



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“TELEDETECCIÓN ESPECTRAL USANDO EL
SATÉLITE LANDSAT 8 PARA EL MONITOREO
FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA DE LA LAGUNA SAN
NICOLÁS – CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Ruth Indira Portal Pierola
Edwar Zambrano Alcantara

Asesor:

Mc. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, por ser un ejemplo a seguir, por demostrarme siempre apoyo incondicional y paciencia. A mi padre, a pesar de no estar físicamente, siento que estás conmigo siempre e ilumina mi camino, A toda mi familia que confía en mí y en mis capacidades para lograr mis objetivos y me apoyan en ello.

Ruth Indira Portal Piérola

Dedico a mis padres por haberme forjado con principios y valores; muchos de mis logros se los debo a ustedes, uno de ellos es este objetivo; a mi familia por creer en mí y siempre estar ahí apoyándome en todo.

Edwar Zambrano Alcántara

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para seguir a pesar de las dificultades de la vida. Agradezco también a mi esposo Gino, por su amor incondicional, por la confianza y el apoyo brindado; que sin duda alguna en el trayecto de mi vida siempre tendré. A nuestro asesor, por la colaboración brindada en la elaboración de este trabajo.

Ruth Indira Portal Piérola

Agradezco a Dios por permitirme tener salud y poder lograr mis objetivos, a mi familia por brindarme su apoyo incondicional en cada decisión de mi vida. A nuestro asesor por brindarnos su apoyo y colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Edwar Zambrano Alcántara

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.1.1. Antecedentes.....	11
1.1.2. Definiciones conceptuales.....	15
1.2. Formulación del problema.....	32
1.3. Objetivos.....	32
1.3.1. Objetivo general.....	32
1.3.2. Objetivos específicos.....	32
1.4. Hipótesis.....	32
1.4.1. Hipótesis general.....	32
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	34
2.1. Tipo de investigación.....	34
2.2. Población y muestra.....	34
2.2.1. Población.....	34
2.2.2. Muestra.....	34
2.3. Materiales, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	34
2.3.1. Materiales.....	34

2.3.2. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	35
2.4. Procedimiento.....	38
2.4.1. Procedimientos en campo.....	50
2.4.2. Descarga de la imagen LANDSAT 8.	41
2.4.3. Corrección radiométrica y atmosférica de la imagen LANDSAT 8.	43
2.4.4. Recorte de la zona de estudio.	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	53
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS	71
ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica de LandSat 8, (USGS, 2013).	28
Tabla 2. Instrumento de registro de identificación de punto de muestreo.....	36
Tabla 3. Instrumento de recolección de datos en campo.....	37
Tabla 4. Instrumento de etiquetado de muestras en campo.....	38
Tabla 5. Coordenadas de referencia UTM.....	39
Tabla 6. Características de la imagen Landsat 8	44
Tabla 7. Coordenadas tentativas de los puntos de monitoreo.....	50
Tabla 8. Coordenadas de los puntos de monitoreo.....	53
Tabla 9. Resultados de muestreo en campo de 5 puntos de monitoreo.....	54
Tabla 10. Instrumento de identificación de punto de muestreo – anexo 4.....	86
Tabla 11. Instrumento de recolección de datos en campo – anexo 1	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Espectro electromagnético.....	17
Figura N° 2. Curvas de reflectancia espectral de cuatro diferentes objetivos.	18
Figura N° 3. Reflectancia en vegetación e interpretación sensorial en Teledetección.....	20
Figura N° 4. Curvas de absorción del agua y reflectividad de la vegetación.....	22
Figura N° 5. Misión cronológica Landsat	27
Figura N° 6. Ubicación de la laguna San Nicolas	40
Figura N° 7. Servidor del Servicio Geologico de los Estados Unidos.	41
Figura N° 8. Pestaña criterios de búsqueda del servidor de USGS.	42
Figura N° 9. Pestaña criterios de resultados del servidor de USGS.....	42
Figura N° 10. Pestaña de resultados del servidor de USGS	43
Figura N° 11. Conversión a radiancia en el techo de la atmosfera (TOA).....	47
Figura N° 12. Conversión a reflectancia TOA	48
Figura N° 13. Laguna San Nicolas	49
Figura N° 14. Multiparámetros marca Hach 2100Q	52
Figura N° 15. Punto de muestreo Laguna San Nicolas	52
Figura N° 16. Puntos de monitoreo en la Laguna San Nicolas	53
Figura N° 17. Monitoreo de pH.....	55
Figura N° 18. Monitoreo de Temperatura	56
Figura N° 19. Monitoreo de Oxígeno Disuelto	57
Figura N° 20. Monitoreo de Turbidez	58
Figura N° 21. Monitoreo Satelital de oxigeno disuelto en la Laguna San Nicolas	59
Figura N° 22. Monitoreo Satelital de pH en la Laguna San Nicolas.....	60
Figura N° 23. Monitoreo Satelital de temperatura en la Laguna San Nicolas	61
Figura N° 24. Monitoreo Satelital de turbidez en la Laguna San Nicolas	62

Figura N° 25. Contrastación de OD obtenido de campo Vs análisis multiespectral	63
Figura N° 26. Contrastación de pH obtenido de campo vs análisis multiespectral.....	64
Figura N° 27. Contrastación de t° obtenida de campo Vs análisis multiespectral	65
Figura N° 28. Contrastación de turbidez obtenida de campo Vs análisis multiespectral	66
Figura N° 29. Toma de coordenadas de estación de muestreo 2.....	81
Figura N° 30. Uso de equipo multiparámetros	81
Figura N° 31. Toma de coordenadas en punto de monitoreo 2.....	82
Figura N° 32. Toma de muestra en punto de monitoreo 2 – utilizando brazo muestreador	82
Figura N° 33. Lectura de parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo 1.....	83
Figura N° 34. Lectura de parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo 5.....	83

RESUMEN

La presente investigación pone a conocimiento el uso de teledetección satelital para obtener información de parámetros fisicoquímicos de manera periódica lo cual permite el monitoreo permanente de la calidad del agua. Esto es posible ya que las imágenes provenientes de estos sensores capturan la información en diferentes bandas del espectro electromagnético suministrando información referente al porcentaje de reflectancia, tiene como objetivo general teledetectar espectralmente los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna San Nicolás mediante el uso de imágenes Landsat 8; y utilizó un método aplicada tecnológico, cuasi experimental, longitudinal, correlacional, con un procedimientos espectral en gabinete y de contrastación en campo, utilizando técnicas espectrales y de monitoreo puntual de cuerpos de agua. Obteniéndose que es posible calcular parámetros fisicoquímicos del agua, obteniéndose valores de pH, OD, turbidez y temperatura; la precisión de los datos y el margen de error que se presenta en resultados es menor a medida que sea menor el tamaño de pixel, lo cual demuestra que el futuro de los monitoreos de cuerpos de agua podrá lograrse de manera automatizada a partir de técnicas satelitales, reduciéndose el margen de error conforme mejore la resolución espectral y espacial de las imágenes satelitales.

Palabras clave: fisicoquímico, laguna, multiespectral, banda espectral, multiparámetro

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La conservación y del agua superficial en cuerpos hídricos tales como lagos, lagunas o embalses es una de las principales preocupaciones mundiales, ya que estos, brindan equilibrio ecosistémico y biológico, tan solo en la región Cajamarca existen 283 lagunas de distinto tamaño, las cuales ocupan una extensión de 1010.9 hectáreas y almacenan aproximadamente 121310.400 m³ según ANA (2016), de las cuales en su gran mayoría no presentan ningún tipo de monitoreo.

En ocasiones dificultades logísticas como el traslado a lugares de difícil acceso condicionan la posibilidad de tomar datos y realizar el monitoreo del comportamiento de la calidad de sus parámetros físico químicos de los cuerpos de agua en una determinada región, por lo cual los sensores remotos representan una nueva alternativa para determinar estos parámetros reduciendo la inversión económica y el tiempo de estudio. (Perdomo, 2015)

Estos sensores adquieren la información de manera periódica lo cual permite el monitoreo permanente de la calidad del agua. Esto es posible ya que las imágenes provenientes de estos sensores capturan la información en diferentes bandas del espectro electromagnético suministrando información referente al porcentaje de reflectancia de energía solar, para cada objeto ubicado en la superficie terrestre. Estos valores de reflectancia se pueden correlacionar con datos adquiridos in situ, lo cual brinda la posibilidad de desarrollar modelos matemáticos para predecir el valor de cada parámetro físico-químico. (Pérez, 2011)

1.1.1. Antecedentes

1.1.1.1. Internacionales:

Sepúlveda (2011) en su estudio titulado diseño de modelos de calidad del agua mediante uso de la percepción remota, cuyo objetivo general fue diseñar modelos de calidad del agua mediante el uso de la percepción remota y datos de campo, para que a partir de aquéllos pueda monitorearse la calidad del agua únicamente a partir de imágenes satelitales, llegando a la conclusión de que la percepción remota es, sin duda, una herramienta actual y aplicable en el campo de la Ingeniería Ambiental, particularmente en el estudio de la calidad del agua, dinámica superficial y distribución de algunos contaminantes que inciden sobre sus características y potencial de uso.

Ospina (2016). En su investigación titulada: Análisis de la información proveniente del satélite Grace para el monitoreo de la acumulación de agua subterránea: caso ejemplo provincia hidrogeológica de los llanos orientales-Colombia.

Analiza las series de tiempo de precipitación, TWS, SM y GWS, para la provincia hidrogeológica de los Llanos Orientales en el periodo comprendido entre el 2003 y 2014, usando información proveniente de GRACE, el sistema GLDAS y de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM, permiten identificar que las variaciones temporales en las anomalías de acumulación de agua terrestre, humedad del suelo y agua subterránea, corresponden con los periodos secos y lluviosos de la

región. Algunos periodos presentan contrastes que pueden estar asociados a los fenómenos del Niño y la Niña.

Pérez (2011) realizo un estudio de aplicación de la teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la caracterización de humedales en la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda, teniendo como objetivo general mostrar la utilidad de las técnicas de teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de una parte de los humedales de la Reserva Biosfera de la Mancha Húmeda. Sus resultados indican que la aplicación de la teledetección al estudio de los humedales, ha permitido detectar la presencia de contaminación y eutrofización de sus aguas, revelando como más idóneas las imágenes de satélite del periodo estival.

Perdomo (2015) realizó un estudio acerca de la predicción de parámetros físicos químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos, el cual fue desarrollado en el embalse del Neusa. El objetivo general fue Predecir los parámetros físico-químicos de las aguas del Embalse del Neusa mediante el uso de información del espectro electromagnético capturada a través de sensores remotos. El modelo para el pH obtuvo un r^2 de 0.868 con la información de las bandas 2, 3 y 4. El oxígeno disuelto presento su mejor relación con la banda 2 y obtuvo un r^2 de 0.808. La temperatura presentó un r^2 de 0.765 usando la banda 7 y la alcalinidad empleando la banda 4 presentó un r^2 de 0.892. Estos modelos permitieron predecir los parámetros a partir de

los valores de reflectancia y la identificación de su comportamiento para toda la superficie del embalse en los años 2003 y 2015.

Martínez (2017) realizó un estudio sobre el interés de las técnicas de observación remota que lleva como título Monitorización de la calidad del agua en embalses mediante técnicas de observación remota, el principal parámetro considerado es la concentración de clorofila en el agua, ya que valores altos del mismo indican posibles problemas de eutrofización, que afectan gravemente a la calidad del agua embalsada. Llegando a la conclusión que este tipo de métodos pueden ser de gran interés para la monitorización continuada de embalses y lagos afectados por estos problemas.

1.1.1.2. Nacionales:

Callisaya (2018) realizó un estudio de investigación desarrollado en el lago menor del Titicaca del lado boliviano titulado análisis de la clorofila-a en el agua con técnicas de teledetección en lago Titicaca, donde sufre severos deterioros de calidad de sus aguas por ser el principal receptor de las descargas no tratadas procedentes de la agricultura (pesticidas, fertilizantes artificiales) y de ganadería, así como de los orígenes domésticos, industriales y mineros. Los resultados en base a las concentraciones de clorofila-a, indicaron el estado Mesotrófico para los nueve puntos de muestreo, es decir, la presencia moderada de nutrientes y con respecto a las concentraciones de fósforo total, indicaron el estado Mesotrófico para los ocho puntos de muestreo; sin embargo,

en el punto LM-04 indico el estado Eutrófico con relación al fosforo total, lo que nos muestra un alto nivel de nutrientes.

Bellido (2019) realizo un estudio de análisis espacio-temporal del comportamiento de la clorofila a mediante imágenes satelitales en la represa Aguada Blanca, cuyo objetivo general fue relacionar valores de clorofila en el agua con la información de campo e imágenes satelitales Sentinel 2A en el embalse Aguada Blanca para el año 2017, Los resultados obtenidos, muestran que los algoritmos obtenidos para cada mes del año estudiado explicaron mejor la distribución de la Clorofila a en el embalse aguada Blanca, estos algoritmos muestran que la variable independiente tiene mayor concentración con las bandas 2, 3 y 4 del sensor SENTINEL 2A, siendo el porcentaje de correlación de Pearson .

Quezada (2020) Realizó un estudio titulado “Uso de imágenes satelitales para determinar los parámetros de calidad del agua en los ríos amazónicos Neshuya y Aguaytía – Perú”, donde realiza el monitoreo de parámetros físico-químicos. Los parámetros evaluados fueron Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), Demanda Química de Oxígeno (COD), Carbono Orgánico Total (TOC), Índice de Permanganato (COD_{mn}) y Nitrógeno Amoniacal. El análisis de los datos mostró que BOD, COD y TOC tiene un coeficiente de correlación igual a uno es decir tienen una correlación perfecta con la reflectancia de la imagen. Esto quiere decir que se puede determinar los parámetros

de calidad de agua haciendo uso de las imágenes satelitales. Finalmente, aunque los datos satelitales pueden usarse para reflejar los parámetros de calidad del agua, esta técnica es valioso e importante para áreas remotas donde el acceso directo no es fácil y donde el costo de la muestra y el análisis de laboratorio es alto, se debe enfatizar que esta técnica no puede sustituir los métodos tradicionales porque algunos parámetros de la calidad del agua, como metales pesados, nitrato, el fosfato y los contaminantes orgánicos no se pueden determinar por teledetección.

1.1.2. Definiciones conceptuales.

1.1.2.1 Teledetección.

Es la ciencia y la tecnología por la cual se pueden identificar las características de los objetos de interés, medir o analizar las características sin contacto directo. (Muray, 1993).

Por lo general, la teledetección es la medición de la energía que se emanó de la superficie de la Tierra. Si la fuente de la energía medida es el sol, entonces se llama la teledetección pasiva, y el resultado de esta medición puede ser una imagen digital (Richards y Jia, 2006). Si la energía medida no es emitida por el Sol, pero desde la plataforma de sensor, entonces se define como la teledetección activa, tales como sensores de radar que funcionan en el rango de microondas (Richards y Jia, 2006).

1.1.2.2 El espectro electromagnético.

El espectro electromagnético es el sistema que clasifica, de acuerdo con la longitud de onda, toda la energía (de corto cósmica a largo radio) que se mueve, armónicamente, a la velocidad constante de la luz. (NASA, 2015).

A. Regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra:

Espectro visible (0.4 - 0.7 μm).

Rango de frecuencias del ojo humano. Máxima radiación solar. Subdividido en tres bandas: Rojo (0.6 - 0.7 μm), Verde (0.5 - 0.6 μm) y Azul (0.4 - 0.5 μm). (Bravo, 2017)

Infrarrojo cercano (0.7 - 1.1 μm).

Denominado IR fotográfico o reflejado. Energía solar que reflejan los cuerpos. Comportamiento similar al espectro visible. (Bravo, 2017)

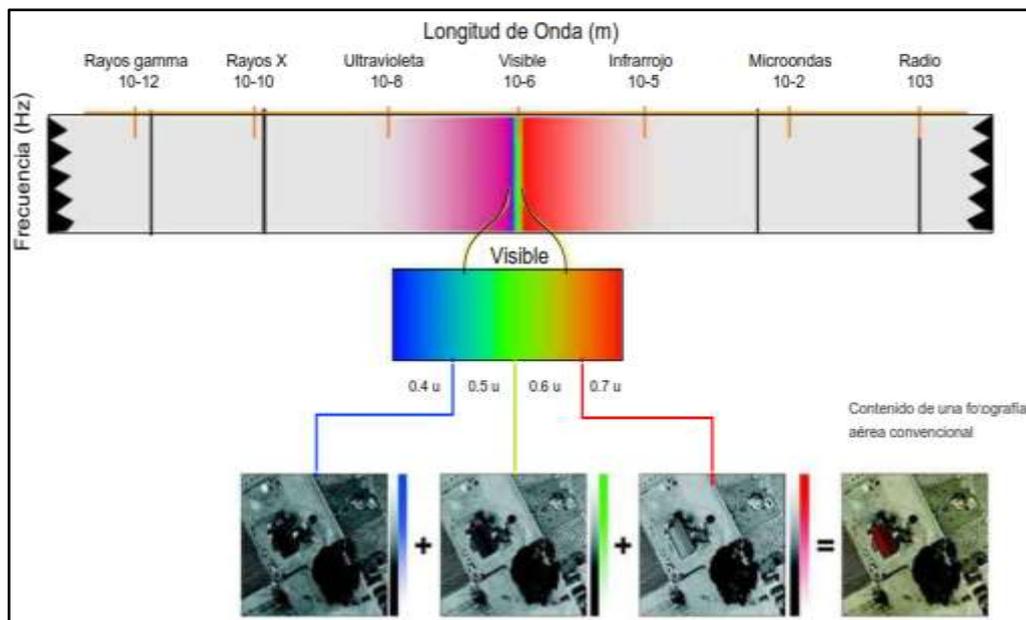
Infrarrojo medio (1.1 – 8 μm).

Se entremezclan radiación solar y emisión. La atmósfera afecta sensiblemente: aprovechado para medir concentraciones de vapor de agua, ozono, aerosoles. (Bravo, 2017)

Infrarrojo térmico (8 - 14 μm). Radiaciones emitidas por los propios cuerpos. Se puede determinar la temperatura de un cuerpo (IR térmico). Se puede disponer de imágenes de cualquier hora del día. (Bravo, 2017)

Figura N° 1

Espectro electromagnético



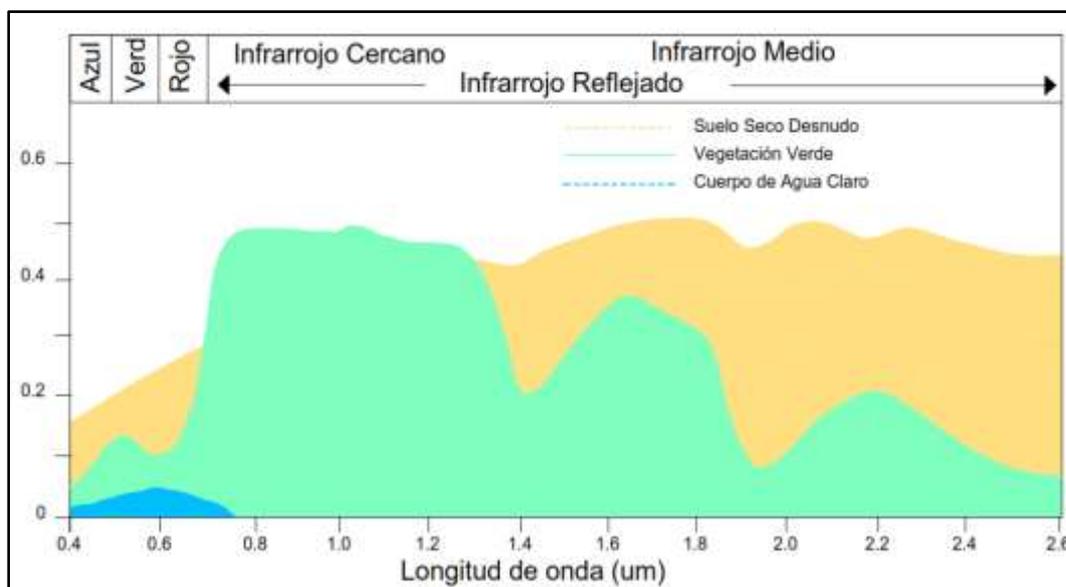
Fuente: Bravo (2017).

1.1.2.3 Firma espectral

La firma espectral es la reflectancia como una función de longitud de onda (véase la Figura curvas espectrales de reflectancia de cuatro diferentes Targets); cada material tiene una firma única, por lo tanto, se puede utilizar para la clasificación de materiales (NASA, 2015).

Figura N° 2

Curvas de reflectancia espectral de cuatro diferentes objetivos.



Fuente: (NASA, 2015).

1.1.2.4 Interacciones entre la energía electromagnética y los cuerpos naturales.

La superficie de la tierra está cubierta en su mayor parte por suelos, rocas, agua y vegetación. El conocimiento de sus propiedades espectrales es muy importante para la elección de las bandas en el espectro Electromagnético para su estudio mediante sensores remotos. El significado de los diferentes rangos de longitud de onda depende de la interacción entre la radiación electromagnética y los materiales. Se describen a continuación las clases de cobertura presentes en la superficie terrestre, las cuáles se pueden generalizar en tres grandes grupos diferenciados: vegetación, masas de agua y suelo desnudo, (Peguero, 2016).

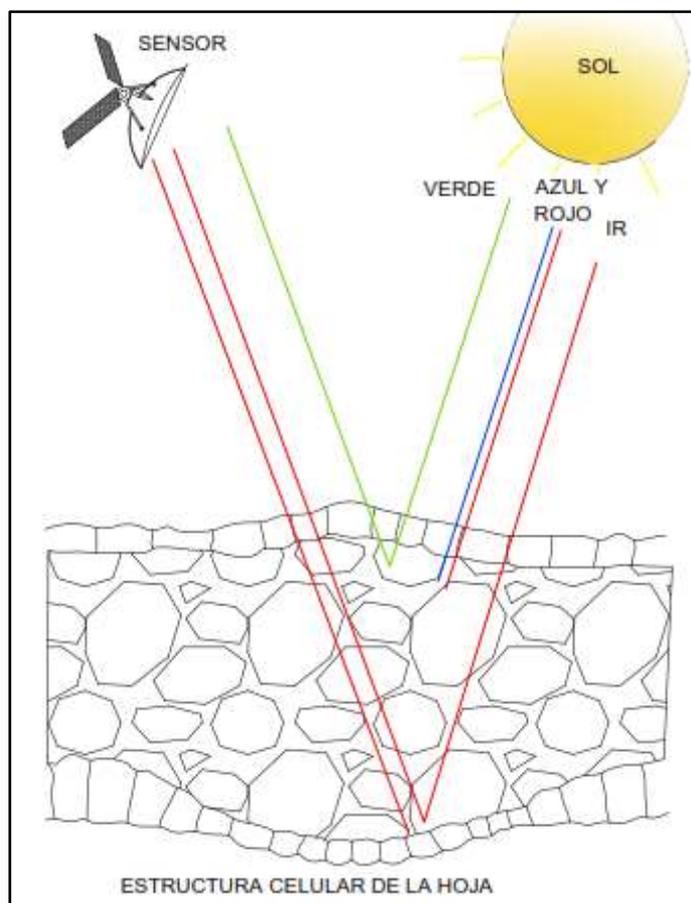
A. Vegetación.

El comportamiento espectral de la vegetación depende fuertemente de las propiedades de las hojas y la estructura del dosel de la vegetación (número de capas de hojas) y la orientación de las mismas. La cobertura vegetal está conformada por un conjunto de hojas que se disponen y agrupan de formas diferentes, la cual puede ser medida por el LAI (índice de área foliar) que es la superficie total de hojas por superficie de terreno, (Peguero, 2016).

Una hoja está constituida por diferentes capas de materia orgánica de estructura fibrosa, las cuales contienen diferentes tipos de pigmentos como la clorofila, xantofilas, carotenos y otros, poseen una estructura fisiológica compleja y contenidos de agua variable, dependiendo de la especie y de las condiciones del sitio donde se desarrollan, como también de las características fenológicas de la propia hoja. La cantidad de energía que es reflejada, absorbida y transmitida en las diferentes longitudes de onda por las hojas, depende de otros factores, aparte de los mencionados anteriormente, como son la respuesta espectral del suelo, presencia de vegetación senescente, elevación angular del sol y del sensor, la geometría de la propia cobertura de los cultivos y los cambios fenológicos, (Peguero, 2016).

Figura N° 3

Reflectancia en vegetación e interpretación sensorial en Teledetección



Fuente: (Peguero, 2016).

B. Cuerpos de agua.

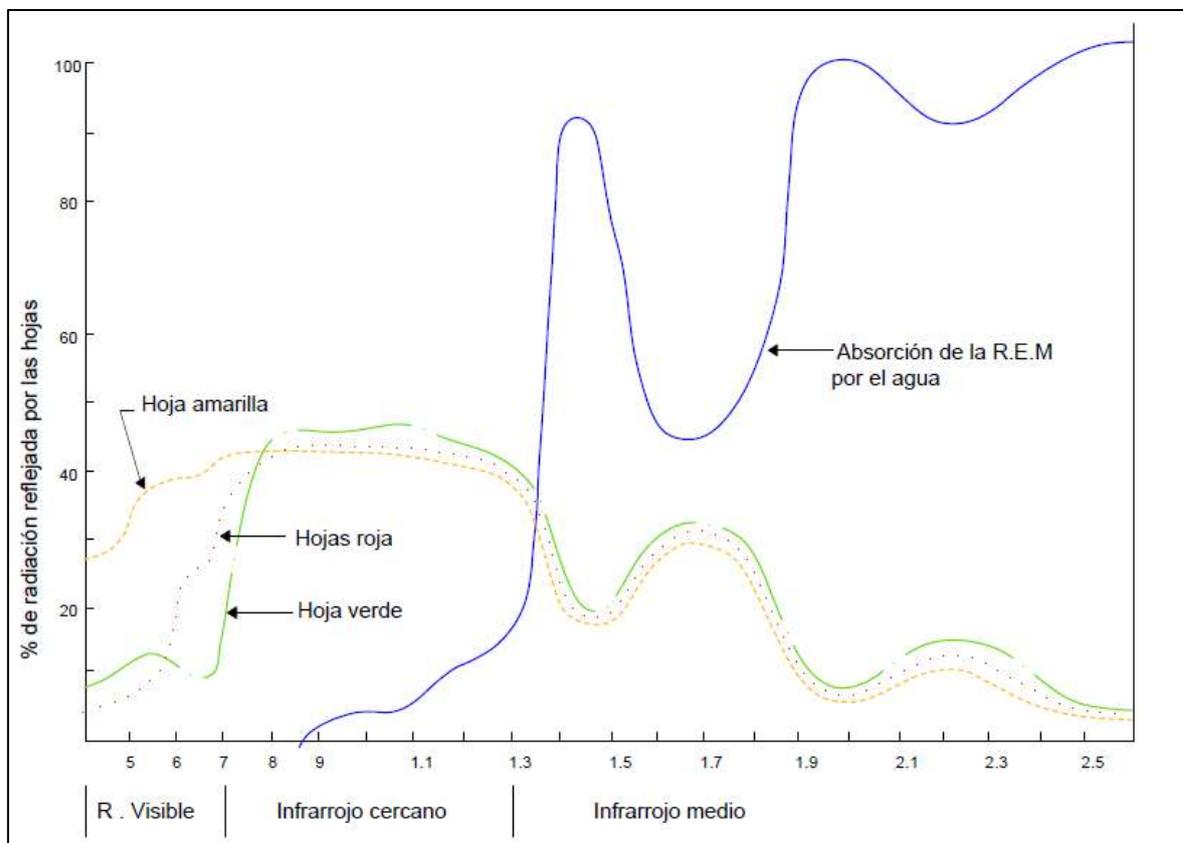
La reflectividad de los cuerpos de agua, al igual que la vegetación y el suelo, varía con la longitud de onda de acuerdo con las interacciones que tienen lugar entre ella y la radiación solar. En los cuerpos de agua pura, la radiación incidente es transmitida o absorbida en gran proporción (figura 4). La reflexión es considerablemente menor si se compara con la situación de la vegetación y los suelos. La reflexión en los cuerpos de agua, es con mucha frecuencia de tipo especular, ya que su superficie

generalmente es muy uniforme, por lo tanto, en las irregularidades superficiales tienen magnitud menor que la mayoría de las longitudes de onda. Cuando la superficie es disturbada, el fenómeno equivale a un incremento en las irregularidades superficiales, por tanto, se presenta una notoria variación en las propiedades de reflexión. (Peguero, 2016).

Otro fenómeno significativo en los cuerpos de agua es la dispersión, la cual está condicionada en gran parte por las partículas disueltas o en suspensión, tales como partículas minerales y orgánicas, algas, plancton y las moléculas del agua misma. Esta radiación que ha sido dispersada es captada por los instrumentos sensores y registrada. Por tanto, la imagen se forma predominantemente como resultado de este fenómeno y no como resultado de la reflexión que se presenta en otros cuerpos naturales. En las grandes masas de agua, las diversas longitudes de onda presentan diferentes índices de transmisión para las longitudes de onda corta. En la región azul y verde, la transmisión será mayor y por tanto habrá mayor absorción que en el rojo, donde la transmisión es menor, con el correspondiente incremento en la absorción. En el infrarrojo cercano la absorción es prácticamente total, por tanto, la transmisión será nula. Estos fenómenos explicarían los colores de azul a verde de las grandes masas de agua limpia. La radiación transmitida sufre una fuerte dispersión, presentando color azul. Las aguas costeras de los océanos son producto de la absorción selectiva por materiales disueltos más no depende de dispersión selectiva. (Peguero, 2016).

Figura N° 4

Curvas de absorción del agua y reflectividad de la vegetación.



Fuente: Peguero (2016).

C. Suelo desnudo

La reflectancia del suelo está determinada por el contenido de humedad superficial, la composición mineral, el contenido de materia orgánica, la textura y la rugosidad. Las propiedades espectrales de los suelos difieren considerablemente de aquellas de la vegetación, dado que la mayoría de los sensores captan información sobre la capa superficial de la tierra. Sólo donde el suelo está expuesto es posible captar información directa sobre éste, por ejemplo, áreas áridas, semiáridas o subárticas, o bien, en zonas recién preparadas para la siembra o erosionadas. Donde

exista cualquier tipo de cobertura, será ésta la que condicione la reflexión de energía electromagnética. Los factores que condicionan la reflexión de energía en los suelos son principalmente: el contenido de humedad, textura, estructura y composición del suelo. (Peguero, 2016)

1.1.2.5 Imágenes satelitales

Es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada por la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona representada. (Chuvienco, 2002)

A. Imágenes pancromáticas.

Son las que captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte de espectro electromagnético, es decir con referencia, tales proporciones del espectro reciben el nombre de bandas. Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar la parte visible y del infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro, (Peguero, 2016).

B. Imágenes multi-espectrales.

Son las que captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas diferentes. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro, mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que midan partes diferentes de la misma longitud de

onda. Estos distintos valores de referencia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de teledetección multi-espectrales de hoy en día miden el color y la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que pueden ir desde tres a catorce bandas, (Peguero, 2016).

C. Imágenes hiper-espectrales.

Se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos de ellas. La teoría en lo que se apoya la detección hiper-espectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo, agua, rocas y minerales, (Peguero, 2016).

D. Imágenes Infra-rojas.

Es aquella que nos permite fotografiar uno de los espectros lumínicos comprendidos entre 700 y 1.200 nanómetros, no visibles para el ojo humano. Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación de cuerpo negro (en forma infrarroja) en función de su temperatura. Generalmente, los objetos con mayor temperatura emiten más radiación infrarroja que los que poseen menor temperatura. Las imágenes visualizan en una pantalla, y tienden a ser monocromáticas, porque se utiliza un sólo tipo de sensor que percibe una particular longitud de onda infrarroja. (Peguero, 2016)

Muestran las áreas más calientes de un cuerpo en blanco y las menos calientes en negro, y con matices grises los grados de temperatura

intermedios entre los límites térmicos. Sin embargo, existen otras cámaras infrarrojas que se usan exclusivamente para medir temperaturas y procesan las imágenes para que se muestren coloreadas, porque son más fáciles de interpretar con la vista. (Peguero, 2016).

Esos colores realmente no corresponden a la radiación infrarroja percibida, sino que la cámara los asigna arbitrariamente, de acuerdo al rango de intensidad de la longitud de onda infrarroja particular, por eso se llaman falsos colores. Esos falsos colores tienen entre varias aplicaciones las cartográficas, pues describen las diferentes alturas del relieve de un mapa: De color azul las partes más frías que comúnmente son las más altas y de color rojo las más calientes que son las más bajas, las partes intermedias en altura, y por tanto en temperatura, en otros colores como el amarillo y el anaranjado, (Peguero, 2016).

1.1.2.6 Satélite.

Las imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar. (Bravo, 2017)

Esta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND), la cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con

Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco. (Bravo, 2017).

La asignación de colores más conocida por los usuarios es la del falso color convencional (R=Red (rojo); G=Green (verde); B=Blue (azul)), la cual asigna el color azul a la banda del verde, el color verde a la banda del rojo y el color rojo a la banda del infrarrojo cercano. (Bravo, 2017)

La información que se obtiene de las distintas bandas de las imágenes satelitales, son

de gran ayuda en diversos ámbitos tales como: Medio ambiente, recurso de agua, agricultura, recursos forestales, geología, uso de suelo. (Bravo, 2017).

A. Satélite Landsat.

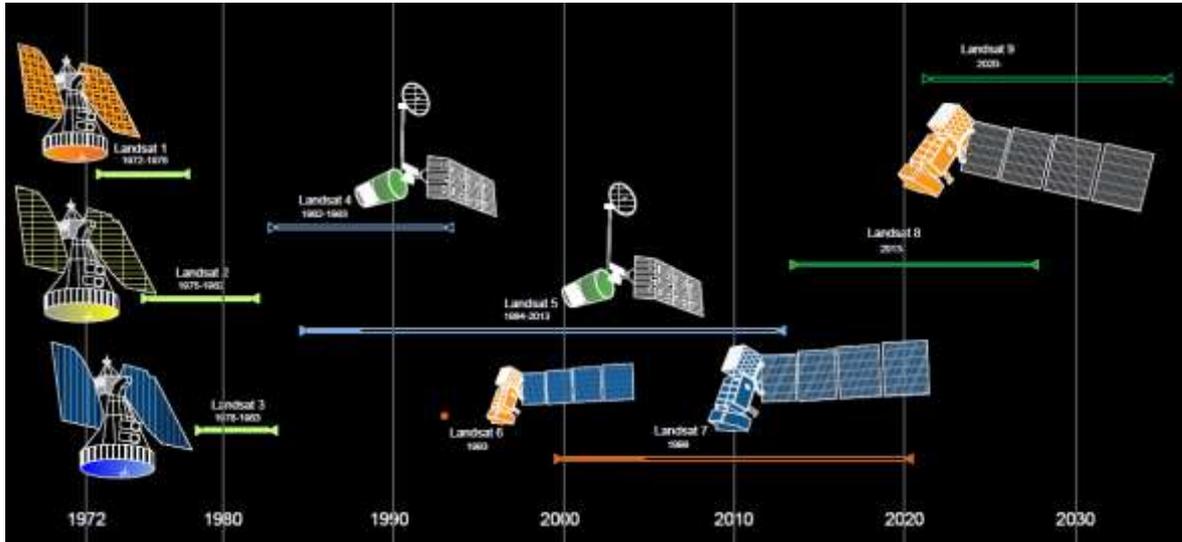
El programa Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite administrado conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de EE.UU. En 1972, el lanzamiento de ERTS-1 (Tierra Recursos Tecnología por Satélite, más tarde renombrado Landsat 1) comenzó la era de la una serie de satélites que tienen desde que adquirida forma continua de tierras datos obtenidos por detección remota basados en el espacio. (Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS, 2013)

El último satélite de la serie Landsat, la Misión de Continuidad de Datos de Landsat (LDCM), se puso en marcha el 11 de febrero de 2013. Ahora renombrado Landsat 8, los datos adquiridos por el satélite continúan

para expandir el archive para los usuarios de en todo el mundo, (USGS, 2013).

Figura N° 5

Misión cronológica Landsat



Fuente: (USGS, 2013)

B. Imagen operacional de la Tierra (OLI) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS) – LandSat 8.

Este tipo de sensor presenta el satélite de LandSat 8 y las imágenes se componen de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de Bandas 1 a 7 y 9. La banda ultra azul 1 es útil para estudios costeros y aerosoles. Banda 9 es útil para la detección de nubes cirrus. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisa y se recogen a 100 metros (remuestreada a 30m). El tamaño aproximado es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste, (USGS, 2013).

Tabla 1.

Característica de LandSat 8

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución en (metros)
	1- Ultra azul (costero/aerosol)	0.43-0.45	30
Landsat 8	2- Azul	0.45-0.51	30
Operativa	3- Verde	0.53-0.59	30
Imagen Terra	4- Rojo	0.64-0.67	30
(OLI) y	5- Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85-0.88	30
Térmica	6- Onda Corta Infrarroja (SWIR) 1	0.57-0.65	30
infrarroja del	7. Onda Corta Infrarroja (SWIR) 2	02.11-02.29	30
sensor (SITR)	8. Pancromática	0.50-0.68	15
	9- Cirrus	1.36-1.38	30
	10- Infrarrojo Térmico (SITR) 1	10.60-11.19	100
	11- Infrarrojo Térmico (SITR) 2	11.50-12.51	100

Fuente: USGS (2013).

1.1.2.7 Software Envi 5.3

El ENVI es el mejor software para obtener información de imágenes geoespaciales de manera fácil, rápida y precisa. Por sus herramientas fáciles de usar, su funcionalidad comprobada y resultados rápidos su demanda se incrementa notoriamente en estos últimos años. (Samaniego, 2017)

Obtener información crítica a partir de imágenes geoespaciales, es cada vez más importante dada la creciente utilización de éstas como fuente de información. Por la misma razón, las herramientas y procesos son esenciales ya que deben extraer la información fácil y en forma precisa sin importar el tipo de aplicación que necesita, ya sea para propósitos de inteligencia, científicos o de planeación. Hoy en día, tanto científicos como analistas de imágenes, en una gran variedad de disciplinas, escogen ENVI, como la mejor solución de software para extraer información de imágenes geoespaciales. ENVI ofrece herramientas avanzadas y fáciles de usar para leer, explorar, preparar, analizar y compartir la información extraída de sus imágenes. (Samaniego, 2017)

Desarrollado por expertos en procesamiento de imágenes y visualización de datos, ENVI está construido en una plataforma extensible que permite acceder fácilmente a la información y ajustar las aplicaciones ENVI a nuestras necesidades. Por su plataforma abierta, ENVI puede ser su solución sin importar el ambiente de trabajo: Windows, Macintosh, Linux o UNIX. (Samaniego, 2017)

1.1.2.8 Parámetros Físicos Químicos

A. El oxígeno disuelto (mg O₂ /L)

Hace referencia a la cantidad de oxígeno presente en el agua, principalmente al liberado por las plantas acuáticas en el proceso de fotosíntesis, así como el que proviene de la mezcla del agua con las corrientes de aire. La solubilidad del oxígeno en el agua está directamente relacionada con la presión atmosférica y de forma inversa

con la temperatura y la concentración de sales. Su medición sirve para identificar las condiciones aeróbicas del ecosistema, identificación de cambios biológicos a partir de su concentración y es base para el cálculo de la demanda biológica de oxígeno (DBO). El oxígeno disuelto se determina de forma analítica mediante el método de Winkler o yodimétrico, también por electrodos específicos. (Romero, 2009).

B. El pH

Es un parámetro que permite expresar la concentración de iones Hidrógeno $[H^+]$ o más exactamente la actividad de este ion. Las aguas donde la concentración de H^+ es superior a la de OH^- se consideran ácidas y el valor de su pH está por debajo de 7.0. Por el contrario, aquellas cuya concentración de OH^- es superior a la de H^+ son aguas básicas o alcalinas y su pH es superior a 7.0. La importancia de su medición radica en que por medio de éste se identifica el grado de disociación de sustancias ajenas al cuerpo de agua, así como el estado de los procesos aeróbicos y anaeróbicos desarrollados en el ecosistema (Roldán, 1992).

C. La temperatura (°C)

Se refiere a la cantidad de energía lumínica que queda atrapada en los dos primeros metros de la columna de agua produciéndose un aumento en el cuerpo de agua. La temperatura en el agua está vinculada con la cantidad de energía calórica presente en el agua. Este parámetro permite definir el grado de estratificación térmica dentro de un cuerpo de agua (Agrupación de láminas de agua de igual temperatura dentro de un cuerpo de agua) (Roldán, 1992).

D. La Turbidez

Se refiere a la profundidad máxima alcanzada por el haz de luz que penetra la columna de agua, se ve afectada por las sustancias que se encuentren disueltas y las partículas en suspensión presentes en el agua. También se usa para estimar el contenido de clorofila de la comunidad fitoplanctónica al considerar que la variación en la transparencia es producto de la presencia de fitoplancton. De igual forma permite definir el estado trófico por medio del Índice de Estado Trófico (IET) que utiliza como variables los valores medios anuales de la profundidad medida con el disco de Secchi y de las concentraciones superficiales de fósforo total y de clorofila a (Roldán, 1992).

1.2. Formulación del problema

¿La teledetección espectral usando el satélite Landsat 8 permitirá monitorear parámetros fisicoquímicos del agua de la Laguna San Nicolás?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Teledetectar espectralmente los parámetros Físicoquímicos del agua de la laguna San Nicolás mediante el uso de imágenes Landsat 8.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los valores de reflectancia a partir de la imagen satelital Landsat 8, asociados a cada punto muestreado en el cuerpo de agua de la laguna San Nicolás.
- Establecer el modelo matemático que sustente la relación entre cada uno de los parámetros Físico-Químicos y la reflectancia en el espectro electromagnético de los puntos de muestreo en el cuerpo de agua de la laguna San Nicolás.
- Predecir el comportamiento de los parámetros Físico-Químicos: temperatura, turbidez, pH, y oxígeno disuelto a partir de los datos obtenidos en las imágenes de satélite.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La teledetección espectral permitirá el monitoreo de parámetros Físico-Químicos del agua de la laguna San Nicolás mediante el uso de imágenes Landsat 8.

1.4.2. Hipótesis específica

- Los valores de reflectancia a partir de la imagen satelital Landsat 8 podrán ser asociados a cada punto muestreado en el cuerpo de agua.
- Los modelos matemáticos sustentarán la relación entre cada uno de los parámetros Físico-Químicos y la reflectancia en el espectro electromagnético.
- Se predecirá el comportamiento de los parámetros Físico-Químicos: temperatura, turbidez, pH y oxígeno disuelto a partir de los datos obtenidos en las imágenes de satélite.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación.

La Investigación será de tipo:

Aplicada Tecnológica, pues busca generar nuevos métodos de monitoreo de cuerpos de agua superficial, con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente.

Cuasi experimental, pues no se manipula de manera deliberada las dos variables del estudio.

Longitudinal, pues recopila datos en diferentes puntos del tiempo.

Correlacional, porque busca la relación entre dos variables en un momento dado.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población de estudio será en un área de 107.30 Ha, correspondiente a la laguna San Nicolás – Cajamarca

2.2.2. Muestra

5 puntos de monitoreo en la laguna San Nicolás – Cajamarca

Imágenes obtenidas del satélite Landsat 8

2.3. Materiales, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Materiales

Libreta

Lápiz

Papel bond

Imágenes satelitales Landsat 8.

GPS

Laptop

Software Envi 5.3 y ArcGIS 10.5

Botellas de plástico boca ancha de 1000 ml para muestras líquidas.

Guantes de látex

Mascarilla bucal

Etiquetas adhesivas de muestreo

Rotuladores

Caja de Tecnopor para muestras

Tablero y hojas de datos

Cámara fotográfica.

Papel toalla.

2.3.2. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Para la recolección de datos se utilizó las técnicas planteadas en el Protocolo Nacional para el monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, en función al tipo de muestreo el cual se utilizará muestras compuestas, planificación del monitoreo, establecimiento de la red de monitoreo y frecuencia.

Los instrumentos para la recolección de datos del muestreo serán el anexo I, II y IV del Protocolo Nacional para el monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

Para el análisis espectral se utilizó la técnica de desmezcla lineal para calcular la reflectancia que se utilizará para los modelos matemáticos necesarios; además se utilizará el instrumento denominado Envi 5.3 para la obtención de estos datos.

Tabla 2

Instrumento de registro de identificación de punto de muestreo

Anexo IV. Registro de identificación del punto de monitoreo		
Nombre del cuerpo de agua		
Clasificación del cuerpo de agua		
Código y Nombre de la cuenca o del cuerpo marino o costero - código		
Identificación Del Punto:		
Código del punto de monitoreo		
Descripción: (Origen / Ubicación)		
Accesibilidad:		
Representatividad:		
Finalidad del monitoreo:		
Reconocimiento del entorno:		
Ubicación		
Distrito	Provincia	Departamento
Localidad:		
Coordenadas (WGS 84)	Sistema de coordenadas	Proyección UTM
Norte/Latitud		Geográficas 17,18,19; para UTM solamente (metros sobre el nivel del mar)
Este/Longitud		
Zona		
Altitud		
Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo (referencia)	Fotografía: tomada a un mínimo de 20 mts del punto de monitoreo	
Elaborado por: _____		Fecha: _____

Fuente: ANA (2018)

Tabla 4

Instrumento de etiquetado de muestras en campo

Fuente: ANA (2018)

Anexo II. Etiqueta para muestra de agua			
Solicitante/cliente:			
Nombre de laboratorio:			
Código de punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:		Hora:	
Muestreado por:			
Parámetro requerido:			
Preservada:	Si	No	Tipo de reactivo:

2.4. Procedimiento.

El procedimiento consistió tanto en trabajo de campo como de gabinete, el trabajo de campo sirve para determinar los parámetros específicos de la laguna San Nicolás y el trabajo de gabinete generar modelos matemáticos que mediante la energía electromagnética recolectada por los sensores remotos permitirá obtener un modelo matemático para predecir los parámetros físico químicos recolectados de campo.

2.4.1. Ubicación.

El caserío “Laguna San Nicolás”, pertenece al distrito de Namora, provincia y departamento de Cajamarca, en el norte del Perú, se encuentra ubicada al Sur Este de la ciudad de Cajamarca, con coordenadas UTM 794280 E y 9198923 N y alturas variables, que van desde los 2817 a los 2970 msnm. Limita por el Norte con los caseríos Palturo (distrito de Jesús), Tuyorco y Alto Chilacat (distrito de Namora); al Oeste con el cerro Mullorco, Miche y Palturo (distrito de Jesús); al Este con el caserío Samaday (distrito de Namora); por el Sureste con los caseríos

de Lloque y la Hualanga (distrito de Jesús) y Suroeste con los cerros Loritopuquio y El Calvario.

Tabla 5

Coordenadas de referencia UTM.

Vértices	Norte	Este
1	9198812	792097
2	9199931	792097
3	9199931	794328
4	9198812	794328

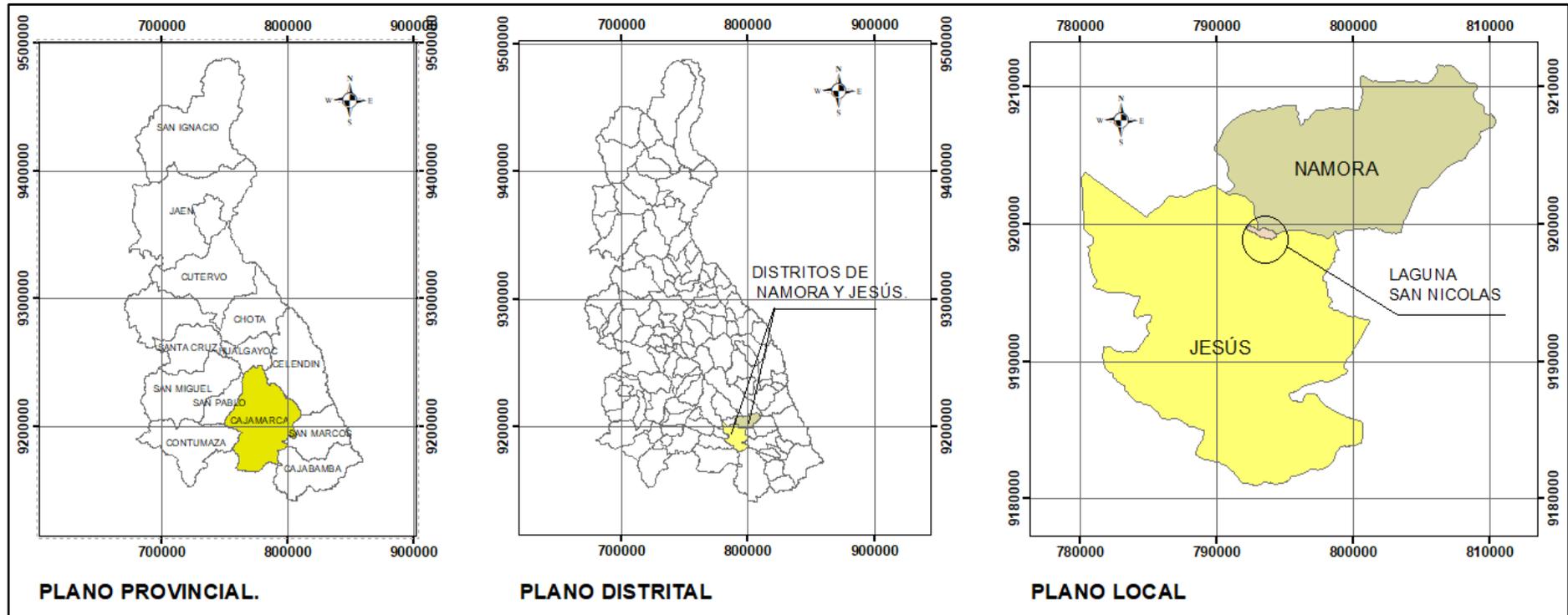
Fuente: propia

2.4.2. Accesibilidad

Cajamarca – Namora – San Nicolás; 2 8 K m de carretera asfaltada, al sur este de la ciudad de Cajamarca, recorrer este tramo, toma un tiempo aproximado de 45 minutos en vehículo; luego se toma la trocha carrozable que va al caserío Chilacat, al sur oeste de Namora, el recorrido es de aproximadamente de 20 minutos en vehículo y la distancia es de 6 Km; si uno va caminando desde Namora, toma el Camino Inca de herradura (Qhapaq Ñan), el recorrido es de aproximadamente de 50 minutos.

Figura N° 6

Ubicación de la laguna San Nicolás.



Fuente: Modificado de INGEMMET (2021).

2.4.3. Procedimiento de las imágenes satelitales LandSat 8.

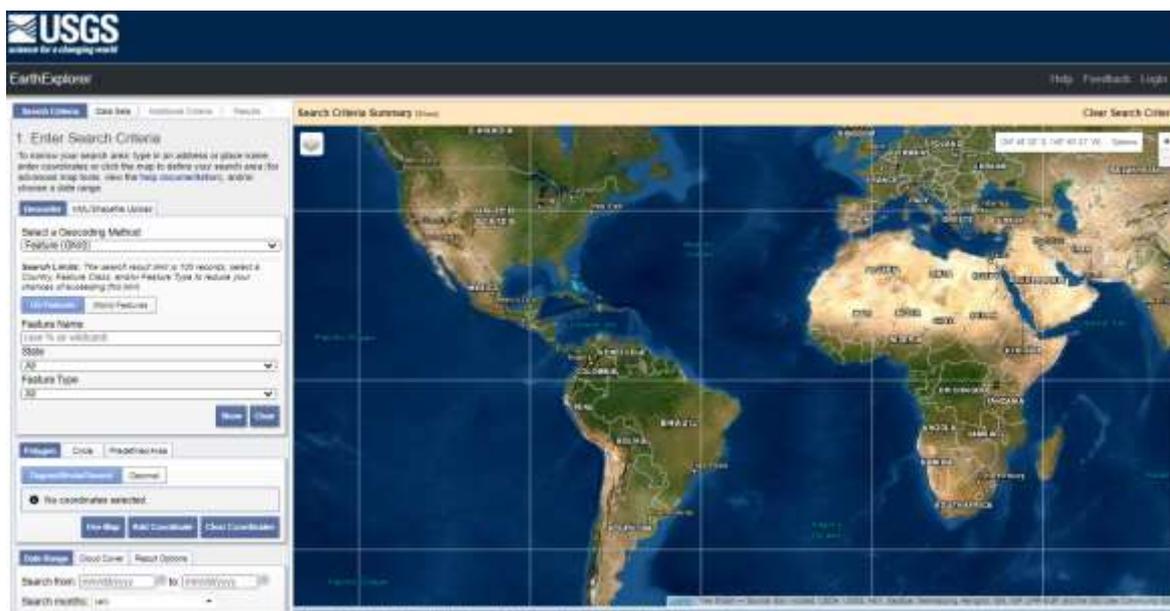
Se trabajó con una imagen del tipo Landsat 8 con sus tres subsistemas, se midió la reflectancia en cada una de las bandas para generar modelos matemáticos que permitan calcular el valor para cada parámetro analizado.

2.4.2.1. Descarga de la imagen LANDSAT 8.

Para la descarga de la zona de estudio en este caso la laguna San Nicolas, se consideró el archivo KMZ, el cual se trabajó con el software ArcGIS, realizando una conversión de archivo Shapefile a KMZ. De esta manera se ingresó a uno de los servidores gratuitos existentes para la descarga de imágenes Landsat 8, en la presente investigación se utilizó el Servicio Geológico de los Estados Unidos: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Figura N° 7

Servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos.

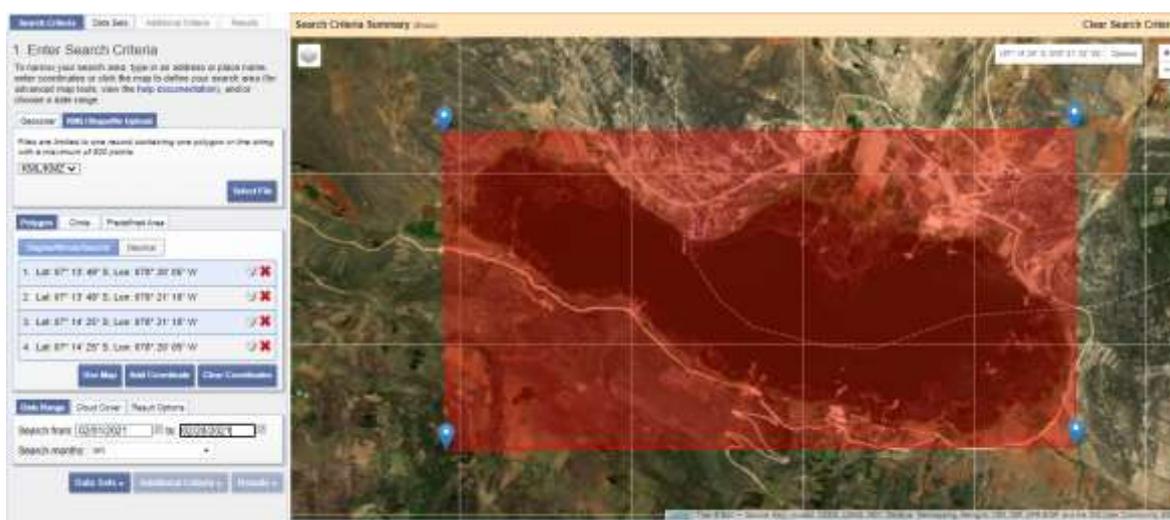


Haciendo uso del explorador del Servicio Geológico de los Estados Unidos, se visualiza 4 pestañas referentes a criterios de búsqueda,

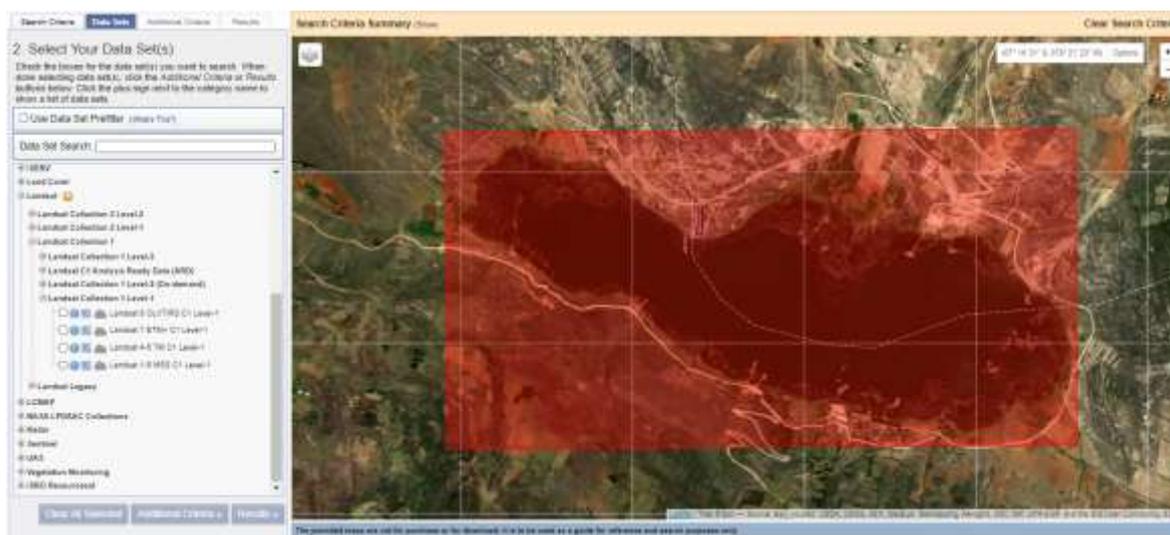
conjunto de datos, criterios adicionales y resultados, se procedió a llenar cada uno de dichas pestañas, de este modo poder realizar la descarga de la imagen Landsat 8, esta corresponde al mes de febrero del año 2021 con ID LO80090652020313LGN00.

Figura N° 8

Pestaña criterios de búsqueda del servidor de del Servicio Geológico de los Estados Unidos.



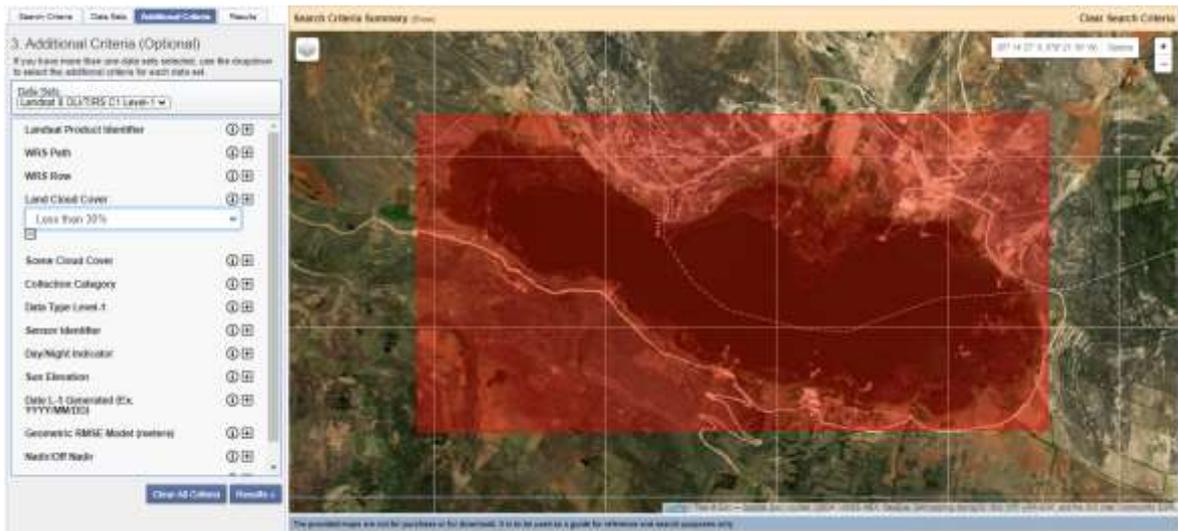
Pestaña conjuntos de datos del servidor de del Servicio Geológico de los Estados Unidos.



Fuente: Servicio Geológico De Estados Unidos (USGS, 2019).

Figura N° 9

Pestaña criterios de resultados del servidor de del Servicio Geológico de los Estados Unidos.



Fuente: Servicio Geológico De Estados Unidos (USGS, 2019).

Figura N° 10

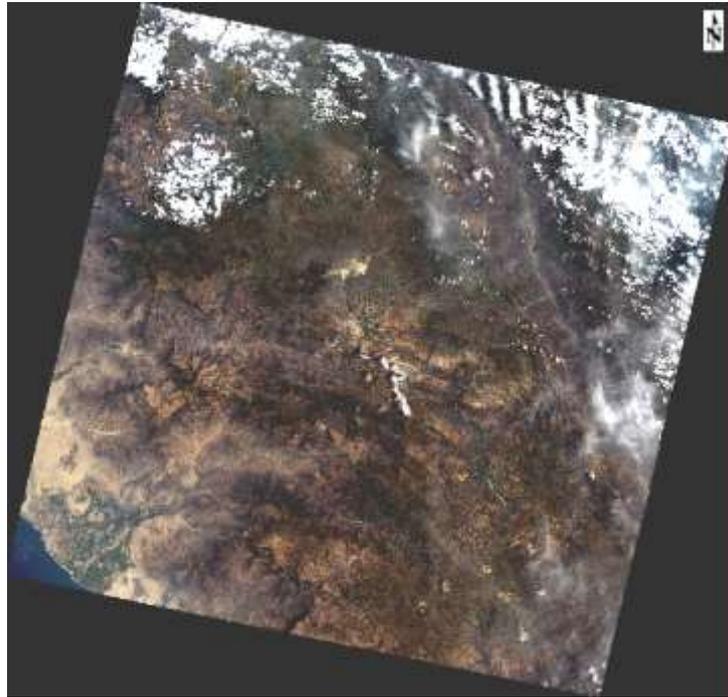
Pestaña de resultados del servidor de del Servicio Geológico de los Estados Unidos.



Fuente: Servicio Geológico De Estados Unidos (USGS, 2019).

Tabla 6

Características de la imagen Landsat 8



Atributo de conjunto de datos	Valor de atributo
Identificador de producto Landsat	LO08_L1GT_009065_20210228_202110228_01_RT
Identificador de escena Landsat	LO80090652020313LGN00
Fecha de Adquisición	28/02/2021
Fecha de generación L-1	20/11/2020
Elevación solar L1	64.85777068
Sol Azimut L1	114.5938075
Longitud del centro	78 ° 27'37.69 "O
Lat de esquina UL	6 ° 11'08.70 "S
Esquina UL larga	79 ° 06'55.69 "O
UR esquina lat	6 ° 32'42.50 "S
UR Corner Long	77 ° 26'00.85 "O
LL esquina lat	7 ° 55'10.74 "S
LL esquina larga	79 ° 29'29 "O
LR esquina lat	8 ° 16'57.68 "S
LR Corner Long	77 ° 48'10.58 "O

Fuente: Servicio Geológico De Estados Unidos (USGS, 2020).

2.4.2.1. Corrección radiométrica y atmosférica de la imagen LANDSAT 8.

Conversión a radiancia en el techo de la atmosfera (TOA)

Los productos estándar Landsat 8 LDCM, suministrados por el USGS consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una imagen multiespectral adquirida por ambos sensores: OLI Operational Land Imagen y el TIRS Thermal Infrared Sensor. (USGS, 2013).

Los datos de las bandas del sensor TIRS y OLI están derivados en 16 bits en formato no cifrado y pueden ser reescalados a los valores de reflectancia y o radiancia en el techo de la atmosfera TOA, usando para ello los coeficientes radiométricos provistos en el archivo de metadato, tal y como se describe a continuación (USGS, 2013):

$$L\lambda = MLQ \text{ cal} + AL$$

Donde:

$L\lambda$ = Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmosfera (TOA) medida en valores de (Watts /m² * srad * μm)

ML = Banda – Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda)

AL = Banda – Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)

Q cal = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

Conversión a reflectancia TOA

Los datos del sensor OLI pueden ser convertidos a valores de reflectancia (TOA) en el techo de la atmosfera, usando para ello los coeficientes de reflectancia reescalados, suministrados en el archivo de metadatos MTL. La siguiente ecuación es usada para convertir los ND niveles digitales a valores de reflectancia para los obtenidos por el sensor OLI (USGS, 2013):

$$P\lambda' = M\rho Q \text{ cal} + A\rho$$

Donde:

$P\lambda'$ = Es el valor de reflectancia planetaria, sin corrección por ángulo solar. Note que $P\lambda'$ no contiene una corrección por el ángulo solar.

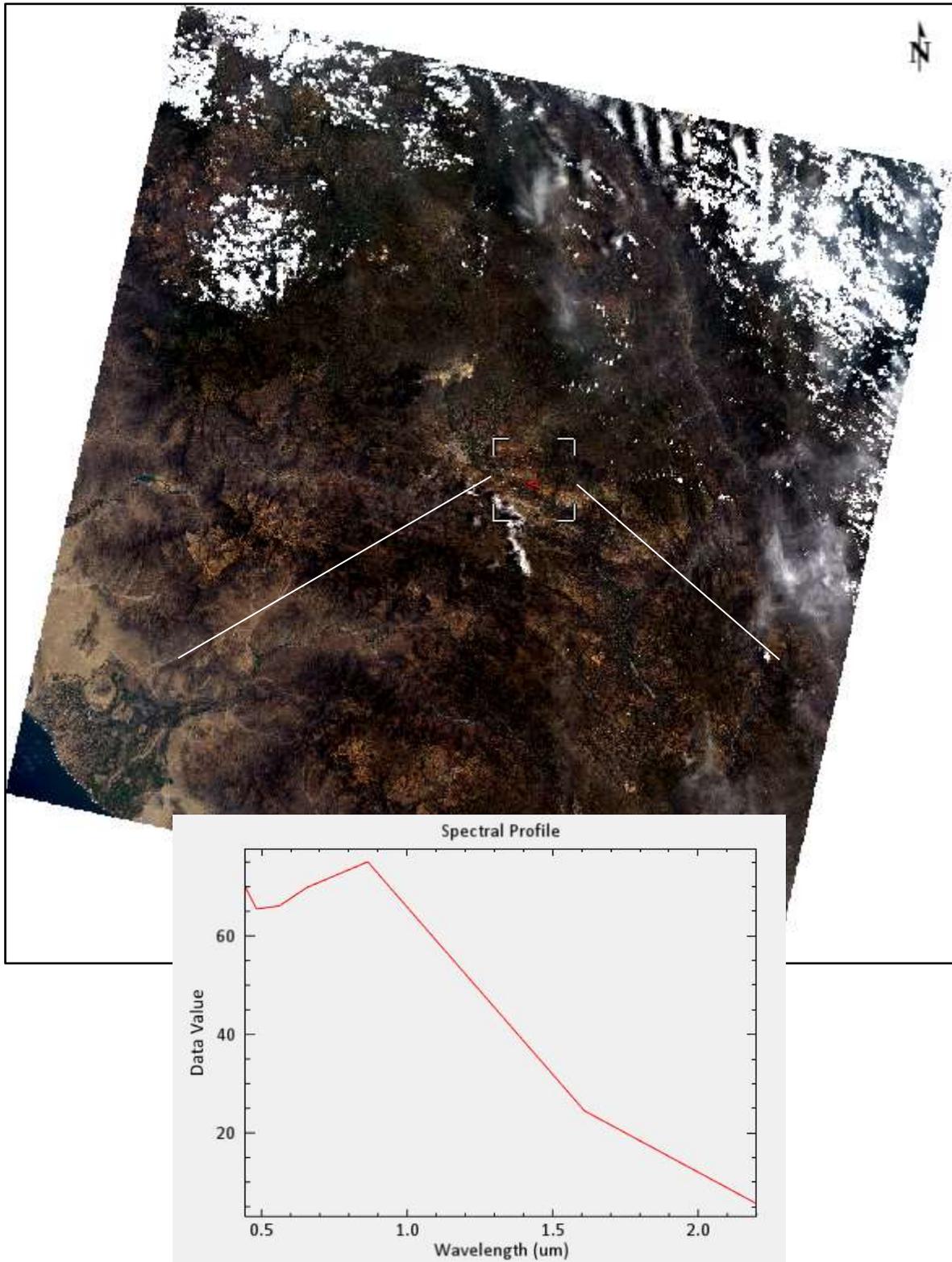
$M\rho$ = Es el factor multiplicativo de escalado específico por banda obtenido del metadato (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda).

$A\rho$ = Es el factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del metadato (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda).

Q cal = Es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

Figura N° 11

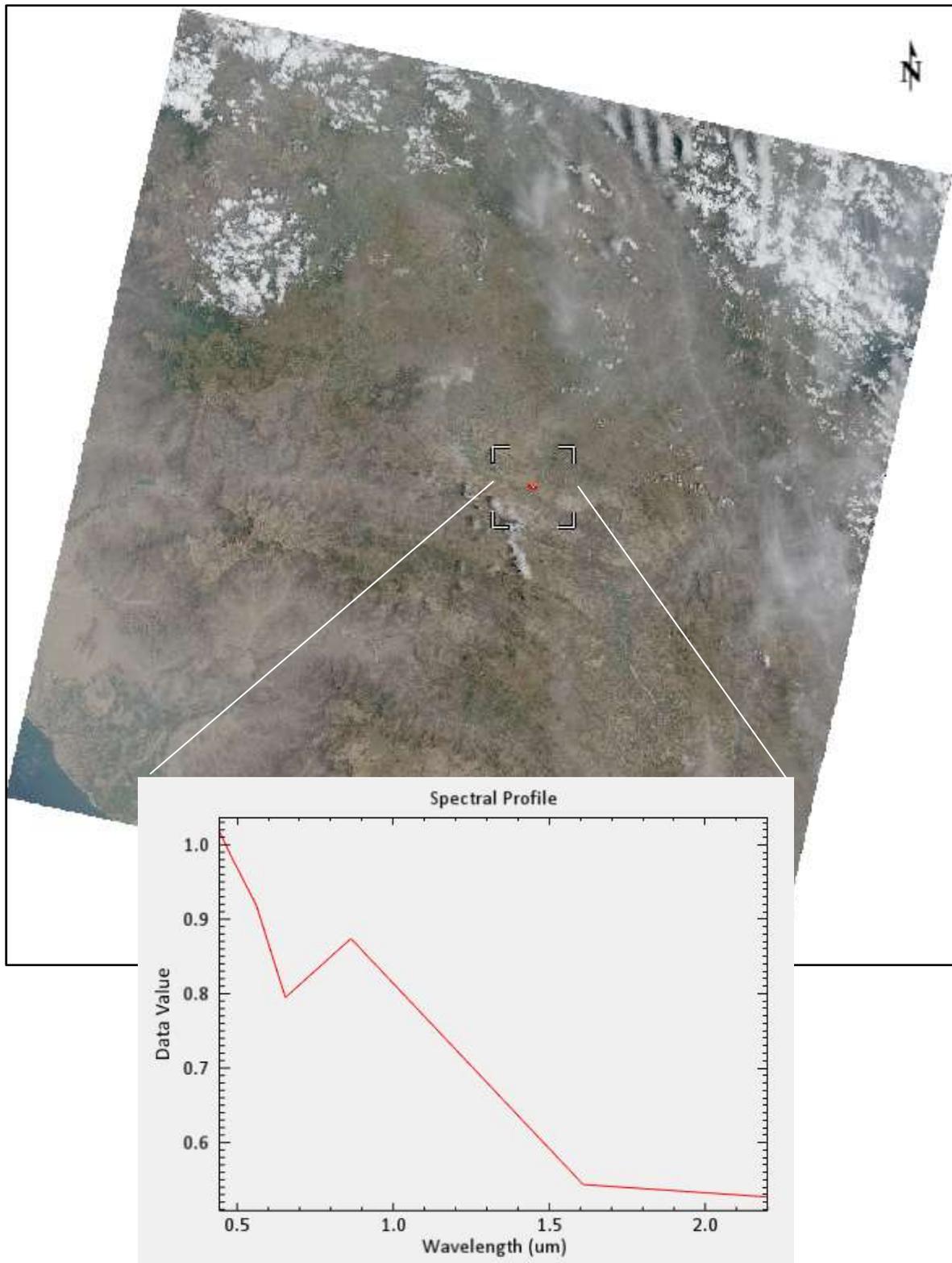
Conversión a radiancia en el techo de la atmosfera (TOA)



Fuente: Propia

Figura N° 12

Conversión a reflectancia TOA



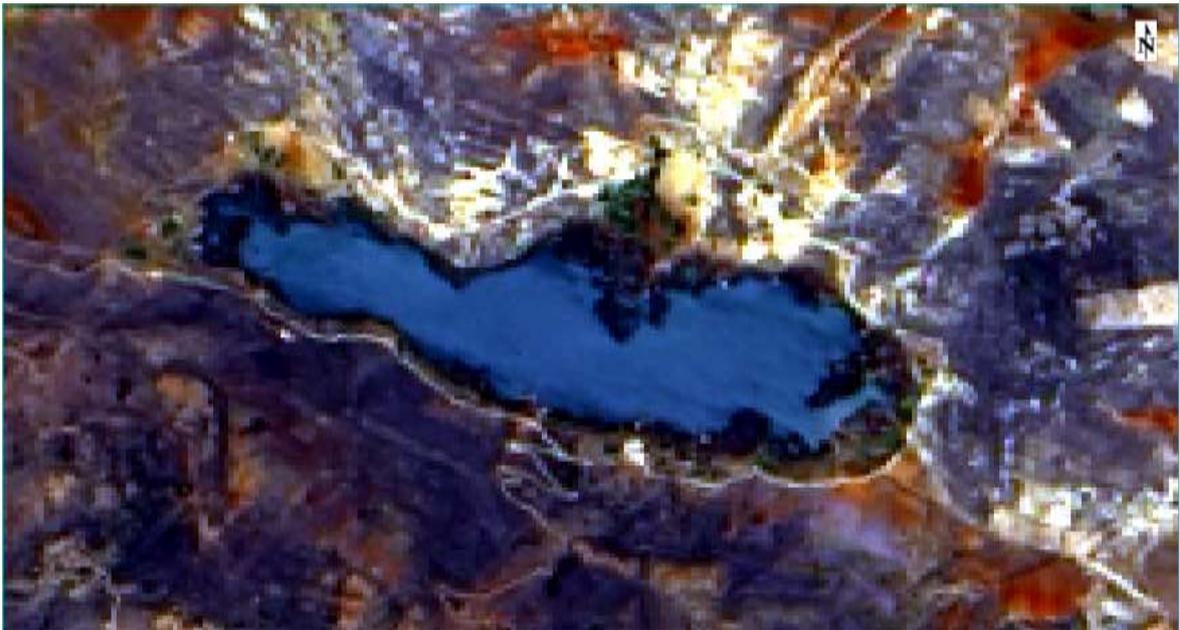
Fuente: Propia

2.4.2.2. Recorte de la zona de estudio.

Una vez realizado las calibraciones y correcciones adecuadas a la imagen satelital Landsat 8, se realizó el recorte de la zona de estudio que abarque a la Laguna San Nicolás.

Figura N° 13

Laguna San Nicolás



Fuente: Propia

2.4.2.3. Extracción de los datos de reflectancia para cada punto de muestreo

Para extraer los datos de reflectancia se utilizará modelos matemáticos que permitan el cálculo de cada parámetro según Perdomo (2015).

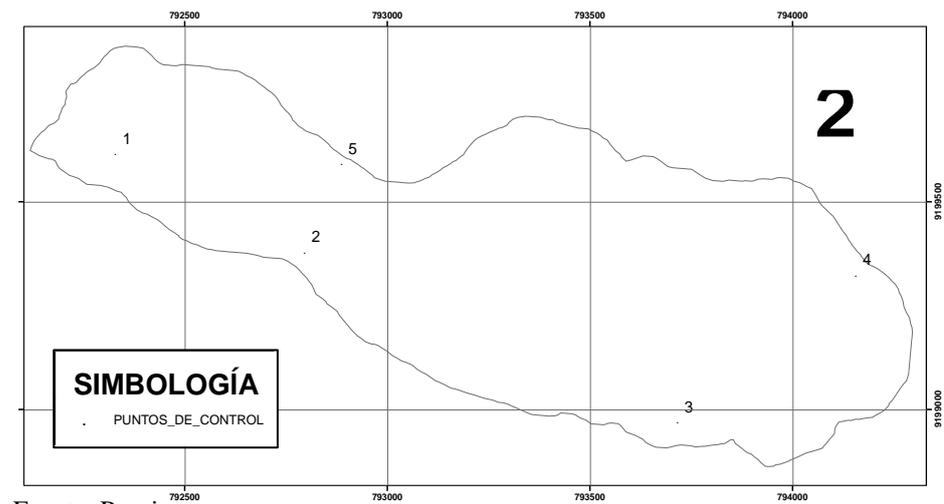
En el cual se utilizó la herramienta Band Math para ingresar los algoritmos y seleccionar los rangos espectrales por banda.

- Oxígeno Disuelto = $8.64 - 7.06 \times \text{banda } 2$
- pH = $8.36 + 2.64 \times \text{banda } 2 - 3.96 \times \text{banda } 3 - 1.47 \times \text{banda } 4$
- Temperatura = $13.6162 - 1.1781 \times \log(\text{banda } 7)$
- Turbidez = $0.96 - 1.25 \times \log(\text{banda } 1)$

2.4.1. Procedimientos en campo

2.4.1.1. Muestreo y recolección de datos en campo

Para realizar el muestreo en campo se tuvo como referencia el “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales”, para lo cual se seleccionó un tipo de muestreo puntual debido a las condiciones de accesibilidad de la laguna, antes de realizar el muestreo fue necesario determinar los puntos de muestreo tentativos teniendo como referencia la necesidad de realizar 3 o más puntos de monitoreo que permita contrastar la técnica satelital, para lo cual se determinó 5 puntos de muestreo los cuales se presentan a continuación



Fuente: Propia

Tabla 7

Coordenadas tentativas de los puntos de monitoreo

Punto	Este	Norte
Punto 1	792230	9199610
Punto 2	792735	9199350
Punto 3	793680	9198970
Punto 4	794150	9199320
Punto 5	792880	9199610

para realizar el muestreo de cada uno de los puntos de monitoreo se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento.

Para el caso de lagos y lagunas el procedimiento del “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales”, indica que se debe realizar en orillas del cuerpo de agua, haciendo uso de un brazo muestreador para llegar a una profundidad de 20 o 30 cm.

Paso 1: El personal responsable se colocó botas de jebe y guates descartables antes del inicio de la toma de muestra de agua

Paso 2: Ubicarse en un punto de fácil acceso, donde se pueda tomar las coordenadas de referencia y fotografiar el proceso de muestreo, además se aseguró haya corriente homogénea y poco turbulenta.

Paso 3: Para la toma de muestra se colocó el frasco de boca ancha en el brazo muestreador, asegurándose no tocar el fondo del frasco al momento de retirar la tapa y contratapa.

Paso 4: Se extendió el brazo y se sumergió el frasco contrario a la corriente hasta que este parcialmente llena, proceder a su enjuague (mínimo 2 veces).

Paso 5: Se sumergió el frasco a una profundidad de 20 a 30 cm.

Paso 6: Se realizó la toma de parámetros de campo.

Los parámetros que se tuvo en cuenta fueron: pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto.

Se repitió el muestreo 3 veces en periodos de 10 días, teniendo como referencia los mismos puntos de monitoreo.

Figura N° 14

Multiparámetros marca Hach 2100Q



Fuente: Propia

Figura N° 15

Punto de muestreo Laguna San Nicolas



Fuente: Propia

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los resultados del monitoreo realizado en campó, se implementó 5 estaciones de monitoreo en toda el área que abarca la laguna San Nicolás, los monitoreos se realizaron 3 veces con un periodo de 10 días, se monitoreó parámetros de pH, T°, oxígeno disuelto y turbidez, del cual se obtuvo los promedios que serán contrastados con el resultado obtenido del análisis espectral utilizando la imagen Landsat 8.

Tabla 8

Coordenadas de los puntos de monitoreo

Punto	Este	Norte	Cota
Punto 1	792237	9199617	2794
Punto 2	792738	9199356	2795
Punto 3	793688	9198971	2794
Punto 4	794150	9199324	2795
Punto 5	792882	9199618	2814

Fuente: Propia

Figura N° 16

Puntos de monitoreo en la Laguna San Nicolás



Fuente: Modificado de USGS (2020)

Tabla 9

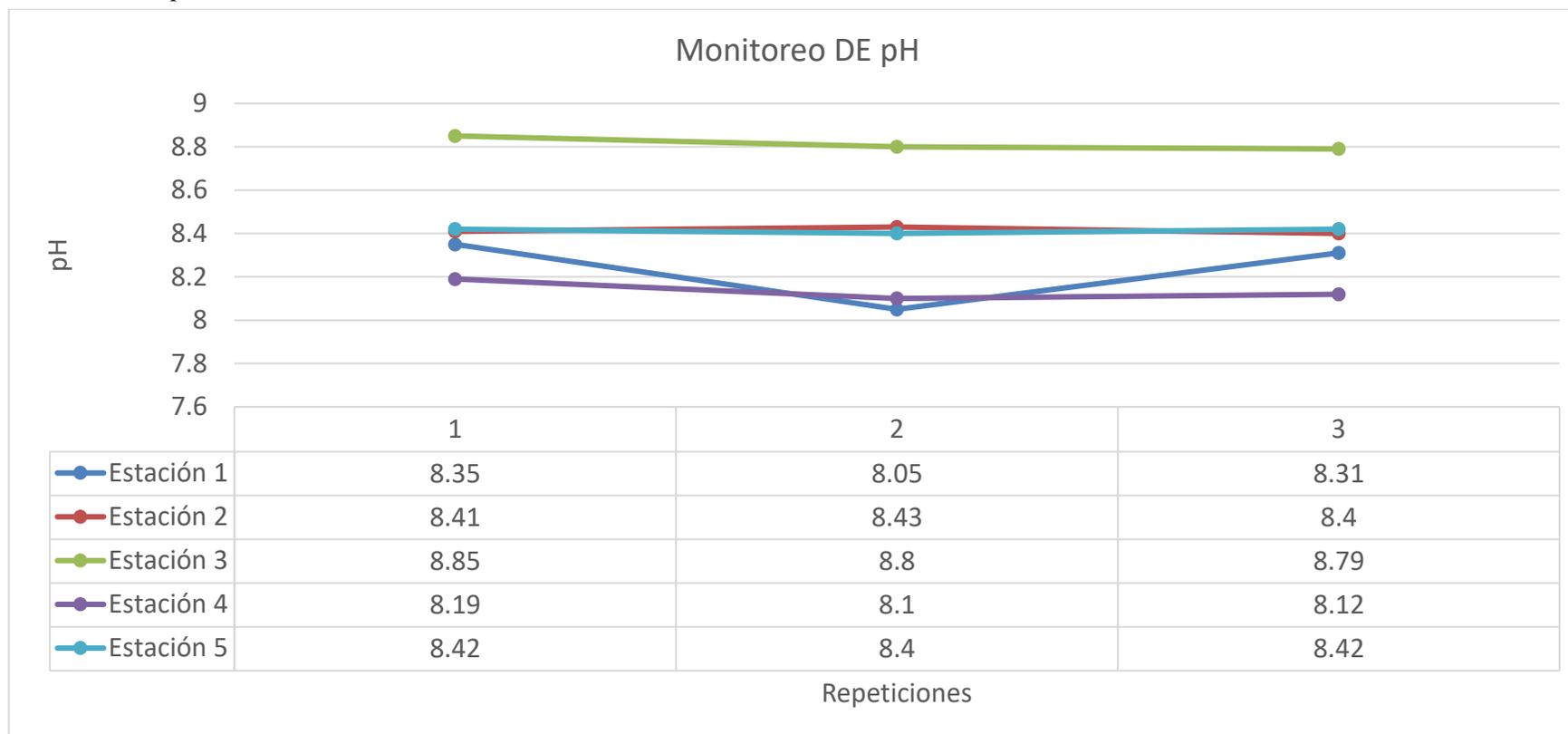
Resultados de muestreo en campo de 5 puntos de monitoreo

Estación monitoreo	Fecha de monitoreo	pH	T° (°C)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)
1	18/02/2021	8.35	20.90	6.00	4.50
1	28/02/2021	8.05	20.50	6.25	4.47
1	10/03/2021	8.31	20.40	6.20	4.48
Promedio		8.24	20.60	6.15	4.48
2	18/02/2021	8.41	20.04	6.49	4.36
2	28/02/2021	8.43	20.80	6.51	4.35
2	10/03/2021	8.40	20.50	6.54	4.33
Promedio		8.41	20.45	6.51	4.35
3	18/02/2021	8.85	22.30	6.44	4.48
3	28/02/2021	8.80	22.10	6.42	4.46
3	10/03/2021	8.79	22.30	6.40	4.45
Promedio		8.81	22.23	6.42	4.46
4	18/02/2021	8.19	22.80	6.76	4.40
4	28/02/2021	8.10	22.50	6.70	4.41
4	10/03/2021	8.12	22.40	6.72	4.40
Promedio		8.14	22.57	6.73	4.40
5	18/02/2021	8.42	23.20	6.73	4.38
5	28/02/2021	8.40	23.40	6.70	4.36
5	10/03/2021	8.42	23.50	6.73	4.34
Promedio		8.41	23.37	6.72	4.36

Fuente: Propia.

Figura N° 17

Monitoreo de pH

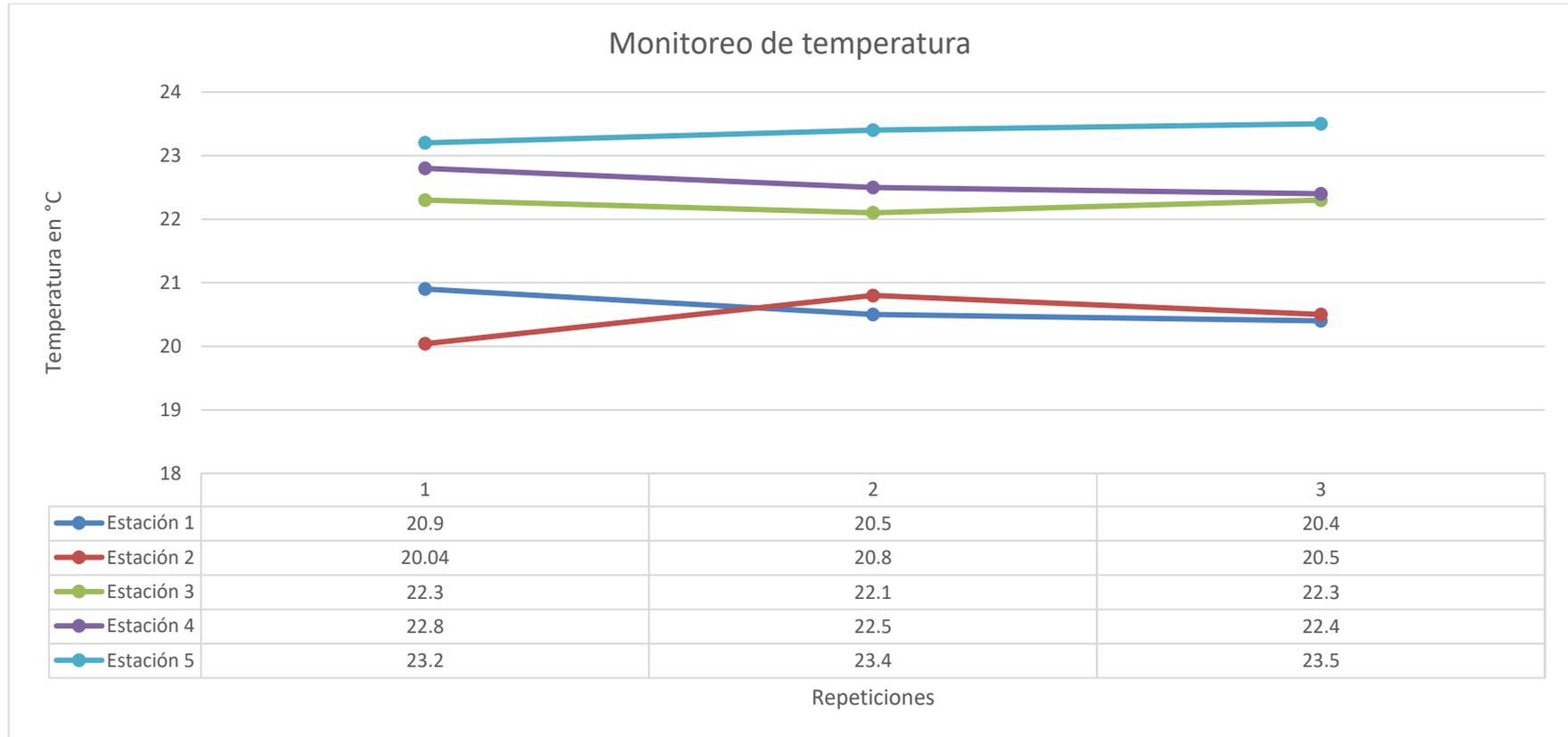


Fuente: Propia.

En la gráfica se aprecia el monitoreo de pH de las 5 estaciones tomadas en la laguna San Nicolás, verificándose poca variación en los datos recolectados en intervalos de 10 días.

Figura N° 18

Monitoreo de Temperatura

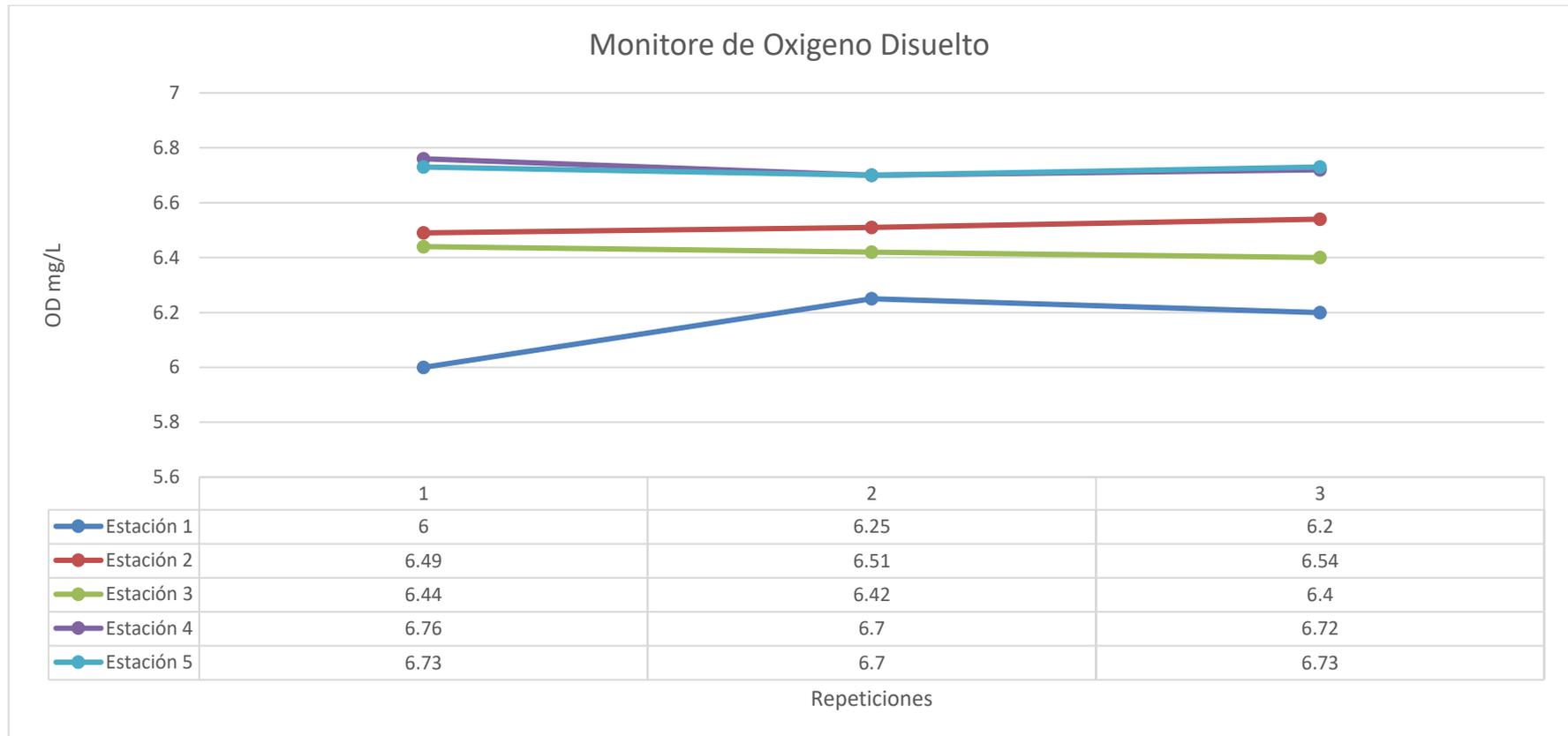


Fuente: Propia.

En la gráfica se aprecia el monitoreo de temperatura de las 5 estaciones tomadas en la laguna San Nicolás, verificándose poca variación en los datos recolectados en intervalos de 10 días.

Figura N° 19

Monitoreo de Oxígeno Disuelto

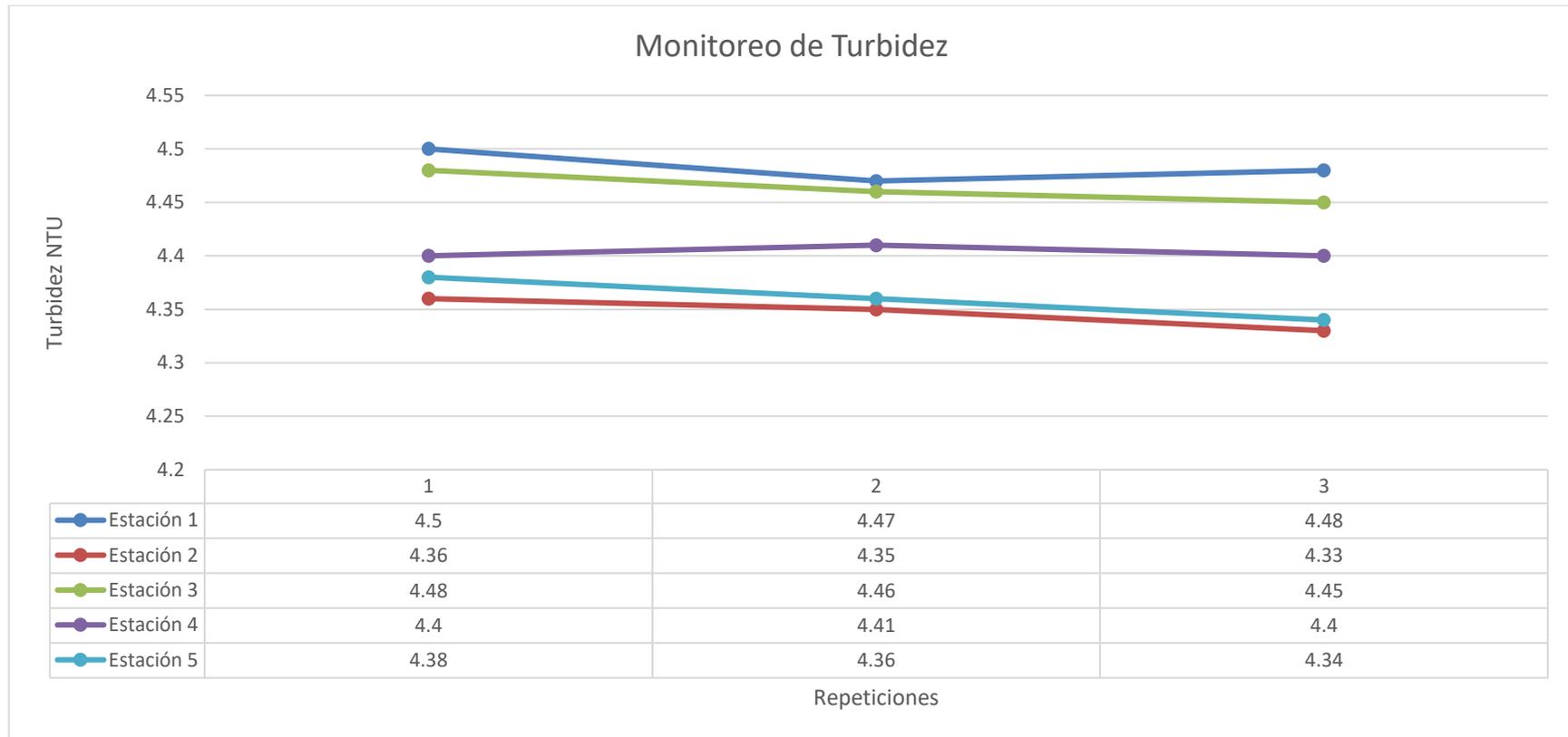


Fuente: Propia.

En la gráfica se aprecia el monitoreo de oxígeno disuelto de las 5 estaciones tomadas en la laguna San Nicolás, verificándose poca variación en los datos recolectados en intervalos de 10 días.

Figura N° 20

Monitoreo de Turbidez

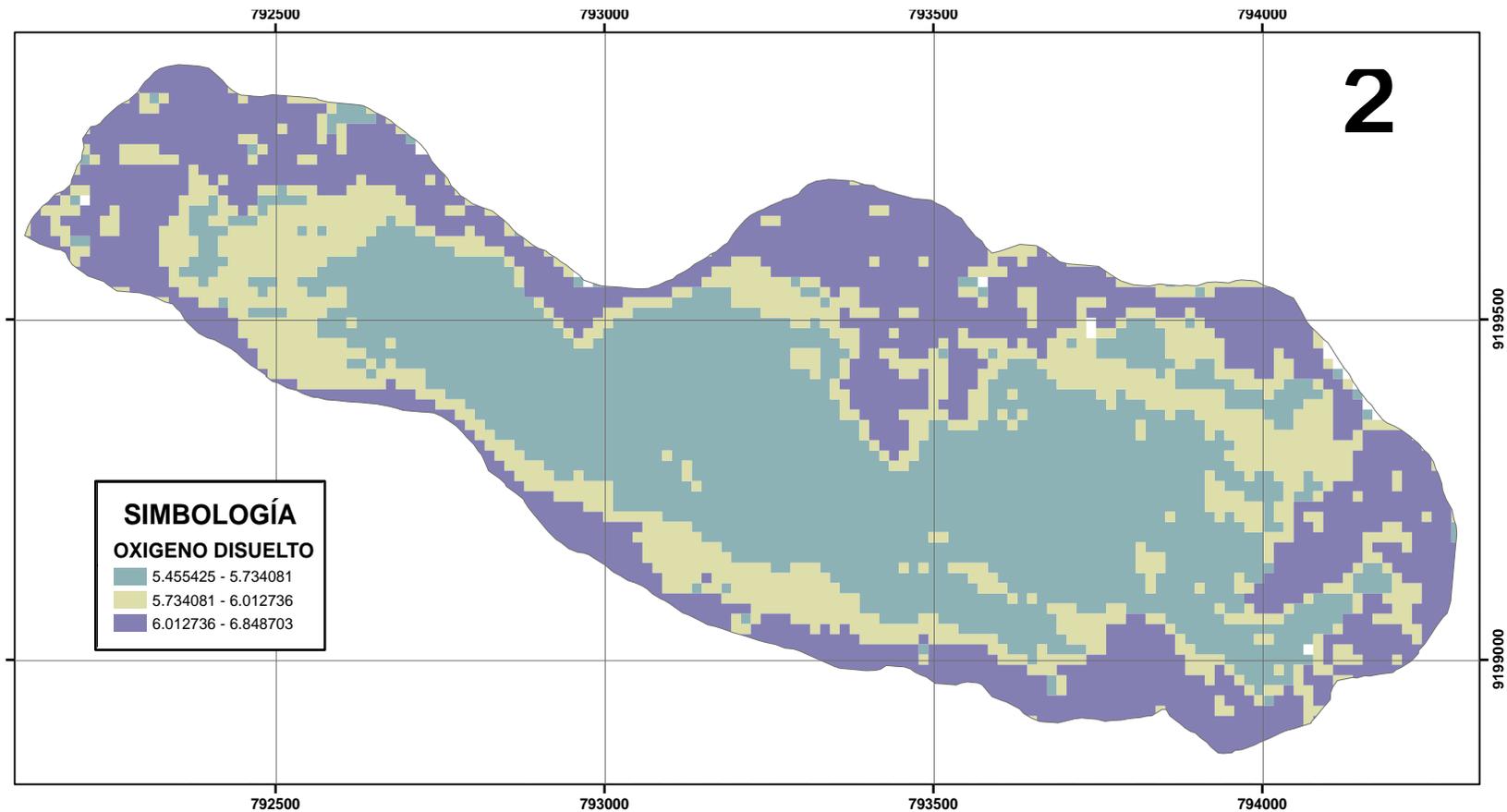


Fuente: Propia.

En la gráfica se aprecia el monitoreo de turbidez de las 5 estaciones tomadas en la laguna San Nicolás, verificándose poca variación en los datos recolectados en intervalos de 10 días.

Figura N° 21

Monitoreo Satelital de oxígeno disuelto en la Laguna San Nicolás

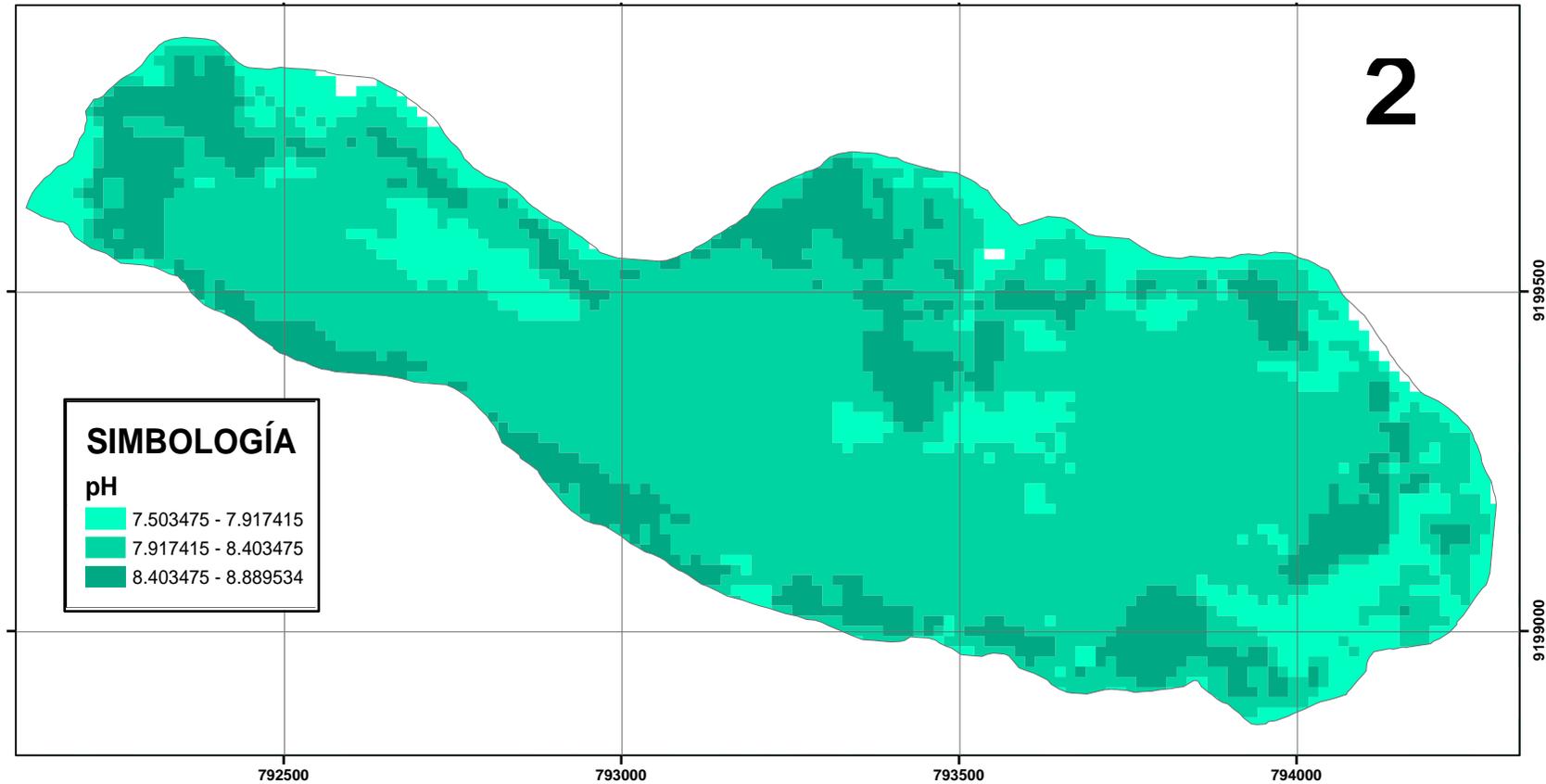


Fuente: Propia.

En la figura 21 se aprecia el resultado del análisis multiespectral de oxígeno disuelto utilizando la formula $OD = 8.64 - 7.06 \times \text{banda } 2$, en la cual se obtuvo valores de oxígeno disuelto de 5.45 a 6.85 mg/L, los resultados se presentan en falso color y en rangos asociados.

Figura N° 22

Monitoreo Satelital de pH en la Laguna San Nicolás

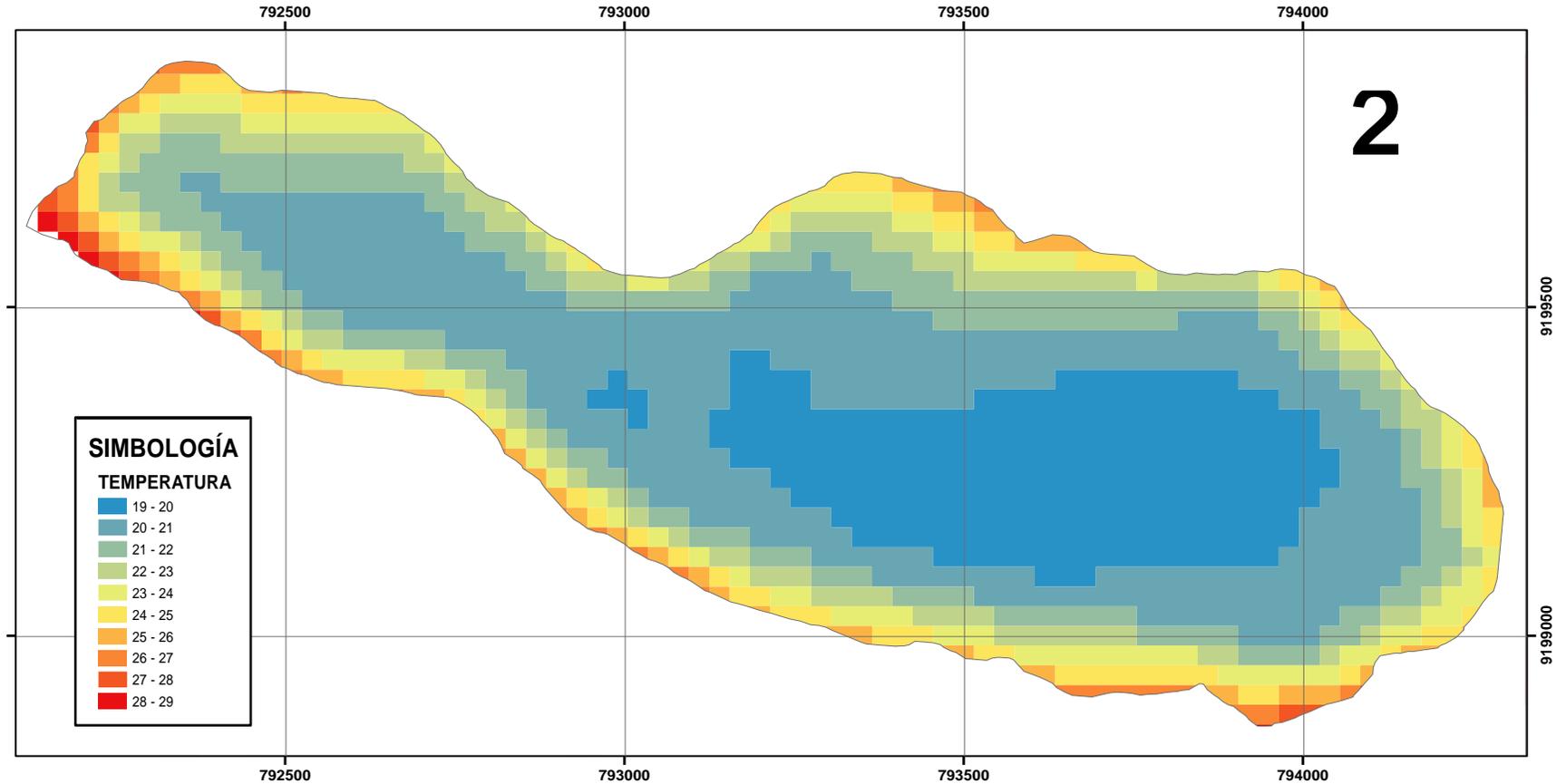


Fuente: Propia.

En la figura 22 se aprecia el resultado del análisis multiespectral de pH utilizando la formula $pH = 8.36 + 2.64 \times \text{banda } 2 - 3.96 \times \text{banda } 3 - 1.47 \times \text{banda } 4$, en la cual se obtuvo valores de 7.5 a 8.9 de pH. los resultados se presentan en falso color y en rangos asociados.

Figura N° 23

Monitoreo Satelital de temperatura en la Laguna San Nicolas

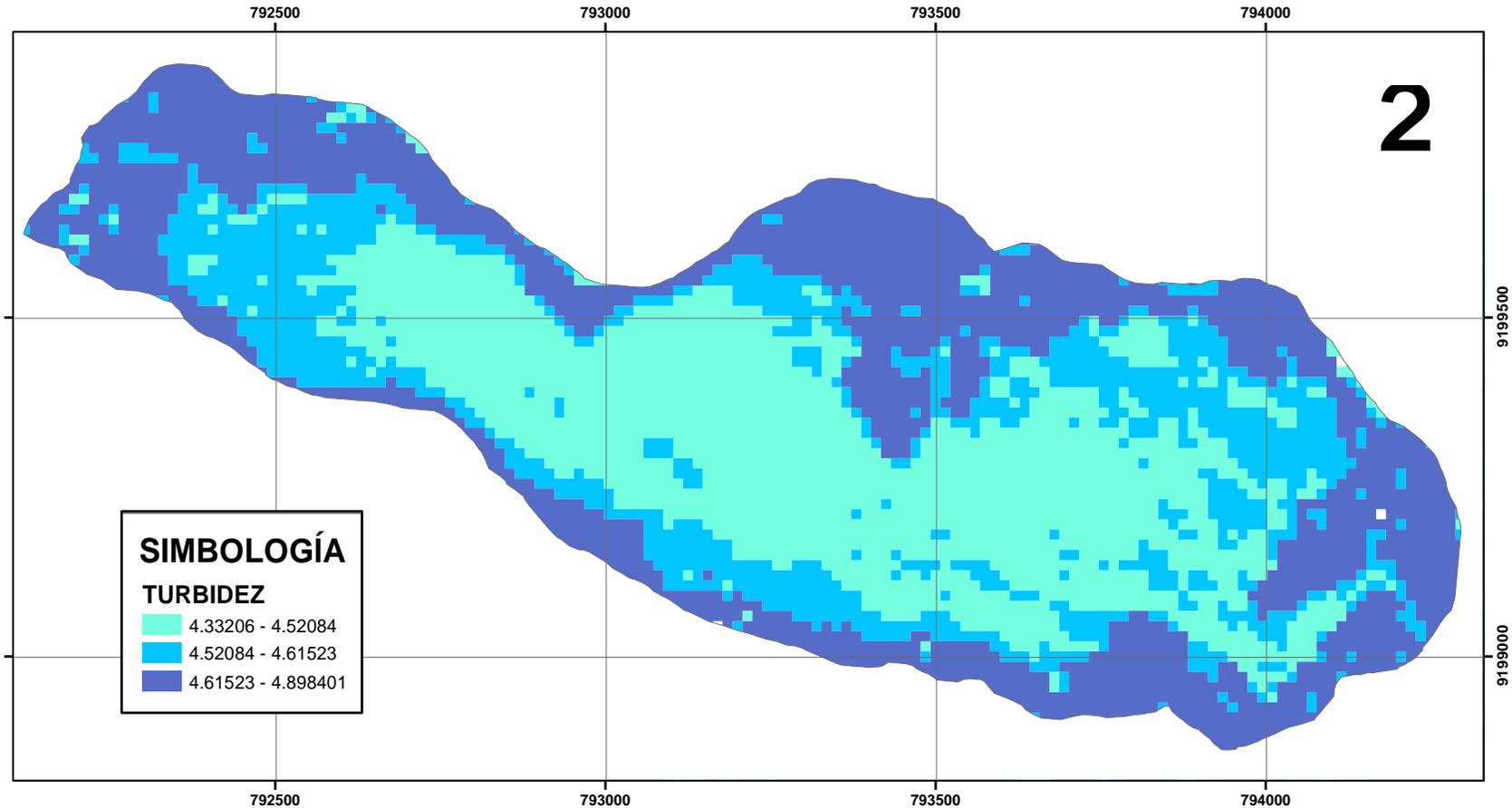


Fuente: Propia.

En la figura 23 se aprecia el resultado del análisis multiespectral de temperatura utilizando la formula $T = 13.6162 - 1.1781 \times \log(\text{banda } 7)$, en la cual se obtuvo valores de 19 a 29 °C. los resultados se presentan en falso color y en rangos asociados.

Figura N° 24

Monitoreo Satelital de turbidez en la Laguna San Nicolás

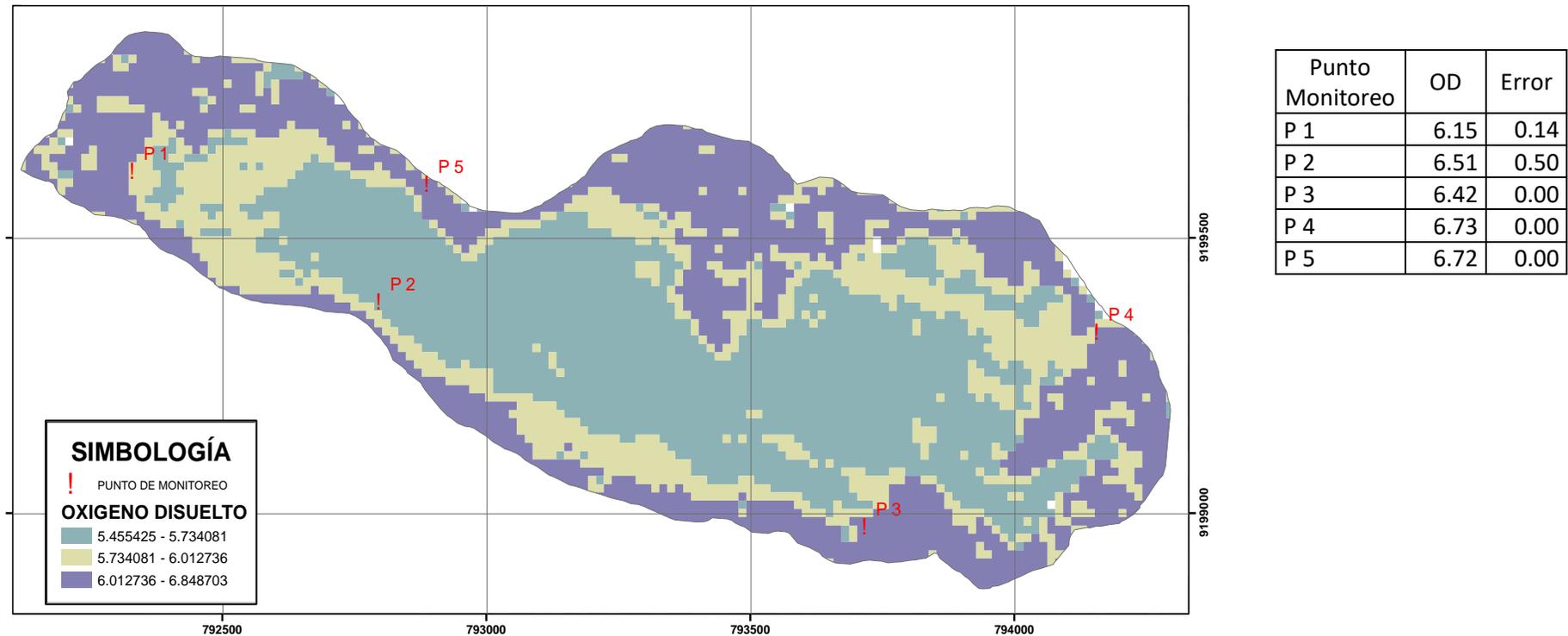


Fuente: Propia.

En la figura 24 se aprecia el resultado del análisis multiespectral de turbidez utilizando la formula $Turbidez = 0.96 - 1.25 \times \log(\text{banda } 1)$, en la cual se obtuvo valores de 4.3 a 4.9 NTU. los resultados se presentan en falso color y en rangos asociados.

Figura N° 25

Contrastación de Oxígeno disuelto obtenido de campo Vs análisis multiespectral

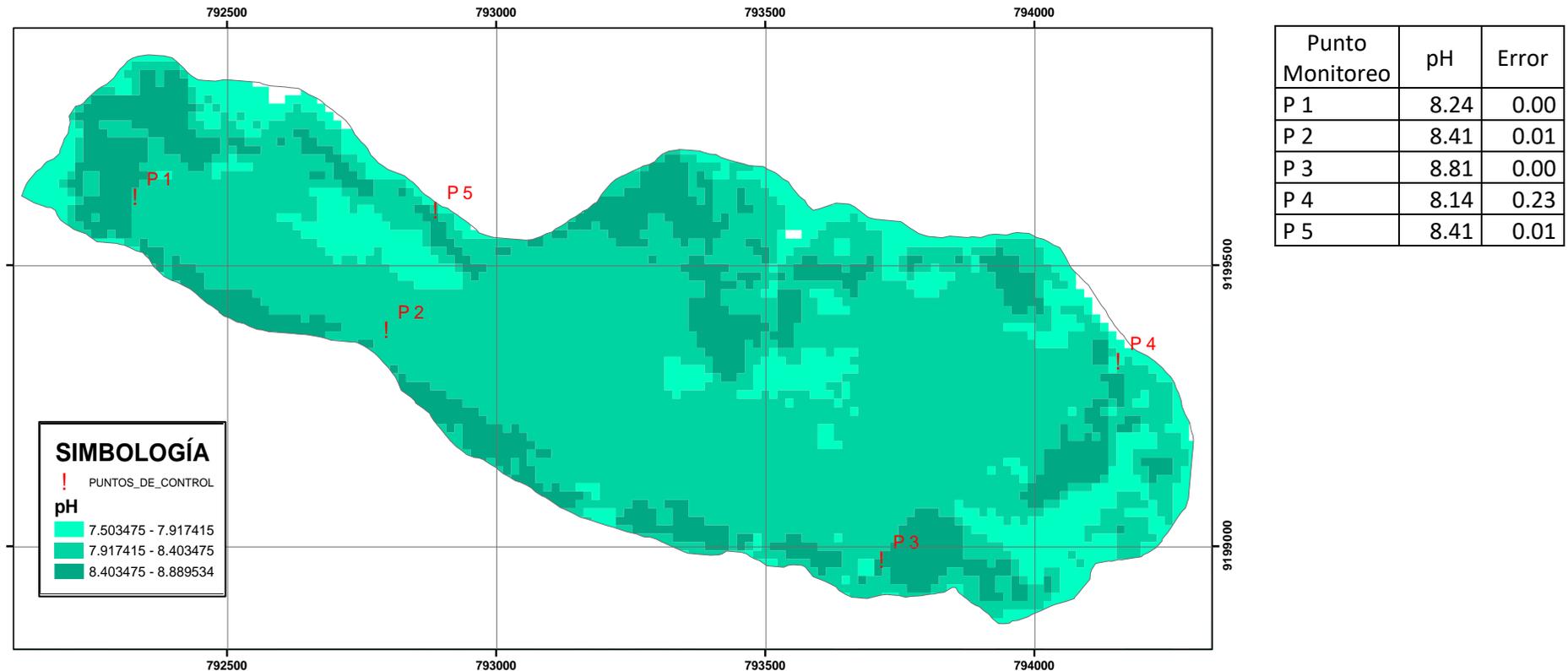


Fuente: Propia.

En la figura 25 se aprecia los resultados de monitoreo de campo vs los resultados obtenidos del análisis multiespectral para el parámetro fisicoquímico de oxígeno disuelto, verificándose que existe gran relación entre el cálculo matemático y los datos de campo, verificándose la utilidad de las técnicas satelitales para el monitoreo de oxígeno disuelto por su cercanía numérica, obteniéndose un error máximo de 0.5.

Figura N° 26

Contrastación de pH obtenido de campo vs análisis multiespectral

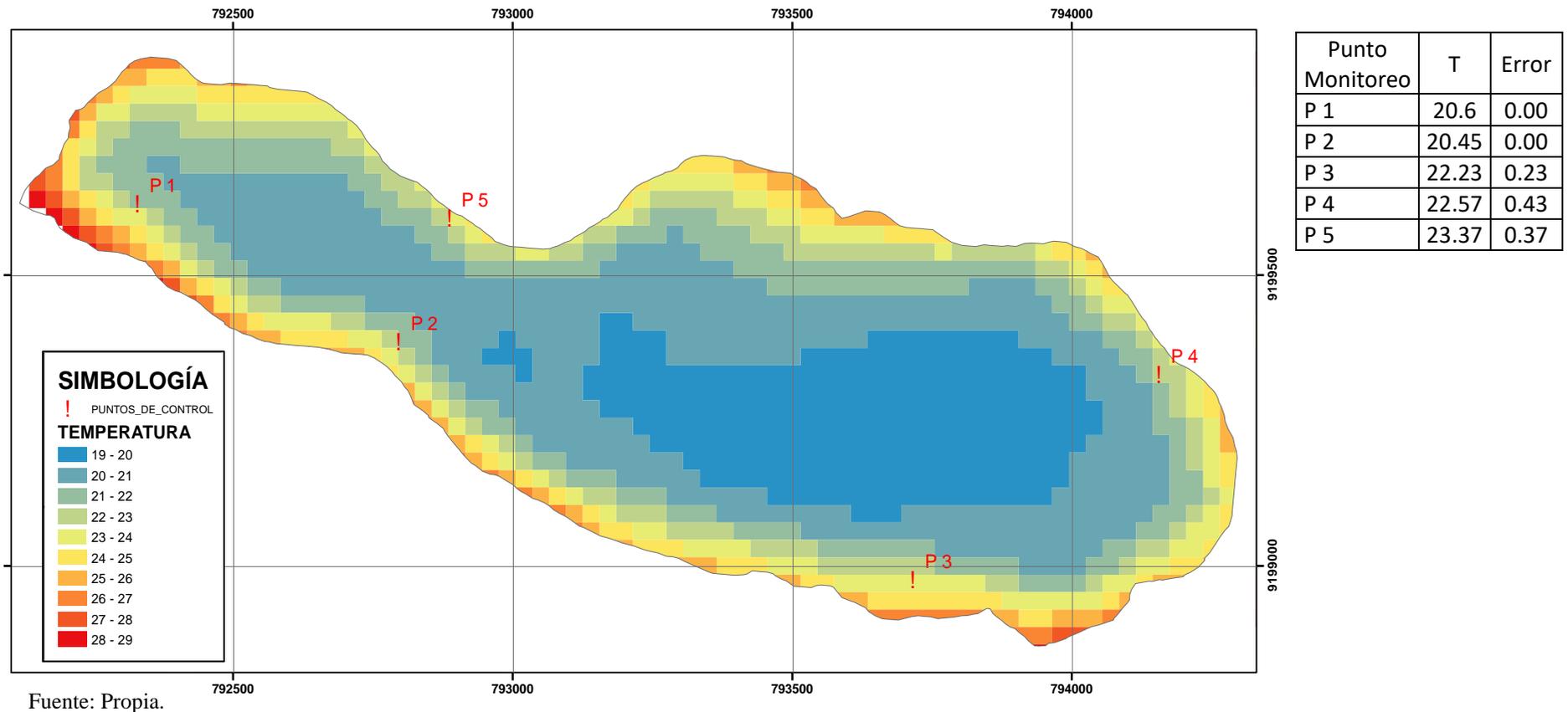


Fuente: Propia.

En la figura 26 se aprecia los resultados de monitoreo de campo vs los resultados obtenidos del análisis multiespectral para el parámetro fisicoquímico de pH, verificándose que existe gran relación entre el cálculo matemático y los datos de campo, verificándose la utilidad de las técnicas satelitales para el monitoreo de pH por su cercanía numérica. Obteniéndose un error máximo de 0.23.

Figura N° 27

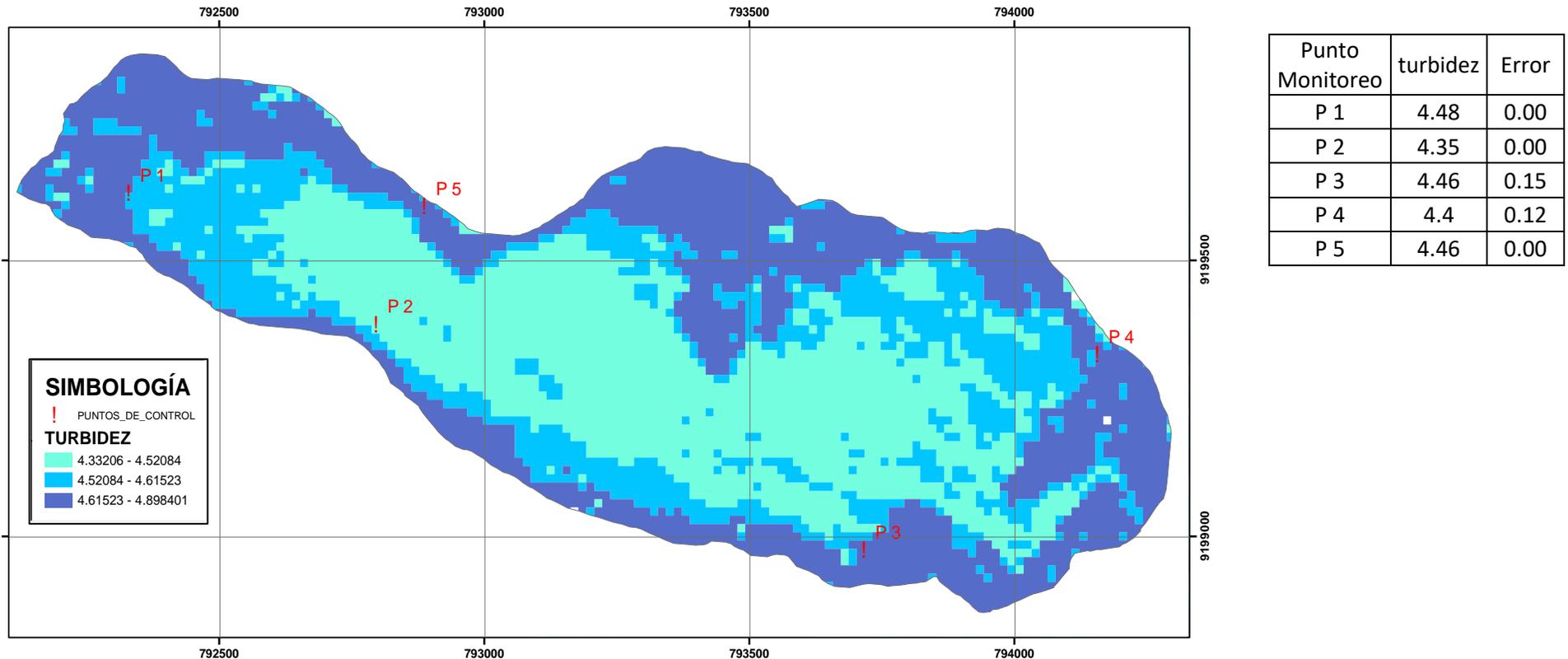
Contrastación de temperatura obtenida de campo Vs análisis multiespectral



En la figura 27 se aprecia los resultados de monitoreo de campo vs los resultados obtenidos del análisis multiespectral para el parámetro físico-químico de temperatura, verificándose que existe gran relación entre el cálculo matemático y los datos de campo, verificándose la utilidad de las técnicas satelitales para el monitoreo de pH por su cercanía numérica. Obteniéndose un error máximo de 0.43.

Figura N° 28

Contrastación de turbidez obtenida de campo Vs análisis multiespectral



Fuente: Propia.

En la figura 28 se aprecia los resultados de monitoreo de campo vs los resultados obtenidos del análisis multiespectral para el parámetro fisicoquímico de turbidez, verificándose que existe gran relación entre el cálculo matemático y los datos de campo, verificándose la utilidad de las técnicas satelitales para el monitoreo de pH por su cercanía numérica. Obteniéndose un error máximo de 0.15.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la siguiente investigación se verifica que a partir del análisis multiespectral por medio de fórmulas matemáticas de las bandas espectrales es posible obtener parámetros fisicoquímicos del agua, el análisis se realizó en la laguna San Nicolás mediante el uso de imágenes Landsat 8, los parámetros estimados fueron pH, OD, turbidez y temperatura. los resultados concuerdan con Perdomo (2015) quien realizó un estudio predictivo de parámetros físicos químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos, el cual fue desarrollado en el embalse del Neusa; y de los cuales con el uso de formulación matemática al igual que la presente investigación, fue posible estimar también los parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura y Oxígeno disuelto, de igual modo Quezada (2020) en su investigación realiza el monitoreo de parámetros físico-químicos utilizando imágenes satelitales obteniendo la correlación de resultados en campo y utilizando la teledetección, a diferencia de la presente investigación trabajó parámetros como: Carbono Orgánico Total (TOC), Índice de Permanganato (COD_{mn}) y Nitrógeno Amoniacal. El análisis de los datos mostró tener un coeficiente de correlación igual a uno es decir tienen una correlación perfecta con la reflectancia de la imagen. Concordando que existen variaciones de 0.1 a 0.5 de error que se podría mejorar conforme avance la resolución espacial de las imágenes satelitales.

Los valores de reflectancia a partir de la imagen satelital Landsat 8 están asociados a cada punto de muestreo en el cuerpo de agua de la laguna San Nicolás, la resolución de estas imágenes es de 15m es por ello que existe algunos datos que podrían presentar un margen de error en función a la ubicación espacial, estos valores

obtenidos están asociados a cada fórmula matemática que combina y juega a partir de los niveles de absorción y reflectancia, es por ello que concuerda con los valores de campo verificándose una variación de 0.1 a 0.5 en cada uno de los parámetros medidos verificándose así la importancia del uso de técnicas satelitales concordando con Martínez (2017) quien realizó un estudio sobre el interés de las técnicas de observación remota que lleva como título Monitorización de la calidad del agua en embalses, Llegando a la conclusión que este tipo de métodos pueden ser de gran interés para la monitorización continuada de embalses, lagunas y lagos en tiempo real.

Los modelos matemáticos utilizados funcionaron correctamente previa calibración y corrección de la imagen satelital, concordando con Perdomo (2015); quien enfatiza la importancia de una correcta calibración que permita obtener el valor real de absorción y reflectancia, para lo cual se puede afirmar que los modelos matemáticos para las bandas con las que se trabajó permiten la obtención de los valores de los parámetros fisicoquímicos y la reflectancia en el espectro electromagnético de los puntos de muestreo en el cuerpo de agua de la laguna San Nicolás.

Los valores que permitió predecir las imágenes satelitales, en función de las fórmulas matemáticas fueron:

Para el oxígeno disuelto valores de 5.45 a 6.85 mg/L.

Para el pH valores de 7.5 a 8.9

Para la temperatura valores de 19 a 29 °C

Para la turbidez valores de 4.3 a 4.9 NTU

Lo cual verifica la importancia y calidad de los datos obtenidos mediante el uso de técnicas satelitales concordando con Pérez (2011) quien realizó un estudio de aplicación de la teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG),

concluyendo en su estudio que las técnicas satelitales son de gran importancia porque son estudios que abarcan gran cantidad de zona procesada y el mínimo de tiempo, también se puede discutir que la precisión de los datos y el margen de error que se presenta es menor a medida que sea menor el tamaño de pixel, lo cual demuestra que el futuro de los monitoreos de cuerpos de agua podrá lograrse de manera automatizada a partir de técnicas satelitales, reduciéndose el margen de error conforme mejore la resolución espectral y espacial de las imágenes satelitales.

4.2 Conclusiones

Fui posible teledetectar espectralmente parámetros Físicoquímicos del agua de la laguna San Nicolás mediante el uso de imágenes Landsat 8, entre los parámetros calculados mediante el análisis espectral y contrastados en campo tenemos el pH, Temperatura, Turbidez y Oxígeno disuelto.

Los valores de reflectancia obtenidos a partir del análisis multiespectral usadas para el cálculo de los diferentes parámetros, se trabajaron en micrómetros y por medio de las fórmulas matemáticas aplicadas en las bandas, permitió obtener resultados en °C, mg/L, pH y NTU, estos resultados presentan un margen de error acorde al tamaño de pixel que compone la imagen satelital, es decir de 15 metros.

Se estableció los modelos matemáticos para el cálculo de los diferentes parámetros, y se contrastó con la toma de datos en campo, obteniéndose una variación de 0.1 a 0.5 aproximadamente en los valores de los parámetros recolectados, verificándose así la efectividad de la técnica satelital.

Los parámetros analizados mediante el análisis satelital varían de la siguiente forma, el oxígeno disuelto valores entre 5.45 a 6.85 mg/L ; pH valores entre 7.5 a 8.9; temperatura valores entre 19 a 29 °C; turbidez valores entre 4.3 a 4.9 NTU, estos valores obtenidos y contrastados en campo, dan nuevas luces al uso de la teledetección como herramienta limpia de monitoreo en tiempo real, siendo una herramienta que permite procesamiento de grandes zonas de estudio, minimiza costos y maximiza la comprensión de grandes cuerpo de agua.

REFERENCIAS

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- Aiman M. & Mohsen M. (2014). Statistical Estimation Of Rosetta Branch Water Quality Using Multi-Spectral Data. *Water Science* 28, 18-30.
- Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C. & Patten, D. (2006). Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, 26, pp. 465-474.
- Baruah, P. (2001). Nerunal Network Modeling of Lake Surface Chlorophyll and sediment content from landsat tm imagery. Conference on remote sensing 5 -9 november 2001 (págs. 5-11). Singapur: National University Singapur
- Bellido, J. (2019). Análisis espacio-temporal del comportamiento de la clorofila a mediante imágenes satelitales en la represa Aguada Blanca para el año 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Bravo, N. (2017). Teledetección espacial Landsat, Sentinel 2, Aster L1T y Modis. Iquitos, Perú: Copyright
- Bridgham, S; Megonigal, J; Keller, J; Bliss, N; & Trettin, C. (2006). The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*, 26, pp. 889–916.
- Cabello, J. & Paruelo, J. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* 17 (3), pp. 1-3.
- Callisaya, D. (2018). Análisis de la clorofila-a en el agua con técnicas de teledetección en lago Titicaca (Lago Menor). *Revista carrera de Ingeniería Agronómica-UMSA*, 4(3), 1250-1262.

- Calera, B. (2003). Principios Físicos En la Percepción Remota. En I. d. Albacete, Teledetección y Desarrollo Rural (pág. 32). Albacete, España: Universidad Castilla La Mancha.
- Canada Centre For Remote Sensing. (2008). Fundamentals Of Remoting Sensing. Montreal, Canada: Canada Centre For Remote Sensing.
- Canepuccia, A; Isacch, J; Gagliardini, D; Escalante, A & Iribarne, O. (2007). Waterbird response to changes in habitat area and diversity generated by rainfall in a SW Atlantic coastal lagoon. *Waterbirds*, 30, pp. 541–553.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección Ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. Barcelona: ARIEL.
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Ariel.
- De La Hoz, C., & Gotilla, C. (2009). modelo para la predicción de parámetros de calidad del agua del lago de Valencia utilizando imágenes de satélite. teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección (págs. 113-116). Cataluña: Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos.
- Fabregat, V. (1999). Fundamentos teóricos del control de las extracciones mediante teledetección. En: Ballester, A., Fernández, J.A., López, J.A (ed). *Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea*, pp. 89-104.
- García, M. & Pérez, M. (1999). Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo). *Revista de Teledetección*, 11, pp. 13-22.

- García, M ; Pérez, M. & Sanz, J. (2006). Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM). Estudios Geográficos, LXVII, 260, enero-junio, pp. 57-78.
- Gómez, J. & Dalence, J. (2014). Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá (Colombia). XVI SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER 2014 (págs. 1-20). Medellín, Colombia: SELPER.
- Karakaya, N. (2011). Monitoring Of Lake Water Quality Along With Trophic Gradient Using Landsat Data. International Journal Sciencies No 8 , 817-822.
- La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) (2015). Landsat 8 Science Data Users Handbook.
- Inca, G. Potencialidades turísticas de la laguna San Nicolás y sus alrededores, para el desarrollo turístico del distrito de Namora, provincia y departamento de Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú
- Muray, S. (1993). Remote sensing note. Tokyo, Japan: JARS.
- Martínez, I. (2017). Monitorización de la calidad del agua en embalses mediante técnicas de observación remota (Tesis de pregrado). Universidad de Cantabria, España.
- Peguero, C. (2016). Sensores remotos y aplicaciones en teledetección. Perú: SAMBA
- Perdomo, A. (2015). Predicción de parámetros físicos químicos de calidad del agua mediante el uso de sensores remotos: caso de estudio embalse del Neusa (Tesis de maestría). Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogota, Colombia.
- Pérez, M. (2011). Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda (Tesis de maestría). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

- Pérez, M & García, M. (2001). Comparación de imágenes TM y ETM para analizar los cambios en la gestión del agua y el uso del suelo en La Mancha Húmeda (Provincias de Toledo y Ciudad Real). *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, pp. 326-329.
- Pérez, G. (2009). Desarrollo de la Limnología en Colombia: Cuatro décadas de avances progresivos. *Actual Biol*, 31(91), 227-237.
- Perez, P. (2000). Calidad del Agua. En U. N. Manizales, *Fundamentos Sobre Química Ambiental del Agua* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Sede Manizales. Manizales, Colombia.
- Quezada, M (2020). Uso de imágenes satelitales para determinar los parámetros de calidad del agua en los ríos amazónicos Neshuya y Aguaytía – Perú (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Richards, J. & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin, Germany: Springer.
- Romero, J. (2009). *Calidad del agua*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Samaniego, L. (2017). *Procesamiento digital de imágenes de satélite con el Envi*. Perú: PDI CON ENVI.
- Sepúlveda, R. (2011). *Diseño de modelos de calidad de agua mediante el uso de la percepción remota* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS. (2013). *Misiones Landsat*. Recuperado de: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>.

ANEXOS

ANEXO N°1: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



KOSSOMET
KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 006



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

N° PH20-C-0025

Cliente:	CHAVEZ CUENCA HERNAN JOSELITO	<p>Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
<small>Customer</small>		
Dirección:	Jr. Mariano Iberico Mza. M Lote 20 Urb. Horacio Zevallos (Cajamarca/Cajamarca/Cajamarca)	
<small>Address</small>		
Instrumento de Medición:	MULTIPARÁMETRO (Medidor de pH)	
<small>Measuring Instrument</small>		
Marca:	WTW	
<small>Brand</small>		
Modelo:	pHCond 340i	
<small>Model</small>		
Número de serie:	11180222	
<small>Serial Number</small>		
Identificación:	No indica	
<small>Identification</small>		
Lugar de Calibración:	Laboratorio de Físico-Químico de KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.	
<small>Place of Calibration</small>		
Orden de Trabajo:	OT-02000181	
<small>Work Order</small>		
Fecha de Calibración:	2020-01-30	
<small>Date of Calibration</small>		
Fecha de Emisión:	2020-02-04	
<small>Date of Issue</small>		

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL OBJETO CALIBRADO
Technical specifications of the calibrated object

Intervalo de indicación:	-2,00 pH a 19,00 pH	Modelo de Electrodo:	SenTix41
<small>Indication Interval</small>		<small>Electrode model</small>	
Resolución:	0,01 pH	Serie del Electrodo:	B162503014
<small>Resolution</small>		<small>Electrode serial</small>	
Exactitud:	± 0,03 pH	Código del Electrodo:	No indica
<small>Accuracy</small>		<small>Electrode Code</small>	

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
Calibration Method

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados; siguiendo el procedimiento, PC-020 "Procedimiento para la Calibración de Medidores de pH", Segunda edición de la DM-INACAL.

Calibration was performed by comparison the indication of the instrument with assigned values to reference materials Certified pH, following the procedure, the PC-020 "Calibration Procedure for pH Meters", Second edition of the DM-INACAL.



Gerente Administrativo
Administrative Manager



Ernesto Rodríguez Morán

Jefe de Laboratorio
Laboratory Boss



Olga Toro Sayas

FO-LAB-2-3 Versión: 2 Aprobado el 2019-12-19 Página 1 de 4

Prohíbe la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo Metrología S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo Metrología S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature

Dirección: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ 51-1) 619-8400 | Anexo Ventas: 1414 | Anexo Laboratorio: 1406 | E-mail: metrologia@kossomet.com | www.kossomet.com

PATRONES UTILIZADOS

Standards Used

Nombre del patrón Standard name	Código de patrón Standard code	N° de Certificado Certificate number	Trazabilidad Traceability
Solución standard de valor nominal pH 4 <i>Standard solution with nominal value of pH 4</i>	PT-SB04-89	Material de referencia del NIST N° 4280-10594164	Soluciones estándar con incertidumbres de pH 0,011
Solución standard de valor nominal pH 7 <i>Standard solution with nominal value of pH 7</i>	PT-SB07-92	Material de referencia del NIST N° 4281-10578064	Soluciones estándar con incertidumbres de pH 0,011
Solución standard de valor nominal pH 10 <i>Standard solution with nominal value of pH 10</i>	PT-SB10-83	Material de referencia del NIST N° 4282-10802355	Soluciones estándar con incertidumbres de pH 0,011
Termómetro digital <i>Digital thermometer</i>	PT-TDIG-03	Patrones de referencia del DM-INACAL N° LT-174-2019	Indicador digital con incertidumbre de orden máximo 0,0302
Termohigrómetro <i>Thermo-hygrometer</i>	IM-THIG-19	Patrones de referencia de LO JUSTO SAC N° T-2876-2019	Indicador digital con incertidumbre de orden máximo 0,3 °C; 2,8 %

CONDICIONES AMBIENTALES

Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: <i>Initial temperature</i>	23,5 °C	Humedad Relativa inicial: <i>Initial relative humidity</i>	62,8 %
Temperatura ambiente final: <i>Final temperature</i>	23,4 °C	Humedad Relativa final: <i>Final relative humidity</i>	63,4 %

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE A 25 °C

Results before adjust to 25 °C

Previo al ajuste del instrumento se encontró el siguiente resultado para el valor de pH.

Before the adjust of the instrument, it was found the following result for the pH value.

Valor de Referencia <i>Reference value</i>	Error <i>Error</i>
pH	pH
4,01	0,08
6,99	0,01
10,01	-0,10

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN A 25 °C

Calibration results to 25 °C

Lectura del Instrumento <i>Instrument Reading</i>	Valor Certificado <i>Certified Value</i>	Error <i>Error</i>	Incertidumbre <i>Uncertainty</i>
pH	pH	pH	pH
4,01	4,01	0,00	0,02
7,00	6,99	0,00	0,02
10,00	10,01	-0,01	0,02

Los resultados de pH están dados a la temperatura de 25 °C
pH results are given to the temperature of 25 °C.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Measurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combined Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor $k=2$. This value has been calculated for a confidence level of about 95 %.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 006



N° PH20-C-0025

OBSERVACIONES

Comments

El instrumento se ajustó con soluciones estándar de pH 4 y pH 7.
The instrument was adjusted with standard buffer solutions of pH 4 and pH 7.

El instrumento tiene sensor de temperatura incorporado.
The instrument has built-in temperature sensor.

El intervalo de trabajo del electrodo es de 0,00 pH a 14,00 pH; según manual del fabricante.
The working range of the electrode is 0.00 pH to 14.00 pH. According to the manufacturer's manual.

NOTAS

Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.
The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO METROLOGIA S.A.C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Los resultados declarados en el presente documento se relacionan solamente con el ítem sometido a calibración indicado en la página 1 de este documento.
The results declared in this document relate only to the item undergoing calibration indicated on page 1 of this document.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.
A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.
The version in english of this document is not a binding translation. If any contrary arises, the original version in spanish must be considered.

FO-LAB-2-3

Versión: 2

Aprobado el 2019-12-19

Página 3 de 4

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo Metrología S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo Metrologia S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature

Dirección: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ 51-1) 619-8400 | Anexo Ventas: 1414 | Anexo Laboratorio: 1406 | E-mail: metrologia@kossomet.com | www.kossomet.com



N° CE20-0012

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Measurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combined Standard Uncertainty of Measurement, multiplied by the coverage factor $k=2$. This value has been calculated for a confidence level of about 95 %.

OBSERVACIONES

Comments

El instrumento se ajustó con solución estándar 1413 $\mu\text{Si/cm}$.

The instrument was adjusted with a standard solution 1413 $\mu\text{Si/cm}$.

El instrumento tiene sensor de temperatura incorporado

The instrument has built-in temperature sensor.

NOTAS

Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

The results indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Los resultados declarados en el presente documento se relacionan solamente con el ítem sometido a calibración indicado en la página 1 de este documento.

The results declared in this document relate only to the item undergoing calibration indicated on page 1 of this document.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un periodo de por lo menos 4 años.

A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

() Code indicated on a label attached to the instrument.*

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.

The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

PATRONES UTILIZADOS

Standards Used

Nombre del patrón <i>Standard name</i>	Código de patrón <i>Standard code</i>	N° de Certificado <i>Certificate number</i>	Trazabilidad <i>Traceability</i>
Solución standard de conductividad a 10 µS/cm <i>Conductivity standard solution of 10 µS/cm</i>	PT-SC10-42	4175-10575219	Patrones de referencia del NIST
Solución standard de conductividad a 84 µS/cm <i>Conductivity standard solution of 84 µS/cm</i>	PT-SC84-63	N° 09K82	Patrones de referencia del NIST
Solución standard de conductividad a 1413 µS/cm <i>Conductivity standard solution of 1413 µS/cm</i>	PT-SC1413-61	N° 14A93	Patrones de referencia del NIST
Termómetro digital <i>Digital thermometer</i>	PT-TDIG-03	LT-174-2019	Patrones de referencia del DM-INACAL

CONDICIONES AMBIENTALES

Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: <i>Initial temperature</i>	22,4 °C	Humedad Relativa inicial: <i>Initial relative humidity</i>	65,6 %
Temperatura ambiente final: <i>Final temperature</i>	22,4 °C	Humedad Relativa final: <i>Final relative humidity</i>	64,9 %

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE A 25 °C

Results before adjust to 25 °C

Previo al ajuste del instrumento se encontró el siguiente resultado para el valor de conductividad.

Before the adjust of the instrument, it was found the following result for the conductivity value.

Valor Nominal <i>Nominal value</i>	Error <i>Error</i>
µS/cm	µS/cm
9,29	-9,29
84	-84
1413	-83

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE LA ESCALA DEL INSTRUMENTO

Calibration results of the instrument scale

Valor Certificado <i>Certified Value</i>	Lectura del conductímetro <i>Reading of the conductimeter</i>	Error <i>Error</i>	Incertidumbre <i>Uncertainty</i>
µS/cm	µS/cm	µS/cm	µS/cm
9,3	9	-0,3	0,8
84	87	3	1
1413	1413	0	8

ANEXO N°2: ÁLBUN FOTOGRÁFICO

Figura N° 29

Toma de coordenadas de estación de muestreo 2



Figura N° 30

Uso de equipo multiparámetros



Figura N° 31

Toma de coordenadas en punto de monitoreo 2



Figura N° 32

Toma de muestra en punto de monitoreo 2 – utilizando brazo muestreador



Figura N° 33

Lectura de parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo 1



Figura N° 34

Lectura de parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo 5



ANEXO N°3: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 10

Instrumento de registro de identificación de punto de muestreo – Anexo 4

Anexo IV. Registro de identificación del punto de monitoreo			
Nombre del cuerpo de agua	San Nicolás		
Clasificación del cuerpo de agua	Laguna		
Código y Nombre de la cuenca o del cuerpo marino o costero - código	Cuenca del río Cajamarquino		
Identificación Del Punto:			
Código del punto de monitoreo	LSN1,LSN2,LSN3,LSN4,LSN5		
Descripción: (Origen / Ubicación)	Namora-Laguna San Nicolás		
Accesibilidad:	Carretera de Cajamarca a Namora, trocha carrozable a San Nicolás		
Representatividad:	Muestra directa		
Finalidad del monitoreo:	Parámetros fisicoquímicos		
Reconocimiento del entorno:	Aguas cristalinas, vegetación abundante, presencia de totora en los bordes de la laguna.		
Ubicación			
Distrito	Provincia	Departamento	
Namora	Cajamarca	Cajamarca	
Localidad:	Chilacat		
Coordenadas (WGS 84)	Sistema de coordenadas		Proyección UTM Geográficas
Norte/Latitud	9198812	Zona	17,18,19; para UTM solamente (metros sobre el nivel del mar)
Este/Longitud	792097	Altitud	
Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo (referencia)	Archivo fotográfico en anexos		
Elaborado por: Indira y Edwar _____		Fecha: _____10/03/2021_____	

Fuente: ANA (2018)

Tabla 11

Instrumento de recolección de datos en campo - Anexo 1

Anexo I. Registro de datos en campo

Cuenca: Río Cajamarquino

Realizado por: Indira P.; Edwar Z.

AAA/LA: San Nicolás

Responsable: Edwar Z.

Punto de monitoreo	Descripción Origen Ubicación	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas		Altura msnm	Fecha	Hora	pH	T °C	OD mg/L	Turbidez
						Norte/Sur	Este/Oeste							
Laguna San Nicolás	P1	Chilacat	Namora	Cajamarca	Cajamarca	9199610	792230	2794	10/03	11:30	8.31	20.4	6.20	4.48
Laguna San Nicolás	P2	Chilacat	Namora	Cajamarca	Cajamarca	9199350	792735	2795	10/03	11:40	8.40	20.5	6.54	4.33
Laguna San Nicolás	P3	Chilacat	Namora	Cajamarca	Cajamarca	9198970	793680	2794	10/03	12:00	8.79	22.3	6.40	4.45
Laguna San Nicolás	P4	Chilacat	Namora	Cajamarca	Cajamarca	9199320	794150	2795	10/03	11:50	8.12	22.4	6.72	4.40
Laguna San Nicolás	P5	Chilacat	Namora	Cajamarca	Cajamarca	9199610	792880	2814	10/03	12:15	8.42	23.5	6.73	4.34

Fuente: ANA (2018)