	390621	8988814	6,57	3,13	0,21	6,06	0,0106
243	390626	8988814	6,57	3,12	0,20	6,04	0,0106
244	390631	8988814	6,58	3,11	0,20	6,02	0,0106
245	390636	8988814	6,58	3,11	0,19	6,02	0,0106
246	390641	8988814	6,58	3,10	0,18	6,04	0,0106
247	390646	8988814	6,58	3,10	0,17	6,08	0,0106
248	390651	8988814	6,59	3,10	0,15	6,14	0,0106
249	390656	8988814	6,59	3,10	0,14	6,22	0,0106
250	390661	8988814	6,59	3,10	0,12	6,80	0,0106
251	390666	8988814	6,60	3,11	0,11	6,92	0,0106
252	390671	8988814	6,60	3,11	0,09	7,06	0,0106
253	390676	8988814	6,61	3,12	0,08	7,22	0,0106
254	390681	8988814	6,61	3,13	0,07	7,40	0,0106
255	390686	8988814	6,62	3,14	0,06	7,59	0,0106
256	390691	8988814	6,63	3,15	0,05	7,78	0,0106
257	390696	8988814	6,63	3,16	0,05	7,96	0,0106
258	390701	8988814	6,64	3,18	0,05	8,14	0,0106
259	390706	8988814	6,65	3,19	0,05	8,30	0,0106
260	390711	8988814	6,65	3,20	0,05	8,43	0,0106
261	390716	8988814	6,66	3,21	0,05	8,55	0,0106

---

---

262	390721	8988814	6,67	3,22	0,06	8,64	0,0106
263	390726	8988814	6,67	3,23	0,06	8,87	0,0106
264	390731	8988814	6,68	3,24	0,07	8,94	0,0106
265	390736	8988814	6,68	3,25	0,08	8,99	0,0106
266	390741	8988814	6,68	3,26	0,09	9,02	0,0106
267	390746	8988814	6,69	3,26	0,10	9,05	0,0106
268	390751	8988814	6,69	3,27	0,11	9,07	0,0106
269	390756	8988814	6,69	3,28	0,12	9,08	0,0106
270	390761	8988814	6,70	3,28	0,12	9,09	0,0106
271	390766	8988814	6,70	3,29	0,13	9,09	0,0106
272	390771	8988814	6,70	3,30	0,14	9,09	0,0106
273	390776	8988814	6,70	3,30	0,14	9,08	0,0106
274	390781	8988814	6,70	3,31	0,14	9,07	0,0106
275	390786	8988814	6,70	3,31	0,14	9,03	0,0106
276	390791	8988814	6,71	3,32	0,14	8,96	0,0106
277	390796	8988814	6,71	3,32	0,14	8,89	0,0106
278	390801	8988814	6,71	3,32	0,14	8,82	0,0106
279	390806	8988814	6,71	3,33	0,14	8,74	0,0106
280	390811	8988814	6,71	3,33	0,14	8,67	0,0106
281	390816	8988814	6,71	3,33	0,14	8,60	0,0106
282	390821	8988814	6,71	3,34	0,14	8,52	0,0106
283	390826	8988814	6,71	3,34	0,14	8,45	0,0106
284	390831	8988814	6,71	3,34	0,14	8,38	0,0106
285	390481	8988819	6,53	3,29	0,14	6,83	0,0106
286	390486	8988819	6,53	3,29	0,14	6,83	0,0106
287	390491	8988819	6,53	3,29	0,14	6,83	0,0106
288	390496	8988819	6,54	3,29	0,14	6,84	0,0106
289	390501	8988819	6,54	3,29	0,14	6,86	0,0106
290	390506	8988819	6,54	3,29	0,14	6,88	0,0106
291	390511	8988819	6,54	3,29	0,14	6,90	0,0106
292	390516	8988819	6,55	3,28	0,14	6,94	0,0106
293	390521	8988819	6,55	3,28	0,14	6,95	0,0106
294	390526	8988819	6,55	3,28	0,14	6,95	0,0106
295	390531	8988819	6,55	3,28	0,14	6,95	0,0106
296	390536	8988819	6,56	3,27	0,14	6,94	0,0106
297	390541	8988819	6,56	3,27	0,14	6,92	0,0106
298	390546	8988819	6,56	3,26	0,15	6,89	0,0106
299	390551	8988819	6,56	3,26	0,15	6,83	0,0106

---

---

300	390556	8988819	6,56	3,25	0,15	6,77	0,0106
301	390561	8988819	6,56	3,25	0,16	6,70	0,0106
302	390566	8988819	6,56	3,24	0,16	6,63	0,0106
303	390571	8988819	6,57	3,23	0,17	6,56	0,0106
304	390576	8988819	6,57	3,22	0,18	6,49	0,0106
305	390581	8988819	6,57	3,21	0,19	6,43	0,0106
306	390586	8988819	6,57	3,21	0,20	6,37	0,0106
307	390591	8988819	6,57	3,20	0,20	6,31	0,0106
308	390596	8988819	6,57	3,18	0,21	6,25	0,0106
309	390601	8988819	6,57	3,17	0,21	6,19	0,0106
310	390606	8988819	6,57	3,16	0,22	6,14	0,0106
311	390611	8988819	6,57	3,15	0,22	6,09	0,0106
312	390616	8988819	6,57	3,14	0,22	6,04	0,0106
313	390621	8988819	6,57	3,13	0,22	5,99	0,0106
314	390626	8988819	6,57	3,12	0,21	5,96	0,0106
315	390631	8988819	6,58	3,11	0,20	5,94	0,0106
316	390636	8988819	6,58	3,10	0,20	5,93	0,0106
317	390641	8988819	6,58	3,10	0,19	5,94	0,0106
318	390646	8988819	6,58	3,10	0,17	5,97	0,0106
319	390651	8988819	6,59	3,09	0,16	6,03	0,0106
320	390656	8988819	6,59	3,10	0,14	6,11	0,0106
321	390661	8988819	6,59	3,10	0,12	6,05	0,0106
322	390666	8988819	6,60	3,11	0,11	6,79	0,0106
323	390671	8988819	6,60	3,11	0,09	6,94	0,0106
324	390676	8988819	6,61	3,12	0,08	7,12	0,0106
325	390681	8988819	6,62	3,13	0,06	7,32	0,0106
326	390686	8988819	6,62	3,14	0,05	7,53	0,0106
327	390691	8988819	6,63	3,16	0,04	7,75	0,0106
328	390696	8988819	6,64	3,17	0,04	7,96	0,0106
329	390701	8988819	6,65	3,18	0,04	8,16	0,0106
330	390706	8988819	6,65	3,19	0,04	8,34	0,0106
331	390711	8988819	6,66	3,21	0,04	8,49	0,0106
332	390716	8988819	6,67	3,22	0,04	8,61	0,0106
333	390721	8988819	6,67	3,23	0,05	8,70	0,0106
334	390726	8988819	6,68	3,24	0,05	8,92	0,0106
335	390731	8988819	6,68	3,25	0,06	8,98	0,0106
336	390736	8988819	6,69	3,26	0,07	9,03	0,0106
337	390741	8988819	6,69	3,26	0,08	9,06	0,0106

---

---

338	390746	8988819	6,69	3,27	0,09	9,08	0,0106
339	390751	8988819	6,70	3,28	0,10	9,10	0,0106
340	390756	8988819	6,70	3,29	0,11	9,11	0,0106
341	390761	8988819	6,70	3,29	0,12	9,11	0,0106
342	390766	8988819	6,70	3,30	0,13	9,11	0,0106
343	390771	8988819	6,71	3,30	0,13	9,11	0,0106
344	390776	8988819	6,71	3,31	0,14	9,10	0,0106
345	390781	8988819	6,71	3,31	0,14	9,09	0,0106
346	390786	8988819	6,71	3,32	0,14	9,05	0,0106
347	390791	8988819	6,71	3,32	0,14	8,99	0,0106
348	390796	8988819	6,71	3,33	0,14	8,92	0,0106
349	390801	8988819	6,71	3,33	0,14	8,84	0,0106
350	390806	8988819	6,71	3,33	0,14	8,77	0,0106
351	390811	8988819	6,71	3,34	0,14	8,69	0,0106
352	390816	8988819	6,71	3,34	0,14	8,62	0,0106
353	390821	8988819	6,71	3,34	0,14	8,54	0,0106
354	390826	8988819	6,71	3,35	0,14	8,47	0,0106
355	390831	8988819	6,71	3,35	0,14	8,40	0,0106
356	390481	8988824	6,53	3,30	0,14	6,83	0,0106
357	390486	8988824	6,53	3,30	0,14	6,83	0,0106
358	390491	8988824	6,54	3,30	0,14	6,83	0,0106
359	390496	8988824	6,54	3,30	0,14	6,85	0,0106
360	390501	8988824	6,54	3,30	0,14	6,87	0,0106
361	390506	8988824	6,54	3,30	0,14	6,89	0,0106
362	390511	8988824	6,55	3,29	0,14	6,91	0,0106
363	390516	8988824	6,55	3,29	0,14	6,95	0,0106
364	390521	8988824	6,55	3,29	0,14	6,96	0,0106
365	390526	8988824	6,55	3,29	0,14	6,96	0,0106
366	390531	8988824	6,56	3,28	0,14	6,96	0,0106
367	390536	8988824	6,56	3,28	0,14	6,95	0,0106
368	390541	8988824	6,56	3,28	0,14	6,92	0,0106
369	390546	8988824	6,56	3,27	0,15	6,88	0,0106
370	390551	8988824	6,56	3,27	0,15	6,82	0,0106
371	390556	8988824	6,56	3,26	0,15	6,75	0,0106
372	390561	8988824	6,57	3,26	0,16	6,68	0,0106
373	390566	8988824	6,57	3,25	0,17	6,61	0,0106
374	390571	8988824	6,57	3,24	0,18	6,54	0,0106
375	390576	8988824	6,57	3,23	0,19	6,47	0,0106

---

---

376	390581	8988824	6,57	3,22	0,20	6,40	0,0106
377	390586	8988824	6,57	3,21	0,20	6,34	0,0106
378	390591	8988824	6,57	3,20	0,21	6,28	0,0106
379	390596	8988824	6,57	3,19	0,22	6,22	0,0106
380	390601	8988824	6,57	3,18	0,22	6,15	0,0106
381	390606	8988824	6,57	3,17	0,23	6,09	0,0106
382	390611	8988824	6,57	3,16	0,23	6,03	0,0106
383	390616	8988824	6,57	3,15	0,23	5,98	0,0106
384	390621	8988824	6,58	3,13	0,23	5,92	0,0106
385	390626	8988824	6,58	3,12	0,22	5,88	0,0106
386	390631	8988824	6,58	3,11	0,22	5,84	0,0106
387	390636	8988824	6,58	3,10	0,21	5,82	0,0106
388	390641	8988824	6,58	3,10	0,20	5,82	0,0106
389	390646	8988824	6,58	3,09	0,18	5,85	0,0106
390	390651	8988824	6,59	3,09	0,16	5,91	0,0106
391	390656	8988824	6,59	3,09	0,15	5,84	0,0106
392	390661	8988824	6,59	3,10	0,13	5,96	0,0106
393	390666	8988824	6,60	3,10	0,11	6,63	0,0106
394	390671	8988824	6,61	3,11	0,09	6,80	0,0106
395	390676	8988824	6,61	3,12	0,07	7,00	0,0106
396	390681	8988824	6,62	3,13	0,06	7,22	0,0106
397	390686	8988824	6,63	3,15	0,04	7,46	0,0106
398	390691	8988824	6,63	3,16	0,03	7,71	0,0106
399	390696	8988824	6,64	3,17	0,03	7,96	0,0106
400	390701	8988824	6,65	3,19	0,03	8,19	0,0106
401	390706	8988824	6,66	3,20	0,03	8,39	0,0106
402	390711	8988824	6,66	3,21	0,03	8,56	0,0106
403	390716	8988824	6,67	3,23	0,03	8,68	0,0106
404	390721	8988824	6,68	3,24	0,04	8,91	0,0106
405	390726	8988824	6,68	3,25	0,05	8,98	0,0106
406	390731	8988824	6,69	3,26	0,05	9,03	0,0106
407	390736	8988824	6,69	3,27	0,06	9,07	0,0106
408	390741	8988824	6,69	3,27	0,07	9,09	0,0106
409	390746	8988824	6,70	3,28	0,09	9,11	0,0106
410	390751	8988824	6,70	3,29	0,10	9,12	0,0106
411	390756	8988824	6,70	3,30	0,11	9,13	0,0106
412	390761	8988824	6,71	3,30	0,12	9,13	0,0106
413	390766	8988824	6,71	3,31	0,13	9,13	0,0106

---

---

414	390771	8988824	6,71	3,31	0,13	9,12	0,0106
415	390776	8988824	6,71	3,32	0,14	9,11	0,0106
416	390781	8988824	6,71	3,32	0,14	9,10	0,0106
417	390786	8988824	6,71	3,33	0,14	9,07	0,0106
418	390791	8988824	6,72	3,33	0,14	9,01	0,0106
419	390796	8988824	6,72	3,34	0,14	8,94	0,0106
420	390801	8988824	6,72	3,34	0,14	8,86	0,0106
421	390806	8988824	6,72	3,34	0,14	8,79	0,0106
422	390811	8988824	6,72	3,35	0,14	8,71	0,0106
423	390816	8988824	6,72	3,35	0,14	8,64	0,0106
424	390821	8988824	6,72	3,35	0,14	8,56	0,0106
425	390826	8988824	6,72	3,35	0,14	8,49	0,0106
426	390831	8988824	6,72	3,35	0,14	8,41	0,0106
427	390481	8988829	6,53	3,31	0,14	6,83	0,0106
428	390486	8988829	6,53	3,31	0,14	6,83	0,0106
429	390491	8988829	6,54	3,31	0,14	6,83	0,0106
430	390496	8988829	6,54	3,30	0,14	6,86	0,0106
431	390501	8988829	6,54	3,30	0,14	6,88	0,0106
432	390506	8988829	6,55	3,30	0,14	6,90	0,0106
433	390511	8988829	6,55	3,30	0,14	6,91	0,0106
434	390516	8988829	6,55	3,30	0,14	6,92	0,0106
435	390521	8988829	6,55	3,30	0,14	6,96	0,0106
436	390526	8988829	6,56	3,30	0,14	6,96	0,0106
437	390531	8988829	6,56	3,29	0,14	6,96	0,0106
438	390536	8988829	6,56	3,29	0,14	6,95	0,0106
439	390541	8988829	6,56	3,29	0,15	6,92	0,0106
440	390546	8988829	6,56	3,28	0,15	6,87	0,0106
441	390551	8988829	6,57	3,28	0,15	6,81	0,0106
442	390556	8988829	6,57	3,27	0,16	6,73	0,0106
443	390561	8988829	6,57	3,27	0,16	6,66	0,0106
444	390566	8988829	6,57	3,26	0,17	6,59	0,0106
445	390571	8988829	6,57	3,25	0,18	6,51	0,0106
446	390576	8988829	6,57	3,24	0,19	6,45	0,0106
447	390581	8988829	6,57	3,24	0,20	6,38	0,0106
448	390586	8988829	6,57	3,23	0,21	6,31	0,0106
449	390591	8988829	6,58	3,22	0,22	6,25	0,0106
450	390596	8988829	6,58	3,20	0,22	6,18	0,0106
451	390601	8988829	6,58	3,19	0,23	6,12	0,0106

---

---

452	390606	8988829	6,58	3,18	0,23	6,05	0,0106
453	390611	8988829	6,58	3,17	0,24	5,99	0,0106
454	390616	8988829	6,58	3,15	0,24	5,92	0,0106
455	390621	8988829	6,58	3,14	0,24	5,85	0,0106
456	390626	8988829	6,58	3,13	0,23	5,79	0,0106
457	390631	8988829	6,58	3,11	0,23	5,75	0,0106
458	390636	8988829	6,58	3,10	0,22	5,71	0,0106
459	390641	8988829	6,58	3,10	0,21	5,70	0,0106
460	390646	8988829	6,58	3,09	0,19	5,72	0,0106
461	390651	8988829	6,59	3,09	0,17	5,77	0,0106
462	390656	8988829	6,59	3,09	0,15	5,72	0,0106
463	390661	8988829	6,60	3,10	0,13	5,85	0,0106
464	390666	8988829	6,60	3,10	0,11	6,47	0,0106
465	390671	8988829	6,61	3,11	0,09	6,64	0,0106
466	390676	8988829	6,61	3,12	0,07	6,86	0,0106
467	390681	8988829	6,62	3,14	0,05	7,11	0,0106
468	390686	8988829	6,63	3,15	0,04	7,38	0,0106
469	390691	8988829	6,64	3,16	0,03	7,67	0,0106
470	390696	8988829	6,65	3,18	0,02	7,96	0,0106
471	390701	8988829	6,66	3,20	0,02	8,23	0,0106
472	390706	8988829	6,66	3,21	0,02	8,46	0,0106
473	390711	8988829	6,67	3,22	0,02	8,63	0,0106
474	390716	8988829	6,68	3,24	0,02	8,76	0,0106
475	390721	8988829	6,68	3,25	0,03	8,97	0,0106
476	390726	8988829	6,69	3,26	0,04	9,03	0,0106
477	390731	8988829	6,69	3,27	0,05	9,07	0,0106
478	390736	8988829	6,70	3,28	0,06	9,10	0,0106
479	390741	8988829	6,70	3,28	0,07	9,12	0,0106
480	390746	8988829	6,70	3,29	0,08	9,14	0,0106
481	390751	8988829	6,71	3,30	0,09	9,14	0,0106
482	390756	8988829	6,71	3,31	0,10	9,15	0,0106
483	390761	8988829	6,71	3,31	0,11	9,15	0,0106
484	390766	8988829	6,71	3,32	0,12	9,14	0,0106
485	390771	8988829	6,72	3,32	0,13	9,13	0,0106
486	390776	8988829	6,72	3,33	0,14	9,12	0,0106
487	390781	8988829	6,72	3,33	0,14	9,11	0,0106
488	390786	8988829	6,72	3,34	0,14	9,09	0,0106
489	390791	8988829	6,72	3,34	0,14	9,03	0,0106

---

---

490	390796	8988829	6,72	3,34	0,14	8,96	0,0106
491	390801	8988829	6,72	3,35	0,14	8,88	0,0106
492	390806	8988829	6,72	3,35	0,14	8,80	0,0106
493	390811	8988829	6,72	3,35	0,14	8,73	0,0106
494	390816	8988829	6,72	3,36	0,14	8,65	0,0106
495	390821	8988829	6,72	3,36	0,14	8,58	0,0106
496	390826	8988829	6,72	3,36	0,14	8,50	0,0106
497	390831	8988829	6,72	3,36	0,14	8,43	0,0106
498	390481	8988834	6,53	3,31	0,14	6,83	0,0106
499	390486	8988834	6,54	3,31	0,14	6,83	0,0106
500	390491	8988834	6,54	3,31	0,14	6,84	0,0106
501	390496	8988834	6,54	3,31	0,14	6,86	0,0106
502	390501	8988834	6,54	3,31	0,14	6,89	0,0106
503	390506	8988834	6,55	3,31	0,14	6,91	0,0106
504	390511	8988834	6,55	3,31	0,14	6,92	0,0106
505	390516	8988834	6,55	3,31	0,14	6,93	0,0106
506	390521	8988834	6,56	3,31	0,14	6,93	0,0106
507	390526	8988834	6,56	3,31	0,14	6,97	0,0106
508	390531	8988834	6,56	3,31	0,14	6,96	0,0106
509	390536	8988834	6,56	3,30	0,14	6,95	0,0106
510	390541	8988834	6,57	3,30	0,15	6,91	0,0106
511	390546	8988834	6,57	3,30	0,15	6,86	0,0106
512	390551	8988834	6,57	3,29	0,15	6,80	0,0106
513	390556	8988834	6,57	3,29	0,16	6,72	0,0106
514	390561	8988834	6,57	3,28	0,17	6,64	0,0106
515	390566	8988834	6,57	3,27	0,18	6,56	0,0106
516	390571	8988834	6,58	3,27	0,19	6,49	0,0106
517	390576	8988834	6,58	3,26	0,20	6,42	0,0106
518	390581	8988834	6,58	3,25	0,21	6,35	0,0106
519	390586	8988834	6,58	3,24	0,21	6,28	0,0106
520	390591	8988834	6,58	3,23	0,22	6,22	0,0106
521	390596	8988834	6,58	3,22	0,23	6,15	0,0106
522	390601	8988834	6,58	3,20	0,23	6,08	0,0106
523	390606	8988834	6,58	3,19	0,24	6,02	0,0106
524	390611	8988834	6,58	3,17	0,24	5,94	0,0106
525	390616	8988834	6,58	3,16	0,25	5,87	0,0106
526	390621	8988834	6,58	3,14	0,25	5,79	0,0106
527	390626	8988834	6,58	3,13	0,24	5,72	0,0106

---

---

528	390631	8988834	6,58	3,12	0,24	5,65	0,0106
529	390636	8988834	6,58	3,10	0,23	5,60	0,0106
530	390641	8988834	6,58	3,10	0,22	5,57	0,0106
531	390646	8988834	6,59	3,09	0,21	5,58	0,0106
532	390651	8988834	6,59	3,09	0,19	5,63	0,0106
533	390656	8988834	6,59	3,09	0,16	5,60	0,0106
534	390661	8988834	6,60	3,10	0,14	5,73	0,0106
535	390666	8988834	6,60	3,11	0,11	5,89	0,0106
536	390671	8988834	6,61	3,11	0,09	6,47	0,0106
537	390676	8988834	6,62	3,13	0,06	6,70	0,0106
538	390681	8988834	6,62	3,14	0,04	6,97	0,0106
539	390686	8988834	6,63	3,15	0,03	7,28	0,0106
540	390691	8988834	6,64	3,17	0,02	7,62	0,0106
541	390696	8988834	6,65	3,19	0,01	7,96	0,0106
542	390701	8988834	6,66	3,21	0,01	8,27	0,0106
543	390706	8988834	6,67	3,22	0,01	8,53	0,0106
544	390711	8988834	6,68	3,24	0,01	8,72	0,0106
545	390716	8988834	6,68	3,25	0,02	8,95	0,0106
546	390721	8988834	6,69	3,26	0,02	9,03	0,0106
547	390726	8988834	6,69	3,27	0,03	9,08	0,0106
548	390731	8988834	6,70	3,28	0,04	9,11	0,0106
549	390736	8988834	6,70	3,29	0,05	9,13	0,0106
550	390741	8988834	6,71	3,30	0,06	9,14	0,0106
551	390746	8988834	6,71	3,30	0,08	9,15	0,0106
552	390751	8988834	6,71	3,31	0,09	9,16	0,0106
553	390756	8988834	6,72	3,32	0,10	9,16	0,0106
554	390761	8988834	6,72	3,32	0,11	9,15	0,0106
555	390766	8988834	6,72	3,33	0,12	9,15	0,0106
556	390771	8988834	6,72	3,33	0,13	9,14	0,0106
557	390776	8988834	6,72	3,34	0,13	9,13	0,0106
558	390781	8988834	6,72	3,34	0,14	9,11	0,0106
559	390786	8988834	6,72	3,34	0,14	9,09	0,0106
560	390791	8988834	6,73	3,35	0,14	9,04	0,0106
561	390796	8988834	6,73	3,35	0,14	8,97	0,0106
562	390801	8988834	6,73	3,35	0,14	8,89	0,0106
563	390806	8988834	6,73	3,36	0,14	8,82	0,0106
564	390811	8988834	6,73	3,36	0,14	8,74	0,0106
565	390816	8988834	6,73	3,36	0,14	8,66	0,0106

---

---

566	390821	8988834	6,72	3,36	0,14	8,59	0,0106
567	390826	8988834	6,72	3,37	0,14	8,51	0,0106
568	390831	8988834	6,72	3,37	0,14	8,44	0,0106
569	390481	8988839	6,53	3,32	0,14	6,83	0,0106
570	390486	8988839	6,54	3,32	0,14	6,83	0,0106
571	390491	8988839	6,54	3,32	0,14	6,84	0,0106
572	390496	8988839	6,54	3,32	0,14	6,87	0,0106
573	390501	8988839	6,55	3,32	0,14	6,89	0,0106
574	390506	8988839	6,55	3,32	0,14	6,91	0,0106
575	390511	8988839	6,55	3,32	0,14	6,92	0,0106
576	390516	8988839	6,55	3,32	0,14	6,93	0,0106
577	390521	8988839	6,56	3,32	0,14	6,93	0,0106
578	390526	8988839	6,56	3,32	0,14	6,96	0,0106
579	390531	8988839	6,56	3,32	0,14	6,96	0,0106
580	390536	8988839	6,57	3,31	0,14	6,94	0,0106
581	390541	8988839	6,57	3,31	0,15	6,90	0,0106
582	390546	8988839	6,57	3,31	0,15	6,85	0,0106
583	390551	8988839	6,57	3,30	0,16	6,78	0,0106
584	390556	8988839	6,57	3,30	0,16	6,70	0,0106
585	390561	8988839	6,58	3,29	0,17	6,62	0,0106
586	390566	8988839	6,58	3,29	0,18	6,54	0,0106
587	390571	8988839	6,58	3,28	0,19	6,46	0,0106
588	390576	8988839	6,58	3,27	0,20	6,39	0,0106
589	390581	8988839	6,58	3,26	0,21	6,32	0,0106
590	390586	8988839	6,58	3,25	0,21	6,26	0,0106
591	390591	8988839	6,58	3,24	0,22	6,19	0,0106
592	390596	8988839	6,58	3,23	0,23	6,12	0,0106
593	390601	8988839	6,58	3,22	0,24	6,06	0,0106
594	390606	8988839	6,58	3,20	0,24	5,99	0,0106
595	390611	8988839	6,58	3,19	0,25	5,91	0,0106
596	390616	8988839	6,58	3,17	0,25	5,83	0,0106
597	390621	8988839	6,58	3,15	0,26	5,75	0,0106
598	390626	8988839	6,58	3,14	0,26	5,66	0,0106
599	390631	8988839	6,58	3,12	0,25	5,57	0,0106
600	390636	8988839	6,58	3,11	0,25	5,49	0,0106
601	390641	8988839	6,58	3,10	0,24	5,44	0,0106
602	390646	8988839	6,59	3,09	0,22	5,44	0,0106
603	390651	8988839	6,59	3,09	0,20	5,48	0,0106

---

---

604	390656	8988839	6,59	3,09	0,17	5,47	0,0106
605	390661	8988839	6,60	3,10	0,15	5,60	0,0106
606	390666	8988839	6,60	3,11	0,12	5,77	0,0106
607	390671	8988839	6,61	3,12	0,09	6,28	0,0106
608	390676	8988839	6,62	3,13	0,06	6,52	0,0106
609	390681	8988839	6,62	3,14	0,04	6,81	0,0106
610	390686	8988839	6,63	3,16	0,02	7,15	0,0106
611	390691	8988839	6,64	3,18	0,01	7,54	0,0106
612	390696	8988839	6,66	3,20	0,00	7,95	0,0106
613	390701	8988839	6,67	3,22	0,00	8,33	0,0106
614	390706	8988839	6,68	3,23	0,00	8,63	0,0106
615	390711	8988839	6,68	3,25	0,01	8,81	0,0106
616	390716	8988839	6,69	3,26	0,01	9,02	0,0106
617	390721	8988839	6,70	3,27	0,02	9,08	0,0106
618	390726	8988839	6,70	3,28	0,03	9,11	0,0106
619	390731	8988839	6,71	3,29	0,04	9,13	0,0106
620	390736	8988839	6,71	3,30	0,05	9,15	0,0106
621	390741	8988839	6,71	3,31	0,06	9,15	0,0106
622	390746	8988839	6,72	3,31	0,07	9,16	0,0106
623	390751	8988839	6,72	3,32	0,08	9,16	0,0106
624	390756	8988839	6,72	3,33	0,10	9,16	0,0106
625	390761	8988839	6,72	3,33	0,11	9,15	0,0106
626	390766	8988839	6,73	3,34	0,12	9,15	0,0106
627	390771	8988839	6,73	3,34	0,13	9,14	0,0106
628	390776	8988839	6,73	3,35	0,13	9,12	0,0106
629	390781	8988839	6,73	3,35	0,14	9,11	0,0106
630	390786	8988839	6,73	3,35	0,14	9,09	0,0106
631	390791	8988839	6,73	3,36	0,14	9,05	0,0106
632	390796	8988839	6,73	3,36	0,14	8,98	0,0106
633	390801	8988839	6,73	3,36	0,14	8,90	0,0106
634	390806	8988839	6,73	3,37	0,14	8,82	0,0106
635	390811	8988839	6,73	3,37	0,14	8,75	0,0106
636	390816	8988839	6,73	3,37	0,14	8,67	0,0106
637	390821	8988839	6,73	3,37	0,14	8,59	0,0106
638	390826	8988839	6,73	3,37	0,14	8,52	0,0106
639	390831	8988839	6,73	3,38	0,14	8,44	0,0106
640	390481	8988844	6,53	3,33	0,14	6,83	0,0106
641	390486	8988844	6,54	3,33	0,14	6,83	0,0106

---

---

642	390491	8988844	6,54	3,33	0,14	6,85	0,0106
643	390496	8988844	6,54	3,33	0,14	6,87	0,0106
644	390501	8988844	6,55	3,33	0,14	6,89	0,0106
645	390506	8988844	6,55	3,33	0,14	6,91	0,0106
646	390511	8988844	6,55	3,33	0,14	6,92	0,0106
647	390516	8988844	6,56	3,33	0,14	6,93	0,0106
648	390521	8988844	6,56	3,33	0,14	6,93	0,0106
649	390526	8988844	6,56	3,33	0,14	6,93	0,0106
650	390531	8988844	6,57	3,33	0,14	6,95	0,0106
651	390536	8988844	6,57	3,33	0,15	6,93	0,0106
652	390541	8988844	6,57	3,32	0,15	6,89	0,0106
653	390546	8988844	6,57	3,32	0,15	6,83	0,0106
654	390551	8988844	6,58	3,32	0,16	6,75	0,0106
655	390556	8988844	6,58	3,31	0,16	6,67	0,0106
656	390561	8988844	6,58	3,31	0,17	6,58	0,0106
657	390566	8988844	6,58	3,30	0,18	6,51	0,0106
658	390571	8988844	6,58	3,29	0,19	6,43	0,0106
659	390576	8988844	6,58	3,29	0,20	6,36	0,0106
660	390581	8988844	6,59	3,28	0,21	6,29	0,0106
661	390586	8988844	6,59	3,27	0,21	6,22	0,0106
662	390591	8988844	6,59	3,26	0,22	6,16	0,0106
663	390596	8988844	6,59	3,24	0,23	6,09	0,0106
664	390601	8988844	6,59	3,23	0,24	6,03	0,0106
665	390606	8988844	6,59	3,22	0,25	5,97	0,0106
666	390611	8988844	6,59	3,20	0,25	5,89	0,0106
667	390616	8988844	6,59	3,18	0,26	5,81	0,0106
668	390621	8988844	6,59	3,16	0,26	5,72	0,0106
669	390626	8988844	6,59	3,15	0,27	5,62	0,0106
670	390631	8988844	6,59	3,13	0,27	5,50	0,0106
671	390636	8988844	6,59	3,11	0,26	5,39	0,0106
672	390641	8988844	6,59	3,10	0,25	5,31	0,0106
673	390646	8988844	6,59	3,09	0,24	5,28	0,0106
674	390651	8988844	6,59	3,09	0,21	5,32	0,0106
675	390656	8988844	6,60	3,10	0,19	5,34	0,0106
676	390661	8988844	6,60	3,10	0,15	5,48	0,0106
677	390666	8988844	6,61	3,11	0,12	5,65	0,0106
678	390671	8988844	6,61	3,12	0,09	6,09	0,0106
679	390676	8988844	6,62	3,14	0,05	6,32	0,0106

---

---

680	390681	8988844	6,63	3,15	0,03	6,61	0,0106
681	390686	8988844	6,64	3,17	0,01	6,99	0,0106
682	390691	8988844	6,65	3,19	0,00	7,43	0,0106
683	390696	8988844	6,66	3,21	0,00	7,92	0,0106
684	390701	8988844	6,67	3,23	0,00	8,39	0,0106
685	390706	8988844	6,69	3,25	0,00	8,75	0,0106
686	390711	8988844	6,69	3,26	0,00	8,99	0,0106
687	390716	8988844	6,70	3,28	0,01	9,06	0,0106
688	390721	8988844	6,70	3,29	0,02	9,10	0,0106
689	390726	8988844	6,71	3,30	0,02	9,12	0,0106
690	390731	8988844	6,71	3,30	0,03	9,14	0,0106
691	390736	8988844	6,72	3,31	0,04	9,15	0,0106
692	390741	8988844	6,72	3,32	0,06	9,15	0,0106
693	390746	8988844	6,72	3,33	0,07	9,15	0,0106
694	390751	8988844	6,73	3,33	0,08	9,15	0,0106
695	390756	8988844	6,73	3,34	0,09	9,15	0,0106
696	390761	8988844	6,73	3,34	0,11	9,15	0,0106
697	390766	8988844	6,73	3,35	0,12	9,14	0,0106
698	390771	8988844	6,73	3,35	0,13	9,13	0,0106
699	390776	8988844	6,73	3,36	0,13	9,12	0,0106
700	390781	8988844	6,73	3,36	0,14	9,10	0,0106
701	390786	8988844	6,74	3,36	0,14	9,08	0,0106
702	390791	8988844	6,74	3,37	0,14	9,05	0,0106
703	390796	8988844	6,74	3,37	0,14	8,98	0,0106
704	390801	8988844	6,74	3,37	0,14	8,91	0,0106
705	390806	8988844	6,74	3,37	0,14	8,83	0,0106
706	390811	8988844	6,73	3,38	0,14	8,75	0,0106
707	390816	8988844	6,73	3,38	0,14	8,67	0,0106
708	390821	8988844	6,73	3,38	0,14	8,60	0,0106
709	390826	8988844	6,73	3,38	0,14	8,52	0,0106
710	390831	8988844	6,73	3,38	0,14	8,45	0,0106
711	390481	8988849	6,54	3,33	0,14	6,83	0,0106
712	390486	8988849	6,54	3,33	0,14	6,83	0,0106
713	390491	8988849	6,54	3,34	0,14	6,85	0,0106
714	390496	8988849	6,55	3,34	0,14	6,87	0,0106
715	390501	8988849	6,55	3,34	0,14	6,89	0,0106
716	390506	8988849	6,55	3,34	0,14	6,91	0,0106
717	390511	8988849	6,56	3,34	0,14	6,92	0,0106

---

---

718	390516	8988849	6,56	3,34	0,14	6,92	0,0106
719	390521	8988849	6,56	3,34	0,14	6,93	0,0106
720	390526	8988849	6,57	3,34	0,14	6,92	0,0106
721	390531	8988849	6,57	3,34	0,14	6,91	0,0106
722	390536	8988849	6,57	3,34	0,15	6,91	0,0106
723	390541	8988849	6,57	3,34	0,15	6,87	0,0106
724	390546	8988849	6,58	3,33	0,15	6,80	0,0106
725	390551	8988849	6,58	3,33	0,15	6,72	0,0106
726	390556	8988849	6,58	3,33	0,16	6,63	0,0106
727	390561	8988849	6,58	3,32	0,17	6,55	0,0106
728	390566	8988849	6,59	3,32	0,17	6,46	0,0106
729	390571	8988849	6,59	3,31	0,18	6,39	0,0106
730	390576	8988849	6,59	3,30	0,19	6,31	0,0106
731	390581	8988849	6,59	3,29	0,20	6,25	0,0106
732	390586	8988849	6,59	3,29	0,21	6,18	0,0106
733	390591	8988849	6,59	3,27	0,22	6,12	0,0106
734	390596	8988849	6,59	3,26	0,23	6,06	0,0106
735	390601	8988849	6,59	3,25	0,24	6,01	0,0106
736	390606	8988849	6,59	3,23	0,25	5,95	0,0106
737	390611	8988849	6,59	3,22	0,26	5,89	0,0106
738	390616	8988849	6,59	3,20	0,26	5,81	0,0106
739	390621	8988849	6,59	3,18	0,27	5,72	0,0106
740	390626	8988849	6,59	3,16	0,28	5,60	0,0106
741	390631	8988849	6,59	3,14	0,28	5,46	0,0106
742	390636	8988849	6,59	3,12	0,28	5,31	0,0106
743	390641	8988849	6,59	3,10	0,27	5,17	0,0106
744	390646	8988849	6,59	3,09	0,26	5,12	0,0106
745	390651	8988849	6,60	3,09	0,23	5,17	0,0106
746	390656	8988849	6,60	3,10	0,20	5,21	0,0106
747	390661	8988849	6,61	3,11	0,16	5,37	0,0106
748	390666	8988849	6,61	3,13	0,13	5,53	0,0106
749	390671	8988849	6,62	3,13	0,09	5,72	0,0106
750	390676	8988849	6,62	3,14	0,05	6,11	0,0106
751	390681	8988849	6,63	3,16	0,02	6,38	0,0106
752	390686	8988849	6,64	3,17	0,00	6,78	0,0106
753	390691	8988849	6,65	3,20	0,00	7,29	0,0106
754	390696	8988849	6,67	3,22	0,00	7,83	0,0106
755	390701	8988849	6,68	3,25	0,00	8,38	0,0106

---

---

756	390706	8988849	6,70	3,27	0,00	8,89	0,0106
757	390711	8988849	6,70	3,28	0,00	8,99	0,0106
758	390716	8988849	6,71	3,29	0,01	9,03	0,0106
759	390721	8988849	6,71	3,30	0,02	9,07	0,0106
760	390726	8988849	6,72	3,31	0,02	9,09	0,0106
761	390731	8988849	6,72	3,32	0,03	9,11	0,0106
762	390736	8988849	6,72	3,33	0,04	9,13	0,0106
763	390741	8988849	6,73	3,33	0,05	9,13	0,0106
764	390746	8988849	6,73	3,34	0,07	9,13	0,0106
765	390751	8988849	6,73	3,34	0,08	9,14	0,0106
766	390756	8988849	6,73	3,35	0,09	9,14	0,0106
767	390761	8988849	6,74	3,35	0,10	9,13	0,0106
768	390766	8988849	6,74	3,36	0,12	9,13	0,0106
769	390771	8988849	6,74	3,36	0,12	9,12	0,0106
770	390776	8988849	6,74	3,37	0,13	9,11	0,0106
771	390781	8988849	6,74	3,37	0,14	9,10	0,0106
772	390786	8988849	6,74	3,37	0,14	9,08	0,0106
773	390791	8988849	6,74	3,38	0,14	9,05	0,0106
774	390796	8988849	6,74	3,38	0,14	8,99	0,0106
775	390801	8988849	6,74	3,38	0,14	8,91	0,0106
776	390806	8988849	6,74	3,38	0,14	8,83	0,0106
777	390811	8988849	6,74	3,38	0,14	8,75	0,0106
778	390816	8988849	6,74	3,39	0,14	8,67	0,0106
779	390821	8988849	6,74	3,39	0,14	8,60	0,0106
780	390826	8988849	6,74	3,39	0,14	8,52	0,0106
781	390831	8988849	6,74	3,39	0,14	8,45	0,0106
782	390481	8988854	6,54	3,34	0,14	6,83	0,0106
783	390486	8988854	6,54	3,34	0,14	6,82	0,0106
784	390491	8988854	6,54	3,34	0,14	6,84	0,0106
785	390496	8988854	6,55	3,35	0,14	6,87	0,0106
786	390501	8988854	6,55	3,35	0,14	6,89	0,0106
787	390506	8988854	6,55	3,35	0,14	6,90	0,0106
788	390511	8988854	6,56	3,35	0,14	6,91	0,0106
789	390516	8988854	6,56	3,35	0,14	6,92	0,0106
790	390521	8988854	6,57	3,35	0,14	6,91	0,0106
791	390526	8988854	6,57	3,35	0,14	6,91	0,0106
792	390531	8988854	6,57	3,35	0,14	6,89	0,0106
793	390536	8988854	6,57	3,35	0,14	6,86	0,0106

---

---

794	390541	8988854	6,58	3,35	0,15	6,83	0,0106
795	390546	8988854	6,58	3,35	0,15	6,76	0,0106
796	390551	8988854	6,58	3,35	0,15	6,68	0,0106
797	390556	8988854	6,59	3,34	0,16	6,59	0,0106
798	390561	8988854	6,59	3,34	0,16	6,50	0,0106
799	390566	8988854	6,59	3,33	0,17	6,41	0,0106
800	390571	8988854	6,59	3,33	0,18	6,34	0,0106

---

## Anexo 3. Panel fotográfico



Figura 16. Control de parámetros externos como T°, humedad y la iluminación



Figura 17. Ubicación de los puntos de la toma de muestra



Figura 18. Rotulación de punto de monitoreo para la toma de muestra del cuerpo de agua



Figura 19. Toma de muestra del cuerpo de agua a medio metro con un balde transparente



Figura 20. Toma de muestra significativa para los recipientes de traslado al laboratorio



Figura 21. Toma de muestra para el análisis de DBO5, recipiente de vidrio color oscuro



Figura 22. Toma de muestra para el análisis de Fisicoquímico, recipiente de vidrio transparente



Figura 23. Toma de muestra para la determinación de fosforo.



Figura 24. Rotulación y orden de las muestras para traslado al laboratorio



Figura 25. Uso de multiparámetro Hi98129



Figura 26. Toma de datos en campo con el multiparámetro Hi98129 de T°, PH y TDS



Figura 27. Toma de datos en campo para la determinación de la penetración luminosa con el disco secchi



Figura 28. Toma de medición con un flexómetro para la penetración luminosa (Claridad)



Figura 29. Toma de datos de campo de la medición de la claridad de acuerdo a la claridad con el disco Secchi



Figura 30. Toma de medición de conductividad eléctrica



Figura 31. Toma de medición de oxígeno disuelto y DBO5 para luego ser colocada en la cámara a 20 C°



Figura 32. Filtrado de muestra para lectura al espectrofotómetro para la determinación de la clorofila a



Figura 33. Preparación de las muestras de agua para la determinación de nitritos y nitratos



Figura 34. Determinación de nitratos



Figura 35. Determinación de nitritos.



Figura 36. Para la determinación de fósforo total se dejaron para su análisis en el laboratorio de suelos UNAS



Figura 37. Preparación de muestra en la cámara Neubauer Marienfeld



Figura 38. Colocación de las muestras de agua en la cámara Neubauer Marienfeld para la determinación de poblaciones fotosintéticas



Figura 39. Colocación de las muestras en el microscopio en lectura de 40x

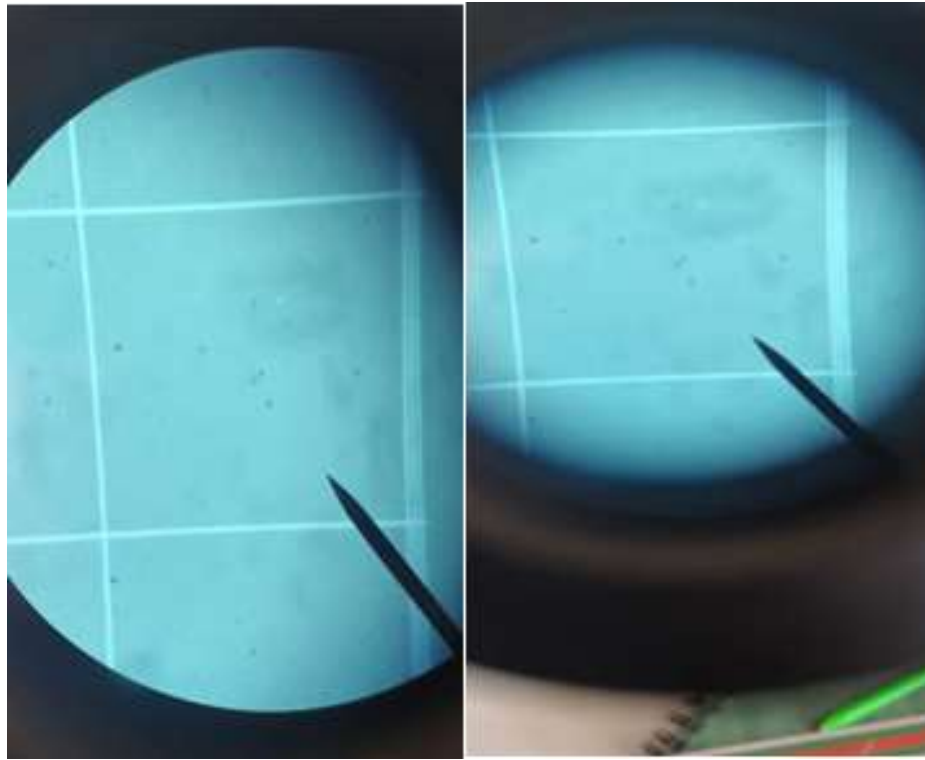


Figura 40. Imagen a 40 x y conteo de población fotosintética