



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA SAN NICOLÁS A TRAVÉS DE LA CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILA A, NITRATOS, FOSFATOS Y TRANSPARENCIA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Jackelin Estefani Ciriaco Mosqueira

Leoncio Jaime Lanfranco Colina

Asesor:

M. Sc. Magda Rosa Velásquez Marín

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres, por darme la vida y por ser mi motivación en cada proceso de ella, por ser las personas que más admiro en el mundo, por impulsarme a cumplir mis sueños y por amarme infinitamente.

A Dios, por ser mi fortaleza día a día y por darme una familia maravillosa.

A mis hermanos, por ser mi apoyo y preocuparse siempre por mí.

A mis mejores amigos, por su cariño incondicional y su apoyo en cada etapa de mi vida.

Jackelin Estefani Ciriaco Mosqueira

A Dios, por brindarme la vida, y todo lo que tengo en ella.

A mis padres, familiares y amigos por estar conmigo en todo momento.

A mis abuelos por impulsarme siempre a seguir adelante.

Leoncio Jaime Lanfranco Colina

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres, quienes nos han apoyado a lo largo de toda nuestra vida y nos han impulsado a seguir con nuestro desarrollo académico y profesional.

A nuestros profesores de la Universidad Privada del Norte, a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, en especial al biólogo Marco Sánchez Peña por su gran apoyo e interés en nuestra tesis, gracias por su paciencia y enseñanza.

A la ingeniera Magda Rosa Velásquez Marín por asesorarnos y guiarnos en la elaboración de nuestra tesis.

A José Carlos Mosqueira, por brindarnos su ayuda desinteresada durante el desarrollo de la investigación.

A nuestro grupo de estudios de la universidad, por su apoyo constante y su amistad sincera.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	32
1.3. Objetivos	32
1.4. Hipótesis.....	32
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	33
2.1. Tipo de investigación	33
2.2. Población y muestra	33
2.3. Materiales, instrumentos y métodos.....	33
2.4. Procedimiento.....	35
CAPÍTULO III. RESULTADOS	51
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	99
4.1. Discusión.....	99
4.2. Conclusiones	109
REFERENCIAS	111
ANEXOS	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo	38
Tabla 2. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua	47
Tabla 3. Escala de clasificación del índice de eutrofización por nutrientes	48
Tabla 4. Índice de Estado Trófico de Carlson, modificado por Aizaki et al., según la claridad del agua (TSI _{DS}) (m) de la laguna San Nicolás	51
Tabla 5. Índice de Estado Trófico de Carlson, modificado por Aizaki et al., según la clorofila a (TSI _{Clorf a}) (mg/m ³) de la laguna San Nicolás	53
Tabla 6. Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karidys et al., según los nitratos de la laguna San Nicolás	55
Tabla 7. Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karidys et al., según los fosfatos de la laguna San Nicolás	57
Tabla 8. Valores de parámetros “in situ” de la laguna San Nicolás	60
Tabla 9. Valores y datos estadísticos de pH de la laguna San Nicolás.....	61
Tabla 10. Valores y datos estadísticos de temperatura (°C) de la laguna San Nicolás	62
Tabla 11. Valores y datos estadísticos de oxígeno disuelto (mg/L) de la laguna San Nicolás.....	65
Tabla 12. Valores y datos estadísticos de conductividad eléctrica (µs/cm) de la laguna San Nicolás.....	67
Tabla 13. Valores de clorofila a de la laguna San Nicolás según la densidad óptica.....	70
Tabla 14. Valores de clorofila a (mg/m ³) de la laguna San Nicolás según las densidades ópticas.....	71
Tabla 15. Valores y datos estadísticos de clorofila a (mg/m ³) de la laguna San Nicolás ...	72
Tabla 16. Valores de clorofila a (mg/m ³) de la laguna San Nicolás según la profundidad	74

Tabla 17. Valores y datos estadísticos de nitratos (mg/L) de la laguna San Nicolás	76
Tabla 18. Valores de nitratos (mg/L) de la laguna San Nicolás según la profundidad	76
Tabla 19. Valores y datos estadísticos de fosfatos (mg/L) de la laguna San Nicolás.....	80
Tabla 20. Valores de fosfatos (mg/L) de la laguna San Nicolás según la profundidad.....	82
Tabla 21. Valores y datos estadísticos de transparencia (m) de la laguna San Nicolás	84
Tabla 22. Valores y Estándares de Calidad Ambiental Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas de los parámetros medidos en la laguna San Nicolás.....	86
Tabla 23. Coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros medidos en la laguna San Nicolás	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Criterios para definir los cuatro estados tróficos..	20
Figura 2. Esquema general del ciclo del nitrógeno en los ecosistemas acuáticos y los principales problemas medioambientales derivados de la contaminación.	26
Figura 3. Ciclo del fósforo en un lago	28
Figura 4. Número de estaciones de muestreo de la laguna San Nicolás	36
Figura 5. Medida de Transparencia en Aguas profundas y tranquilas.	40
Figura 6. Forma y tiempo de medir la transparencia del agua con el disco Secchi.	41
Figura 7. TSI según la transparencia de la laguna San Nicolás.	52
Figura 8. TSI según la clorofila a de la laguna San Nicolás.	54
Figura 9. IE según los nitratos de la laguna San Nicolás	56
Figura 10. IE según los fosfatos de la laguna San Nicolás.	58
Figura 11. pH de la laguna San Nicolás	62
Figura 12. Temperatura de la laguna San Nicolás.	64
Figura 13. Oxígeno disuelto de la laguna San Nicolás.	66
Figura 14. Conductividad eléctrica de la laguna San Nicolás	68
Figura 15. Clorofila a de la laguna San Nicolás	73
Figura 16. Clorofila a según la profundidad de la laguna San Nicolás	75
Figura 17. Nitratos de la laguna San Nicolás	77
Figura 18. Nitratos según la profundidad de la laguna San Nicolás	79
Figura 19. Fosfatos de la laguna San Nicolás.	81
Figura 20. Fosfatos según la profundidad de la laguna San Nicolás.	83
Figura 21. Transparencia de la laguna San Nicolás	85
Figura 22. ECA para pH.	87

Figura 23. ECA para oxígeno disuelto	88
Figura 24. ECA para conductividad eléctrica.....	89
Figura 25. ECA para clorofila a	90
Figura 26. ECA para nitratos.....	91
Figura 27. Correlación Clorofila a – Nitratos.....	93
Figura 28. Correlación Clorofila a – Fosfatos	94
Figura 29. Correlación Clorofila a – Transparencia.....	95
Figura 30. Correlación Nitratos – Fosfatos	96
Figura 31. Correlación Nitratos – Transparencia	97
Figura 32. Correlación Fosfatos – Transparencia	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1). Ecuación para calcular la concentración de clorofila a en mg/m^3	45
Ecuación (2). Ecuación para calcular el TSI de la claridad del agua (Ds)(m).....	46
Ecuación (3). Ecuación para calcular el TSI de clorofila a (Clorf a) (mg/m^3)	46
Ecuación (4). Ecuación para calcular el IE.....	48

RESUMEN

La eutrofización es un problema global que viene destruyendo ecosistemas acuáticos progresivamente, debido a esto decidimos evaluar y analizar una de las lagunas más representativas de la región, como lo es la laguna San Nicolás, situada en el distrito de Namora, provincia de Cajamarca. Nuestro principal objetivo de estudio fue la determinación del estado trófico de esta laguna a través de la cuantificación de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia. Se determinaron 6 estaciones de muestreo, de donde se obtuvieron muestras a 0 m, 1.5 m y 3 m de profundidad y analizamos parámetros “in situ”, también medimos la transparencia con un disco Secchi. Luego de analizar las muestras determinamos el Índice del Estado Trófico (TSI) de Carlson (1977), modificado por Aizaki et al. (1981), este dio como resultado un TSI = 64.72 (eutrófico) de clorofila a y un TSI = 66.55 (eutrófico) de la claridad del agua; y el Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al. (1983), que dio como resultado un IE = 1.67 (oligotrófico) para nitratos y un IE = 3.02 (mesotrófico) para fosfatos.

Palabras clave: Estado Trófico, clorofila a, fosfatos, transparencia.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En los últimos años la contaminación ambiental ha ido aumentando a pasos agigantados en todo el mundo, existiendo diferentes tipos, los más importantes y peligrosos son los que afectan a los recursos naturales básicos como lo son: el aire, los suelos y el agua. Dentro de la contaminación del agua destaca una de las alteraciones más graves y notorias denominada eutrofización, la cual ataca a los lagos y lagunas de diferentes partes del mundo por diversas causas. Estos cuerpos de agua que en muchos casos sirven para diferentes actividades deben cuidarse y mantenerse.

En el Perú contamos con más de 12 mil lagos y lagunas, de los cuales en Cajamarca actualmente existen más de 283 lagunas, estas ocupan una extensión de 1010.9 ha y almacenan aproximadamente 121'310,400 m³ de agua. Las lagunas se encuentran dispersas a lo largo y ancho del territorio cajamarquino, mostrando sus diversos tamaños. Gran cantidad de ellas son utilizadas para almacenamiento de agua que posteriormente es aprovechada para el riego en estaciones secas, consumo humano y actividades recreacionales (Gobierno Regional de Cajamarca, 2012).

Muchas de las lagunas del territorio están siendo afectadas actualmente a causa de la eutrofización, debido al gran crecimiento poblacional que enfrentamos, pues, esto implica un incremento de las actividades propias de la región como lo son principalmente la agricultura y la ganadería, que, al llevarse a cabo en zonas aledañas a un cuerpo de agua, le aportaran nutrientes en cantidades excesivas, siendo estos los contaminantes más representativos en el problema de eutrofización. El exceso de

nutrientes contribuye drásticamente a la proliferación de algas, que al descomponerse disminuyen el oxígeno disuelto de las lagunas provocando así dificultades en los seres vivos y generando malos olores, los que al aumentar afectan también a las actividades turísticas. Todo esto altera el ecosistema acuático, disminuyendo la calidad del agua y por lo tanto la calidad de la vida acuática. Además, al llegar a un estado trófico alto, la presencia de algas es tan elevada que el espejo de agua puede llegar a desaparecer por completo.

En el caserío Laguna San Nicolás, perteneciente al distrito de Namora, provincia y departamento de Cajamarca, podemos notar este crecimiento poblacional mencionado anteriormente, que se refleja mediante un incremento del desarrollo de actividades como agricultura, ganadería, turismo, etc. Todo esto a orillas de la laguna que se encuentra en este caserío, llamada también laguna San Nicolás. Al existir estas actividades, las sustancias de deshecho provocan cambios en el aspecto de la laguna, donde podemos notar claramente un aumento de plantas acuáticas, lo que podría aseverar que existe eutrofización.

Tras toda la problemática causada por la eutrofización decidimos determinar el estado trófico de la Laguna San Nicolás, por ser una de las lagunas más representativas de la región de Cajamarca (ver ANEXO N°1). Esta laguna tiene un área de 1 077 704.46 m² y un volumen de 136 860 770.78 m³ (ver ANEXO N°2). Según Roncal y Barrantes (2013), posee una profundidad de 12 m y es considerada el cuerpo de agua léntico más grande de la región. Se encuentra en un lugar de clima templado, favoreciendo así a las actividades agropecuarias. Está en espacio geográfico cerrado, donde no existen fuentes de agua que lleguen a desembocar en ella, sin embargo, al no

haber estudios sobre su función hidrográfica no se descarta el hecho de que se encuentre conectada subterráneamente y derive sus aguas al río Cajamarquino. Actualmente, es aprovechada por la comunidad principalmente como recurso turístico y pesca; siendo esta última una actividad relativamente nueva, gracias a la intrusión de Pejerrey (*Odonthestes bonariensis*); también se realizan actividades agropecuarias, quienes viven en la orilla de la laguna siembran alfalfa todo el año y en algunos casos se dedican a la crianza de ganado; estas actividades son las más preocupante y pueden ser la principal causa de eutrofización.

Nuestra investigación tiene como propósito la motivación para la creación de futuros trabajos de prevención y descontaminación en el área, ya que a consecuencia de la eutrofización se provocará la mortandad entre los peces; se perderá la calidad del cuerpo de agua, impidiendo el uso recreativo, turístico y doméstico del mismo e incluso puede terminar por convertir a gran parte del cuerpo de agua en tierra firme; su deterioro no afecta sólo a la localidad donde se genera el problema, sino que incide directamente en una destrucción global del ambiente. Por lo tanto, es compromiso de todos, el cuidado y preservación de nuestro entorno natural.

Antecedentes

Aguirre, Venegas y García (2016) en su estudio “Evaluación del estado trófico del Lago de Izabal” nos indican que tuvieron como objetivo principal evaluar el estado trófico del agua, para lo que se basaron en el índice de Carlson en relación al registro histórico de fósforo total en 22 puntos de muestreo, utilizaron los valores del año 2005 al 2014 y notaron que las áreas que presentaban mayor carga de nutrientes estaban relacionas con las desembocaduras de algunos ríos con influencias de actividades

contaminantes, los ríos eran: Polochic, Sauce y Oscuro (con actividad agrícola); Sehoc y Escoria (con actividad minera) y Playa Dorada (en las áreas de influencia de turismo). Finalmente llegaron a la conclusión de que el lago presentaba un estado eutrófico, con tendencia a mejora en épocas de lluvia.

Ledesma, Bonansea, Rodríguez y Sánchez (2013) nos indican en su estudio “Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina)” que al estar este embalse afectado por actividades antrópicas se plantearon como objetivo determinar la calidad del agua y estado trófico del embalse Río Tercero, con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos. Para esto se realizó un análisis multivariado y la determinación del estado trófico, el cual se evaluó según la metodología propuesta por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 1982), mientras que para la toma de muestras, almacenamiento, conservación y técnicas analíticas utilizaron la metodología propuesta por American Public Health Association (APHA, 2000). Luego de todos los análisis, concluyeron que el embalse pasó de un estado mesotrófico a eutrófico y que existía una correlación positiva entre clorofila a y fósforo total; y oxígeno disuelto y temperatura. Según el análisis multivariado las variables más representativas fueron clorofila a, fósforo total y temperatura. Todo esto permitió generar un programa preliminar de monitoreo y gestión extrapolable a otros recursos acuático, en el caso de nuestro estudio, también enfocamos la investigación a futuros trabajos en cuerpos de agua, para lograr mejorías, un seguimiento y constante monitoreo.

Orquera y Cabrera (2019) en su estudio titulado “Caracterización del estado trófico de la laguna de Yambo mediante análisis de fósforo” se plantearon determinar el estado trófico y la detección de los procesos de eutrofización en la laguna, para lo cual caracterizaron la calidad del agua. El muestreo se llevó a cabo en dos épocas del año (época seca y época húmeda) y se definieron 5 puntos, de cada uno se tomó una muestra compuesta, para lo que se tomaron 2 muestras a diferentes profundidades (una superficial y una a 2 m) y se mezclaron. Los parámetros analizados fueron oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura y fosfatos. Para la evaluación del índice trófico se basaron en concentraciones de fósforo total y transparencia del agua según dos criterios, el modelo propuesto por Carlson y el de Aizaki, haciendo una comparación entre las fórmulas propuestas por cada autor. Los resultados de índices fueron: según el modelo de Carlson de $73,70 \pm 3,92$ (época seca) y $72,22 \pm 2,44$ (época húmeda); y según el modelo de Aizaki de $78,01 \pm 0,29$ (época seca) y $76,67 \pm 1,41$ (época húmeda). Finalmente concluyeron que laguna de Yambo se encontraba en un estado eutrófico.

Gonzales y Matamoros (2018) realizaron una investigación titulada “Estudio de la calidad trófica del humedal Gualí - Tres Esquinas” debido a la alteración en la presión del cuerpo de agua que afectaba tanto a la flora como a la fauna del humedal. Se establecieron 3 campañas de muestreo, donde se tomaron 33 muestras en cada una (99 en total), de los cuales principalmente se analizaron concentraciones de fósforo y clorofila. Para el análisis del grado de eutrofia utilizaron los índices de eutrofización por nutrientes de Karydis et al. (1983) y el de Vollenweider (1970), también utilizaron la distancia inversa ponderada (IDW) mediante ArcGis y se basaron en los valores de fósforo. Los resultados fueron un estado eutrófico según la metodología de

Vollenweider, mesotrófico y eutrófico según el índice de eutrofización presentada por Karydis y eutrófico según la distancia inversa ponderada (IDW).

Álvarez (2016) nos indica en su estudio “Determinación analítica de detergentes en las aguas de Los Pantanos de Villa” que las aguas que conformaban los principales canales de abastecimiento a las lagunas de este lugar eran utilizadas por los pobladores aledaños para lavaderos domésticos, por esta razón se planteó como objetivo la determinación de la concentración de detergentes para evaluar si esta actividad contaminaba el agua. Se analizaron como indicadores de eutrofización al nitrógeno, fósforo disuelto y fósforo total y se establecieron 13 estaciones de muestreo evaluadas en dos fechas distintas del año. Para la determinación de sólidos totales disueltos se utilizó la norma APHA 2540 C, para el fósforo disuelto el método APHA 4500 P E, para el fósforo total el método APHA 4500-P B5, para el nitrógeno total Kjeldahl la norma ASTM 3590-89 y para el análisis de detergentes el método APHA 5540 C. Los análisis de las lagunas dieron como resultados niveles de pH con tendencia a la basicidad, valores de conductividad que superaban los Estándares de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente para lagos y lagunas de cuerpos lénticos, concentraciones tóxicas de detergentes y concentraciones de nutrientes que clasificaban a las lagunas como hipereutróficas, todos estos resultados mostraban que el deshecho de detergentes en cuerpos de agua es un problema grave, siendo el nivel hipereutrófico el más elevados de eutrofización.

Díaz y Sotomayor (2013) en su investigación titulada “Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash” a agosto de 2012, nos muestra que evaluaron el estado de eutrofización en dos épocas, una de estiaje y otra de lluvia,

siendo este su objetivo principal, para esto se analizaron 6 puntos de muestreo que fueron determinados por aspectos relevantes como ubicación de ingresos y salidas de efluentes, de fuentes contaminantes, vertimientos de aguas residuales y botaderos de residuos sólidos, ubicación de áreas del cuerpo de agua donde se desarrollen actividades específicas y distribución en transectos definidos en torno a una actividad específica. Este análisis fue en relación a mediciones de fósforo total, nitratos, transparencia y clorofila a, cada parámetro fue analizado mediante las metodologías OECD (1982), APHA (1981) y Carlson (1977). La metodología OECD (1982), dio como resultado un estado hipereutrófico según el fósforo total (128,9 $\mu\text{g/l}$ y 132,0 $\mu\text{g/l}$ en época de lluvia y estiaje respectivamente), clorofila a (promedio anual de 46 $\mu\text{g/l}$) y para transparencia (0,69 m y 0,62 m); y según nitratos un estado eutrófico (201,7 $\mu\text{g/l}$ y 230,0 $\mu\text{g/l}$). Utilizando el Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson (1977), se obtuvo como resultado un nivel hipereutrófico según los valores de fósforo total (TSI = 73,8 en lluvia y TSI = 74,3 en estiaje) y uno eutrófico según la clorofila a (TSI = 68,4 en lluvia y TSI = 67,9 en estiaje) y la transparencia (TSI = 66,1 en lluvia y TSI = 67,1 en estiaje); y por último APHA (1981) dio como resultado un estado eutrófico según los nitratos (201,7 $\mu\text{g/l}$ en lluvia y 230,0 $\mu\text{g/l}$ en estiaje). Con todos estos valores, se llegó a la conclusión de que la laguna Conococha se encontraba en un nivel eutrófico a hipereutrófico, principalmente originado por la ganadería, el vertimiento directo de las aguas residuales domésticas y la disposición de los residuos sólidos que iban a la laguna.

Fundamentos teóricos.

Eutrofización.

Según Bermúdez (2010) la eutrofización se describe como el excesivo enriquecimiento de nutrientes de las aguas, que trae consigo un gran incremento del desarrollo de la flora acuática, las cuales al morir se depositan en el fondo de los cuerpos de agua generando residuos orgánicos, luego se descomponen y consumen un gran porcentaje de oxígeno disuelto, debido a esto la flora y fauna acuática se ve afectada y en algunos casos mueren por asfixia.

El proceso de eutrofización de cuerpos de agua se produce de manera natural, siendo en algunos casos acelerado por actividades antropogénicas que se realizan en dicho lugar y causando el deterioro y alteración del equilibrio del ecosistema acuático, pues, aumenta el nivel del estado trófico que según Ongley (1997) se describe como un concepto fundamental en la ordenación de los mismos y significa la relación que existe entre el estado de nutrientes en un cuerpo de agua y el incremento de materia orgánica en el mismo.

Estados tróficos.

- **Oligotrófico.**

Es el primer nivel de estado trófico, se caracteriza por presentar nutrientes en bajas concentraciones, baja productividad primaria y presencia elevada de flora y fauna (Mateu, 2016). Usualmente tienen alto nivel de transparencia, lo cual permite que la radiación solar penetre y favorezca al desarrollo de algas y gran variedad de seres vivos.

- **Mesotrófico.**

Representa a lagos con un nivel de productividad, claridad y plantas acuáticas moderada. Niveles de clorofila a entre 3 y 7 $\mu\text{g/L}$ y transparencia entre 2.5 y 4m (Moreno, Quintero y López, 2010).

- **Eutrófico.**

Nivel con alta concentración de nutrientes, alto grado de productividad biológica, pero baja transparencia. Dificulta la penetración de la luz en los lagos y presenta seres vivos característicos de aguas con bajo nivel de oxígeno (barbos, tencas, gusanos, etc.). Son lagos característicos de zonas bajas y cálidas (Moreta, 2008). Los bajos niveles de oxígeno se deben a la gran cantidad de materia vegetativa y dificulta la vida acuática.

- **Hipereutrófico.**

Es el nivel más elevado de eutrofización, los lagos en este estado presentan muchos problemas debido al alto grado de nutrientes, provocando un crecimiento excesivo de flora acuática y altos niveles de profundidad biológica, también poseen poca transparencia, por lo tanto, el cuerpo de agua se nota reducido con poca penetración de luz. Este estado impide la navegación y el aprovechamiento del agua (Vásquez et al., 2012, citado en Maldonado, 2018).

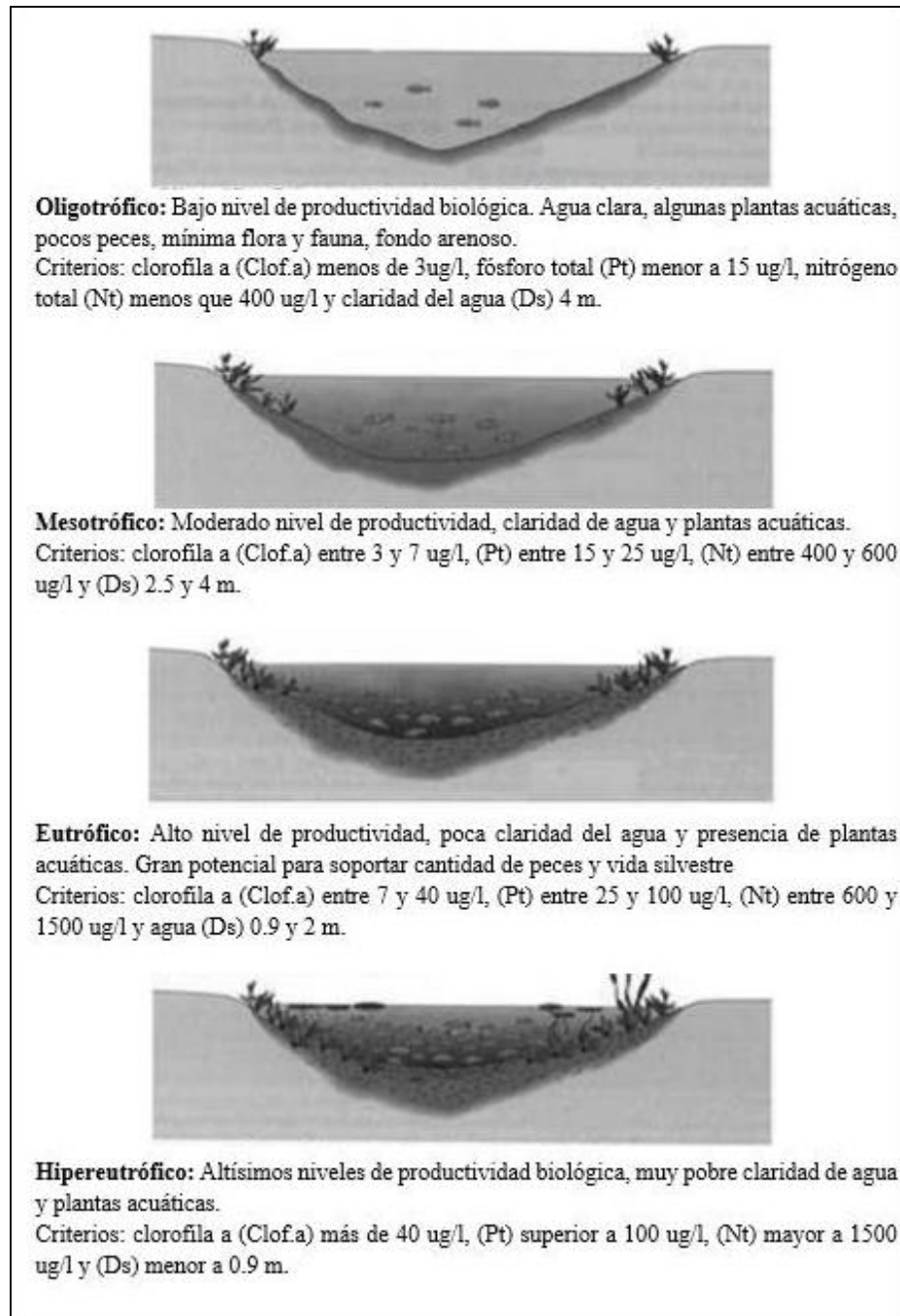


Figura 1. Criterios para definir los cuatro estados tróficos. LAKEWATCH (2010), citado en Moreno et al. (2010).

Causas de eutrofización.

- **Ganadería y agricultura.**

Estas actividades son la mayor causa de eutrofización, debido a las grandes cantidades de fertilizantes, pesticidas, nitratos y fosfatos que se utilizan y en la gran mayoría de casos son vertidos en las aguas convirtiéndose así en una gran amenaza para los cuerpos de agua.

Según Mateu (2016), dentro de las actividades antropogénicas más peligrosas están la agricultura y ganadería, pues, aportan en alto grado fertilizantes y restos orgánicos procedentes de los animales y plantas. Además, cada una de estas actividades se consideran con difícil control y depuración.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002) afirma que la agricultura contamina de una manera muy considerativa el agua, pues, aunque el agua presente una buena calidad, entorno a esta actividad el sistema hidrográfico posee contaminantes procedentes de los insumos agrícolas, tales como: sales, insecticidas, herbicidas, potasio y nitrógeno que incrementan la producción de algas y los niveles de eutrofización de los cuerpos de agua, además de la permanencia de algunos químicos (Citado en Pérez y Aguilar, 2012).

La actividad agraria es fuente importante para la eutrofización por el empleo de grandes cantidades de abonos y los residuos orgánicos que se generan (Bermúdez, 2010). Todo debido a que los excrementos de los animales poseen gran cantidad de nutrientes, siendo en su mayoría de carácter nitrogenado

(amonio) y si no son gestionados correctamente producen gran cantidad de problemas puntuales.

- **Residuos Urbanos.**

Principalmente por la aportación de nutrientes y materia orgánica, ya que, las deyecciones humanas y los productos de limpieza son los principales componentes de las aguas residuales domésticas y aportan gran cantidad de nitrógeno y fósforo (Bermúdez, 2010).

Los detergentes presentes en el medio hídrico son muy peligrosos debido a su toxicidad para la vida acuática y por el gran aporte de fósforo que generan. Estas sustancias son solubles en agua, la cual al ser ya utilizada es descargada en los ríos y lagos o en algunos casos se infiltra en la tierra y provoca un proceso acelerado de eutrofización (Insua et al., 2010, citado en Álvarez, 2016). Además, debido a la presencia de fósforo, las plantas acuáticas se proliferan rápidamente, puesto que es un nutriente esencial para ellas, dando como resultado eutrofización y afectando a zonas concretas con mucha intensidad.

- **Actividades forestales.**

Los residuos forestales abandonados o desechados en los cuerpos de agua se degradan y aportan los nutrientes que tenía la planta, principalmente nitrógeno por la materia orgánica disuelta, favoreciendo así a la proliferación de algas. Los microorganismos que se encuentran en condiciones aeróbicas

provocan la actividad biológica causando un desequilibrio del oxígeno presente (Raffo y Ruiz, 2014).

Clorofila.

Se refiere a la coloración verde que poseen algunos organismos como vegetales, bacterias y algas, esto debido a su habilidad de aspirar otros colores de luz como roja, azul y morada, proyectándolas de color verde. Tiene como principal función absorber la energía lumínica, lo que hace que la absorción dependa en alto grado del nivel de ella y otros pigmentos (Manrique, 2003).

- **Clorofila a.**

Es el pigmento verde que le da color a las plantas, algas y fitoplancton, este tipo de clorofila está presente en todos los organismos que realizan fotosíntesis y su capacidad de atrapar las longitudes de onda de luz la hacen esencial para estos organismos. Además, al ser el pigmento fotosintético que predomina en las microalgas, algas y cianobacterias se convierte en una medida útil para la determinación de la biomasa de estos organismos en los cuerpos de agua. También se considera un indicador biológico de contaminación en ambientes acuáticos (Monge, 2015).

- **Clorofila b.**

Es muy parecida a la clorofila a, pero en su estructura se presenta una leve diferencia que hace que presente un color amarillo-verdoso (Campbell y Reece, 2005). Además, ayuda a la clorofila a en incrementar su habilidad para absorber

la luz solar. Está presente en las algas verdes y en algunos tipos de cianobacterias.

Las algas de color verde son las más comunes en el agua dulce y en la de mar, donde aportan oxígeno de manera importante a través de la fotosíntesis (Monge, 2015).

- **Clorofila c.**

Se caracteriza por su color marrón rojizo y se encuentra en algunas algas, en su mayoría dinoflajelados, que se caracterizan por desarrollar floraciones y causar un color rojo en los cuerpos de agua. Como la clorofila b, este tipo también contribuye con la captación de luz solar de la clorofila a, pero no está presente en la fotosíntesis luego de esto (Monge, 2015).

Nitratos.

Son compuestos que naturalmente proceden de la descomposición de materia orgánica nitrogenada de la consecuencia del ciclo natural del nitrógeno, pero sus concentraciones aumentan por el uso de fertilizantes y abonos nitrogenados (Blancas y Hervás, 2001).

- **Ciclo del nitrógeno.**

El nitrógeno es un elemento esencial para la vida. Es un componente indispensable de las proteínas, los ácidos nucleicos, la clorofila y otras moléculas (Carabias, Meave, Valverde y Cano-Santana, 2009). Existe de

manera natural en diferentes formas químicas, pero su ciclo se basa en los más relevantes (nitrógeno orgánico, amonio, nitrito, nitrato y nitrógeno gas).

El ciclo del nitrógeno se refiere básicamente a la transformación de algunos elementos nitrogenados. En general el proceso de fijación de estos compuestos en ecosistemas acuáticos se da por las cianofíceas, una vez fijado el nitrógeno empieza a ser parte de los organismos, estos al respirar liberan amonio (NH_4^+) y también lo generan en el proceso de descomposición de alimento, plantas y animales muertos. Luego las bacterias presentes oxidan de manera biológica el NH_4^+ y lo convierten en nitritos (NO_2^-), estos pasan a otra etapa donde la bacteria nitrospira oxida los NO_2^- y los convierte en nitratos (NO_3^-), este proceso es denominado nitrificación y necesariamente se produce en condiciones de aerobiosis (presencia de O_2) y materia orgánica. Seguido a este proceso se lleva a cabo la desnitrificación, que se refiere a la formación de nitrógeno en gas. Al presentarse un exceso de nitrógeno en forma de NO_3^- en el ecosistema, se desencadena la producción de plantas, pues, este compuesto es su principal nutriente, disminuyendo así los niveles de oxígeno disuelto (Maldonado, 2018).

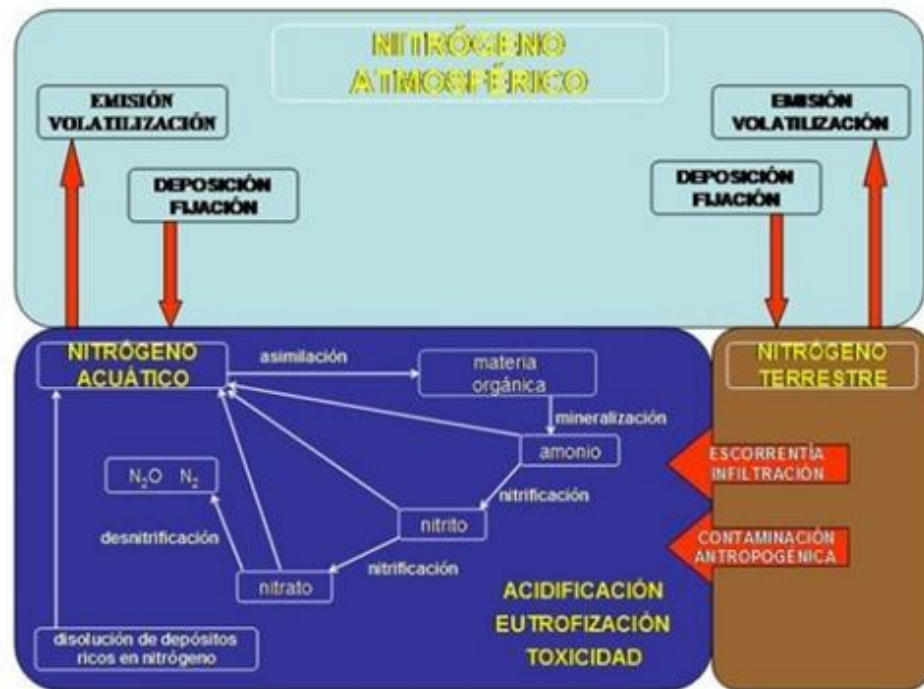


Figura 2. Esquema general del ciclo del nitrógeno en los ecosistemas acuáticos y los principales problemas medioambientales derivados de la contaminación. Camargo y Alonso (2007).

Fosfatos.

Son nutrientes importantes en la naturaleza, pero en algunos casos pueden presentarse en el agua de forma específica como, por ejemplo, por el vertimiento de aguas residuales o en grandes extensiones por la escorrentía de la actividad agrícola, las cuales contienen fertilizantes (Blancas y Hervás, 2001).

Son los compuestos más importantes que forma el fósforo, pues, están presentes en los procesos de transferencia de energía, como lo son el metabolismo y la fotosíntesis. Su incorporación natural al ecosistema acuático se debe a los microorganismos y

plantas que captan el fósforo principalmente de rocas y sedimentos (Maldonado, 2018).

- **Ciclo del fósforo.**

El fósforo presenta un ciclo bioquímico complejo, donde está implicado su tránsito por medio de estados inorgánico y orgánicos. Su presencia en el agua es generalmente de disolución de rocas y minerales, lavado de suelos (con residuos de actividades ganaderas o agrícolas) y aguas residuales domésticas (con detergentes). También podemos encontrarlo como compuestos inorgánicos, orgánicos y en tejidos vivos (Marín, 2010).

El fósforo en forma de ortofosfato, sirve de alimento para las algas y bacterias, las cuales pasan a ser parte del ciclo del fósforo. Al morir estos organismos, se descomponen y con ayuda de algunos microorganismos, el fósforo orgánico se convierte en fosfatos. Por otro lado, el fósforo inorgánico se logra disolver en el agua para así transformarse en ortofosfatos, estos compuestos pueden absorberse o desorberse como compuestos inorgánicos o en algunos casos pueden precipitar o disolverse en forma de minerales (apatita o vivianita). Los residuos de la materia orgánica en descomposición de los organismos muertos se precipitan y logra quedar en los sedimentos. Las plantas acuáticas actúan como bombas y elevan el fósforo del fondo de la laguna, por esta razón puede seguir presente en el ciclo (Bruning, 2018).

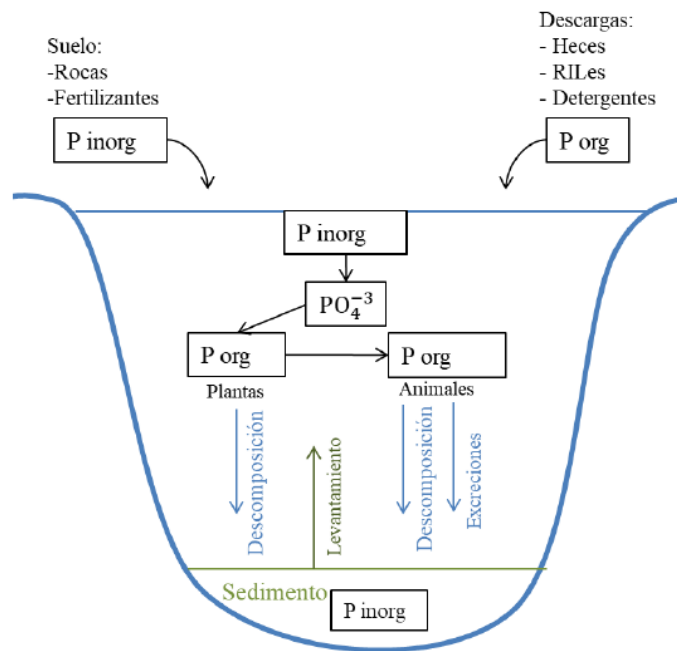


Figura 3. Ciclo del fósforo en un lago. Bruning (2018).

El fósforo se considera un factor limitante de la producción biológica, pues, naturalmente es escaso en los ecosistemas. Sin embargo, debido a las actividades antropogénicas, se vierten grandes cantidades de fósforo provocando en algunos casos problemas de eutrofización, ya que esto contribuye a la proliferación de algas.

Transparencia.

La transparencia es un parámetro importante para el desarrollo de la vida acuática y nos permite analizar el nivel de eutrofización de un cuerpo de agua en relación al fitoplancton, pues, mientras más cantidad de este exista menor será la transparencia del agua y por lo tanto también disminuirá la penetración de la luz. La profundidad hasta donde llegue la luz solar en el cuerpo de agua indicará a que profundidad las

plantas acuáticas pueden desarrollarse (Global Learning and Observation to Benefit the Environment, 2005)

A medida que va avanzando el nivel trófico, la producción de biomasa aumenta y la transparencia disminuye por la acumulación de materia orgánica en profundidad (Mateu, 2016).

Métodos de identificación del estado trófico.

Según Moreno et al. (2010), existen las siguientes técnicas tradicionales para determinar el estado trófico de un cuerpo de agua y las describe de la siguiente manera:

- **Análisis de macrófito y fitoplancton.**

Consiste en tomar muestras de macrófitos flotantes (pleuston) y macrófitos sumergidos (limnófitas), luego se procede a estimar la cobertura relativa en superficie de cada área de muestreo y en el caso de las sumergidas se estima la cobertura relativa del sustrato como el índice de diversidad de Shannon-Wiener. También se realiza un análisis de fitoplancton, donde se toma una muestra de agua y se fijan con solución de Lugol o alcohol etílico para luego concentrarse con una malla de 25 μm en el laboratorio. Finalmente, con uso de un microscopio se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo. Luego se calcula la abundancia relativa porcentual y el índice de diversidad de Shannon-Wiener.

- **Índice del Estado Trófico (TSI) de Carlson, modificado por Aizaki et al.**

Este índice fue propuesto por Carlson en 1977 y modificado por Aizaki et al. en 1981, es uno de los más utilizados actualmente, va desde oligotrófico hasta hipereutrófico y se obtiene a través de valores de transparencia, clorofila a y fósforo total.

En este índice cualquiera de las tres variables es útil para la clasificación de un cuerpo de agua. Es utilizado generalmente en los programas de seguimiento de los lagos, pues, la transparencia medida con el disco Secchi es la variable más común y la de menor costo, mientras que para las clasificaciones es prioritaria la clorofila a, puesto que, dentro de las tres variables permitidas para este índice es la que posee mayor exactitud en la predicción de la biomasa de algas (Díaz y Sotomayor, 2013).

- **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).**

Esta organización es la que hasta el momento ha realizado el estudio más complejo sobre eutrofización en “Programa Cooperación sobre la Eutrofización” en 1970, donde participaron connotados científicos de 18 países con la coordinación de Vollenweider. En este programa, se establecieron categorías de eutrofización basadas en las concentraciones de fósforo total (Pt), clorofila a, nitrógeno total (Nt) y transparencia medida con un disco Secchi (Ds). Además, Janus y Vollenweider concluyeron que es imposible establecer una limitación estricta entre cada una de las categorías tróficas, debido a la complejidad de la interacción entre todas las variables que intervienen en el proceso de eutrofización.

- **Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al.**

Índice propuesto por Karydis et al., (1983), donde se basa en los siguientes criterios:

- a) Especificidad para cada nutriente.
- b) Considera el aporte del nutriente en áreas distintas.
- c) Adimensional y se aplica en varios tipos de agua.
- d) Altamente sensible a los efectos de eutrofización y sencillo al manipular datos y realizar su cálculo.

- **Índice de Estado Trófico TRIX.**

Índice multivariado, propuesto por Vollenweider et al., (1998). Para calcularlo se requiere de valores de clorofila a, valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y factores nutricionales como nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo reactivo soluble.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el estado trófico de la laguna San Nicolás a través de la cuantificación de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el estado trófico de la laguna San Nicolás a través de la cuantificación de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar mediciones de potencial de hidrógeno (pH), temperatura, oxígeno disuelto (OD) y conductividad eléctrica de cada una de las muestras.
- Determinar la concentración de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia presente en la laguna San Nicolás.
- Determinar si los parámetros medidos cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para agua.
- Determinar el tipo de correlación que existe entre los parámetros principales.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La laguna San Nicolás presenta un nivel de eutrofización mesotrófico evaluado a través de la cuantificación de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es no experimental – cuantitativo con un diseño descriptivo - correlacional, debido a que no manipulamos deliberadamente las variables, solo observamos, analizamos y describimos el estado trófico de una manera ya establecida mediante información numérica. También estudiamos la relación lineal que existe entre los parámetros principales.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población.

La laguna San Nicolás, ubicada en el distrito de Namora, provincia de Cajamarca. Representada con un área de 1 077 704.46 m² y un volumen de 136 860 770.78 m³ (ver ANEXO N°2).

2.2.2. Muestra.

Se consideraron 18 muestras de agua de la laguna San Nicolás, que se refieren a 3 muestras a diferente profundidad de cada una de las 6 estaciones de muestreo (ver ítem 2.4.2).

2.3. Materiales, instrumentos y métodos

2.3.1. Materiales.

De protección personal.

- Botas.
- Guantes de látex.
- chaleco salvavidas.

Para la recolección de muestras.

- Ficha de registro de datos de campo.
- GPS Garmin - etrex10.
- Botella Van Dorn - Wildco.
- 18 baldes de plástico de 5L.
- Wincha de 3m.
- Lapiceros y marcadores de tinta indeleble.
- Cámara fotográfica Canon – EOS T6 18 55 DC.

Equipos.

- Multiparámetro portátil HACH - HQ40d-Multi.
- Colorímetro HACH – DR 900.
- Espectrofotómetro HACH – DR 3900.
- Disco Secchi manual.

Reactivos.

- Acetona al 90%.
- Carbonato de magnesio.
- PhosVer 3.
- NitraVer 5.
- Agua destilada.

2.3.2. Instrumentos.

- Cadena de custodia de muestreo.
- Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).
- Protocolo de Transparencia del Agua de Global Learning and Observation to Benefit the Environment (GLOBE, 2005).
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua del Ministerio del Ambiente, (MINAM, 2017).
- Water Analysis Handbook (Hach company, 2019).

2.3.3. Métodos.

Se utilizaron métodos descriptivos, analíticos y correlativos en la caracterización del objeto de estudio, para así determinar el nivel de eutrofización en la laguna San Nicolás.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Ubicación de las estaciones de muestreo.

Para la determinación de las estaciones de muestreo, previamente se realizó un reconocimiento del lugar de estudio que nos ayudó a identificar puntos representativos de la laguna San Nicolás, para lo que consideramos los criterios para el establecimiento de la red de puntos de monitoreo de lagos, lagunas y embalses descritos en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016), donde nos indica que las estaciones deben ser ubicadas en lugares donde se desarrollen actividades específicas o en zonas de importancia particular y el número de

estas deberá ser determinado con relación al tamaño de la laguna. En este caso con ayuda del programa ArcGis 10.5 determinamos que el área total de la laguna San Nicolás es $1\,077\,704.46\text{ m}^2$ y el volumen es $136\,860\,770.78\text{ m}^3$, con relación a estos datos realizamos una grilla con cuadrantes de $160\,000\text{ m}^2$ en el programa Google Earth Pro y consideramos que debían ser evaluadas 6 estaciones de acuerdo a la extensión de la laguna. Por otro lado, al no existir zonas de descarga o ingresos de algún afluente superficial, determinamos las estaciones en zonas donde existen actividades constantes, 3 estaciones cercanas a las orillas donde se desarrollan actividades como lavado de ropa manual, agricultura y ganadería y; 3 estaciones en el centro donde se realiza turismo, como paseos en bote y pesca.

La Figura 4 muestra que hay cuadrantes donde no se consideraron estaciones de muestreo, esto debido al acceso, pues, en la laguna San Nicolás los pobladores que realizan los viajes en botes utilizan en su mayoría cuerdas fijas para impulsarse, en estos puntos aún no se han instalado. Además, no se podía ingresar a modo de remo por temor a los fuertes vientos y no tener una cuerda fija como guía y soporte.



Figura 4. Número de estaciones de muestreo de la laguna San Nicolás

2.4.2. Determinación del número de muestras.

De cada una de las 6 estaciones consideramos sacar 3 muestras, cada una a diferente profundidad (0 m, 1.5 m y 3 m), debido a que en estudios de eutrofización la profundidad del agua tiene una estrecha relación con el nivel trófico referido a varios factores donde se encuentran principalmente los ciclos del nitrógeno y fósforo, estas medidas se establecieron de acuerdo al criterio propio, ya que al consultar con los pobladores nos informaron que en las estaciones cercanas a las orillas, la profundidad es de aproximadamente 4 m a 5 m, entonces para evitar daños de la botella hidrográfica se tomó como punto más profundo el de 3 m, seguido de 1.5 m y 0 m. En total se consideraron tomar 18 muestras.

2.4.3. Condiciones del muestreo.

El muestreo se realizó el 14 de enero del 2020, siendo este un día nublado. La temperatura máxima fue de 21.3°C y la mínima de 7.6°C, mientras que la humedad relativa fue de 67% y no se evidenció precipitaciones en la zona (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2020). A lo largo del día observamos pocos turistas, quienes en su mayoría optaban por paseos en bote. También logramos visualizar a una habitante aledaña cuando realizaba lavado de ropa manual directamente en la laguna.

2.4.4. Descripción de las estaciones de muestreo.

Se codificaron las 6 estaciones como A, B, C, D, E y F; siendo las 3 primeras correspondientes al centro de la laguna y las otras 3 cercanas a las orillas. La siguiente tabla presenta las coordenadas de cada estación de muestreo analizada.

Tabla 1

Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo

Estación de muestreo	Coordenada x	Coordenada y	Fecha	Hora
A	793 605	919 9150	14/01/2020	7:00 a.m.
B	793 298	919 9213	14/01/2020	8:58 a.m.
C	792 962	919 9371	14/01/2020	10:57 a.m.
D	792 573	919 9505	14/01/2020	12:30 p.m.
E	793 874	919 9116	14/01/2020	1:50 p.m.
F	793 713	919 9407	14/01/2020	2:58 p.m.

Nota. Las estaciones A, B y C; corresponden al centro de la laguna y las estaciones D, E y F a las orillas.

2.4.5. Recolección de muestras.

Para la recolección de las muestras hicimos uso de un bote, el cual fue impulsado por cuerdas y en algunas estaciones por remos, pues, tres de las estaciones estaban más alejadas de las orillas de la laguna. También hicimos uso de una botella de acrílico Van Dorn de la marca Wildco, y de 18 baldes de plástico de 5 L. Previamente se rotularon los baldes con la letra perteneciente a cada estación seguida de la profundidad de muestreo para así evitar confusiones. Por ejemplo, para la estación A, fueron A0 (muestra superficial), A1.5 (muestra a 1.5 m) y A3 (muestra a 3 m). Luego se procedió a la recolección de muestras.

Pasos para la recolección de las muestras.

- La toma de muestras superficiales (0 m de profundidad) se realizó directamente con los baldes desde la embarcación.

Para las muestras de 1.5 m y 3 m de profundidad seguimos el procedimiento de toma de muestras a diferentes profundidades utilizando la botella hidrográfica, descrito en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016).

- Marcamos la cuerda a cada metro de distancia.
- Abrimos ambos lados de la botella y la aseguramos para que no se cierren.
- Enjuagamos dos veces la botella con agua de la misma estación.
- Bajamos la botella a 1.5 m de profundidad, esperamos un minuto aproximadamente para que se estabilice y soltamos la pesa para que ambos lados de la botella se cierren. Luego la subimos a la superficie.
- Finalmente, vaciamos la muestra en un balde limpio y enjuagado.
- Seguimos los mismos pasos para la muestra de 3 m de profundidad y para todas las estaciones restantes.

2.4.6. Análisis de parámetros.

Medición “in situ” de pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica.

Para la medición de estos parámetros hicimos uso de un multiparámetro portátil de la marca HACH, modelo HQ40d-Multi y realizamos el siguiente procedimiento:

- Conectamos cada uno de los sensores al multiparámetro, el cual estuvo previamente calibrado.
- Enjuagamos los sensores con agua destilada y secamos suavemente.
- Colocamos los sensores en la muestra de agua.

- Seleccionamos leer, esperamos a que el valor se estabilice y anotamos.
- Sacamos los sensores, enjugamos y secamos suavemente.
- Repetimos estos pasos para cada una de las muestras.

Medición de transparencia.

La transparencia del agua fue determinada utilizando un disco Secchi elaborado manualmente, basándonos en el Protocolo de Transparencia del Agua (GLOBE, 2005), donde se indica que el empleo de un disco Secchi es la mejor manera para medir transparencia en cuerpos de agua profundos y tranquilos.

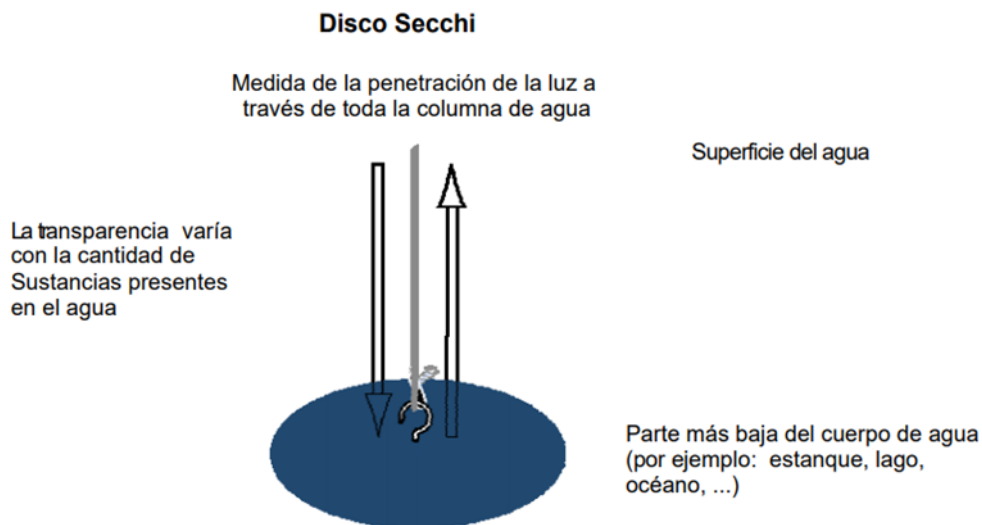


Figura 5. Medida de Transparencia en Aguas profundas y tranquilas. GLOBE (2005).

Para llevar a cabo la medición, primero nos aseguraremos de que el lugar de muestreo tenga sombra, en nuestro caso no requerimos el uso de sombrillas ni de otros objetos, pues, las condiciones climáticas del día del muestreo fueron favorables para la medición de transparencia en la laguna. Luego realizamos el siguiente procedimiento:

- Sumergimos el disco Secchi hasta que desapareció.
- Marcamos la cuerda en la superficie del agua, medimos la distancia con una wincha y anotamos.
- Volvimos a sumergir el disco, pero varios centímetros más de la marca anterior.
- Jalamos la cuerda hasta que reapareció el disco.
- Marcamos la cuerda en la superficie del agua, medimos la distancia y anotamos.
- Sacamos el promedio de las dos distancias obtenidas.
- Repetimos estos pasos en cada estación de muestreo.

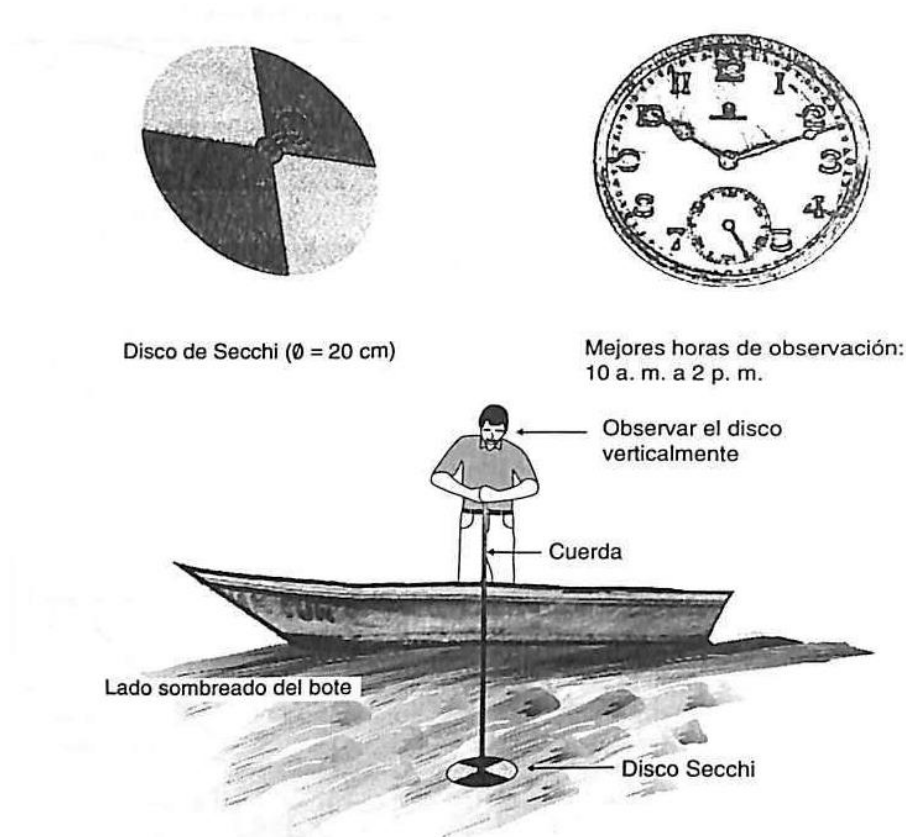


Figura 6. Forma y tiempo de medir la transparencia del agua con el disco Secchi. Roldán y Ramírez (2008).

Cuantificación de clorofila a.

Decidimos evaluar este tipo de clorofila principalmente por su capacidad única para transformar la energía de la luz en energía química, pues, aunque la clorofila b también puede absorber luz, no puede transformarla. Además, también la elegimos por ser el pigmento fotosintético que predomina en las microalgas, algas y cianobacterias, que por consiguiente determina la biomasa de estos organismos en el agua, considerándose un indicador biológico de contaminación en ambientes acuáticos.

Para este análisis se utilizó el procedimiento descrito por la Universidad Politécnica de Valencia (2015) en “Determinación espectrofotométrica: Método tricromático” e hicimos uso de un espectrofotómetro HACH – DR 3900.

Filtración de la muestra.

- Filtramos 200 ml de cada una de las muestras en membranas filtrantes de 0.45 μm con ayuda de un filtro y una bomba al vacío. Consideramos agregar 5 gotas de suspensión de carbonato de magnesio (1.0 g de carbonato de magnesio reactivo analítico disuelto en 100 ml de agua destilada) para evitar que el filtro se acidifique según el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (2003).
- Doblamos el filtro hacia el interior, lo colocamos en un tubo de polietileno y envolvimos con papel aluminio, con el fin de evitar la fotodegradación.
- Dejamos refrigerar los filtros para facilitar la extracción de los pigmentos.

Extracción y determinación de pigmentos.

- Sacamos los filtros de congelador, agregamos un volumen conocido de acetona al 90%. Nosotros utilizamos 10 ml y homogeneizamos.
- Refrigeramos los filtros a 4°C en la oscuridad, se recomienda este paso por no menos de 2 horas y no más de 24 horas. Nosotros consideramos refrigerarlos 18 horas aproximadamente.
- Centrifugamos los tubos tapados por 5 minutos a 2500 rpm para separar el material particulado y el extracto líquido.

Cálculos.

- Colocamos cada uno de los extractos obtenidos en una celda de 1 cm, medimos la densidad óptica a 630 nm, 647 nm, 664nm y 750 nm en el espectrofotómetro y anotamos.

Cuantificación de nitratos.

Para la cuantificación de nitratos, realizamos el procedimiento descrito en Water Analysis Handbook (Hach company, 2019) y utilizamos un colorímetro HACH – DR 900.

Preparación de la muestra.

- Colocamos 10 ml de muestra en una celda.
- Agregamos el reactivo NitraVer 5 a la celda.
- Tapamos la celda y agitamos por 1 minuto.
- Dejamos reposar 5 minutos.

Preparación del blanco.

- Colocamos 10 ml de muestra en una celda limpia.

Análisis de la muestra.

- Limpiamos superficialmente la celda que contiene la muestra en blanco.
- Insertamos el blanco en el soporte de la celda del colorímetro.
- Presionamos CERO para calibrar el equipo.
- Limpiamos superficialmente la celda que contiene la muestra preparada.
- Sacamos la celda de la muestra en blanco e insertamos la muestra preparada en el soporte de la celda del colorímetro luego de 1 minuto de haber terminado los 5 minutos de reposo.
- Presionamos LEER y anotamos el valor mostrado en la pantalla.

Cuantificación de fosfatos.

Para este cálculo, se realizó el procedimiento descrito en Water Analysis Handbook (Hach company, 2019) y también utilizamos el colorímetro HACH – DR 900.

Preparación de la muestra.

- Colocamos 10 ml de muestra en una celda.
- Agregamos el reactivo PhosVer 3 a la celda (si hay presencia de fosfatos, la muestra obtendrá un color azul).
- Tapamos la celda y agitamos de 20 a 30 segundos aproximadamente.
- Dejamos reposar 2 minutos.

Preparación del blanco.

- Colocamos 10 ml de muestra en una celda limpia.

Análisis de la muestra.

- Limpiamos superficialmente la celda que contiene la muestra en blanco.
- Insertamos el blanco en el soporte de la celda del colorímetro.
- Presionamos CERO para calibrar el equipo.
- Limpiamos superficialmente la celda que contiene la muestra preparada.
- Sacamos la celda de la muestra en blanco e insertamos la muestra preparada en el soporte de la celda del colorímetro.
- Presionamos LEER y anotamos el valor mostrado en la pantalla.

2.4.7. Cálculos según la cuantificación de los parámetros.

Determinación de la concentración de clorofila a en mg/m³.

Después de obtener todos los resultados de las densidades ópticas, procedimos a realizar el cálculo de las concentraciones de clorofila a en mg/m³, donde se utilizó la siguiente ecuación descrita por la Universidad Politécnica de Valencia (2015).

Ecuación para calcular la concentración de clorofila a en mg/m³.

$$Cl\ a\ \left(\frac{mg}{m^3}\right) = Ve \times \frac{[(11.85 \times (A_{664} - A_{750})) - (1.54 \times (A_{647} - A_{750})) - (0.08 \times (A_{630} - A_{750}))]}{V_f \times L} \quad (1)$$

Donde:

A_{664} = Densidad óptica del extracto a 664 nm.

A_{647} = Densidad óptica del extracto a 647 nm.

A_{630} = Densidad óptica del extracto a 630 nm.

A_{750} = Densidad óptica del extracto a 750 nm.

V_e = Volumen del extracto de acetona (ml).

V_f = Volumen de agua filtrada (L).

L = longitud de la celda utilizada.

Para nuestros cálculos utilizamos un volumen de extracto de acetona (V_e) de 10 ml y un volumen de agua filtrada (V_f) de 0.2 L

Índice de Estado Trófico (TSI) propuesto por Carlson, modificado por Aizaki et al.

Empleamos las ecuaciones para estimar el estado trófico aplicado a los indicadores de eutrofia de Carlson (1977), modificadas por Aizaki et al. (1981), descritas por Moreno et al. (2010).

Ecuación para calcular el TSI de la claridad del agua (D_s)(m).

$$TSI_{DS} = 10 \times \left(2.46 + \frac{3.76 - 1.57 \ln(DS)}{\ln 2.5} \right) \quad (2)$$

Ecuación para calcular el TSI de clorofila a ($Clor\ f\ a$) (mg/m^3).

$$TSI_{Clor\ f\ a} = 10 \times \left(2.46 + \frac{\ln(Clor\ f\ a)}{\ln 2.5} \right) \quad (3)$$

Finalmente, los resultados obtenidos se midieron en la siguiente escala de valores:

Tabla 2

Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua

Estado de	TSI	Transparencia	Clorf a
eutrofia		Ds (m)	(mg/m ³)
	0	64	0.04
Oligotrófico	10	32	0.12
(TSI < 30)	20	16	0.34
	30	8	0.94
Mesotrófico	40	4	2.6
(30 < TSI < 60)	50	2	6.4
	60	1	20
Eutrófico	70	0.5	56
(60 < TSI < 90)	80	0.25	154
	90	0.12	427
Hipereutrófico	100	0.06	1183
(90 < TSI < 100)			

Nota. Fuente: Modificado de Carlson ,1977; 1980, citado en Moreno et al., 2010.

Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al.

Se utilizó este índice con relación a la concentración de nitratos y fosfatos, para lo cual empleamos la siguiente fórmula propuesta por Karydis et al. (1983), descrita en Moreno et al. (2010).

Ecuación para calcular el IE.

$$I_E = \frac{C}{C - \log X} + \log A \quad (4)$$

Donde:

IE = Índice de eutrofización por nutriente de Karydis.

A = Número de estaciones de muestreo durante el periodo de estudio.

C = logaritmo de la concentración total del nutriente durante el periodo de estudio, es decir, es la suma de las concentraciones X_{ij} , del nutriente obtenidas en cada una de las A_i estaciones durante los M_j muestreos.

X = Concentración total del nutriente en la estación A_i , durante el periodo de estudio, es decir las sumas de las concentraciones del nutriente obtenidas en la estación A_i , durante los M_j muestreos.

Finalmente, los resultados obtenidos se midieron en la siguiente escala de valores:

Tabla 3

Escala de clasificación del índice de eutrofización por nutrientes

Índice de estado	Rango
Oligotrófico	$I_E < 3$
Mesotrófico	$3 < I_E < 5$
Eutrófico	$I_E > 5$

Nota. Fuente: Karydis et al., 1983, citado en Moreno et al., 2010.

2.4.8. Análisis estadístico de datos.

Puesto que, el objetivo fundamental de la estadística es analizar datos y transformarlos en información útil para tomar decisiones (Rodríguez, 2007), consideramos tomar en cuenta datos estadísticos como: media, varianza, desviación estándar y error típico, pues, estos son necesarios y representativos para dar validez a nuestra investigación, también elaboramos gráficos donde están presentes los promedios de cada estación de muestreo, la media y los límites máximos y mínimos de desviación.

Por otro lado, se analizaron las correlaciones entre cada uno de los parámetros, que, nos permitieron determinar el grado de relación lineal que existe entre dos variables cuantitativas. Según Ratner (2009), las pautas aceptadas para interpretar el coeficiente de correlación son las siguientes:

- 0 indica que no hay relación lineal.
- +1 indica una relación lineal positiva perfecta, esto quiere decir que a medida que una variable aumenta o disminuye en sus valores, la otra variable hará lo mismo a través de una regla lineal exacta.
- -1 indica una relación lineal negativa perfecta, esto quiere decir que a medida que una variable aumenta en sus valores, la otra variable disminuye a través de una regla lineal exacta.
- Los valores entre 0 y 0.3 (0 y -0.3) indican una relación lineal positiva (negativa) débil a través de una regla lineal inestable.
- Los valores entre 0.3 y 0.7 (-0.3 y -0.7) indican una relación lineal positiva (negativa) moderada a través de una regla lineal firme difusa.

- Los valores entre 0.7 y 1.0 (-0.7 y -1.0) indican una fuerte relación lineal positiva (negativa) a través de una regla lineal firme.

Cabe recalcar que todos los datos estadísticos fueron analizados en el programa informático Microsoft Excel 2016.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson, modificado por Aizaki et al.

3.1.1. TSI de la claridad del agua D_s (m).

En la Tabla 4 se muestran los valores de TSI según la claridad del agua, donde observamos que el valor más elevado es de 68.42 que corresponde a las estaciones A y B, mientras que el mínimo es de 64.00 de la estación E.

Tabla 4

Índice de Estado Trófico de Carlson, modificado por Aizaki et al., según la claridad del agua (TSI_{Ds}) (m) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	TSI_{Ds}
A	68.42
B	68.42
C	67.44
D	64.48
E	64.00
F	66.51
Promedio	66.55

Nota. Los valores se determinaron con la ecuación para calcular el TSI de la claridad del agua (D_s)(m) de la modificación de Aizaki et al., 1981.

El promedio de las 6 estaciones es de 66.55, que al ser analizado según la Tabla 2 indica un estado eutrófico, tal y como se muestra en la Figura 7.

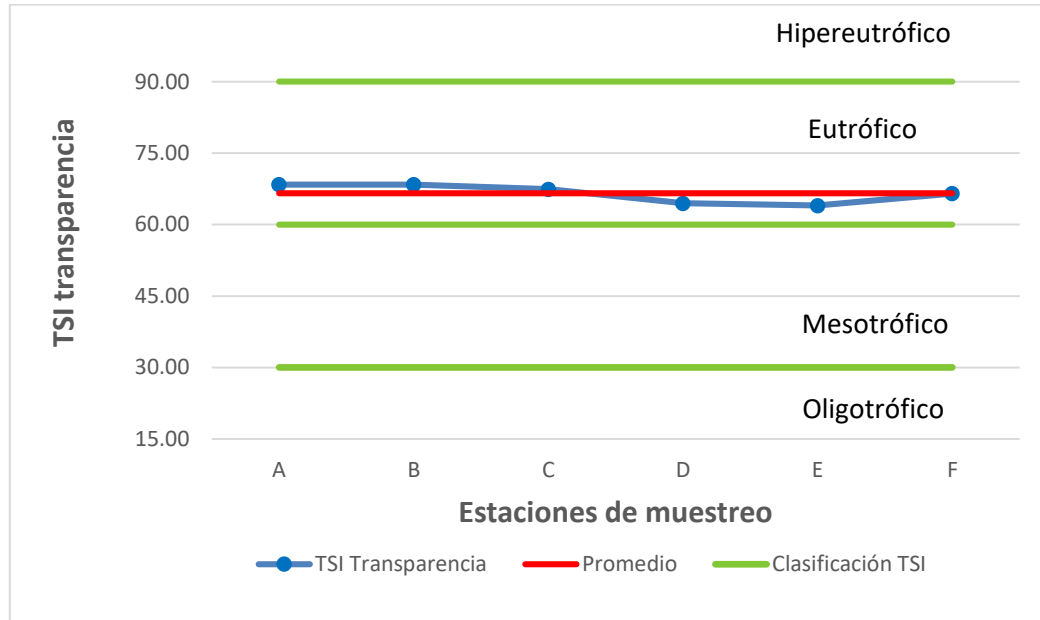


Figura 7. TSI según la transparencia de la laguna San Nicolás

3.1.2. TSI de clorofila a (Clorf a) (mg/m^3).

La Tabla 5 presenta los valores de TSI según la clorofila a, donde se observa que el valor más elevado es de 82.89 y corresponde a la estación F, mientras que el mínimo es de 60.18 de la estación B.

Tabla 5

Índice de Estado Trófico de Carlson, modificado por Aizaki et al., según la clorofila a ($TSI_{Clorf a}$) (mg/m^3) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	$TSI_{Clorf a}$
A	61.63
B	60.18
C	60.21
D	60.44
E	63.00
F	82.89
Promedio	64.72

Nota. Los valores se determinaron con la ecuación para calcular el TSI de clorofila a (Clorf a) (mg/m^3) de la modificación de Aizaki et al., 1981.

El promedio de las 6 estaciones es de 64.72, que al ser analizado según la Tabla 2, indica un estado eutrófico al igual que la claridad del agua, tal y como se muestra en la Figura 8.

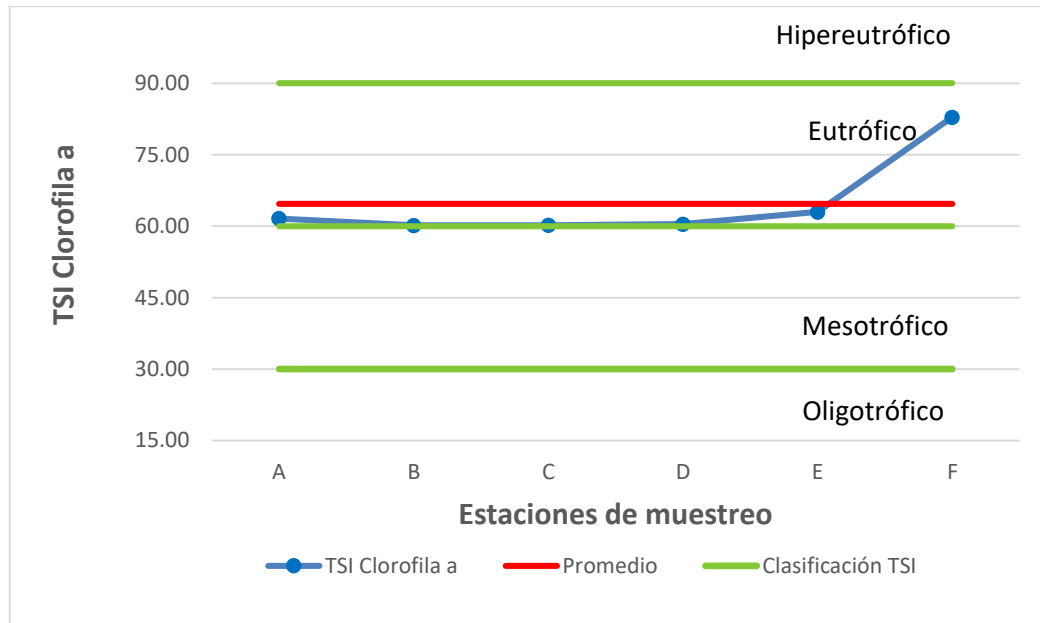


Figura 8. TSI según la clorofila a de la laguna San Nicolás

3.2. Índices de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al.

3.2.1. IE según nitratos.

En la Tabla 6 se muestran los valores de IE según los nitratos de la laguna, donde observamos que el valor más elevado es de 2.08 que corresponde a la estación F y el mínimo es de 1.38 de la estación B.

Tabla 6

Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karidys et al., según los nitratos de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	IE Nitratos
A	1.41
B	1.38
C	1.76
D	1.59
E	1.80
F	2.08
Promedio	1.67

Nota. Los valores se determinaron con la ecuación para calcular el IE de Karydis et al., 1983.

El promedio de las 6 estaciones es de 1.67, que al ser analizado según la Tabla 3, indica un estado oligotrófico, tal y como se muestra en la Figura 9.

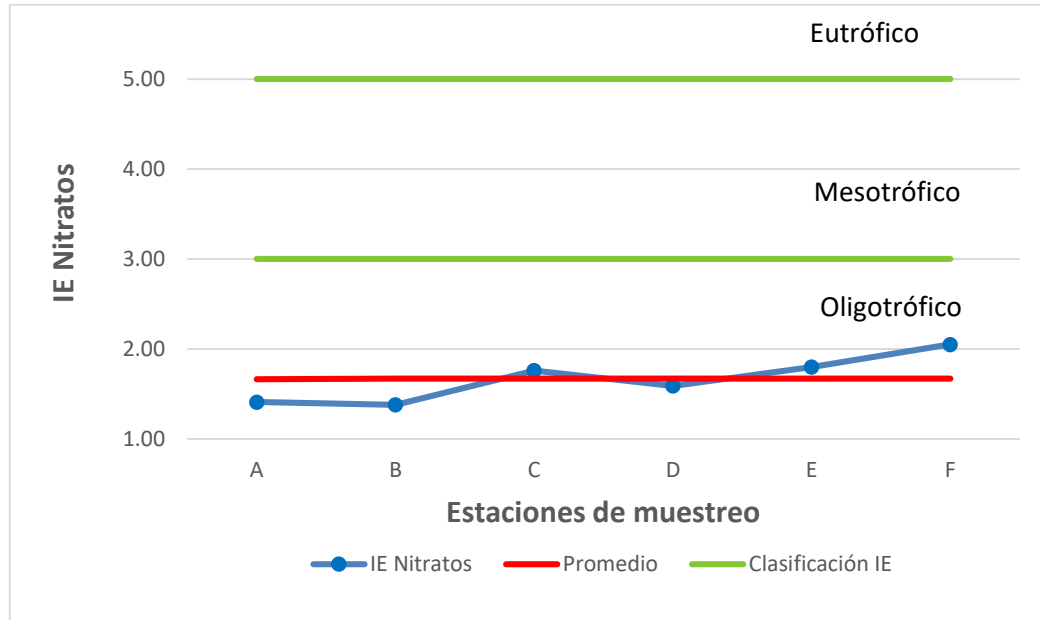


Figura 9. IE según los nitratos de la laguna San Nicolás

3.2.2. IE Según fosfatos.

La Tabla 7 presenta los valores de IE según los fosfatos de la laguna, donde se observa que el valor más elevado es de 3.31 y corresponde a la estación F, mientras que el mínimo es de 2.82 de la estación B.

Tabla 7

Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karidys et al., según los fosfatos de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	IE Fosfatos
A	2.91
B	2.82
C	2.89
D	3.02
E	3.17
F	3.31
Promedio	3.02

Nota. Los valores se determinaron con la ecuación para calcular el IE de Karydis et al., 1983.

El promedio de las 6 estaciones es de 3.02, que al ser analizado según la Tabla 3 indica un estado ligeramente mesotrófico, como se muestra en la Figura 10.

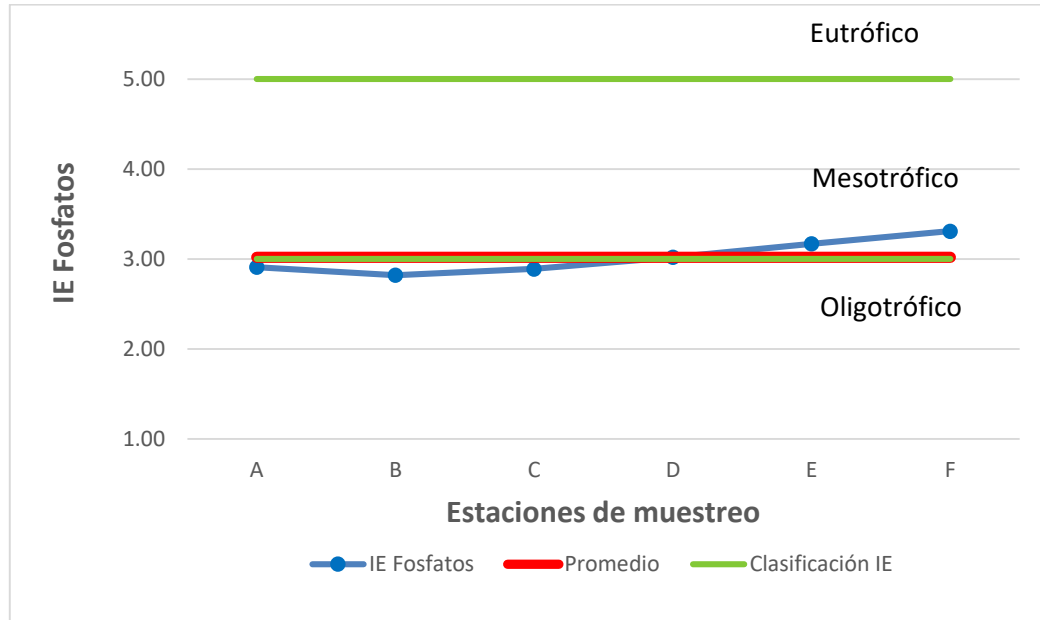


Figura 10. IE según los fosfatos de la laguna San Nicolás

3.3. Parámetros “in situ” (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica)

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de los parámetros medidos “in situ” en el multiparámetro. Se utilizaron figuras y tablas para representar los valores de cada una de las estaciones de muestreo en las 3 profundidades. De las 3 profundidades por estación se sacó un promedio que las representa y luego se calculó la media de estos promedios, la que representa el valor de cada parámetro en la laguna San Nicolás. También incluimos la varianza, que mide la variación del conjunto de valores y la homogeneidad entre ellos; la desviación estándar, que representa el grado de dispersión entre los datos con relación a la media; y el error típico, que muestra la precisión de la estimación de la media obtenida. Mientras más cercanos a 0 sean los valores, mayor será la precisión de estos. Todos los datos estadísticos analizados nos ayudan a dar validez a nuestra investigación.

Los valores de los promedios de las profundidades de los parámetros medidos “in situ” de cada estación se muestran en la Tabla 8 como representación general.

Tabla 8

Valores de parámetros “in situ” de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	pH	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	Conductividad (µs/cm)
A	8.67	19.80	5.88	301.00
B	8.68	20.13	6.06	298.33
C	8.72	19.97	6.01	295.67
D	8.66	21.00	5.86	292.00
E	8.65	20.50	6.12	298.00
F	8.61	20.30	5.93	295.00
Media	8.67	20.28	5.98	296.67

Nota. La tabla muestra una visión general de los valores de parámetros “in situ”.

3.3.1. Potencial de hidrógeno (pH).

En la Tabla 9, se logran apreciar los valores de pH obtenidos de cada una de las estaciones de muestreo, donde el valor del promedio más elevado de pH es de 8.72 y corresponde a la estación C, mientras que el menor es de 8.61 que corresponde a la estación F.

Tabla 9

Valores y datos estadísticos de pH de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Profundidad (m)			Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
	0	1.5	3					
A	8.68	8.68	8.66	8.67				
B	8.68	8.67	8.70	8.68				
C	8.71	8.70	8.74	8.72	8.67	0.001	0.036	0.015
D	8.68	8.67	8.64	8.66				
E	8.66	8.64	8.65	8.65				
F	8.75	8.65	8.42	8.61				

Nota. El valor de la media representa el nivel general de pH de la laguna San Nicolás, derivándose de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 11 muestra que el valor de la estación C está por encima del límite máximo de desviación y el de la estación F está por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que los límites van desde 8.63 hasta 8.71, lo que quiere decir que los valores de estas dos estaciones están más dispersos con relación a la media.

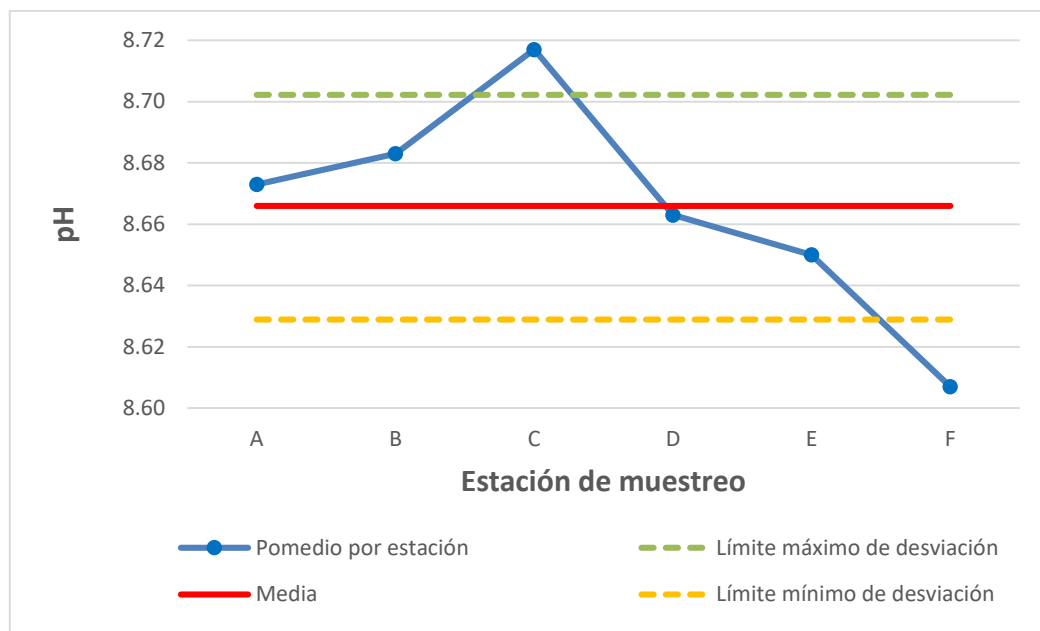


Figura 11. pH de la laguna San Nicolás

3.3.2. Temperatura

En la Tabla 10 se logra apreciar que el valor del promedio más elevado de temperatura es de 21.00°C y corresponde a la estación D, mientras que el menor es de 19.80°C que corresponde a la estación A.

Tabla 10

Valores y datos estadísticos de temperatura (°C) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Profundidad (m)			Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
	0	1.5	3					
A	19.50	19.90	20.00	19.80				
B	19.80	20.30	20.30	20.13				
C	19.80	20.00	20.10	19.97	20.28	0.18	0.43	0.17
D	20.60	21.20	21.20	21.00				
E	19.90	20.00	21.60	20.50				
F	19.90	20.00	21.00	20.30				

Nota. El valor de la media representa el nivel general de temperatura de la laguna San Nicolás, derivada de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 12 muestra que el promedio de la estación D está por encima del límite máximo de desviación y el promedio de la estación A están por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que los límites van desde 19.85 hasta 20.71, lo que quiere decir que estos dos valores están más dispersos con relación a la media.

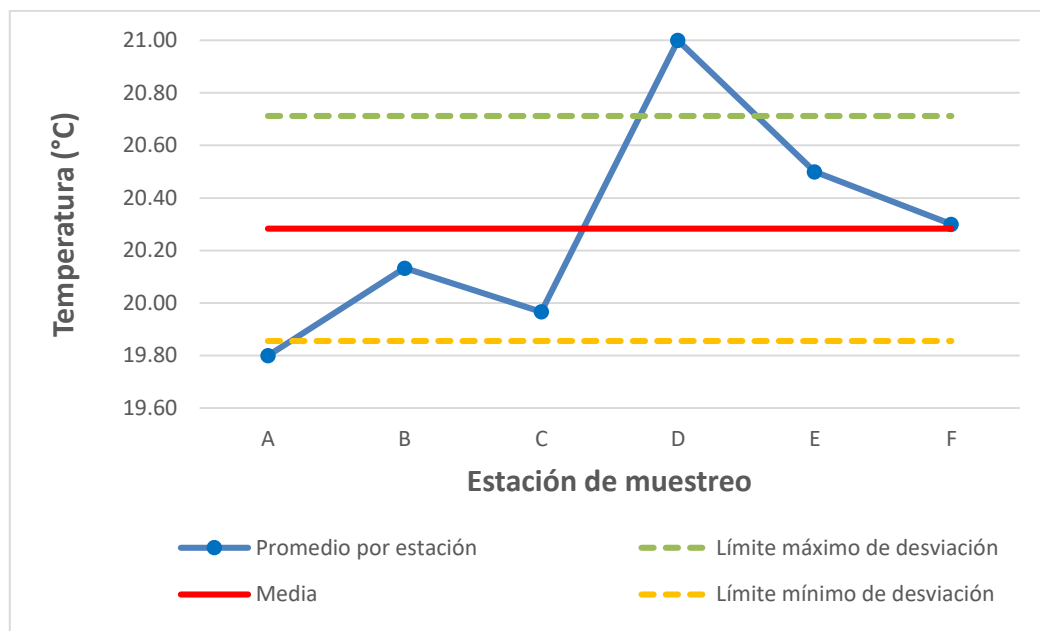


Figura 12. Temperatura de la laguna San Nicolás

3.3.3. Oxígeno disuelto.

En la Tabla 11, se logra apreciar que el valor del promedio más elevado de oxígeno disuelto es de 6.12 mg/L y corresponde a la estación E, mientras que el menor es de 5.86 mg/L que corresponde a la estación D.

Tabla 11

Valores y datos estadísticos de oxígeno disuelto (mg/L) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Profundidad (m)			Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
	0	1.5	3					
A	5.97	5.92	5.76	5.88				
B	6.10	6.05	6.04	6.06				
C	6.07	6.00	5.96	6.01	5.98	0.01	0.10	0.04
D	6.17	5.91	5.51	5.86				
E	6.63	5.89	5.84	6.12				
F	6.56	6.09	5.13	5.93				

Nota. El valor de la media representa el nivel general de oxígeno disuelto de la laguna San Nicolás, derivado de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 13 muestra que el promedio de la estación E está por encima del límite máximo de desviación y el promedio de la estación D están por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que los límites van desde 5.87 hasta 6.08, lo que quiere decir que estos dos valores están más dispersos con relación a la media.

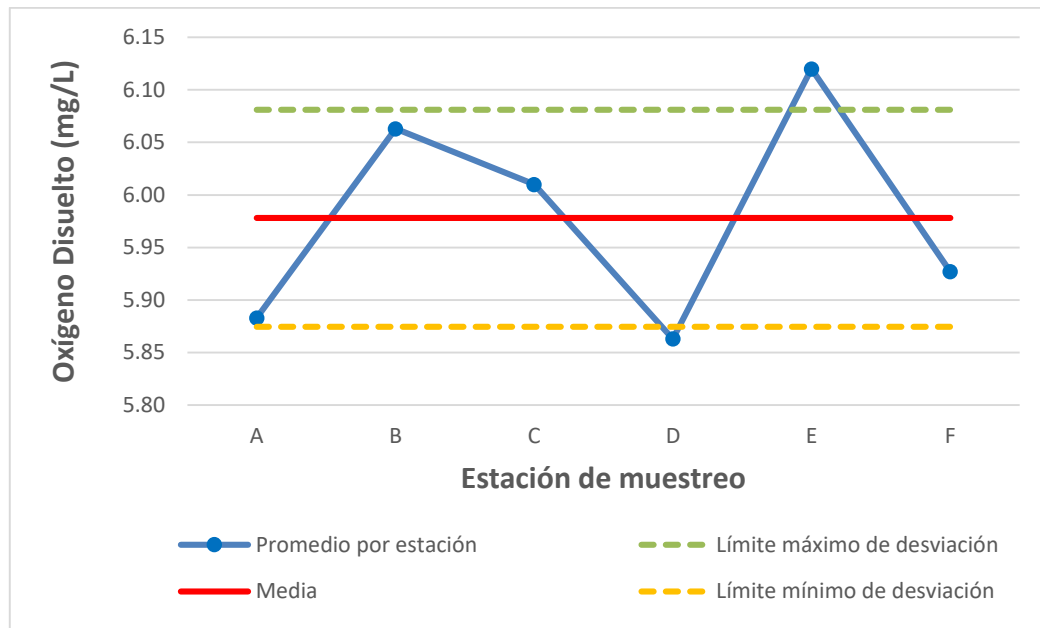


Figura 13. Oxígeno disuelto de la laguna San Nicolás

3.3.4. Conductividad eléctrica.

En la Tabla 12, se logra apreciar que el valor del promedio más elevado de conductividad eléctrica es de 301.00 $\mu\text{s/cm}$ y corresponde a la estación A, mientras que el menor es de 292.00 $\mu\text{s/cm}$ que corresponde a la estación D.

Tabla 12

Valores y datos estadísticos de conductividad eléctrica ($\mu\text{s/cm}$) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Profundidad (m)			Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
	0	1.5	3					
A	303.00	302.00	298.00	301.00				
B	300.00	298.00	297.00	298.33				
C	297.00	296.00	294.00	295.67	296.67	9.78	3.13	1.28
D	295.00	294.00	287.00	292.00				
E	303.00	298.00	293.00	298.00				
F	297.00	295.00	293.00	295.00				

Nota. El valor de la media representa el nivel general de conductividad eléctrica de la laguna San Nicolás, derivado de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 14 muestra que el promedio de la estación A está por encima del límite máximo de desviación y el promedio de la estación D están por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que los límites van desde 293.54 hasta 299.79, lo que quiere decir que estos dos valores están más dispersos con relación a la media.

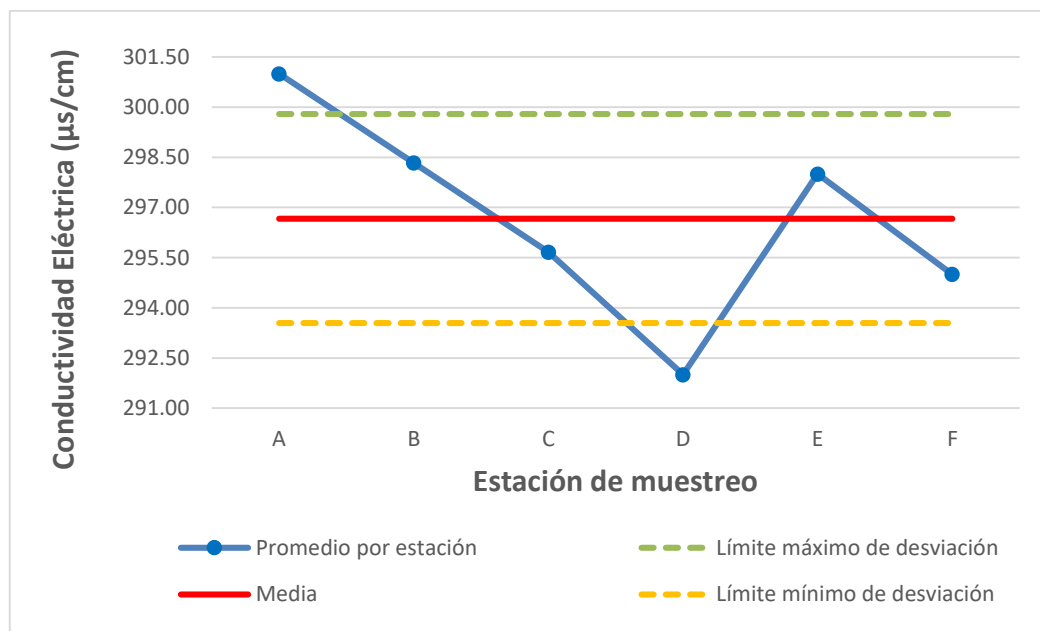


Figura 14. Conductividad eléctrica de la laguna San Nicolás

3.4. Concentración de parámetros

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las concentraciones de clorofila a, nitratos y fosfatos; y las medidas de transparencia de la laguna. Al igual que en los resultados anteriores, también se utilizaron figuras y tablas para representar los valores en cada una de las estaciones de muestreo en las 3 profundidades y se calcularon los mismos datos estadísticos (media, varianza, desviación estándar y error típico). Por otro lado, en el caso de la clorofila a, nitratos y fosfatos, también consideramos el análisis de datos con respecto a las profundidades de muestreo para evaluar su relación con esta.

3.4.1. Clorofila a.

La Tabla 13 muestra los valores de clorofila a con respecto a las densidades ópticas (630 nm, 647 nm, 664 nm, 665 nm y 750 nm) y los valores promedio de cada estación de muestreo.

Tabla 13

Valores de clorofila a de la laguna San Nicolás según la densidad óptica

Densidad Óptica	Profundidad (m)	A	B	C	D	E	F
630nm	0	0.063	0.044	0.040	0.043	0.052	0.205
	1.5	0.050	0.045	0.042	0.044	0.043	0.047
	3	0.050	0.049	0.041	0.049	0.050	0.170
Promedio		0.054	0.046	0.041	0.045	0.048	0.141
647nm	0	0.030	0.010	0.020	0.010	0.030	0.260
	1.5	0.010	0.010	0.010	0.020	0.030	0.030
	3	0.010	0.020	0.040	0.030	0.020	0.220
Promedio		0.017	0.013	0.023	0.020	0.027	0.170
664nm	0	0.066	0.050	0.050	0.050	0.083	0.516
	1.5	0.067	0.052	0.053	0.058	0.058	0.067
	3	0.065	0.055	0.053	0.059	0.061	0.578
Promedio		0.066	0.052	0.052	0.056	0.067	0.387
665nm	0	0.069	0.024	0.014	0.024	0.041	0.419
	1.5	0.034	0.025	0.020	0.019	0.031	0.487
	3	0.019	0.023	0.015	0.023	0.027	0.542
Promedio		0.041	0.024	0.016	0.022	0.033	0.483
750nm	0	0.037	0.012	0.010	0.008	0.010	0.014
	1.5	0.003	0.004	0.001	0.016	0.002	0.007
	3	0.006	0.006	0.005	0.003	0.011	0.020
Promedio		0.015	0.007	0.005	0.009	0.008	0.014

Nota. Los promedios representan los valores de clorofila a de cada densidad óptica en las estaciones de muestreo, estos fueron medidos en el espectrofotómetro referidos a cada una de las tres profundidades.

Los datos anteriores fueron procesados en la Ecuación (1) para obtener los resultados expresados en mg/m^3 tal como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Valores de clorofila a (mg/m^3) de la laguna San Nicolás según las densidades ópticas

Estación de muestreo	Densidad óptica					Clorofila a (mg/m^3)
	630nm	647nm	664nm	665nm	750nm	
A	0.054	0.017	0.066	0.041	0.015	29.760
B	0.046	0.013	0.052	0.024	0.007	26.050
C	0.041	0.023	0.052	0.016	0.005	26.120
D	0.045	0.020	0.056	0.022	0.009	26.680
E	0.048	0.027	0.067	0.033	0.008	33.730
F	0.141	0.170	0.378	0.483	0.014	208.650

Nota. Los valores de cada una de las densidades ópticas en las estaciones de muestreo se tomaron de los promedios de la Tabla 13.

La Tabla 15 nos indica que el valor del promedio más elevado de clorofila a es de 208.65 mg/m³ y corresponde a la estación F, mientras que el menor es de 26.05 mg/m³ que corresponde a la estación B.

Tabla 15

Valores y datos estadísticos de clorofila a (mg/m³) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Clorofila a (mg/m ³)	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
A	29.76				
B	26.05				
C	26.12	58.67	5419.98	73.62	1.43
D	26.68				
E	33.73				
F	208.65				

Nota. El valor de la media representa la concentración general de clorofila a en la laguna San Nicolás, derivada de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 15 muestra que el promedio de la estación F está muy por encima del límite máximo de desviación, teniendo en cuenta que los límites van desde -14.95 hasta 132.29, lo que quiere decir que el valor de esta estación está mucho más disperso con relación a la media.

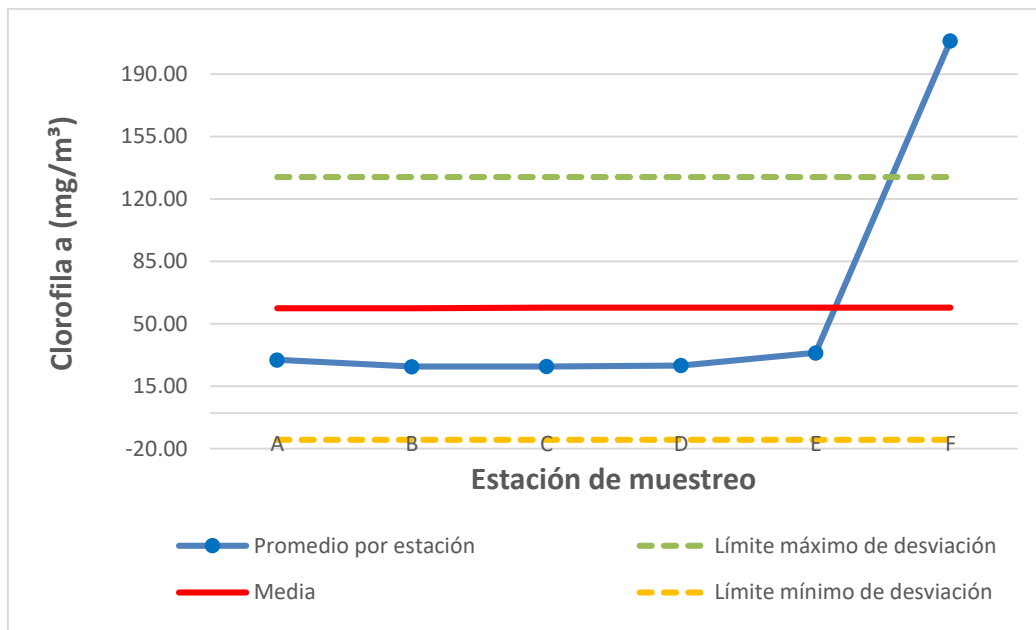


Figura 15. Clorofila a de la laguna San Nicolás

En la Tabla 16 se indican los valores de clorofila a expresados en mg/m^3 con respecto a cada una de las tres profundidades de muestreo, para lo que utilizamos los valores de las densidades ópticas promedio de cada estación.

Tabla 16

Valores de clorofila a (mg/m^3) de la laguna San Nicolás según la profundidad

Densidad Óptica	Profundidad (m)	Estación de muestreo						Promedio
		A	B	C	D	E	F	
630nm		0.063	0.044	0.040	0.043	0.052	0.205	
647nm		0.030	0.010	0.020	0.010	0.030	0.260	
664nm		0.066	0.050	0.050	0.050	0.083	0.516	
665nm	0	0.069	0.024	0.014	0.024	0.041	0.419	
750nm		0.037	0.012	0.010	0.008	0.010	0.014	
Clorofila a (mg/m^3)		17.618	22.541	22.810	24.591	41.545	277.729	67.806
630nm		0.050	0.045	0.042	0.044	0.043	0.047	
647nm		0.010	0.010	0.010	0.020	0.030	0.030	
664nm		0.067	0.052	0.053	0.058	0.058	0.067	
665nm	1.5	0.034	0.025	0.020	0.019	0.031	0.487	
750nm		0.003	0.004	0.001	0.016	0.002	0.007	
Clorofila a (mg/m^3)		37.193	27.814	29.953	24.465	30.860	33.619	30.651

630nm		0.050	0.049	0.041	0.049	0.050	0.170	
647nm		0.010	0.020	0.040	0.030	0.020	0.220	
664nm		0.065	0.055	0.053	0.059	0.061	0.578	
665nm	3	0.019	0.023	0.015	0.023	0.027	0.542	
750nm		0.006	0.006	0.005	0.003	0.011	0.020	
Clorofila a (mg/m³)		34.474	27.783	25.601	30.917	28.776	314.615	77.028

Nota. Los valores del promedio indican la concentración de clorofila a en cada una de las tres profundidades estudiadas.

Derivada de la tabla anterior elaboramos la Figura 16, donde se muestra con más claridad la relación entre los valores de clorofila a y la profundidad de muestreo. Además, se observa que no poseen una relación lineal definida.

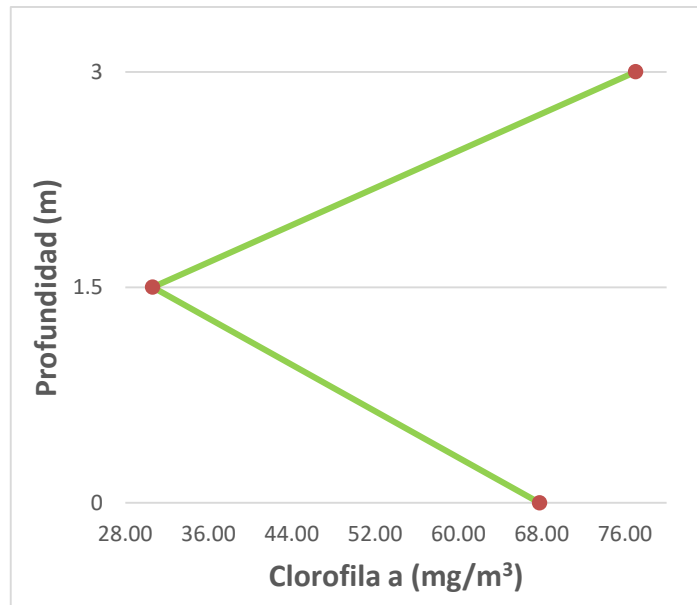


Figura 16. Clorofila a según la profundidad de la laguna San Nicolás

3.4.2. Nitratos.

En la Tabla 17, se logra apreciar que el valor del promedio más elevado de nitratos es de 1.88 mg/L y corresponde a la estación F, mientras que el menor es de 0.90 mg/L que corresponde a la estación B.

Tabla 17

Valores y datos estadísticos de nitratos (mg/L) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Profundidad (m)			Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
	0	1.5	3					
A	1.00	0.85	0.95	0.93				
B	0.95	0.80	0.95	0.90				
C	1.85	1.00	1.25	1.37	1.28	0.14	0.37	0.15
D	1.10	1.10	1.20	1.13				
E	1.55	1.55	1.20	1.43				
F	1.65	1.25	2.75	1.88				

Nota. El valor de la media representa la concentración general de nitratos en la laguna San Nicolás, derivada de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 17 muestra que el promedio de B está por debajo del límite mínimo de desviación y el promedio de F están por encima del máximo, teniendo en cuenta que los límites van desde 0.91 hasta 1.65, lo que quiere decir que los valores de estas estaciones están más dispersos con relación a la media.

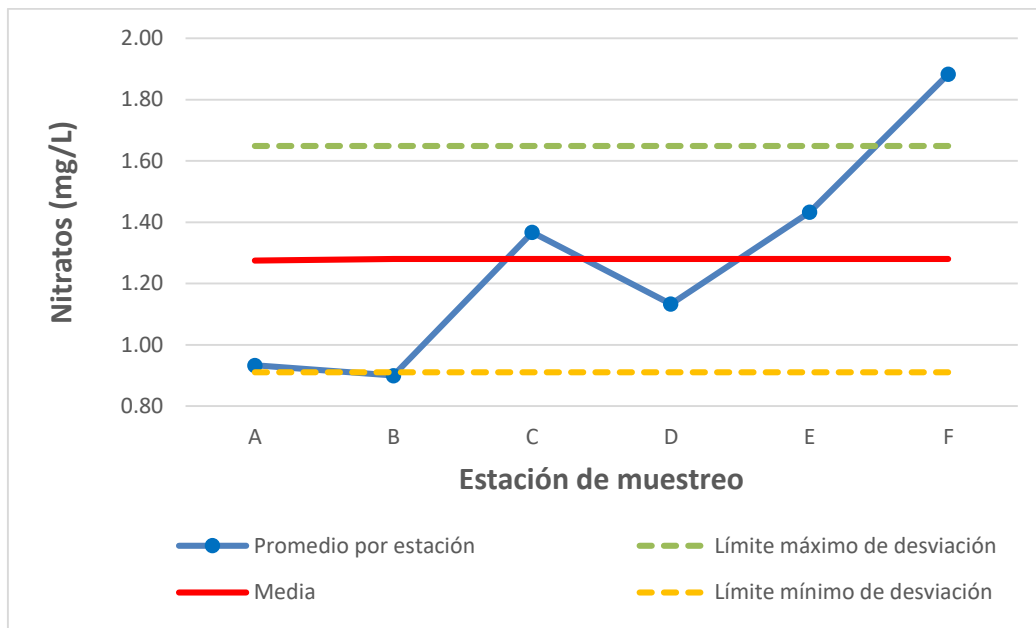


Figura 17. Nitratos de la laguna San Nicolás

La Tabla 18 indica los valores de nitratos con respecto a cada una de las tres profundidades de muestreo, donde vemos que el valor más elevado es de 1.30 mg/L a 3 m de profundidad.

Tabla 18

Valores de nitratos (mg/L) de la laguna San Nicolás según la profundidad

Profundidad (m)	Estación de muestreo						Promedio
	A	B	C	D	E	F	
0	1.00	0.95	1.85	1.10	1.55	1.65	1.35
1.5	0.85	0.80	1.00	1.10	1.55	1.25	1.09
3	0.95	0.95	1.25	1.20	1.20	2.75	1.38

Nota. Los valores del promedio indican la concentración de nitratos en cada una de las tres profundidades estudiadas.

Derivada de la tabla anterior elaboramos la Figura 18, donde se muestra con más claridad la relación entre los valores de nitratos y la profundidad de muestreo. Además, se observa que no poseen una relación lineal definida.

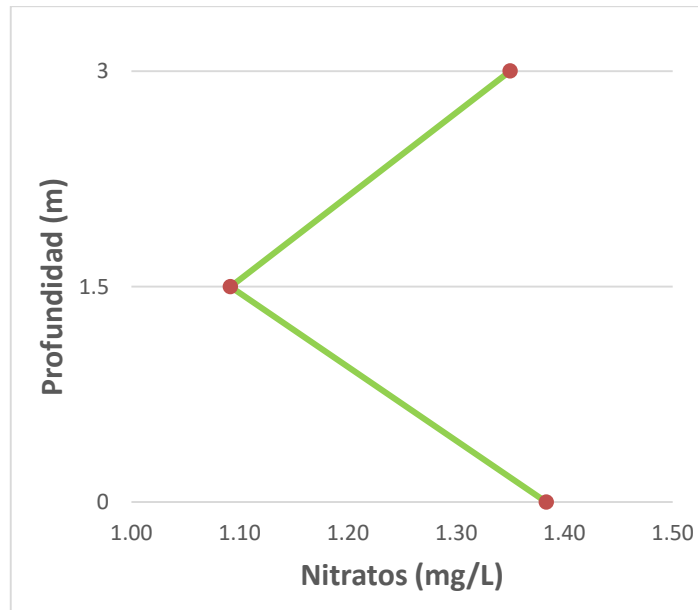


Figura 18. Nitratos según la profundidad de la laguna San Nicolás

3.4.3. Fosfatos

En la Tabla 19, se logra apreciar que el valor del promedio más elevado de fosfatos es de 7.45 mg/L y corresponde a la estación F, mientras que el menor es de 4.38 mg/L que corresponde a la estación B.

Tabla 19

Valores y datos estadísticos de fosfatos (mg/L) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Profundidad (m)			Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error típico
	0	1.5	3					
A	4.10	5.70	4.75	4.85				
B	4.10	4.70	4.35	4.38				
C	3.35	6.25	4.50	4.70	5.54	1.38	1.18	0.48
D	5.75	5.00	5.65	5.47				
E	6.15	7.70	5.35	6.40				
F	6.05	4.30	12.00	7.45				

Nota. El valor de la media representa la concentración general de fosfatos en la laguna San Nicolás, derivada de los valores de cada estación de muestreo en sus tres profundidades.

La Figura 19 muestra que el promedio de F está por encima del máximo de desviación, teniendo en cuenta que los límites van desde 4.37 hasta 6.72, lo que quiere decir que el valor de esta estación está más disperso con relación a la media.

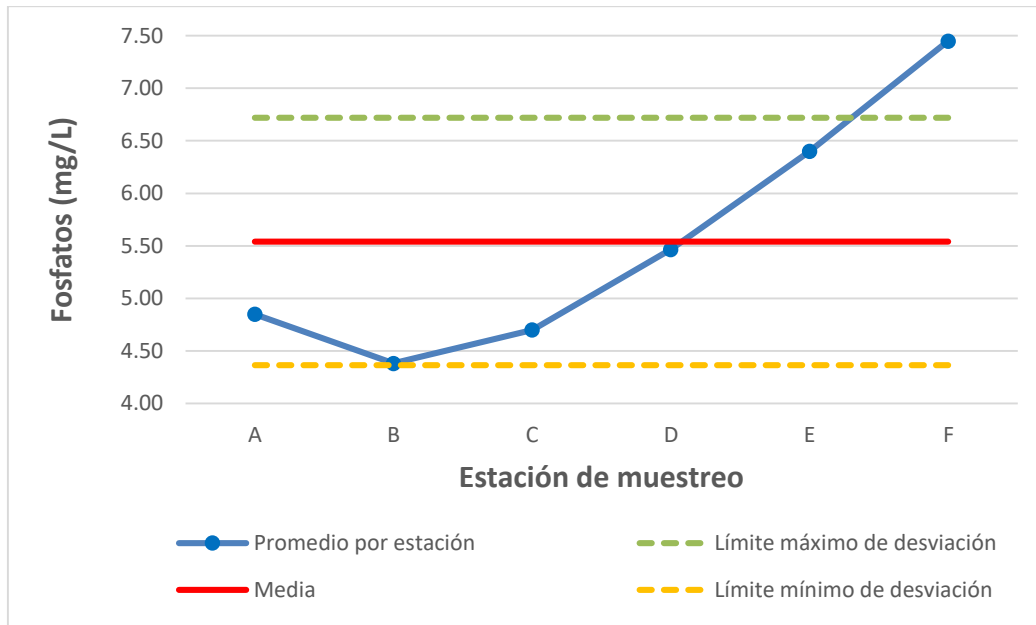


Figura 19. Fosfatos de la laguna San Nicolás

La Tabla 20 indica los valores de fosfatos con respecto a cada una de las tres profundidades de muestreo, donde vemos que el valor más elevado es de 6.10 mg/L a 3 m de profundidad.

Tabla 20

Valores de fosfatos (mg/L) de la laguna San Nicolás según la profundidad

Profundidad (m)	Estación de muestreo						Promedio
	A	B	C	D	E	F	
0	4.10	4.10	3.35	5.75	6.15	6.05	4.92
1.5	5.70	4.70	6.25	5.00	7.70	4.30	5.61
3	4.75	4.35	4.50	5.65	5.35	12.00	6.10

Nota. Los valores del promedio indican la concentración de fosfatos en cada una de las tres profundidades estudiadas

Derivada de la tabla anterior elaboramos la Figura 20, donde se muestra con más claridad la relación entre los valores de clorofila a y la profundidad de muestreo. Además, se observa que si existe una relación lineal directa entre ambos factores.

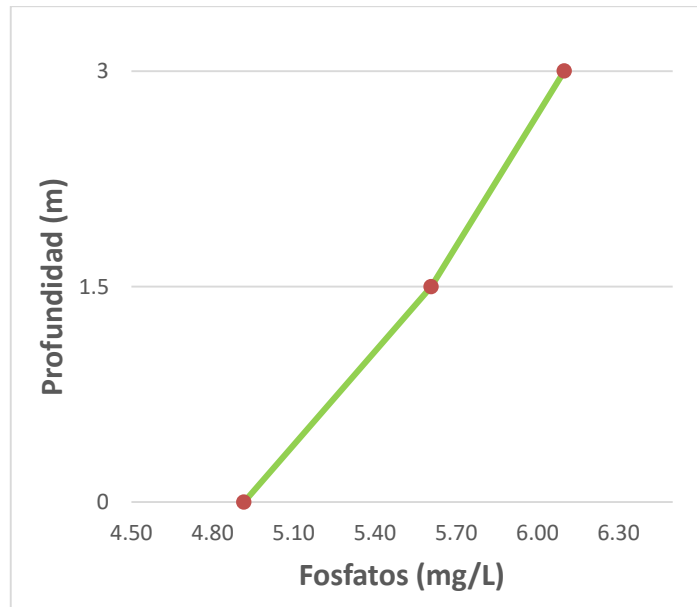


Figura 20. Fosfatos según la profundidad de la laguna San Nicolás

3.4.4. Transparencia.

En la Tabla 21, se logra apreciar que el valor del promedio más elevado de transparencia es de 1.1 m y corresponde a la estación E, mientras que el menor es de 0.85 m que corresponde a las estaciones A y B.

Tabla 21

Valores y datos estadísticos de transparencia (m) de la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Distancia		Promedio	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Típico
	1	2					
A	1.15	0.55	0.85				
B	1.30	0.40	0.85				
C	1.00	0.80	0.90	0.95	0.01	0.11	0.04
D	1.23	0.90	1.07				
E	1.20	1.00	1.10				
F	1.00	0.90	0.95				

Nota. El valor de la media representa de forma general la transparencia de la laguna San Nicolás, derivada de los valores de cada estación de muestreo.

La Figura 21 muestra que el promedio de las estaciones D y E está por encima del límite máximo de desviación, teniendo en cuenta que los límites van desde 0.84 hasta 1.06, lo que quiere decir que estos dos valores están más dispersos con relación a la media.

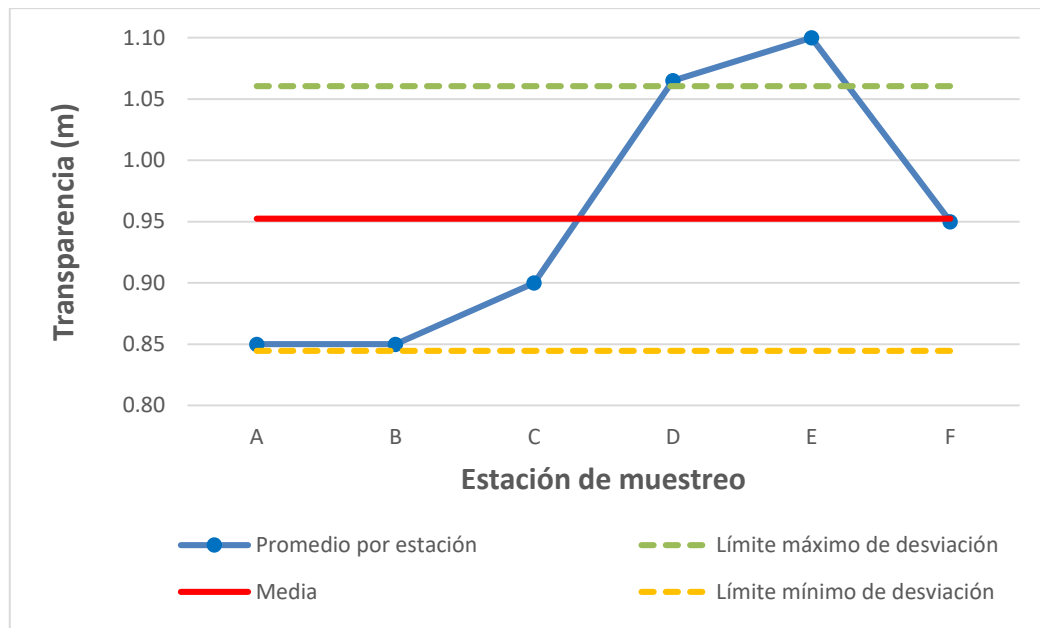


Figura 21. Transparencia de la laguna San Nicolás

3.5. Parámetros y Estándares de Calidad Ambiental

La Tabla 22 nos muestra los valores de cada uno de los parámetros medidos y sus ECAs nacionales correspondientes a la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas.

Tabla 22

Valores y Estándares de Calidad Ambiental Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas de los parámetros medidos en la laguna San Nicolás

Estación de muestreo	Clorofila a (mg/m ³)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Transparencia (m)	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica (µs/cm)
A	29.76	0.93	4.85	0.85	8.67	19.80	5.88	301.00
B	26.05	0.90	4.38	0.85	8.68	20.13	6.06	298.33
C	26.12	1.37	4.70	0.90	8.72	19.97	6.01	295.67
D	26.68	1.13	5.47	1.07	8.66	21.00	5.86	292.00
E	33.73	1.43	6.40	1.10	8.65	20.50	6.12	298.00
F	208.65	1.88	7.45	0.95	8.61	20.30	5.93	295.00
Promedio	58.67	1.28	5.54	0.95	8.67	20.28	5.98	296.67
ECA	8.00	13.00	-	-	6.50-9.00	Δ 3.00	≥ 5.00	1 000.00

Nota. Los ECAs utilizados proceden del Decreto Supremo N°004-2017 del Ministerio del Ambiente (2017).

* Valor de ECA de clorofila a sobrepasado.

3.5.1. Potencia de hidrógeno (pH)

La figura 22 indica que el valor de la media del pH de la laguna San Nicolás (8.67) se encuentra entre los límites del Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, siendo estos de 6.50 a 9.00.

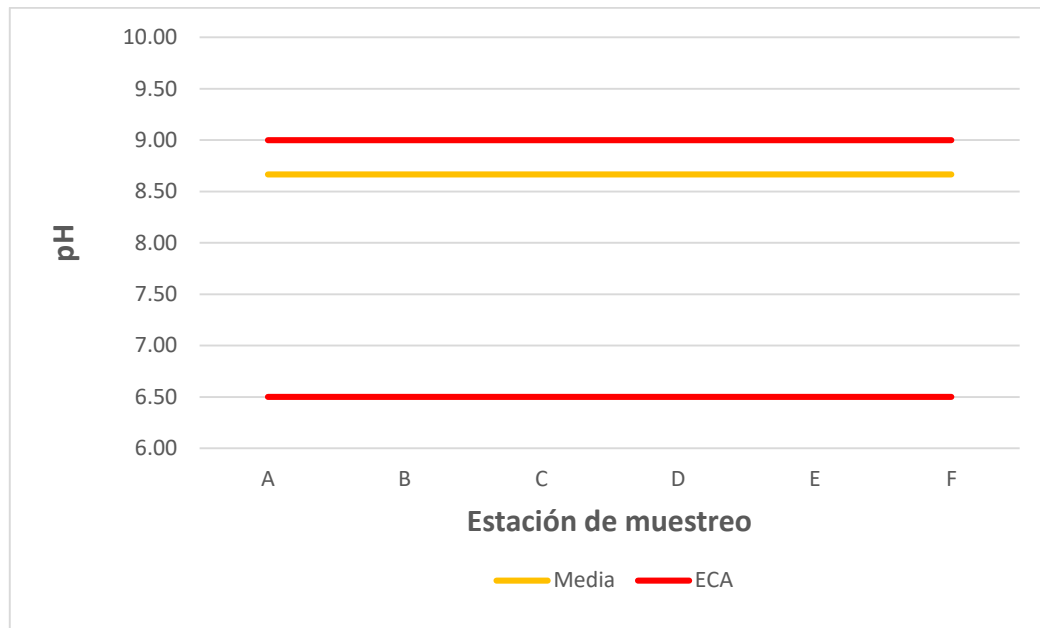


Figura 22. ECA para pH

3.5.2. Oxígeno Disuelto.

La Figura 23 muestra que el valor de la media del oxígeno disuelto (5.98 mg/L) está por encima del valor mínimo del Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, siendo este ≥ 5 mg/L.

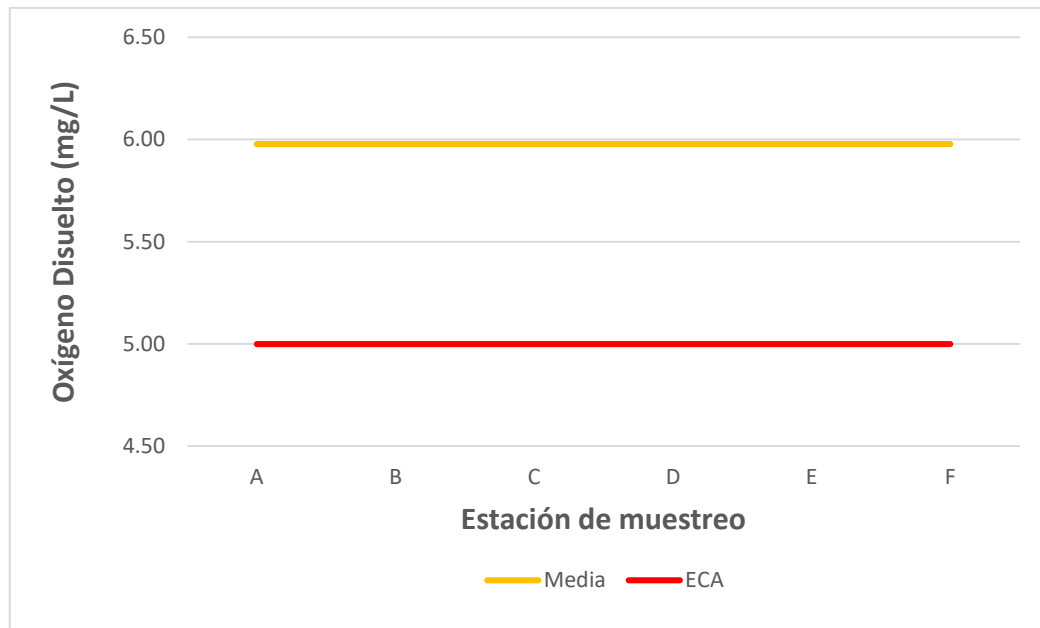


Figura 23. ECA para oxígeno disuelto

3.5.3. Conductividad eléctrica.

La Figura 24 muestra que el valor de la media de la conductividad eléctrica (296.67 $\mu\text{s}/\text{cm}$) está por debajo del valor máximo aceptable del Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, siendo este 1 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

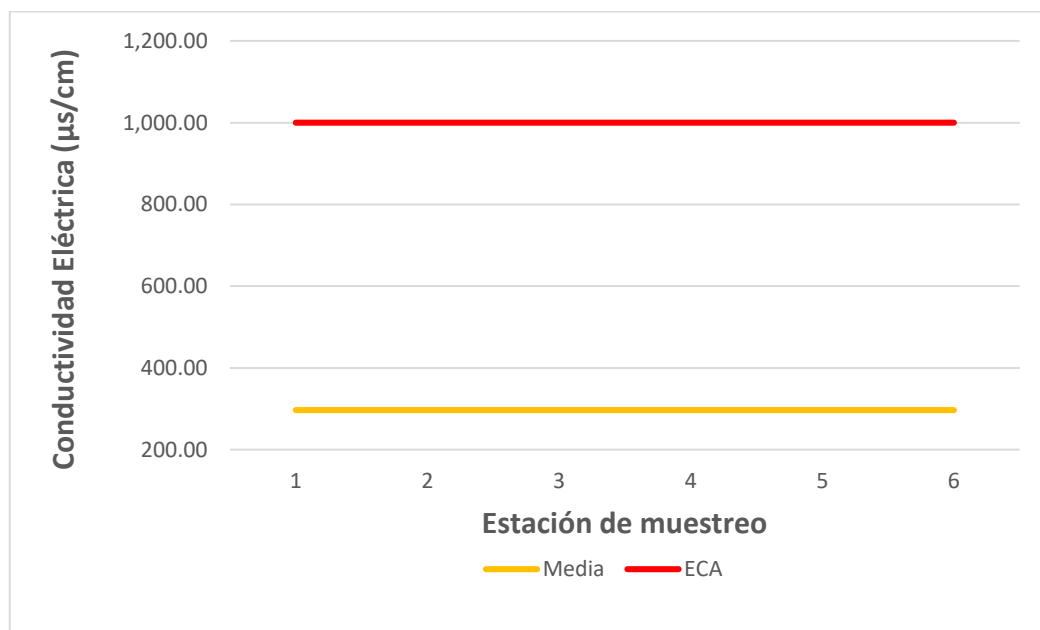


Figura 24. ECA para conductividad eléctrica

3.5.4. Clorofila a.

La Figura 25 muestra que el valor de la media de la clorofila a de la laguna San Nicolás (58.67 mg/m^3) está por encima del valor máximo permitido del Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, siendo este 8.00 mg/m^3 .

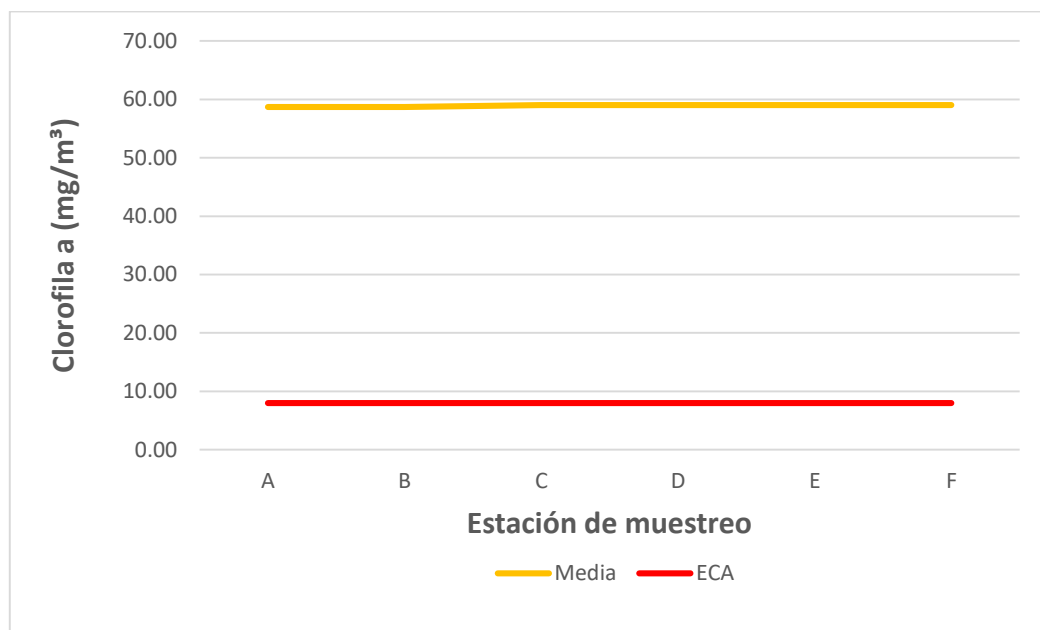


Figura 25. ECA para clorofila a

3.5.5. Nitratos.

La Figura 26 muestra que el valor de la media de los nitratos de la laguna San Nicolás (1.28 mg/L) está muy por debajo del valor máximo aceptable del Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, El: lagos y lagunas, siendo este 13.00 mg/L.

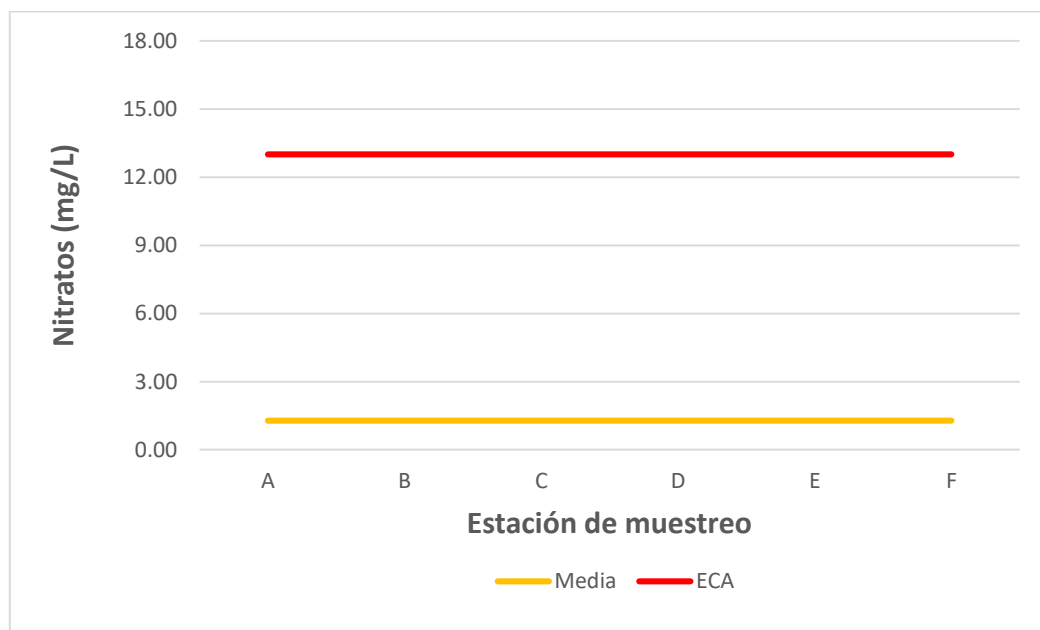


Figura 26. ECA para nitratos

3.6. Correlaciones

La Tabla 23 muestra los coeficientes de Pearson entre los parámetros medidos en la laguna San Nicolás con respecto a la clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia.

Tabla 23

Coefficientes de correlación de Pearson entre los parámetros medidos en la laguna San Nicolás

Parámetros	Clorofila a	Nitratos	Fosfatos	Transparencia
Clorofila a	1.0000	0.8151	0.8138	0.0089
Nitratos	0.8151	1.0000	0.8725	0.3713
Fosfatos	0.8138	0.8725	1.0000	0.5483
Transparencia	0.0089	0.3713	0.5483	1.0000

Nota. Al ser positivas todas las correlaciones indican que son directas.

3.6.1. Clorofila a – Nitratos.

La Figura 27 muestra que el coeficiente de determinación es $r^2 = 0.6644$, por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson es $r = 0.8151$, este valor representa una relación directamente proporcional en un rango de positiva fuerte a través de una regla lineal firme.

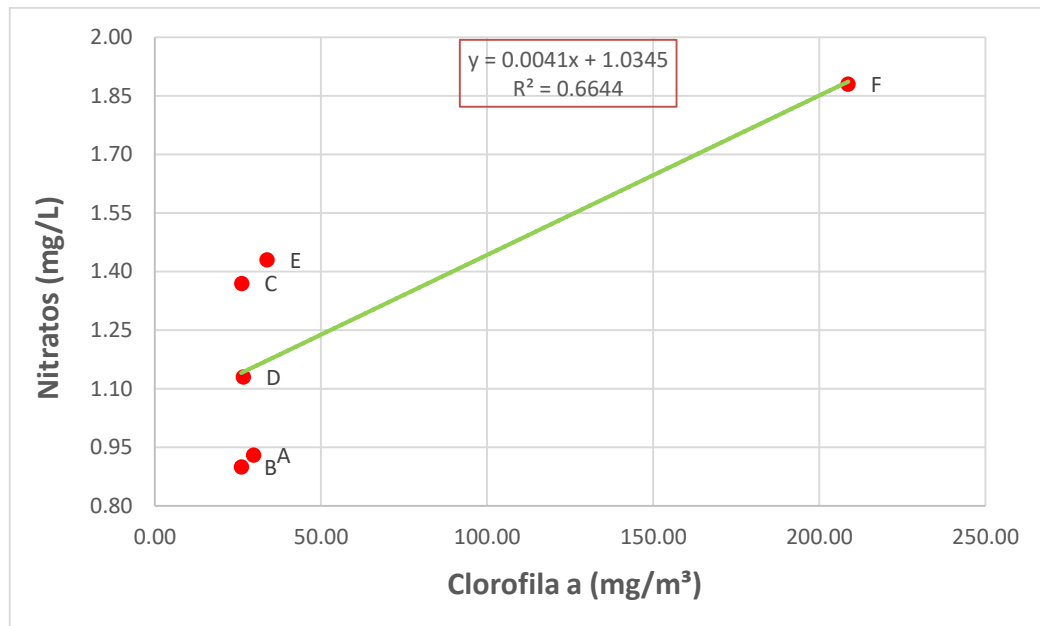


Figura 27. Correlación Clorofila a – Nitratos

3.6.2. Clorofila a- fosfatos.

La Figura 28 muestra que el coeficiente de determinación es $r^2 = 0.6622$, por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson es $r = 0.8138$, este valor representa una relación directamente proporcional en un rango de positiva fuerte a través de una regla lineal firme.

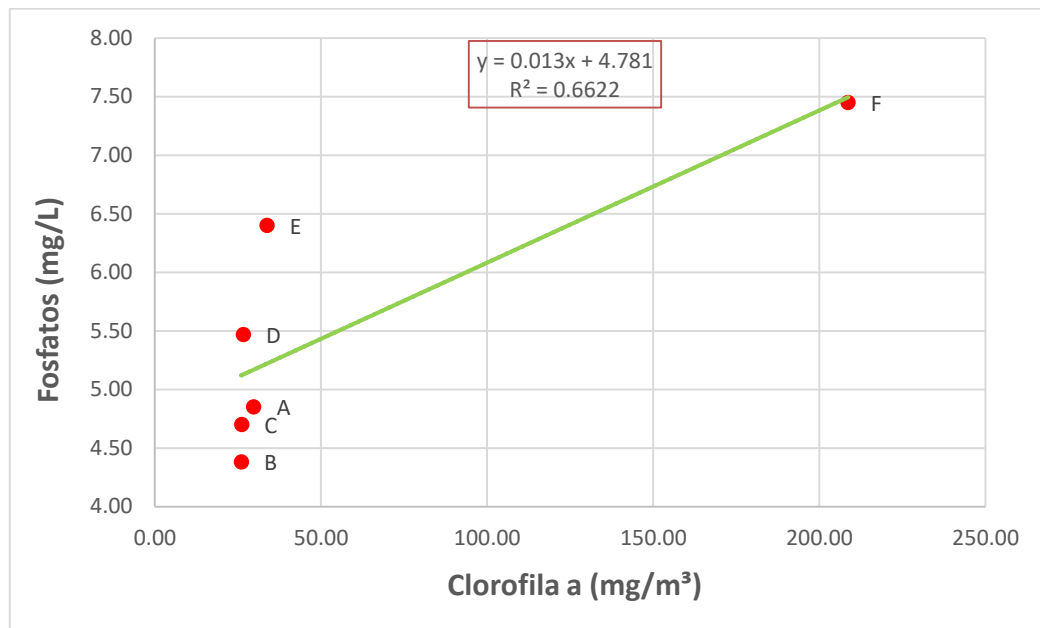


Figura 28. Correlación Clorofila a – Fosfatos

3.6.3. Clorofila a – Transparencia.

La Figura 29 muestra que el coeficiente de determinación es $r^2 = 0.00008$, por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson es $r = 0.0089$, este valor representa una relación directamente proporcional en un rango de positiva débil a través de una regla lineal inestable.

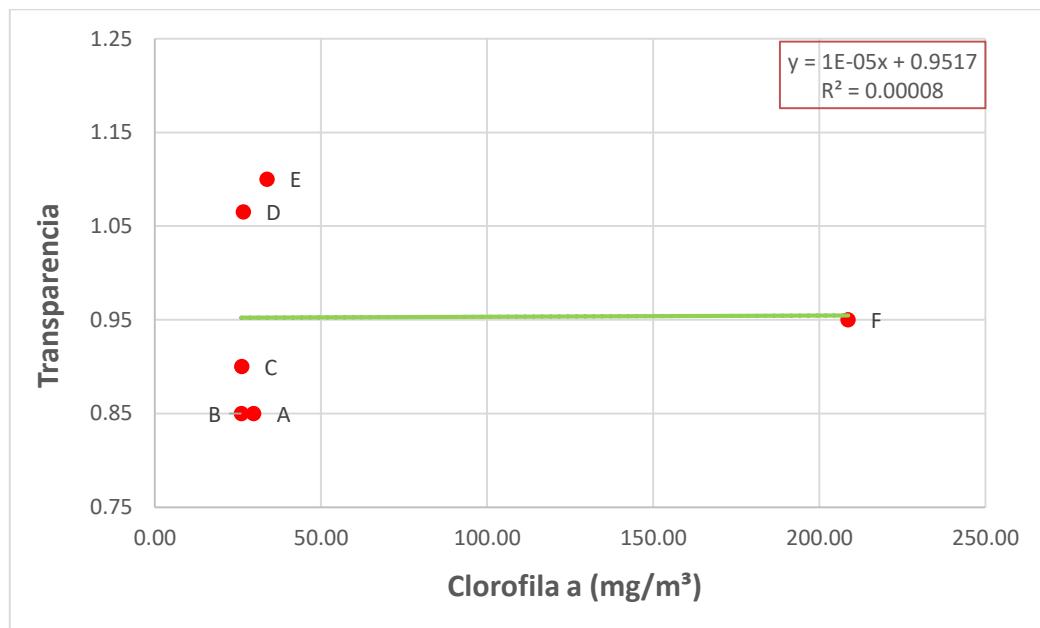


Figura 29. Correlación Clorofila a – Transparencia

3.6.4. Nitratos – Fosfatos.

La Figura 30 muestra que el coeficiente de determinación es $r^2 = 0.7613$, por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson es $r = 0.8725$, este valor representa una relación directamente proporcional en un rango de positiva fuerte a través de una regla lineal firme.

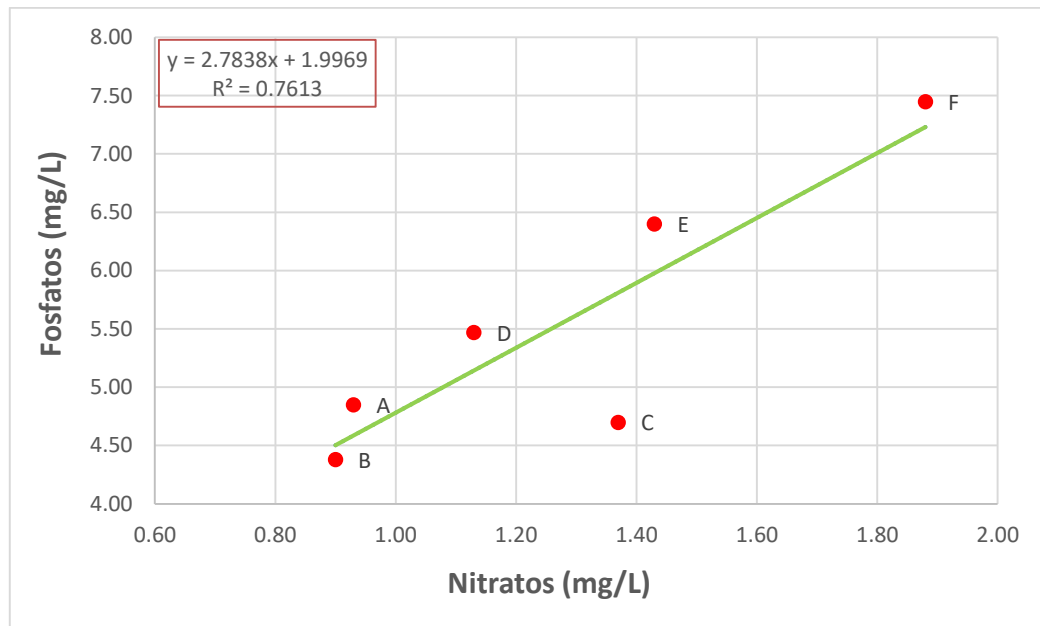


Figura 30. Correlación Nitratos – Fosfatos

3.6.5. Nitratos – Transparencia.

La Figura 31 muestra que el coeficiente de determinación es $r^2 = 0.1379$, por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson es $r = 0.3713$, este valor representa una relación directamente proporcional en un rango de positiva moderada a través de una regla lineal firme difusa.

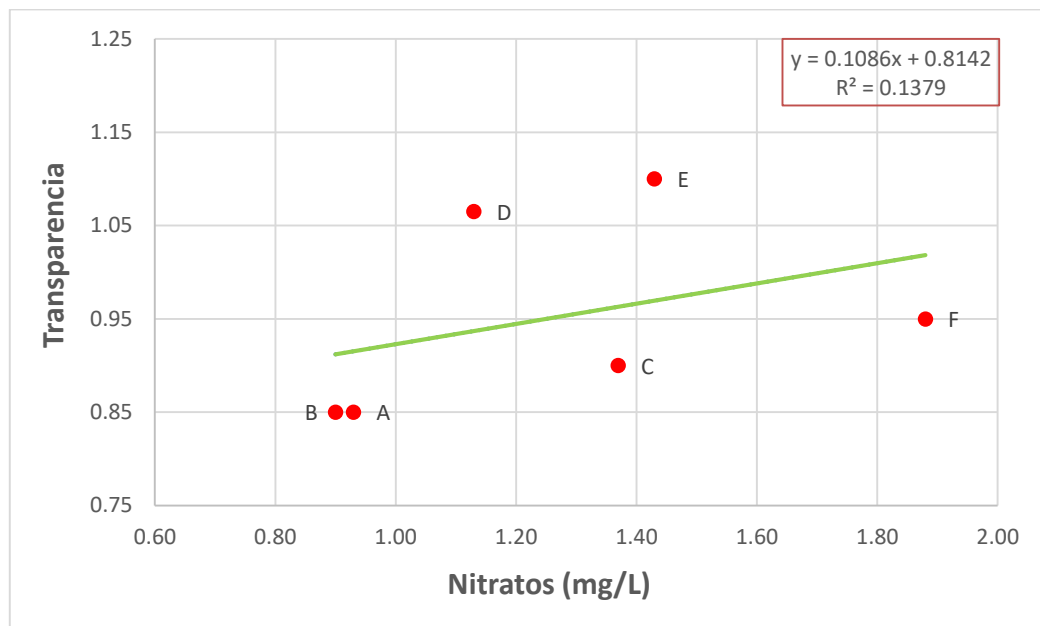


Figura 31. Correlación Nitratos – Transparencia

3.6.6. Fosfatos – Transparencia.

La Figura 32 muestra que el coeficiente de determinación es $r^2 = 0.3006$, por lo tanto, el coeficiente de correlación de Pearson es $r = 0.5483$, este valor representa una relación directamente proporcional en un rango de positiva moderada a través de una regla lineal firme difusa.

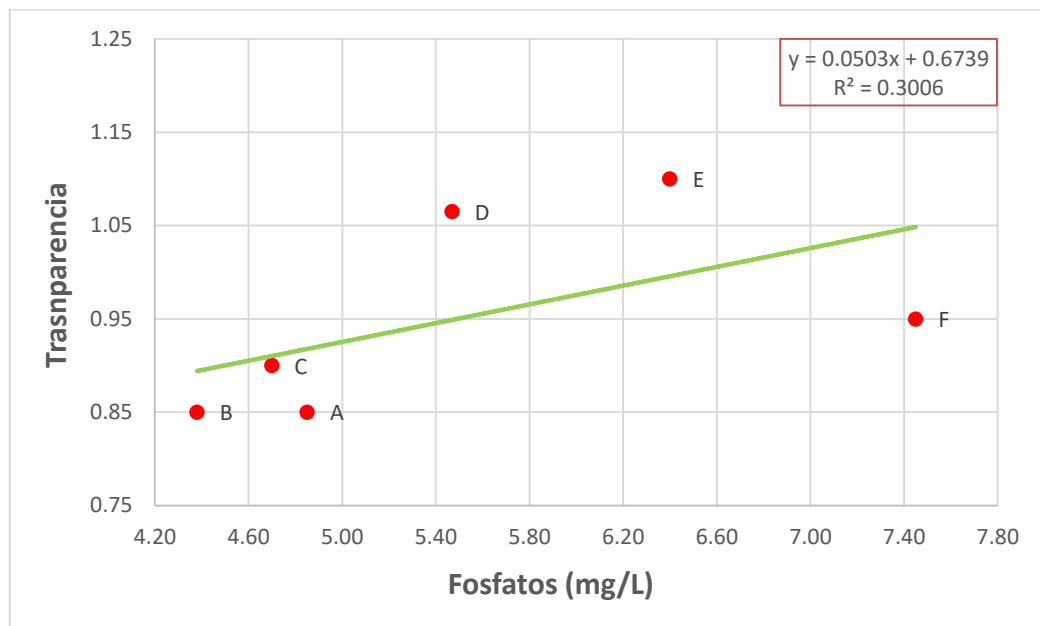


Figura 32. Correlación Fosfatos – Transparencia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson, modificado por Aizaki et al.

El TSI de claridad del agua y el de clorofila a indicaron que la laguna San Nicolás presenta un nivel eutrófico, lo que representa un alto contenido de nutrientes que facilitan la proliferación de algas, estas al morir se descomponen y consumen el oxígeno del agua (Moreta, 2008).

4.1.2. Índices de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al.

Este índice fue evaluado según la cuantificación de nitratos y fosfatos, siendo nutrientes importantes en la laguna San Nicolás, considerando las actividades que se desarrollan en ella, como lo son la agricultura, ganadería, lavado manual de ropa, etc.

El IE según los nitratos indicó un estado oligotrófico, mientras que el IE según los fosfatos uno mesotrófico. Además, en ambos casos notamos que los valores mínimos corresponden a la estación B y los máximos a la estación F, estos resultados se refieren a la ubicación de las estaciones con respecto a la proximidad de la inserción de nutrientes, como lo describimos anteriormente, las orillas están más cercanas a las actividades que dejan estos compuestos como residuos, por lo tanto, su acumulación en estas zonas es mayor.

4.1.3. Parámetros “in situ” (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica).

Potencial de hidrógeno (pH).

De cada estación se sacó un promedio y luego la media de estos, obteniendo así el valor de 8.67, el cual representa el pH de la laguna San Nicolás, este valor indica un pH alcalino y se determina principalmente por la actividad vital de los organismos acuáticos y al equilibrio carbónico. Las aguas superficiales con cantidades considerables de fitoplancton que se alimentan de CO₂ logran aumentar el pH del agua durante la estratificación térmica (Marín, 2010). Además, el CO₂ tiene una relación directa con el pH, esta se evidencia en los procesos de fotosíntesis, donde al reducirse el CO₂ en el agua los niveles de pH suben; y el de respiración, que aumenta el CO₂ y por consiguiente disminuyen los niveles de pH.

Por otro lado, su variabilidad también se relaciona con el proceso de nitrificación, por el cual los niveles de pH tienden a disminuir. En la laguna San Nicolás lo relacionamos a este proceso porque a pesar de que los datos poseen una varianza de 0.001 notamos que hay una ligera disminución de valores en las estaciones D, E y F, donde se evidencia mayor cantidad de nitratos.

Temperatura.

El valor que representa la temperatura de la laguna San Nicolás es 20.28°C. Este parámetro es uno de los más importantes, pues, está ligado a la capacidad de aceleración y reducción de las reacciones químicas incluyendo también los ciclos de la degradación de la materia presente en el agua (Maldonado, 2018). Por otro lado, podemos decir que

los valores tienen una relación directa con la irradiación que recibe la laguna a causa de ser aguas superficiales, este parámetro es importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos (Marín, 2010) por lo que notamos que los valores aumentan a mayor profundidad del agua. A medida que la temperatura se eleva, aumenta la cantidad de microorganismos y disminuyen los gases disueltos (Mateu, 2016). A pesar de esto, en la laguna San Nicolás los niveles de clorofila a no se ven relacionados a la temperatura, sino que dependen de la disponibilidad de nutrientes.

Oxígeno disuelto.

El valor que representa el oxígeno disuelto de la laguna San Nicolás es 5.98 mg/L. Notamos que los valores de cada estación disminuyen con relación a la profundidad de muestreo, según Moreta (2008) se debe a que el oxígeno disuelto se obtiene de la fotosíntesis que hacen los vegetales con clorofila, puesto que este proceso es mayor en la superficie, la concentración de este parámetro será mayor en este nivel, mientras que será menor en los niveles próximos al fondo por los procesos de oxidación de la materia orgánica.

Conductividad eléctrica.

El valor que representa la conductividad eléctrica de la laguna San Nicolás es de 296.67 $\mu\text{s}/\text{cm}$, este y todos los valores de conductividad se deben a los electrolitos disueltos en el agua, donde tienen influencia el terreno drenado, la composición mineralógica, el tiempo de contacto, los gases disueltos, el pH y todo lo que logra afectar a la solubilidad de sales (Marín, 2010). Notamos que los valores de cada estación disminuyen con el aumento de la profundidad de muestreo, lo que indica la disminución

de la cantidad de sólidos totales disueltos, puesto que mantienen una relación directa por la capacidad que le atribuye al agua para transmitir corriente eléctrica en función de la concentración de iones (Maldonado, 2018).

4.1.4. Concentración de parámetros.

Clorofila a.

La clorofila a de la laguna San Nicolás es representada por 58.67 mg/m^3 , este y los otros valores son un indicador de producción primaria que se refiere a la actividad biológica de la laguna, la concentración existente depende principalmente de la disponibilidad de luz y nutrientes.

Las concentraciones de clorofila a con respecto a las profundidades ($0 \text{ m} = 67.806 \text{ mg/m}^3$, $1.5 \text{ m} = 30.651 \text{ mg/m}^3$ y $3 \text{ m} = 77.028 \text{ mg/m}^3$) indican claramente que a profundidad de 1.5 m hay menor cantidad de clorofila a, por lo tanto, menor cantidad de fitoplancton, como se sabe estas especies están estrechamente relacionadas con la concentración de nitrógeno y fósforo, siendo estos una de sus principales fuentes de alimentación y componentes de su células, pero en el caso de la laguna San Nicolás nos damos cuenta de que referida a esta profundidad la clorofila a está netamente relacionada a los valores de nitratos que también se muestran menores a 1.5 m y mayores a 3 m. Generalmente se asume la constancia de las proporciones de carbono, nitrógeno y fósforo como parte de la célula y por lo tanto también son constantes sus relaciones estequiométricas, pero en verdad estas proporciones varían según la especie, tamaño de célula, estado fisiológico, presencia de nutrientes, condiciones de luz y temperatura, etc. (Moneris y Doménech, 2010). Lo que quiere decir que el fitoplancton de San Nicolás

con relación a los fosfatos y nitratos, absorbe mayor cantidad de nitrógeno en forma de nitratos, siendo el nitrógeno un elemento importante de su célula con 7.2%, mientras que el fósforo sólo se presenta en 1%.

Nitratos.

El valor de nitratos que representa a la laguna San Nicolás es de 1.28 mg/L. Según Marín (2010) la concentración de nitratos se debe a la disolución de rocas y minerales, descomposición de materias vegetales y animales, y contaminación por efluentes tanto agrícolas como industriales. En aguas superficiales que no están contaminadas, los valores generalmente no son mayores a 10 mg/L. La contaminación del agua por nitratos se debe a los fertilizantes minerales y a la introducción de fertilizantes orgánicos, por ejemplo, el estiércol que se relaciona a la escorrentía directa a los cuerpos de agua (Maldonado, 2018). En el caso de la laguna San Nicolás, el valor más elevado pertenece a la estación F que está cerca a la orilla, donde la introducción de este compuesto es más rápida y fácil, pues, puede ser por la filtración del suelo de compuestos nitrogenados o por el desecho directo de detergentes y fertilizantes, lo que hace que se conviertan en una fuente de contaminación difusa.

Las concentraciones de nitratos con respecto a las profundidades (0 m = 1.35 mg/L, 1.5 m = 1.09 mg/L y 3 m = 1.38 mg/L) indican que la profundidad de 1.5 m presenta el menor valor de nitratos y la de 3 m el mayor, lo cual está relacionado a los valores de profundidad de la clorofila a como lo mencionamos anteriormente. Además, puede que estos valores estén ligados a la producción de cierto tipo de especies que hagan que los niveles de nitratos se comporten de esta manera según la profundidad.

Fosfatos.

El valor de fosfatos que representa a la laguna San Nicolás es de 5.54mg/L, este y todos los valores son importantes en los procesos de transferencia de energía tanto como lo son el metabolismo y la fotosíntesis y debido a su alta solubilidad puede que los fosfatos se transfieran fácilmente al acuífero a través del riego y el agua de las precipitaciones. También ingresan a los ecosistemas por la meteorización de rocas.

Las concentraciones de fosfatos con respecto a las profundidades (0 m = 4.92 mg/L, 1.5 m = 5.61 mg/L y 3 m = 6.10 mg/L) van aumentando a mayor profundidad de muestreo, esto se explica partiendo del ciclo del fósforo, pues, al descomponerse el fitoplancton muerto se introduce fósforo en el sistema acuático (Moneris y Doménech, 2010), este fósforo es en forma de fosfatos. Además, la descomposición de la materia orgánica del fitoplancton tiende a ser en profundidades más bajas, ya que al morir tiende a descender.

Transparencia.

El valor de transparencia que representa a la laguna San Nicolás es de 0.95 m y por lo tanto también representa la cantidad de luz que traspasa al cuerpo de agua, lo cual nos ayuda y facilita la determinación de algunas características de un lago. En un lago eutrófico la luz penetra en el con mucha dificultad y debido a esto disminuye la producción de flora béntica (productora de oxígeno) quedando así en la oscuridad. Por lo contrario, los lagos oligotróficos presentan mayor transparencia, favoreciendo al crecimiento de flora béntica y al desarrollo de la fauna acuática (Moreta, 2008).

4.1.5. Parámetros y Estándares de Calidad Ambiental.

Realizamos esta comparación para determinar el estado en que se encuentra cada uno de los parámetros según la normativa y su relación con el estado trófico de la laguna, pues, que los valores sobrepasen los ECAs indicaría que existe un problema que está relacionado a la eutrofización.

Parámetros “in situ” (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica).

A excepción de la temperatura, todos estos parámetros cumplen con el Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, lo que indica que con respecto a ellos no existe ningún problema que llegue a afectar a la laguna San Nicolás.

Por otro lado, el ECA para temperatura indica que son aceptables valores con variación de 3°C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada, lastimosamente no existe un registro que posea datos de este parámetro en la laguna San Nicolás y por ende no se pudo evaluar.

Clorofila a.

Existe una gran distancia entre el valor de clorofila a y el Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, esto indica que hay un exceso de plantas acuáticas. Por otro lado, si analizamos el valor del ECA con el Índice de Estado Trófico (TSI) propuesto por Carlson, modificado por Aizaki et al., resulta un TSI = 47.29, que representa un estado mesotrófico según la Tabla 2.

Entonces, el ECA nacional considera que a partir de un estado mesotrófico se puede afectar considerablemente el ambiente acuático en lagos y lagunas.

Nitratos.

El valor de nitratos no sobrepasa el Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, lo que indica que los nitratos no afectan significativamente el ecosistema de la laguna. Por otro lado, no se pudo evaluar el valor del ECA con el Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al., pues, es en base al número de estaciones de muestreo.

Fosfatos.

No existe un Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, que se refiera al valor de fosfatos aceptable para no afectar considerablemente el ambiente acuático en lagos y lagunas.

Transparencia.

No existe un Estándar de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas, que se refiera al valor de transparencia aceptable para no afectar considerablemente el ambiente acuático en lagos y lagunas.

4.1.6. Correlaciones.

Todas las correlaciones presentan valores positivos, lo que las hace tener una relación directa.

Clorofila a – Nitratos.

Presenta una correlación positiva fuerte, lo que quiere decir que, si los niveles de clorofila a suben o bajan, los valores de nitratos harán lo mismo en relación a ella, pues los nitratos actúan como fertilizantes de las plantas acuáticas, por lo que si existe una concentración excesiva se pueden provocar eutrofización, donde se evidencia proliferación de plantas acuáticas que empiezan a cubrir la superficie del cuerpo de agua. (González Huiman, 2011, citado en Pérez y Aguilar, 2012).

Clorofila a – Fosfatos.

Al igual que la correlación anterior, esta también es positiva fuerte, lo que indica que, si los niveles de clorofila a suben o bajan, encontraremos valores de fosfatos que también harán lo mismo en relación a ella, debido a que tanto los nitratos como los fosfatos son necesarios para las plantas y sirven como su alimento. Las concentraciones elevadas producen crecimiento excesivo de algas, que generan eutrofización de aguas (Mateu, 2016).

Clorofila a – Transparencia.

Presentan una correlación positiva débil, pues, al aumentar los niveles de clorofila a, la transparencia no hace lo mismo con respecto a ella, sino que tiende a descender. La transparencia es afectada por las floraciones algares del agua (Marín, 2010) generando

cambios considerables, pues, el mayor efecto de los sólidos suspendidos en la transparencia tiene estrecha relación con la estacionalidad del fitoplancton (Ordoñez, 2010).

Nitratos – Fosfatos.

Poseen una correlación positiva fuerte, puesto que los dos compuestos se pueden introducir de la misma manera y en conjunto, por ejemplo, por los fertilizantes, detergentes y pesticidas que son utilizados a orillas de la laguna.

Nitratos – Transparencia y Fosfatos – Transparencia.

Las correlaciones tanto de fosfatos como nitratos con las transparencias son positivas moderadas y muestran una relación directa, lo que quiere decir que, al elevarse las concentraciones de nitratos y fosfatos, la transparencia tiende a mantenerse en cierto grado, debido a que a mayor concentración de nutrientes, mayor será la proliferación de fitoplancton en la laguna, este al aglomerarse en la superficie impide el paso de la luz y por lo tanto disminuyen los valores de transparencia del agua, entonces en el caso de la laguna San Nicolás podemos decir que esta relación se debe al bajo nivel de estado trófico con relación a los nitratos y fosfatos.

4.2. Conclusiones

Nuestra investigación comprobó que el estado mesotrófico planteado en nuestra hipótesis solo aplica para la laguna San Nicolás según la cuantificación de fosfatos.

El estado trófico de la laguna San Nicolás según la cuantificación de clorofila a y transparencia es eutrófico a través del Índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson (1977), modificado por Aizaki et al. (1981), mientras que según la cuantificación de nitratos y fosfatos es oligotrófico – mesotrófico respectivamente, a través del Índice de Eutrofización por Nutrientes (IE) de Karydis et al. (1983).

La laguna San Nicolás presenta un valor de potencial de hidrógeno de 8.67, de temperatura 20.28°C, de oxígeno disuelto 5.98 mg/L y de conductividad eléctrica 296.67 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Todos estos parámetros fueron medidos in situ.

Las concentraciones de los principales parámetros medidos en la laguna San Nicolás son: clorofila a = 58.67 mg/m^3 (según el método tricromático), este parámetro es un indicador importante de producción primaria, por lo que refleja un estado eutrófico en la laguna; nitratos = 1.28 mg/L, evidencia que en promedio no hay altas concentraciones de este nutriente, lo que refleja un estado oligotrófico; fosfatos = 5.54 mg/L, se presenta en mayor cantidad que los nitratos, por lo que refleja un estado mesotrófico; y transparencia = 0.95 m (según el método del disco Secchi) al ser un valor bajo refleja un estado eutrófico.

Los parámetros que cumple con los Estándares de Calidad Ambiental. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E1: lagos y lagunas en la laguna San Nicolás son el

pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y los nitratos; mientras que la clorofila a no cumple, indicando que está afectando significativamente el ambiente acuático de la laguna por la proliferación de algas que representa. Por otro lado, no existe un Estándar de Calidad Ambiental según la normativa nacional para fosfatos y transparencia. Además, no se pudo evaluar la temperatura, pues, son aceptables valores con variación de 3°C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada, pero no existe un registro de estos datos de la laguna San Nicolás.

Todas las correlaciones analizadas entre los principales parámetros son positivas y por ende directamente proporcionales. Las correlaciones Clorofila a – Nitratos, Clorofila a – Fosfatos y Nitratos – Fosfatos, presentan una relación lineal positiva fuerte, lo que indica que estos parámetros están estrechamente relacionados, al incrementarse uno, el otro hará lo mismo, pues, los nitratos y fosfatos al ser nutrientes sirven de alimento de plantas acuáticas de la laguna San Nicolás. Las correlaciones Nitratos – Transparencia y Fosfatos – Transparencia indican una relación lineal positiva moderada, esto se relaciona a las correlaciones anteriores, puesto que los nutrientes proliferan las algas y la transparencia varía en un rango moderado. Por último, la correlación Clorofila a – Transparencia presenta una relación lineal positiva débil, que indica que la transparencia del agua en la laguna está siendo afectada en un bajo rango por la clorofila a existente.

REFERENCIAS

- Aguirre, M., Venegas, E. y García, N. (2016). Evaluación del estado trófico del Lago de Izabal, Guatemala. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 28-31. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000100005
- Álvarez, C. (2016). *Determinación analítica de detergentes en las aguas de Los Pantanos de Villa* (Tesis de licenciatura). Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7570/ALVAREZ_GUTIERREZ_CARMEN_PANTANOS_DE_VILLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Bermúdez, M. (2010). *Contaminación y Turismo Sostenible*, CETD S.A. Recuperado de <https://docplayer.es/12809064-Contaminacion-y-turismo-sostenible-01-01-2010-cetd-sa-msc-mauricio-bermudez.html>
- Blancas, C. y Hervás, E. (2001). *Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud*. Sevilla, España: Consejería de salud. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/salud_5af065353ff4b_contaminacion_aguas_por_nitratos.pdf

- Bruning, M. (2018). *Estudio de aporte de carga de nutrientes por fuentes contaminantes y análisis de escenarios de descontaminación mediante un modelo de calidad de aguas en el lago Villarrica* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168255/Estudio-de-aporte-de-carga-de-nutrientes-por-fuentes-contaminantes-y-an%C3%A1lisis-de-escenarios-de.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camargo, J. y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16(2), 98-11. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>
- Campbell, N. y Reece, J. (2005). *Biology*. San Francisco: Pearson, Benjamin Cummings.
- Carabias, J., Meave, J., Valverde, T. y Cano-Santana, Z. (2009). *Ecología y medio ambiente en el siglo XXI*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Díaz, A. y Sotomayor, L. (2013). *Evaluación de la eutrofización de la laguna Conococha – Ancash” a agosto del 2012* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Diaz_y_Sotomayor_2013.pdf

Global Learning and Observation to Benefit the Environment. (2005). *Protocolo de transparencia del agua*. Recuperado de http://www.globeargentina.org/guia_del_maestro_web/hidrologia/protdetransparenciadeagua.pdf

Gobierno Regional de Cajamarca. (2012). *Estudio Hidrológico de la Región Cajamarca 2012*. Cajamarca, Perú: Gobierno Regional de Cajamarca- Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial. Recuperado de http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Cajamarca/Memoria_Descriptiva_Hidrologia.pdf

Gonzales, M. y Matamoros, H. (2018). Estudio de la calidad trófica del humedal Gualí – Tres Esquinas. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 1(110), 47-56. Recuperado de <http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci/article/view/28>

Hach company. (2019). *Water Analysis Handbook*. (10 ed.). Loveland, Colorado, Estados Unidos.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (agua, sedimentos y organismos)*. Recuperado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

Ledesma, C., Bonansea, M., Rodríguez, C. y Sánchez, A. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciencia Agronómica*, 44(3), 419-425. Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000300002

Maldonado, D. (2018). *Determinación del estado trófico de la laguna de San Miguel Almaya. Capulhuac, Estado de México* (Tesis de licenciatura). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/95338>

Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*, 12 (1), 1-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/540/54012108.pdf>

Marín, R. (2010). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19900/caracteristicas-fisicas-quimicas-y-biologicas-de-las-aguas>

Mateu, A. (2016). *Eutrofización en aguas superficiales* (Tesis de licenciatura). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78548/MATEU%20-%20Los%20problemas%20de%20eutrofizaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas%20superficiales%20en%20relaci%C3%B3n%20con%20la%20agricultura.pdf?sequence=1>

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Perú: Ministerio del Ambiente.

Monerri, M. y Doménech, P. (2010). *Modelación de la calidad del agua*. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Monge, S. (2015). *Desarrollo de métodos para la cuantificación de clorofila-a en muestras de agua, por espectroscopia ultravioleta visible* (Tesis de licenciatura). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8556/1/16103634.pdf>

Moreno, D., Quintero, J. y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78(1), 25-33. Recuperado de <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>

Moreta, J. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra 2008 (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/720/2/06%20NUT%20099%20TESIS.pdf>

Ongley, E.D. (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/LUCHA-CONTRA-LA-CONTAMINACION.pdf>

Ordoñez, J. (2010). *LIMNOLOGÍA DEL EMBALSE DE SAU. Relaciones de zooplancton, la clorofila y los sólidos en suspensión con el clima lumínico del agua* (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona, España.

Orquera, E. y Cabrera, M. (2019). Caracterización del estado trófico de la laguna de Yambo mediante análisis de fósforo. *InfoANALÍTICA*, 8(1), 99-111. doi: 10.26807/ia.v8i1.119

Pérez, R. y Aguilar, A. (2012). *Agricultura y contaminación del agua*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/Agricultura-y-contaminacion-del-agua.pdf>

Raffo, E. y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

Ratner, B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they?. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 17(1), 139-142. doi: 10.1057/jt.2009.5

Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y estadística básica para ingenieros*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25020/1/PROBABILIDAD%20Y%20ESTADISTICA%20BASICA%20PARA%20INGENIEROS.pdf>

Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2da ed. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

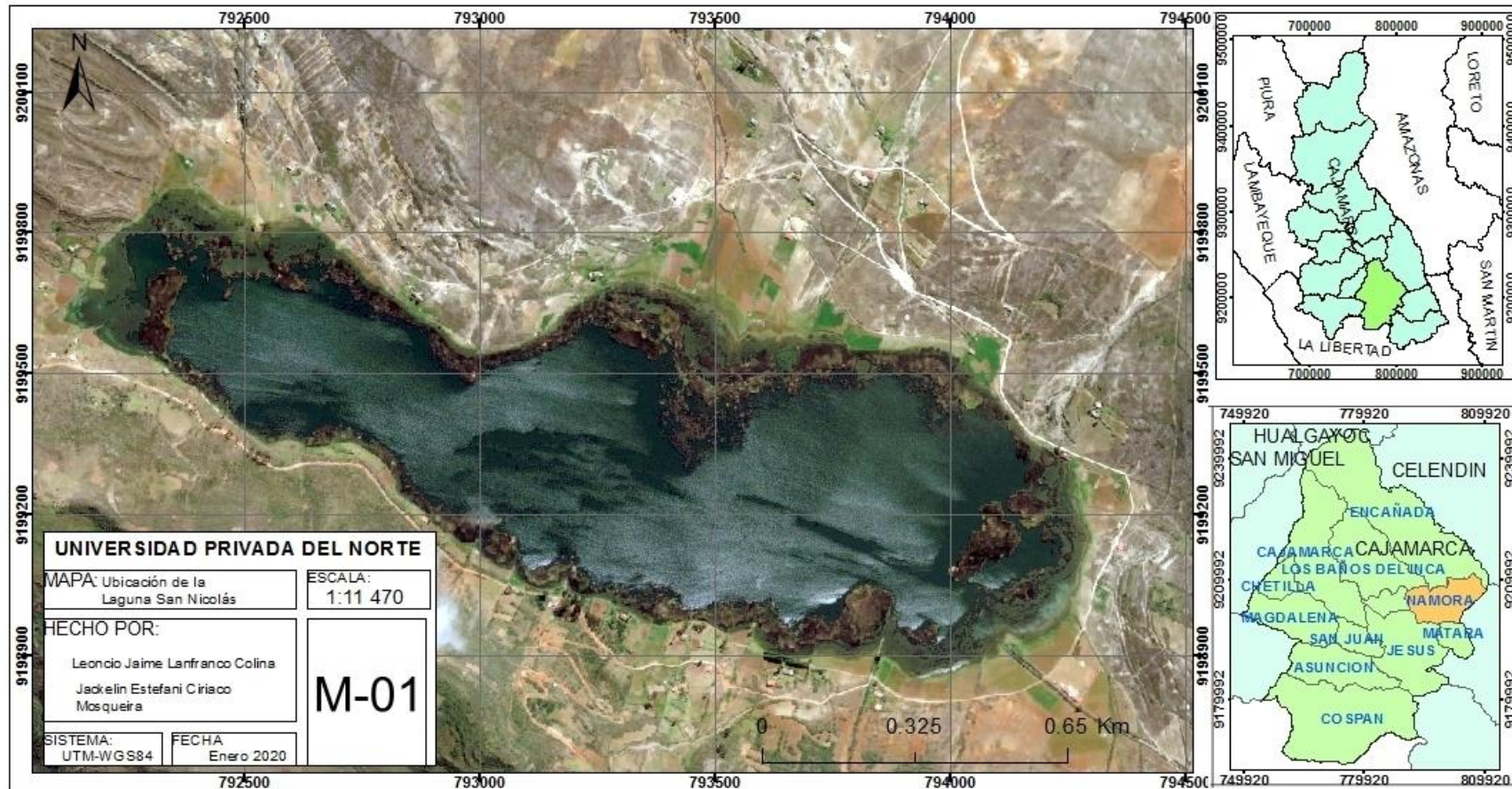
Roncal, M. y Barrantes, M. (2013). *Laguna San Nicolás Namora*. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Datos hidrometeorológicos en Cajamarca*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>

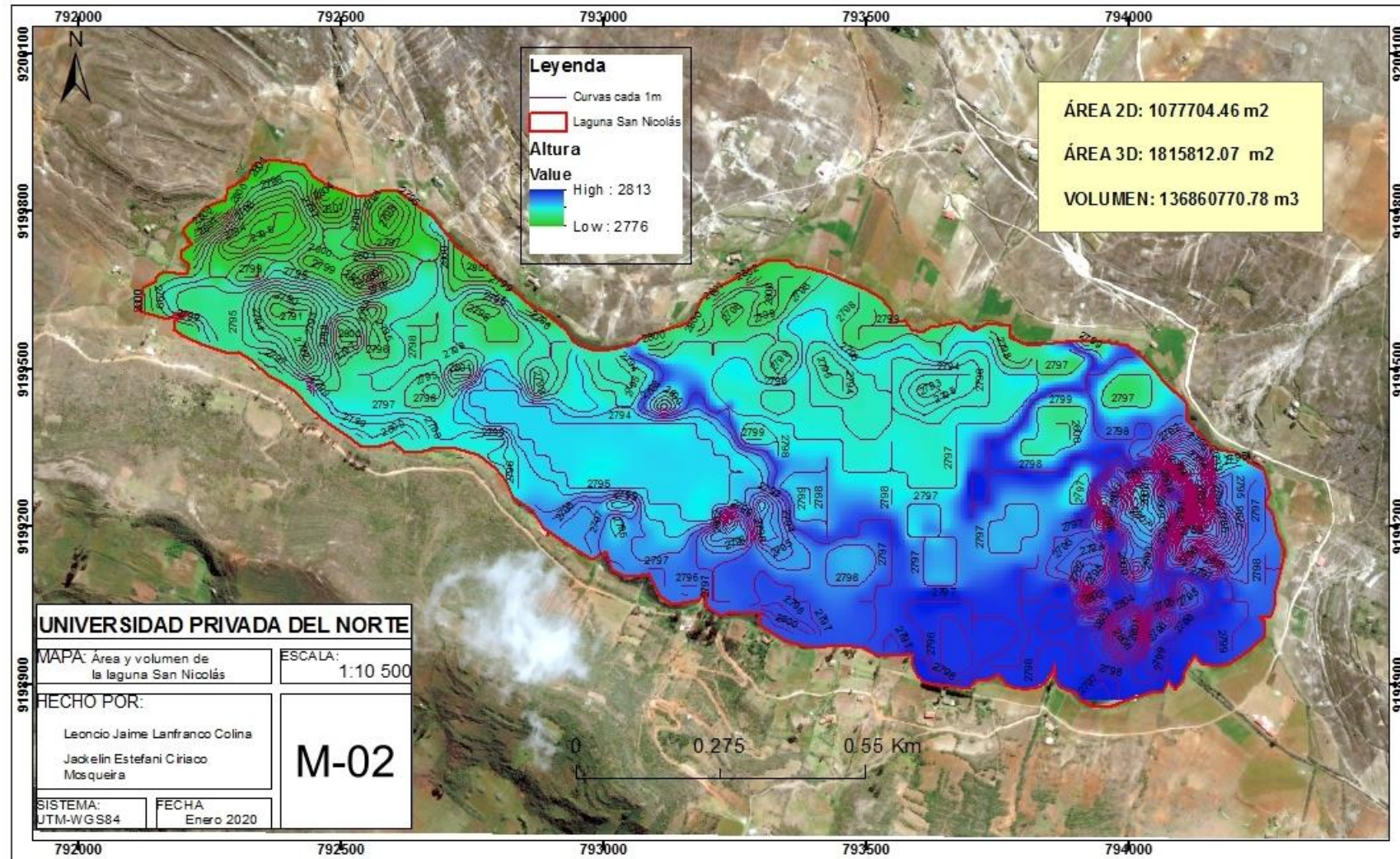
Universidad Politécnica de Valencia. (Productor). (2015). *Determinación espectrofotométrica de clorofila: Método tricromático* [Vídeo]. De <http://hdl.handle.net/10251/53651>

ANEXOS

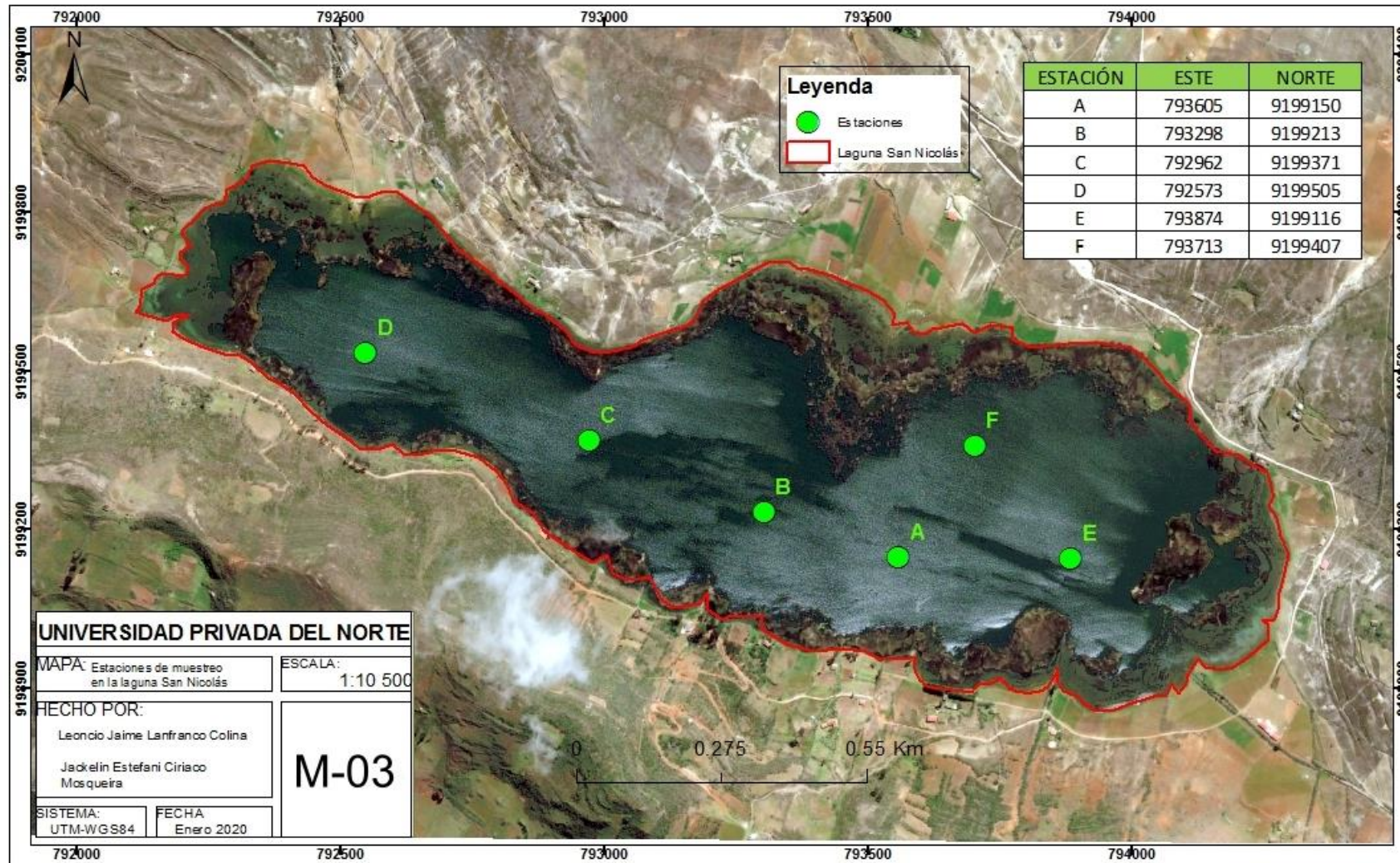
ANEXO N°1. Mapa de ubicación de la laguna San Nicolás



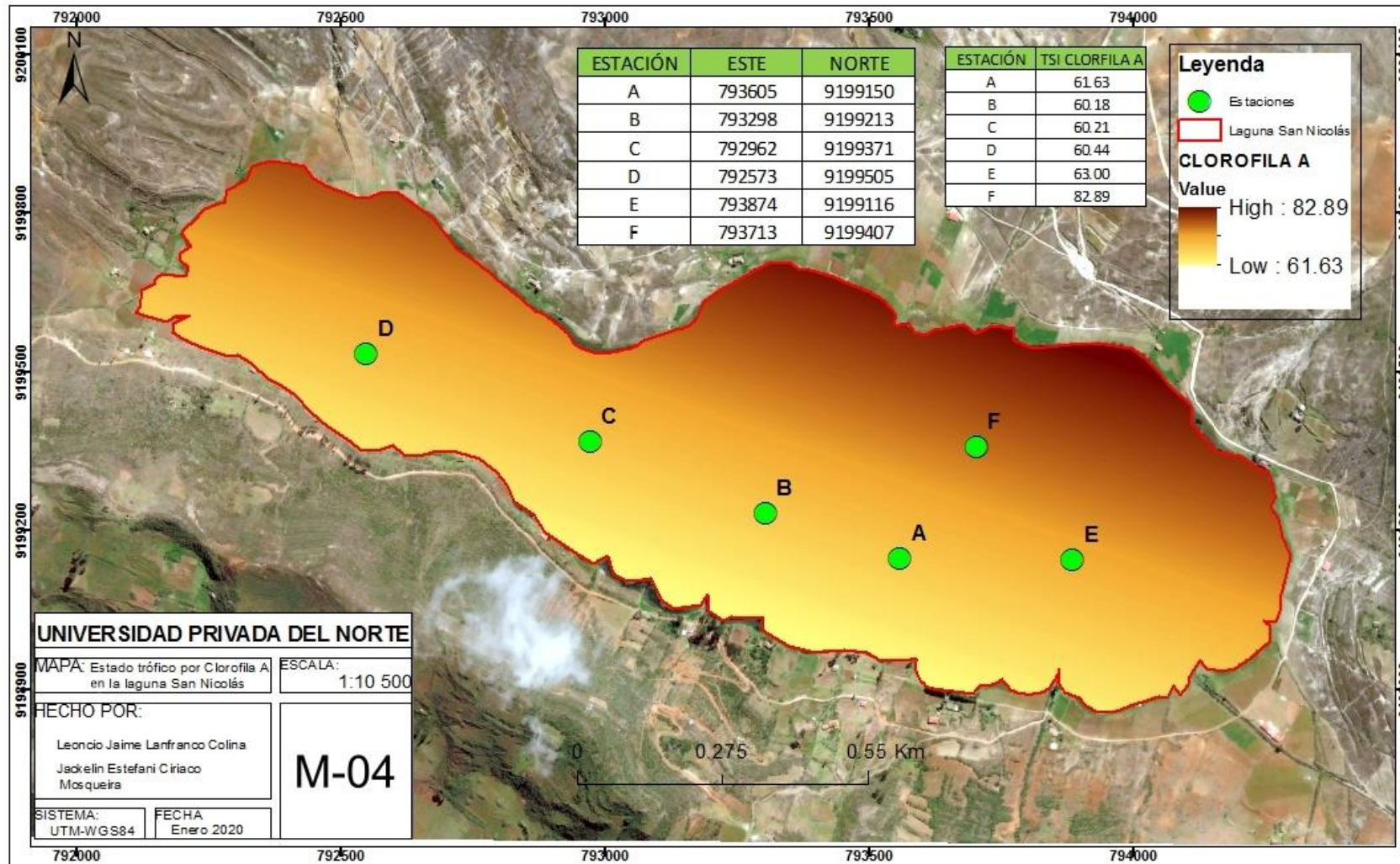
ANEXO N°2. Mapa del área y volumen de la laguna San Nicolás



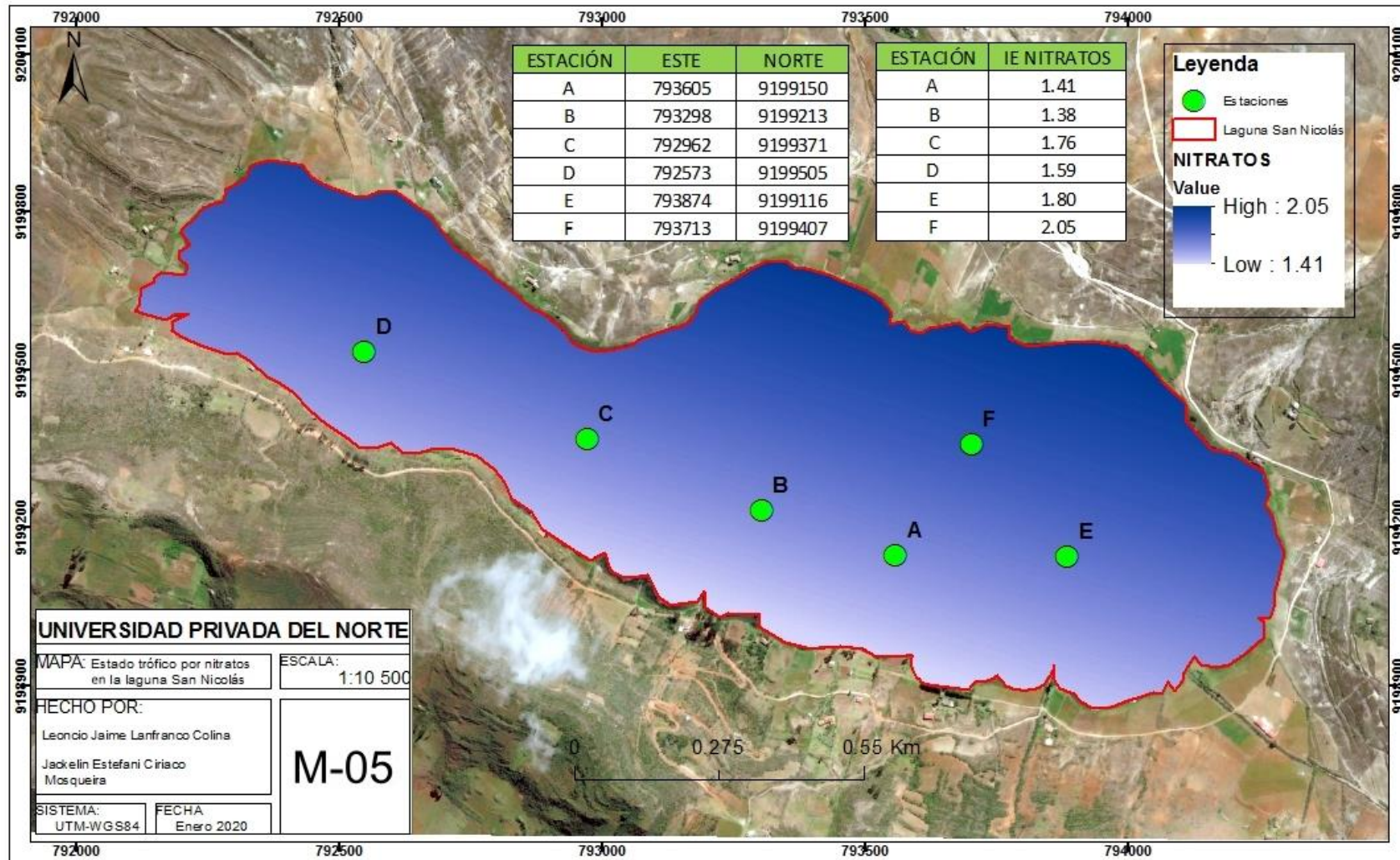
ANEXO N°3. Mapa de las estaciones de muestreo en la laguna San Nicolás



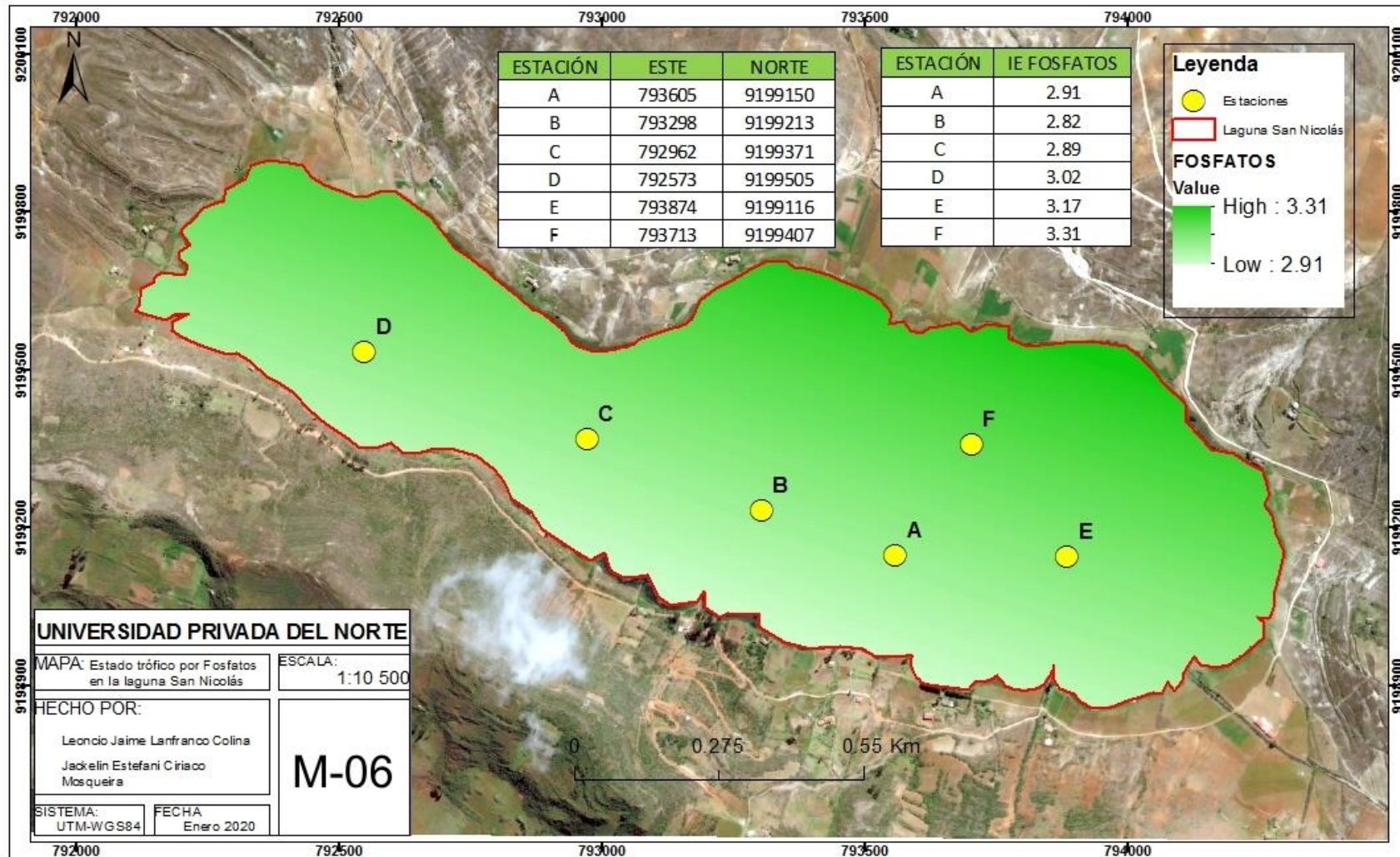
ANEXO N°4. Mapa del estado trófico por clorofila a en la laguna San Nicolás



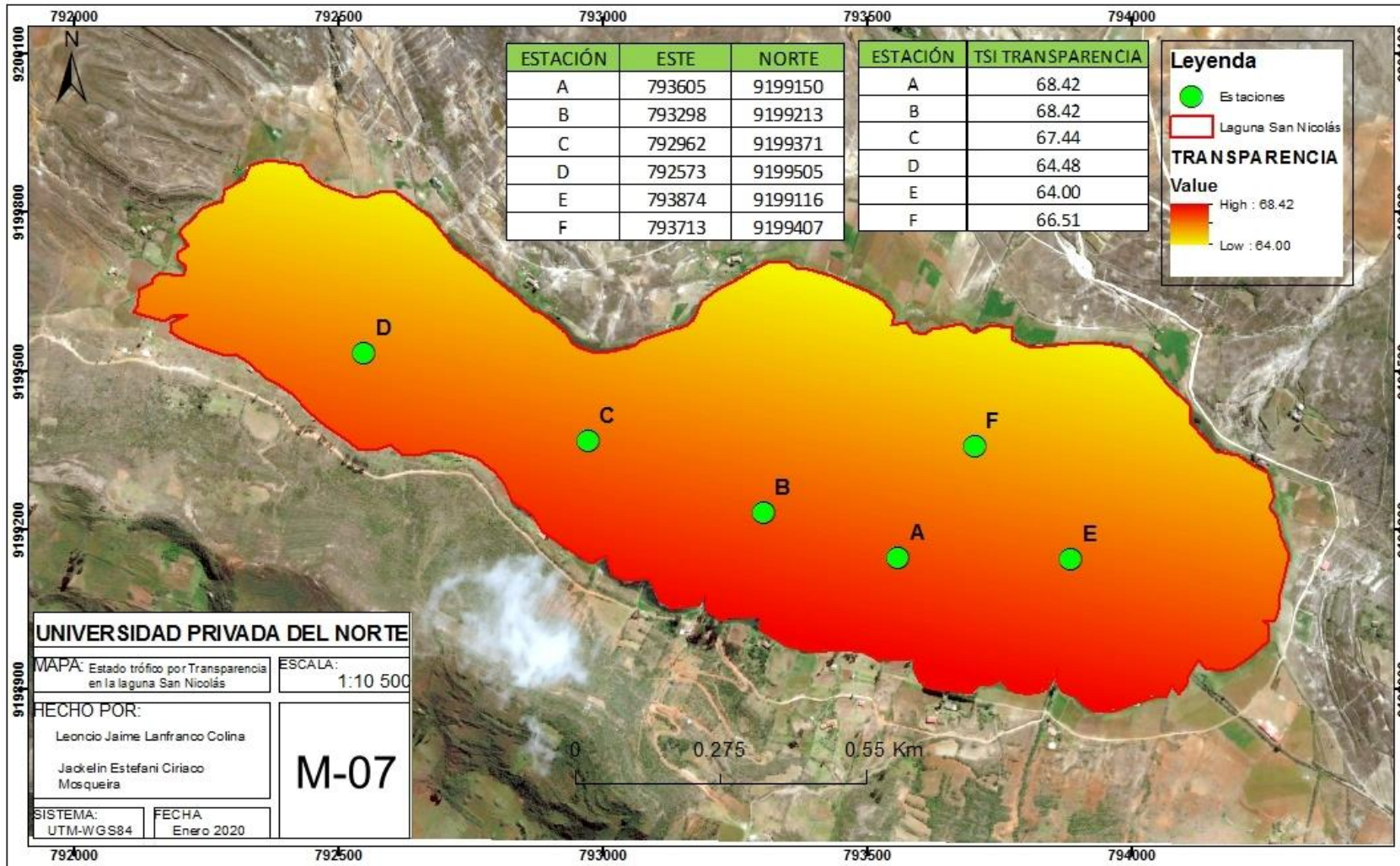
ANEXO N°5. Mapa del estado trófico por nitratos en la laguna San Nicolás



ANEXO N°6. Mapa del estado trófico por fosfatos en la laguna San Nicolás



ANEXO N°7. Mapa del estado trófico por transparencia en la laguna San Nicolás



ANEXO N°8. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Categoría 4

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FISICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ -) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

ANEXO N°9. Ficha de registro de datos de campo

FICHA DE REGISTRO DE DATOS DE CAMPO

Realizado por: Jackelin Estefani Ciriaco Mosqueira.

Leoncio Jaime Lanfranco Colina.

Lugar: Laguna San Nicolás. **Distrito:** Namora. **Provincia:** Cajamarca. **Departamento:** Cajamarca.

Estación de Monitoreo	Profundidad (m)	Referencia	Coordenadas		Fecha	Hora	Clima	Parámetros					
			Norte/Sur	Este/Oeste				pH	T (°C)	OD (mg/L)	COND (µS/cm)	Transparencia (m)	
A	0	Centro	9 199 150	793 605	14/01/20	7:00am	Nublado	8.68	19.50	5.97	303.00	1.15	0.55
A	1.5	Centro	9 199 150	793 605	14/01/20	7:21am	Nublado	8.68	19.80	5.92	302.00		
A	3	Centro	9 199 150	793 605	14/01/20	7:44am	Nublado	8.68	20.00	5.76	298.00		
B	0	Centro	9 199 213	793 298	14/01/20	8:58am	Nublado	8.68	19.80	6.10	300.00	1.30	0.40
B	1.5	Centro	9 199 213	793 298	14/01/20	9:20am	Nublado	8.67	20.30	6.05	298.00		
B	3	Centro	9 199 213	793 298	14/01/20	9:49am	Nublado	8.70	20.30	6.04	297.00		
C	0	Centro	9 199 371	792 962	14/01/20	10:57am	Nublado	8.71	19.80	6.07	297.00	1.00	0.80
C	1.5	Centro	9 199 371	792 962	14/01/20	11:23am	Nublado	8.70	20.00	6.00	296.00		
C	3	Centro	9 199 371	792 962	14/01/20	11:46am	Nublado	8.74	20.10	5.96	294.00		
D	0	Orilla	9 199 505	792 573	14/01/20	12:30pm	Nublado	8.68	20.60	6.17	295.00	1.23	0.90
D	1.5	Orilla	9 199 505	792 573	14/01/20	12:52pm	Nublado	8.66	21.20	5.91	294.00		
D	3	Orilla	9 199 505	792 573	14/01/20	1:16pm	Nublado	8.75	21.20	5.51	287.00		
E	0	Orilla	9 199 116	793 874	14/01/20	1:50pm	Nublado	8.66	19.90	6.63	303.00	1.20	1.00
E	1.5	Orilla	9 199 116	793 874	14/01/20	2:09pm	Nublado	8.64	20.00	5.89	298.00		
E	3	Orilla	9 199 116	793 874	14/01/20	2:30pm	Nublado	8.65	21.60	5.84	293.00		
F	0	Orilla	9 199 407	793 713	14/01/20	2:58pm	Nublado	8.75	19.90	6.56	297.00	1.00	0.90
F	1.5	Orilla	9 199 407	793 713	14/01/20	3:15pm	Nublado	8.65	20.00	6.09	295.00		
F	3	Orilla	9 199 407	793 713	14/01/20	3:33pm	Nublado	8.42	21.00	5.13	293.00		

ANEXO N°11. Laguna San Nicolás



ANEXO N°12. Actividad agrícola a orillas de la laguna San Nicolás



ANEXO N°13. Actividad ganadera a orillas de la laguna San Nicolás



ANEXO N°14. Actividad turística en la laguna San Nicolás



ANEXO N°15. Actividades de lavado manual de ropa a orillas de la laguna San Nicolás



ANEXO N°16. Evidencia de eutrofización en la laguna San Nicolás



ANEXO N°17. Toma de puntos GPS



ANEXO N°18. Toma de muestras



ANEXO N°19. Medición de parámetros “in situ”



ANEXO N°20. Medición de transparencia con el Disco Secchi



ANEXO N°21. Medición de nitratos en laboratorio



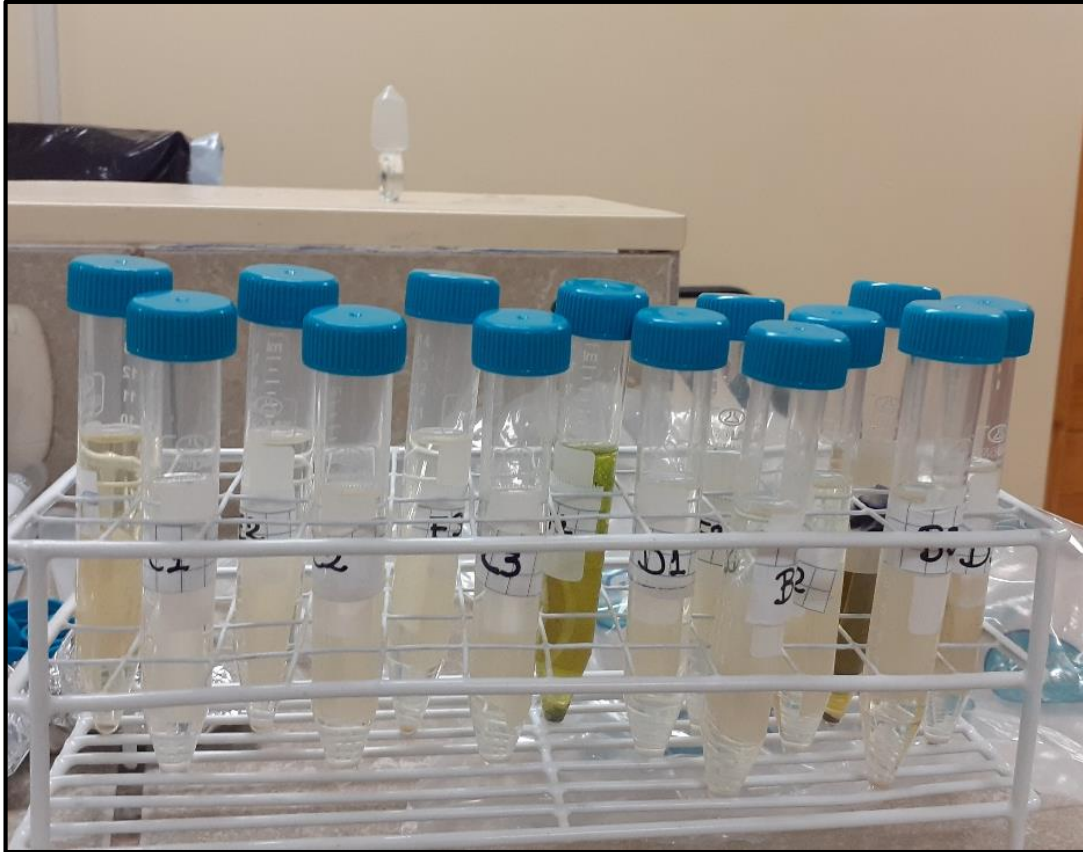
ANEXO N°22. Medición de fosfatos en laboratorio



ANEXO N°23. Filtración de muestras en laboratorio



ANEXO N°24. Muestras de clorofila a



ANEXO N°25. Centrifugación de muestras



ANEXO N°25. Medición de clorofila a en laboratorio

