



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ingeniería Agrícola
Programa de Magíster en Ingeniería Agrícola.

Estimación de parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena usando imágenes satelitales.

Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería Agrícola con
mención en Recursos Hídricos.

DANIELA CARINA RIVERA RUIZ
CHILLÁN-CHILE
2020

Profesor Guía: José Luis Arumí Ribera
Dpto. de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola
Universidad de Concepción

Esta tesis ha sido realizada en el Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.

Profesor Guía

Dr. José Luis Arumí Ribera
Facultad de Ingeniería Agrícola
Universidad de Concepción

Evaluador Interno

Dr. Luis Octavio Lagos Roa
Facultad de Ingeniería Agrícola
Universidad de Concepción

Evaluador Externo

Dra. Patricia Arancibia Ávila
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad del Bío-Bío

Director del Programa

Dr. Javier Ferrer Valenzuela
Facultad de Ingeniería Agrícola
Universidad de Concepción



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia: a mis padres Jaime Rivera e Hilda Ruiz, mis hermanos Hilda Rivera y Luis Alberto Benítez, mi sobrino regalón Christian, y a mis abuelitos que están en el cielo, quienes apoyan y me animan para continuar mi viaje en el mundo de la investigación.

Quiero agradecer al tremendo equipo que se formó para desarrollar esta tesis. Primero a mi profesor guía: José Luis Arumí, quien me ha dejado muchas enseñanzas, ha apoyado todas mis ideas locas, y me ha dado una mayor confianza para desarrollar mis ideas. A Christopher Ruybal, quien me introdujo al mundo de las imágenes satelitales, a Carlos Cea, por acompañarme a las campañas de terreno, a Patricia Arancibia, quien me acogió en el Laboratorio en la Universidad del Bío-Bío, a Octavio Lagos, quien me asesoró y me salvó tras mis llamadas de SOS, y finalmente, al profesor Javier Ferrer, por todas sus gestiones como Director del Programa de Magister de Ingeniería Agrícola. Estoy muy agradecida de todo el apoyo que cada uno de ustedes me brindaron durante todo este tiempo. Espero poder continuar trabajando con este equipo maravilloso.

También agradezco haber conocido a tantas personas lindas en la facultad, donde se formaron nuevas amistades. También a todos aquellos que me ofrecieron una mano cuando estaba perdida: Karien, Marcelo y Lorenzo, muchas gracias. Y a mis amigos del alma y de toda la vida, quienes también me alentaron cuando los días se veían grises.

Finalmente, quiero agradecer al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM) con el proyecto ANID/Fondap/15130015, por haberme otorgado una Beca de Magister para dedicarme al proyecto de tesis, y el apoyo que brindaron para participar en Congresos Nacionales. Asimismo, agradezco a la Dirección de Postgrado de la Universidad de Concepción, quienes me otorgaron una Beca de Arancel de Magister y por la oportunidad de hacer ayudantías en Aguas Subterráneas e Hidrología.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVO GENERAL	6
2.1 Objetivos específicos	6
3 METODOLOGÍA	7
3.1 Área de estudio.....	7
3.2 Campaña de terreno	8
3.3 Procesamiento de datos	10
3.4 Estimación de parámetros de calidad de agua	13
3.4.1 Algoritmos pre-existentes	14
3.4.2 Desarrollo de algoritmos.....	20
3.5 Análisis y validación de datos	21
3.6 Serie espacial y temporal.....	22
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 Calidad de agua.....	23
4.2 Análisis de algoritmos	30
4.2.1 Algoritmos pre-existentes	34
4.2.2 Modelos de calidad de agua.....	35
4.2.3 Serie espacio-temporal.....	40
5 CONCLUSIONES	48
6 REFERENCIAS	51
7 ANEXOS	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Laguna Santa Elena en la zona centro-sur de Chile.	8
Figura 2. Distribución de parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena según punto de monitoreo para a) clorofila-a, b) turbiedad, c) transparencia y d) temperatura superficial.	27
Figura 3. Distribución de pH y clase de la Laguna Santa Elena según punto de monitoreo.	28
Figura 4. Distribución del índice de estado trófico de Carlson en la Laguna Santa Elena según punto de monitoreo.	29
Figura 5. Distribución del estado trófico de la Laguna Santa Elena para a) clorofila-a y b) transparencia según la escala de Smith.	30
Figura 6. Índice de aerosol para humo proveniente de los incendios forestales de Australia. Valores mayores a 10 (color amarillo) indican mayor elevación de partículas o humo.	31
Figura 7. Condiciones ambientales en la Laguna Santa Elena (A) el día 9 de diciembre, 2019, y (B) el día 10 de enero, 2020 donde se registra la presencia de humo y cenizas debido a incendios forestales locales.	32
Figura 8. <i>Ceratophyllum demersum</i> reconocida como la vegetación sumergida encontrada en la Laguna Santa Elena registrada el 18 de enero, 2020 (A) muestra la cercanía de esta planta a la superficie del agua, y (B) muestra una vista por encima de las plantas.	33
Figura 9. Serie temporal de temperatura superficial a) adquirida a partir de las imágenes de Landsat 8 OLI en los distintos puntos de muestreo y b) promedio de temperatura superficial para datos de Landsat 8 OLI y datos observados durante campañas de terreno.	41
Figura 10. Selección de algoritmos para generar la serie espacio-temporal. a), y b) corresponden al modelo calibrado y a los datos validados para clorofila-a, respectivamente, mientras que c) es el modelo calibrado y d) validado para turbidez.	42
Figura 11. Serie espacio-temporal de la concentración de clorofila-a (μgL^{-1}) estimada a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI.	43
Figura 12. Serie espacio-temporal de la turbidez (FNU) en la Laguna Santa Elena estimada a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI.	44
Figura 13. Serie espacio-temporal del estado trófico de Carlson en la Laguna Santa Elena estimada a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI.	45

Figura 14. Serie espacio- temporal del estado trófico de Smith de la Laguna Santa Elena utilizando imágenes Sentinel 2 MSI, donde 1: oligotrófico; 2: mesotrófico; 3: eutrófico; 4: hipertrófico. 46

Figura 15. Serie espacio-temporal de la temperatura superficial (°C) de Laguna Santa Elena utilizando Landsat 8 OLI..... 47



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica de los seis puntos de monitoreo y toma de muestras de agua utilizados en este estudio.	9
Tabla 2. Fecha del paso de los satélites, e identificación de trayectorias y filas seleccionadas para el procesamiento de imágenes satelitales de Landsat 8 OLI y ruta para Sentinel 2 MSI.	12
Tabla 3. Índices utilizados para Landsat 8 OLI para generar algoritmos de regresión lineal simple para estimar clorofila-a, turbiedad y transparencia.	15
Tabla 4. Índices para Sentinel 2 MSI utilizados para generar algoritmos de regresión lineal simple para estimar clorofila-a, turbiedad y transparencia.	15
Tabla 5. Algoritmos pre-existentes para la determinación de clorofila-a utilizados para Sentinel 2 MSI.	17
Tabla 6. Rango de valores del índice de estado trófico de Carlson (1977) y descripción de cada estado.	18
Tabla 7. Rango de valores de cada parámetro de calidad de agua para determinar el estado trófico según Smith et al. (1999).	19
Tabla 8. Rango de valores para pH según la NSCA y descripción de las distintas clases de calidad de aguas.	20
Tabla 9. Valores máximos, mínimos, promedios y desviaciones estándar para los parámetros de calidad de agua obtenidos durante las campañas de terreno entre el 15 de noviembre y el 27 de febrero en la Laguna Santa Elena.	24
Tabla 10. Resultados de los algoritmos pre-existentes evaluados para la estimación de clorofila-a, turbiedad y transparencia utilizando Sentinel 2 MSI.	35
Tabla 11. Algoritmos desarrollados con Landsat 8 OLI mediante regresión lineal simple y múltiple para clorofila-a (chl _a) y turbidez (TURB).	37
Tabla 12. Algoritmos desarrollados con Sentinel 2 MSI mediante regresión lineal simple y múltiple para clorofila-a (chl _a), turbidez (TURB), transparencia (SD).	39

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue determinar parámetros de calidad de agua de la Laguna Santa Elena, basado en el procesamiento de imágenes satelitales como apoyo para la evaluación y monitoreo espacio temporal de ecosistemas. Para ello se evaluaron modelos pre-existentes y se desarrollaron modelos empíricos utilizando la reflectancia de teledetección de los sensores de Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI con la corrección atmosférica MAIN y datos *in situ*. Se generaron modelos para estimar clorofila-a, turbiedad y transparencia. Los modelos con las mejores correlaciones (clorofila-a: $R^2 = 0.853$ y $RMSE = 0.503 \mu\text{gL}^{-1}$; turbiedad: $R^2 = 0.578$ y $RMSE = 0.960 \text{ FNU}$), y estimaciones de temperatura superficial y trofia fueron utilizados para generar series espacio-temporales de la Laguna Santa Elena, logrando visualizar la dinámica del ecosistema para la época estival. En general la laguna presenta poca variabilidad de los parámetros analizados. Sin embargo, se identifica claramente un sector con problemas de calidad de agua, indicando valores elevados para todos los parámetros. La laguna es eutrófica, lo que indica la necesidad de generar un plan de manejo para evitar el deterioro de este ecosistema que es de gran interés para la conservación ambiental.

Palabras clave:

Aguas continentales, clorofila-a, estado trófico, Sentinel 2 MSI, turbiedad, transparencia

ABSTRACT

The objective of this project was to determine water quality parameters of Laguna Santa Elena, based on the processing of satellite images as support for the spatial and temporal evaluation and monitoring of ecosystems. To achieve this, pre-existing models were evaluated and empirical models were developed using the remote sensing reflectance of the Landsat 8 OLI and Sentinel 2 MSI sensors with the atmospheric correction MAIN and *in situ* data. Models were generated to estimate chlorophyll-a, turbidity and transparency, accomplishing promising correlations (chlorophyll-a: $R^2 = 0.853$ y $RMSE = 0.503 \mu\text{gL}^{-1}$; turbidity: $R^2 = 0.578$ y $RMSE = 0.960 \text{ FNU}$). Through the validation of the data, the best correlations were selected to generate a time series for the summer season, managing to visualize the dynamics of the waterbody. In general, the lagoon presents little variability of the parameters analyzed. However, a sector with water quality problems is clearly identified, indicating high values for all parameters. The lagoon is eutrophic, which indicates the need to generate a management plan to avoid the deterioration of this ecosystem which is of great interest for environmental conservation.

Keywords

Chlorophyll-a, Sentinel 2 MSI, turbidity, transparency, trophic state, water quality

1 INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos, tanto en términos de cantidad como de calidad, están críticamente influenciados por la actividad humana, incluidos la agricultura, el cambio de uso del suelo, la urbanización, las emisiones de contaminantes y las deposiciones atmosféricas (Papoutsas y Hadjimitsis, 2013). En las aguas continentales, estas presiones pueden causar el enriquecimiento de nutrientes y otras contaminaciones orgánicas e inorgánicas. Se suman a estas presiones, el cambio climático, la acidificación, el establecimiento y la propagación de especies invasoras, y el desvío o extracción de aguas de origen aguas arriba (Palmer et al., 2015). Es por esto que el monitoreo de parámetros de calidad de aguas se está volviendo cada vez más crucial, tanto para sustentar las demandas humanas, agrícolas e industriales, como para conocer el estado ecológico de los cuerpos de agua. Esto último está fuertemente respaldado por el mayor conocimiento que se tiene sobre los servicios ecosistémicos, hidrológicos, ambientales y socioeconómicos que estos sistemas proveen (Ogashawara et al., 2017).

Los parámetros de calidad de agua pueden detectarse directamente mediante la recolección periódica de muestras de agua y posterior análisis en el laboratorio (Gökçe, 2016). Sin embargo, para detectar cambios a través del tiempo se requieren intervalos de muestreos durante tiempos extendidos, donde la falta de recursos y/o la accesibilidad a los cuerpos de agua son limitantes comunes en la sustentabilidad de los programas de monitoreo (Chang et al., 2015; Deutsch et al., 2018). Chile es

un ejemplo de estas limitaciones y se considera un desafío importante, ya que sólo algunos cursos naturales se encuentran caracterizados o monitoreados en parámetros de calidad (MOP, 2013). De los 12.784 cuerpos de agua, entre lagos y lagunas existentes en Chile, sólo 20 están incluidos en la Red Nacional Mínima de Control de Lagos de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) (DGA, 2009). El diagnóstico, la predicción y el monitoreo son requisitos clave para el manejo de los ecosistemas acuáticos y la mitigación de los impactos nocivos sobre ellos. Para diseñar medidas para prevenir la contaminación y mitigar los riesgos, los administradores, planificadores, y legisladores deben conocer el estado de los ecosistemas acuáticos, la naturaleza y la dinámica de los impulsores y las presiones que conducen a la degradación de la calidad de agua y los impactos de tal degradación en la salud humana y el medio ambiente (FAO, 2017). Lo anterior deja en evidencia la importancia de buscar enfoques integrales, frecuentes, consistentes y de bajo costo para evaluar un mayor número de ecosistemas acuáticos (Dörnhöfer y Oppelt, 2012).

La teledetección surge como una alternativa complementaria al monitoreo tradicional, que ofrece la cuantificación de problemáticas relacionadas a la calidad de agua (Gholizadeh et al., 2016; Ogashawara et al., 2017). Tiene además la ventaja de llenar los vacíos espacio-temporales en el registro histórico de datos (Deutsch et al., 2018). Los sensores a bordo de los satélites permiten identificar y caracterizar componentes sobre la superficie de la tierra, inclusive presentes en el agua como la clorofila, turbiedad y transparencia. Sin embargo, el método impone

dificultades en el estudio de aguas continentales, siendo el tamaño del cuerpo de agua, la geometría, las propiedades ópticas dominantes presentes, y la resolución de los sensores remotos desafíos importantes (Matthews y McBride, 2018). Los satélites lanzados por la Administración Nacional Aeronáutica (NASA) y la Agencia Espacial Europea (ESA) ofrecen una solución que se adapta a la aplicación del estudio de aguas continentales (Dörnhöfer y Oppelt, 2012). En específico, el programa Landsat y Copernicus ofrecen resoluciones espaciales de ≥ 30 m y ≥ 10 m, respectivamente, para la mayoría de las bandas en el espectro visible (ESA, 2015; NASA, 2015; Palmer et al., 2015). Estas resoluciones han sido consideradas apropiadas, inclusive, para el estudio de cuerpos de agua de pequeño tamaño (≥ 0.5 ha) (Gholizadeh et al., 2016).

En Chile, la aplicación de sensores remotos para el estudio de calidad de agua en ecosistemas lacustres sigue siendo escasa. Una de las primeras investigaciones fue realizada por Lavanderos et al. (1990) sobre el Embalse Rapel. Posterior a esto existen estudios en la Laguna Grande de San Pedro (Quintana-Sotomayor et al., 2012), Lago Vichuquén (Briceño et al., 2018), Lago Villarrica (Escobar et al., 2019) y Lago Panguipulli (Huovinen et al., 2019). Adicionalmente, la DGA desarrolló un diagnóstico exhaustivo de nuevas tecnologías para el monitoreo del estado trófico de los 20 lagos que forman parte de la Red Nacional Mínima de Control de Lagos. Dicho informe destaca la aplicabilidad de los sensores hiper y multiespectrales y la necesidad que existe a nivel nacional de incrementar la cobertura de monitoreo,

considerando la elevada demanda y presión que existe sobre los recursos hídricos (DGA, 2014).

La Laguna Santa Elena es un cuerpo de agua de pequeño tamaño considerado de gran valor ecológico por albergar a más de 40 especies de aves. Entre ellas, se encuentra el Cisne de Cuello Negro (*Cygnus melancoryphus*), el Siete Colores (*Tachuris rubrigastra*) y otras especies con problemas de conservación, como el Pájaro Amarillo (*Pseudoco lopteryx flaviventris*) (González-Acuña et al., 2004; 2001). El lago está situado entre predios forestales y campos agrícolas, y en los últimos años, ha experimentado un crecimiento de asentamientos turísticos y de infraestructura en su ribera. Considerado como un ecosistema vulnerable a múltiples factores antrópicos, la Laguna Santa Elena está incluido en el Plan Nacional para la Protección de Humedales 2018 – 2022. El Plan es una iniciativa del Gobierno de Chile que tiene como objetivo contribuir a detener el deterioro de los humedales para preservar su rica biodiversidad (MMA, 2018). Como resultado de esto, la laguna se encuentra actualmente en una evaluación para declarar este ecosistema como Santuario de la Naturaleza, la figura legal de un área protegida que tiene propiedades privadas en su entorno inmediato.

En este contexto, el objetivo de este proyecto es determinar parámetros de calidad de agua de una laguna, basado en el procesamiento de imágenes satelitales como apoyo a la evaluación y monitoreo espacio temporal de ecosistemas. Para ello se evaluaron modelos pre-existentes e índices, y se desarrollaron modelos empíricos, utilizando la reflectancia de teledetección de los sensores de Landsat 8 OLI y

Sentinel 2 MSI y datos *in situ*. Se utilizó el algoritmo MAIN como corrección atmosférica, específicamente desarrollado para cuerpos de aguas continentales (Page et al. 2019) y técnicas de regresión simple y múltiple para desarrollar modelos que permitieron estimar clorofila-a, turbiedad y transparencia. Adicionalmente, se estimó el estado trófico y la temperatura superficial de la laguna. Finalmente, se evaluarán los algoritmos utilizando RMSE los coeficientes de correlación R cuadrado (R^2) para seleccionar los modelos más apropiados para generar una serie espacio-temporal de los parámetros de calidad de agua.



2 OBJETIVO GENERAL

Determinar parámetros de calidad de agua de una laguna, basado en el procesamiento de imágenes satelitales como apoyo a la evaluación y monitoreo espacio temporal de ecosistemas.

2.1 Objetivos específicos

1. Evaluar algoritmos pre-existentes (clorofila-a, turbiedad, transparencia, temperatura superficial y estado trófico) para identificar patrones de calidad de agua.
2. Establecer relaciones empíricas entre la información espectral y datos *in situ* de los parámetros de calidad de agua de la Laguna Santa Elena.
3. Construir el historial espacio-temporal de la laguna, para apoyar la evaluación, monitoreo y protección del humedal estudiado.

3 METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

La Laguna Santa Elena es un cuerpo de agua de pequeño tamaño ubicado en la localidad de Santa Clara en la Región de Ñuble (Figura 1.). La laguna cubre un área de 60 ha, con un perímetro de aproximadamente 5.100 m. Tiene una profundidad media de 6 m y máxima de 13 m. Forma parte de un sistema hidrológico mayor, que está conformado por un humedal y otros lagos de pequeño tamaño en su entorno inmediato. El clima prevalente es del tipo Mediterráneo, con una temperatura media anual de 13.5 °C a 14.0 °C (Fraire-Pacheco et al., 2017; Matta et al., 2015). El suministro de agua más importante está compuesto por tres vertientes subterráneas distribuidos a lo largo del eje central de la laguna (Muñoz et al., 2017, además, de dos entradas desde el canal de riego El Roble. La primera entrada se encuentra en la zona sur del lago, mientras que la segunda entrada ingresa al humedal que, a su vez, descarga sus aguas a la Laguna Santa Elena en la zona central poniente. Existe una única salida canalizada de las aguas en el sector sureste del lago, que conduce las aguas hacia la Laguna de Buena Vista. Esta última laguna tiene una salida natural de sus aguas hacia el estero Lomavida (Matta et al., 2015).

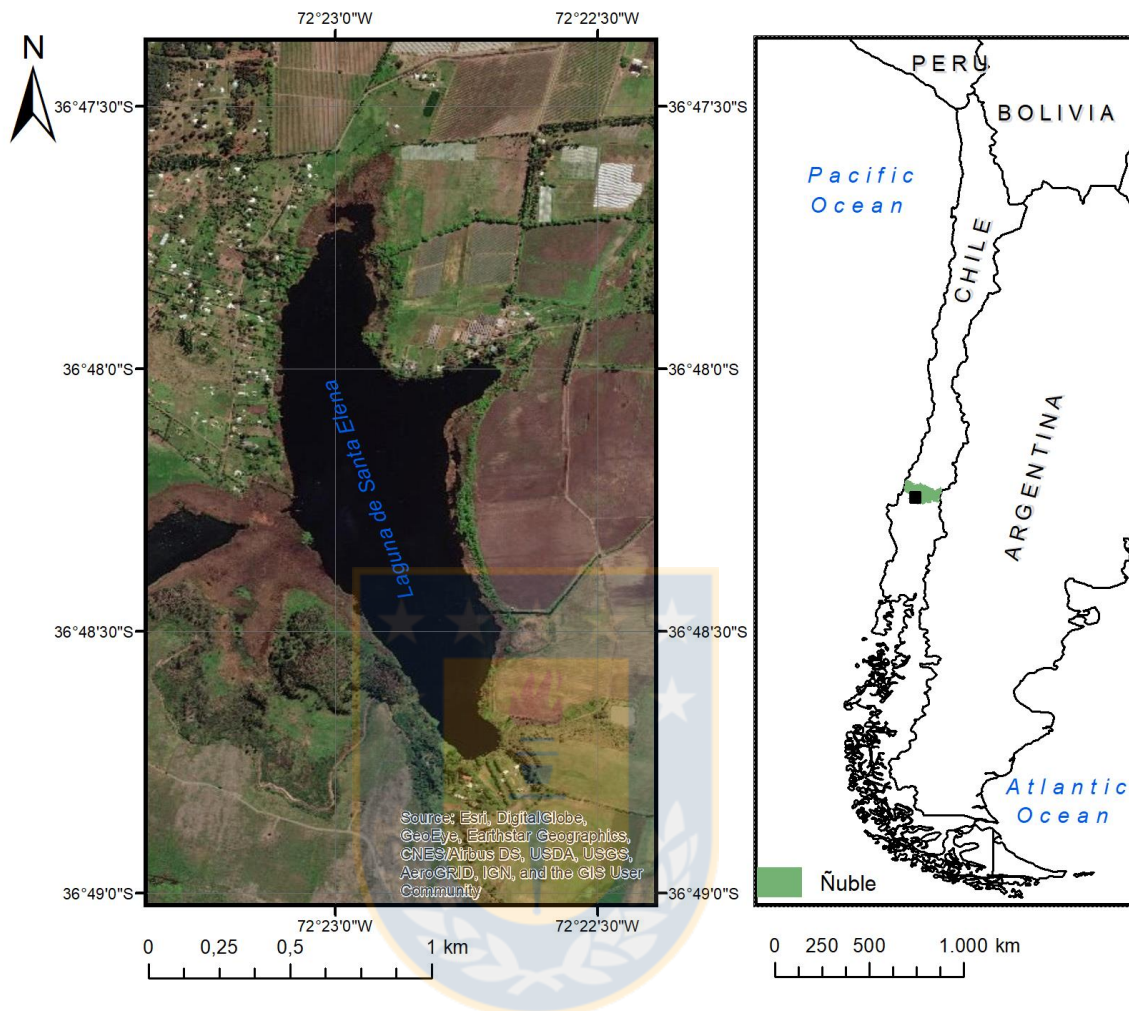


Figura 1. Ubicación geográfica de la Laguna Santa Elena en la zona centro-sur de Chile.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Campaña de terreno

Las campañas de terreno comenzaron el 15 de noviembre, 2019 hasta el 27 de febrero, 2020. Estos días presentaron condiciones óptimas, es decir, días sin cobertura de nubes y velocidades mínimas de viento registradas para la zona (\leq

kmh⁻¹). Las áreas para el monitoreo y toma de muestras de agua fueron seleccionadas según estudios previos realizados en la laguna. Los estudios cubren datos relacionados a la hidrología superficial (Matta et al., 2015), presencia de aguas subterráneas (Muñoz et al., 2017) y limnológicos (Fraire-Pacheco et al., 2017). En total, se identificaron seis zonas de interés que fueron seleccionadas y georreferenciadas utilizando un GPS de mano GARMIN. Estas áreas representan las zonas de recarga y descarga, incluida la intrusión de agua subterránea, ubicación de zonas batimétricas de mayor y menor profundidad, y posibles puntos de contaminación producto de la escorrentía agrícola (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación geográfica de los seis puntos de monitoreo y toma de muestras de agua utilizados en este estudio.

Punto de muestreo	Latitud	Longitud
A	-36.804622°	-72.379417°
B	-36.804614°	-72.379347°
C	-36.805458°	-72.379265°
D	-36.805458°	-72.379265°
E	-36.804622°	-72.379417°
F	-36.805458°	-72.379265°

Fuente: Elaboración propia

El monitoreo *in situ* consistió en medir temperatura superficial del agua (°C), conductividad eléctrica (μScm^{-1}), pH y sólidos disueltos totales (mgL^{-1}) con un multiparamétrico Hanna, y transparencia (m) con un disco Secchi estándar de 20 cm de diámetro. Posterior a estas mediciones se tomaron muestras de agua en

botellas de 2 L, las que fueron transferidas y procesadas inmediatamente en el laboratorio para el análisis de turbiedad y clorofila-a. La turbiedad fue analizada utilizando el colorímetro Orbec Hellige (MC500-10) y la clorofila-a fue determinada a través del método de extracción de Hansmann (1973). Para esto último se registró la lectura de la densidad óptica (absorbancia) de las muestras a 665 nm, 645 nm y 630 nm, utilizando el espectrofotómetro Beckman DU-640, para finalmente ser convertidas en clorofila con la siguiente ecuación:

$$chla = 11.6 \times OD_{665} - 1.31 \times OD_{645} \times OD_{630} \quad (1)$$

donde, *chla* es la clorofila-a en μgL^{-1} , y *OD* es la densidad óptica de la extracción a las longitudes de ondas especificadas.

Todas las mediciones y muestras fueron tomadas en triplicado y se empleó el promedio para el análisis de los datos. Asimismo, todas las mediciones y muestras fueron realizadas cerca de la superficie (≤ 0.50 m), dentro de ± 2 horas (14:40 UTC) del paso de los satélites.

3.3 Procesamiento de datos

Se monitorearon 7 parámetros de calidad de agua, donde la temperatura superficial, clorofila-a, turbiedad y transparencia fueron analizados a través del procesamiento de imágenes satelitales. La conductividad eléctrica, pH y los sólidos disueltos totales

son considerados como datos auxiliares, ya que estos datos no tienen propiedades ópticas que permiten su detección.

El procesamiento de datos se realizó en el entorno de Google Earth Engine (GEE), una plataforma gratuita y de libre distribución para el análisis científico y visualización de datos geoespaciales. El programa utiliza Java Script como lenguaje de programación (Gorelick et al., 2017).

Se seleccionaron los satélites Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) y Sentinel 2 MultiSpectral Instrument (MSI), con un procesamiento basado en el flujo de trabajo de imágenes armonizadas con la Corrección Atmosférica Modificada para Aguas Continentales (MAIN) descrito en detalle por Page et al. (2019). Se adquirieron imágenes en distintos niveles de procesamiento de Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI desde el catálogo de datos de GEE para este fin:

- Raw Scenes: para Landsat 8 OLI, consisten en escenas con la mayor calidad de datos disponibles, consideradas adecuadas para el análisis de procesamiento de series de tiempo. El nivel 1 (LANDSAT/LC08/C01/T1) incluye datos procesados del terreno de precisión de nivel 1 (L1TP) que tienen una radiometría bien caracterizada. Para el caso específico de la temperatura, el producto de nivel 1 es transformado en Top-of-Atmosphere (TOA), que es un producto con calibración radiométrica que permite convertir los datos de las bandas termales en temperatura de brillo (at-sensor brightness temperature), utilizado para determinar la temperatura superficial según la metodología detallada por Chander et al. (2009). Para Sentinel 2

MSI se ocupa el nivel 1C (COPERNICUS/S2) que es adecuada para el monitoreo de la vegetación, el suelo y la cobertura hídrica, así como la observación de vías navegables interiores y zonas costeras. El producto 1C tiene correcciones radiométricas y geométricas (incluida la ortorrectificación y el registro espacial) (ESA, 2015).

- Surface Reflectance (SR): es un set de datos de mayor nivel de procesamiento (LANDSAT/LC08/C01/T1_SR) que contiene una corrección atmosférica usando LaSRC. La corrección incluye máscaras de nubes, sombras, agua y nieve a través de la función QA (NASA, 2015). Para este trabajo se consideró un límite de 10% de cobertura de nubes y se aplicó una máscara para diferenciar los cuerpos de agua del suelo. El producto SR de Landsat 8 OLI se utilizó también para generar los filtros para los códigos generados con Sentinel 2 MSI.

Tras la aplicación del algoritmo MAIN, se logró adquirir imágenes satelitales para las fechas indicadas en la Tabla 2. Para Landsat 8 OLI se ocuparon 2 trayectorias y 1 fila, mientras que para Sentinel 2 MSI una única ruta que sobrepasa el área de estudio. Se integra en la tabla la diferencia en días del paso del satélite en relación al día de monitoreo.

Tabla 2. Fecha del paso de los satélites, e identificación de trayectorias y filas seleccionadas para el procesamiento de imágenes satelitales de Landsat 8 OLI y ruta para Sentinel 2 MSI.

Satélite	Paso del satélite	Día de monitoreo	Identificación
----------	-------------------	------------------	----------------

			Trayectoria/Fila
Landsat 8 OLI	14 de noviembre, 2019	+1	1/86
	09 de diciembre, 2019	0	233/86
	10 de enero, 2020	0	233/86
	17 de enero, 2020	+1	1/86
	2 de febrero, 2020	0	1/86
	27 de febrero, 2020	0	233/86
			Ruta
Sentinel 2 MSI	05 de diciembre, 2019	0	T18HYE
	14 de enero, 2020	+4	T18HYE
	29 de enero, 2020	+4	T18HYE
	03 de febrero, 2020	+1	T18HYE
	28 de febrero, 2020	+1	T18HYE

Fuente: Elaboración propia

Se agregó un buffer de 30 m de diámetro alrededor de cada punto de monitoreo para generar un promedio de las reflectancias de teledetección obtenidas para Landsat 8 OLI y un buffer de 20 m para Sentinel 2 MSI, asumiendo que los parámetros de calidad de agua son representativos dentro de este rango (Deutsch et al., 2018; Bonansea et al., 2015).

3.4 Estimación de parámetros de calidad de agua

Se utilizaron las bandas en la zona visible e infrarroja del espectro electromagnético, ya que son estas regiones que presentan los mejores resultados para detectar clorofila-a, turbiedad y transparencia. Para Landsat 8 OLI estas corresponden a las

bandas B1 (costero/aerosol: 0.435 – 0.451 μm), B2 (azul: 0.452 – 0.512 μm), B3 (verde: 0.533 – 0.590 μm), B4 (rojo: 0.636 – 0.673 μm) y B5 (NIR: 0.851 – 0.879 μm). Para el caso de Sentinel 2 MSI, que está compuesto por los satélites gemelos 2A y 2B, donde incorporaron las bandas Red Edge. Para Sentinel 2A y 2B las bandas son B1 (costero/aerosol: 0.432 – 0.453 μm), B2 (azul: 0.459 – 0.525 μm), B3 (verde: 0.542 – 0.578 μm), B4 (rojo: 0.649 – 0.680 μm), B5 (Red Edge 1: 0.697 – 0.712 μm), B6 (Red Edge 2: 0.733 – 0.748 μm), B7 (Red Edge 3: 0.773 – 0.793 μm), B8 (NIR: 0.780 – 0.886 μm) y B8A (Red Edge 4: 0.855– 0.875 μm).

3.4.1 Algoritmos pre-existentes

La clorofila-a, turbiedad y transparencia se evaluó mediante la aplicación de distintos índices que han mostrado tener buenos resultados para su estimación (Elhag et al., 2019; Bohn et al., 2017; Carmona et al., 2015). Se calibraron con los datos *in situ* de la forma:

$$y_i = \alpha + \beta X \quad (2)$$

$$y_i = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \quad (3)$$

donde, y_i es la variable dependiente, α es el intercepto, β y $\beta_{1,2}$ es la pendiente, X es la variable independiente (índice). La Tabla 3 muestra los índices aplicados para imágenes de Landsat 8 OLI.

Tabla 3. Índices utilizados para Landsat 8 OLI para generar algoritmos de regresión lineal simple para estimar clorofila-a, turbiedad y transparencia.

Índice	Algoritmo	Referencia
Índice de vegetación diferencial normalizado	$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$	Rouse et al. (1974)
Índice de vegetación mejorado	$EVI = 2.5 \times \frac{B5 - B4}{B5 + 6 \times B4 - 7.5 \times B2 + 1}$	Liu y Huete (1995)
Índice verde de vegetación diferencial normalizado	$GNDVI = \frac{B5 - B3}{B5 + B3}$	Gitelson et al. (2003).
Índice de área de vegetación normalizado	$NAVI = 1 - \frac{B4}{B5}$	Carmona et al. (2015)
Índice de turbiedad diferencial normalizado	$NDTI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3}$	Lacaux et al. (2007)

Fuente: Elaboración propia

Para Sentinel 2 MSI, se evaluaron los índices de la Tabla 4.

Tabla 4. Índices para Sentinel 2 MSI utilizados para generar algoritmos de regresión lineal simple para estimar clorofila-a, turbiedad y transparencia.

Índice	Algoritmo	Referencia
Índice de vegetación	$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$	Rouse et al. (1974)

diferencial
normalizado

Índice de
vegetación
mejorado

$$EVI = 2.5 \times \frac{B8 - B4}{B8 + 6 \times B4 - 7.5 \times B2 + 1}$$

Liu y Huete (1995)

Índice verde de
vegetación
diferencial
normalizado

$$GNDVI = \frac{B8 - B3}{B8 + B3}$$

Gitelson et al.
(2003).

Índice de área de
vegetación
normalizado

$$NAVI = 1 - \frac{B4}{B8}$$

Carmona et al.
(2015)

Índice de turbiedad
diferencial
normalizado

$$NDTI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3}$$

Lacaux et al. (2007)

Índice de clorofila
diferencial
normalizado

$$NDCI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Mishra y Mishra et
al. (2012)

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que existen índices que han sido utilizados específicamente para la determinación de, por ejemplo, clorofila-a. Sin embargo, este trabajo no discriminó la finalidad del índice y fue evaluado para clorofila-a, turbiedad y transparencia indistintamente.

Se realizó además una revisión de modelos pre-existentes para determinar los distintos parámetros de calidad según lo descrito por Neil et al. (2019), consistente con las bandas del espectro visible e infrarrojo. Estos algoritmos han sido

desarrollados específicamente para Sentinel 2 MSI para la estimación de clorofila-a, y están calibrados para 185 lagos continentales y costeros globales, abarcando 13 tipos ópticos de agua (OWTs). Dado que están desarrollados para distintos OWTs, los modelos pueden dar luz sobre el compuesto dominante en el cuerpo de agua. Los modelos entregan datos directos de clorofila-a, logrando correlaciones $R^2=0.89$, lo que implica una mejora del 25% de la precisión de recuperación de este parámetro (Neil et al., 2019). De los 13 algoritmos para las distintas clases OTWs se seleccionaron los 9 de la Tabla 5, debido a que los restantes requieren de la concentración de materia orgánica amarilla (o coloreada), la que no fue parte de este estudio.

Tabla 5. Algoritmos pre-existentes para la determinación de clorofila-a utilizados para Sentinel 2 MSI.

OWT	Algoritmo	a	b	c	d	e
Tipo I	$Chla = a \times \left(\frac{R_{rsB5}}{R_{rsB4}}\right)^2 + b \times \left(\frac{R_{rsB5}}{R_{rsB4}}\right) + c$	86.09	-515.5	886.7		
Tipo II	$Chla = a \times \left(\frac{R_{rsB5}}{R_{rsB4}}\right) + b$	53.29	-30.08			
Tipo III	$Chla = 10^{(a+bX+cX^2+dX^3+eX^4)}$ $X = \log_{10}(R_{rsB2}/R_{rsB3})$	0.01998	-0.755	-14.12	-117	-17.76
Tipo IV	$Chla = a + b \times \left(\frac{R_{rsB5} - R_{rsB4}}{R_{rsB5} + R_{rsB4}}\right) + c$ $\times \left(\frac{R_{rsB5} - R_{rsB4}}{R_{rsB5} + R_{rsB4}}\right)^2$	18.44	149.2	374.33		
Tipo V	$Chla = a + b \times \left(\frac{R_{rsB5} - R_{rsB4}}{R_{rsB5} + R_{rsB4}}\right) + c$ $\times \left(\frac{R_{rsB5} - R_{rsB4}}{R_{rsB5} + R_{rsB4}}\right)^2$	14.039	86.115	194.33		

Tipo IX	$Chla = 10^{(a+bX+cX^2+dX^3+eX^4)}$ $X = \log_{10}(R_{rsB2}/R_{rsB3})$	0.0536	7.308	116.2	412.4	463.5
Tipo XI	$Chla = a + b \times \left(\frac{R_{rsB5} - R_{rsB4}}{R_{rsB5} + R_{rsB4}}\right) + c$ $\times \left(\frac{R_{rsB5} - R_{rsB4}}{R_{rsB5} + R_{rsB4}}\right)^2$	19.31	153.5	105.4		
Tipo XII	$Chla = a \times \left(\frac{R_{rsB5}}{R_{rsB4}}\right) + b$	80.7	53.18			
Tipo XIII	$Chla = 10^{(a+bX+cX^2+dX^3+eX^4)}$ $X = \log_{10}(R_{rsB2}/R_{rsB3})$	-5020	2.9000	-61000	57490	20260

Fuente: Modificado de Neil et al. (2019).

La temperatura superficial de la Laguna Santa Elena se evaluó directamente con la aplicación del código MAIN, pues contiene esta estimación integrada en el código, entregando datos en °C. Finalmente, el estado trófico fue evaluado con la escala de Carlson (1977) que puede estimarse a partir de los resultados de clorofila-a con la ecuación:






$$TSI = 30.6 + 9.81 \times \ln(chla) \quad (4)$$

donde, *TSI* es el índice de estado trófico de Carlson y *chla* es la clorofila-a en μgL^{-1} .

El índice resulta en un valor numérico entre 0 y 100 y describe de manera general el estado trófico del cuerpo de agua (Tabla 6).

Tabla 6. Rango de valores del índice de estado trófico de Carlson (1977) y descripción de cada estado.





Estado	Rango	Color	Descripción
--------	-------	-------	-------------

Hipereutrófico	>70		Productividad limitada por la disponibilidad de luz, abundantes macrófitas, anoxia en el hipolimnion
Eutrófico	50-70		(50-60) Eutrofia con algas azules dominantes, abundantes macrófitas. (60-70) Eutrofia, algas abundantes, problemas con oxigenación en el hipolimnion
Mesotrófico	40-50		Disminución de la transparencia, aumento de algas, oxigenación en hipolimnion puede disminuir durante el verano
Meso Oligotrófico	30-40		Aumenta la productividad primaria
Oligotrófico	<30		Agua transparente, muy buena oxigenación en el hipolimnion

Fuente: Modificado de MMA (2011) y MMA (2013).

La Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales Superficiales y Marinas de Ministerio de Medio Ambiente (NSCA) (MMA, 2017), es el criterio para establecer el estado trófico de los ecosistemas lacustres en Chile. Incorpora el rango de valores de los parámetros de calidad de agua que pueden utilizarse para clasificar las aguas en el estado trófico según Smith et al. (1999) (Tabla 7).

Tabla 7. Rango de valores de cada parámetro de calidad de agua para determinar el estado trófico según Smith et al. (1999).

Estado trófico	Fósforo total (μg^{-1})	Nitrógeno total (μg^{-1}) ¹⁾	Clorofila-a (μg^{-1})	SD (m)	Color
Hipereutrófico	> 100	> 1200	> 25	> 1	
Eutrófico	30-100	650-1200	9-25	1-2	
Mesotrófico	10-30	350-650	3.5-9	2-4	
Oligotrófico	< 10	< 350	< 3.5	> 4	

Fuente: Modificado de Smith et al. (1999).

Finalmente, la NSCA incluye las clases de calidad: una tipificación del agua de acuerdo a niveles de calidad por elemento o compuesto. Se entregan valores máximos y mínimos para 61 parámetros. Sin embargo, la Tabla 8 muestra los referidos a pH.

Tabla 8. Rango de valores para pH según la NSCA y descripción de las distintas clases de calidad de aguas.

Estado	Límite máximo y mínimo	Clase	Descripción
pH	6.5-8.5	1	Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en la Clase 2 y 3.
	6.5-8.5	2	Buena calidad. Indica agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3.
	6.5-8.5	3	Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.
	> 8.5	4	Mala calidad. Indica un agua no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado.

Fuente: Modificado de MMA (2011).

3.4.2 Desarrollo de algoritmos

Para el desarrollo de algoritmos de calidad de agua para la Laguna Santa Elena se aplicó regresión simple (5) y múltiple (6), que pueden representarse según las siguientes ecuaciones:

$$y_i = \alpha + \beta X + \varepsilon_i \quad (5)$$

$$y_i = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \quad (6)$$

donde, y_i es la variable dependiente, α es el intercepto, β y $\beta_{1 \rightarrow n}$ es la pendiente, X y $X_{1 \rightarrow n}$ es la variable independiente y ε_i es el residual.

Diversos estudios han demostrado que la suma, división y multiplicación son especialmente útiles a la hora de estimar parámetros de calidad de agua con imágenes satelitales (Matus-Hernández et al., 2018; Gholizadeh et al., 2016). Por lo tanto, se desarrollaron estas combinaciones para evaluar su potencial. Para las regresiones múltiples se desarrollaron todas las combinaciones posibles con las bandas, similar a la metodología aplicada por Matus-Hernández et al. (2018). Para las bandas de Landsat 8 OLI se generaron 61 algoritmos para cada parámetro, mientras que para Sentinel 2 MSI se truncaron las regresiones quedando en 301 algoritmos para cada parámetro.

3.5 Análisis y validación de datos

Por la falta de datos históricos de calidad de agua en la Laguna Santa Elena, 2/3 de los datos de reflectancia (seleccionados aleatoriamente) fueron utilizados para generar los modelos. De los algoritmos generados se realizó un análisis de varianza con un 95% de confianza y se seleccionaron los modelos que cumplieron con el valor $p \leq 0.05$, tanto para el modelo generado como para las variables independientes. Además, se limitó el estudio optando por los tres valores de R cuadrado (R^2) más altos logrados en las regresiones. Para la validación de los datos

se utilizaron los algoritmos seleccionados para predecir los parámetros de calidad de agua según la reflectancia de teledetección obtenida con 1/3 de los valores restantes. Con los datos observados (mediciones *in situ*) y datos modelados, se calculó del error cuadrático medio (RMSE) (7). Finalmente, se genera un gráfico 1:1 de los datos modelados versus los datos observados para estimar la correlación de los datos. Cabe destacar que el RMSE y R^2 son los métodos estadísticos más indicados y prevalentes en el estudio de sistemas lacustres (Topp et al., 2020).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^{observed} - X_i^{predicted})^2} \quad (7)$$

3.6 Serie espacial y temporal

Para elaborar la serie espacial y temporal de la Laguna Santa Elena se seleccionaron los modelos que produjeron los mejores resultados para la estimación de parámetros de calidad de agua. Se utilizó el algoritmo MAIN para correr el algoritmo y se graficó la serie temporal de clorofila-a, turbiedad, transparencia, temperatura superficial y estado trófico. Adicionalmente, se exportaron las imágenes de los días monitoreados desde GEE para ser modificados en QGIS. Con esto último fue posible visualizar la variabilidad espacial y temporal de los distintos parámetros de calidad de agua en un mapa sobre la Laguna Santa Elena.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Calidad de agua

Se obtuvieron los valores mínimos, máximos, promedios, y desviaciones estándar de los parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena durante las siete campañas de terreno (Tabla 9). Se observa que las fechas entre el 15/11/2019 al 09/12/2019 los valores máximos de clorofila-a se encuentran por encima de los 10 μgL^{-1} . Mientras que para el 10/01/2020 existe una baja en aproximadamente el 50%, para luego alcanzar su valor máximo el día 18/01/2020 de 25.3 μgL^{-1} . Para los últimos dos días de monitoreo se presenta una baja variabilidad para los distintos puntos de muestreo, produciendo valores promedios cercanos a idénticos (4.58 μgL^{-1} y 4.57 μgL^{-1} para el 02/02/2020 y 27/02/2020, respectivamente). En cuanto al estado trófico de la laguna, la clorofila-a es un parámetro importante para su análisis. Pues la clorofila es un pigmento requerido para realizar la fotosíntesis y, por tanto, es una medición indirecta de la biomasa fitoplanctónica en un determinado volumen de agua. En términos generales, conforme aumenta la clorofila en un cuerpo de agua, empeorará el estado trófico del ecosistema (MMA, 2017). La Laguna Santa Elena presenta una condición mesotrófica (3 – 9 μgL^{-1}) y eutrófica (9 – 25 μgL^{-1}), inclusive pasando a un estado hipertrófico ($\geq 25 \mu\text{gL}^{-1}$) hacia el día 18/01/2020. El estado eutrófico también fue establecido mediante el análisis de los datos de transparencia, dado que el límite para lagos mesotróficos es entre 2 – 4 m, y la laguna registra una transparencia de 1.30 m (eutrófico) para la primera campaña.

Tabla 9. Valores máximos, mínimos, promedios y desviaciones estándar para los parámetros de calidad de agua obtenidos durante las campañas de terreno entre el 15 de noviembre y el 27 de febrero en la Laguna Santa Elena.

Año		2019				2020		
Parámetro		15 Nov	05 Dic	09 Dic	10 Ene	18 Ene	02 Feb	27 Feb
chla	Min	3.00	6.60	7.80	4.5	7.90	3.30	4.00
	Max	10.8	13.4	12.6	6.5	25.3	6.20	4.80
	Promedio	5.80	9.30	10.2	5.6	14.0	4.58	4.57
	DStd	2.92	2.64	1.87	0.77	6.54	1.16	0.57
	Unidad	μgL^{-1}	μgL^{-1}	μgL^{-1}	μgL^{-1}	μgL^{-1}	μgL^{-1}	μgL^{-1}
TURB	Min	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	3.00	3.00
	Max	10.0	5.00	7.00	4.00	12.0	12.0	10.0
	Promedio	4.47	3.00	2.83	2.00	4.61	4.56	5.17
	DStd	3.33	1.67	2.48	1.05	3.68	3.50	2.64
	Unidad	FNU	FNU	FNU	FNU	FNU	FNU	FNU
DS	Min	-	1.30	1.30	4.30	2.30	4.90	3.30
	Max	-	4.10	6.35	5.3	5.00	5.60	5.00
	Promedio	-	3.40	4.31	5.00	3.85	5.06	3.53
	DStd	-	1.05	1.83	0.37	1.09	0.49	0.82
	Unidad	m	m	m	m	m	m	m
TEMP	Min	23.3	20.5	22.8	21.3	21.9	21.8	22.5
	Max	24.6	21.1	23.7	22.8	23.8	24.2	24.1
	Promedio	23.7	20.7	23.1	22.3	22.4	22.4	23.0
	DStd	0.71	0.24	0.36	0.60	0.76	0.91	0.62
	Unidad	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
CE	Min	194	189	194	179	177	184	196

	Max	253	212	253	220	222	222	260
	Promedio	231	207	215	203	196	196	223
	DStd	23.5	10.9	37.6	19.2	18.2	13.8	22.3
	Unidad	μScm^{-1}	μScm^{-1}	μScm^{-1}	μScm^{-1}	μScm^{-1}	μScm^{-1}	μScm^{-1}
pH	Min	8.54	8.48	8.26	8.85	8.43	8.43	8.21
	Max	9.25	8.89	9.04	9.19	8.85	8.94	9.11
	Promedio	8.96	8.64	8.49	8.85	8.67	8.75	8.69
	DStd	0.26	0.16	0.29	0.19	0.15	0.19	0.36
SDT	Min	108	94.0	97.0	82.0	92.0	92.0	98.0
	Max	145	110	108	108	105	105	116
	Promedio	136	103	99.7	96.3	96.0	98.0	108
	DStd	27.4	6.03	4.37	9.33	4.77	4.30	8.03
	Unidad	mgL^{-1}	mgL^{-1}	mgL^{-1}	mgL^{-1}	mgL^{-1}	mgL^{-1}	mgL^{-1}

chl-a: clorofila-a; TURB: turbidez; SD: transparencia; TEMP: temperatura; EC: conductividad eléctrica; SDT: sólidos disueltos totales; DStd: desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

Los valores de turbidez registrados fueron prácticamente constantes durante la mayoría de las campañas, pero se registra una disminución paulatina desde el día 05/12/2019 al 10/01/2020, de 3.00 FNU a 2.00 FNU, para luego aumentar de 4.61 FNU a 5.17 FNU en los últimos tres días de monitoreo. En general, el día 10/01/2020 se obtiene la menor variabilidad en turbiedad con una desviación estándar de 1.05 FNU, lo que concuerda con los resultados de clorofila-a (desviación estándar: $0.77 \mu\text{gL}^{-1}$). El valor más alto fue de 12 FNU para el 18/01/2020 y 02/02/2020, mientras el promedio más bajo fue registrado el 10/01/2020 (2.00 FNU).

Los datos de transparencia expresados en metros, y adquiridos a partir de un Disco Secchi de 20 cm de diámetro, se comenzaron a medir a partir del 05/12/2019. La transparencia máxima obtenida fue de 6.35 m y mínima de 1.30 m, que ocurrió el día 09/12/2019, lo que puede ser un posible indicador de variabilidad de la laguna (desviación estándar: 1.83 m). En general, el día 10/01/2020 registró la menor variabilidad en la laguna, con una desviación estándar de 0.36 m. Esto indica que la dinámica interna de la laguna es variable durante el periodo estival.

La temperatura superficial de la Laguna Santa Elena presenta poca variabilidad a lo largo de los distintos puntos de muestreo y los días de monitoreo, con una desviación estándar $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para todas las fechas (Figura 2). Las temperaturas fluctúan entre los $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Indica que este parámetro puede ser relativamente estable durante el periodo estival.

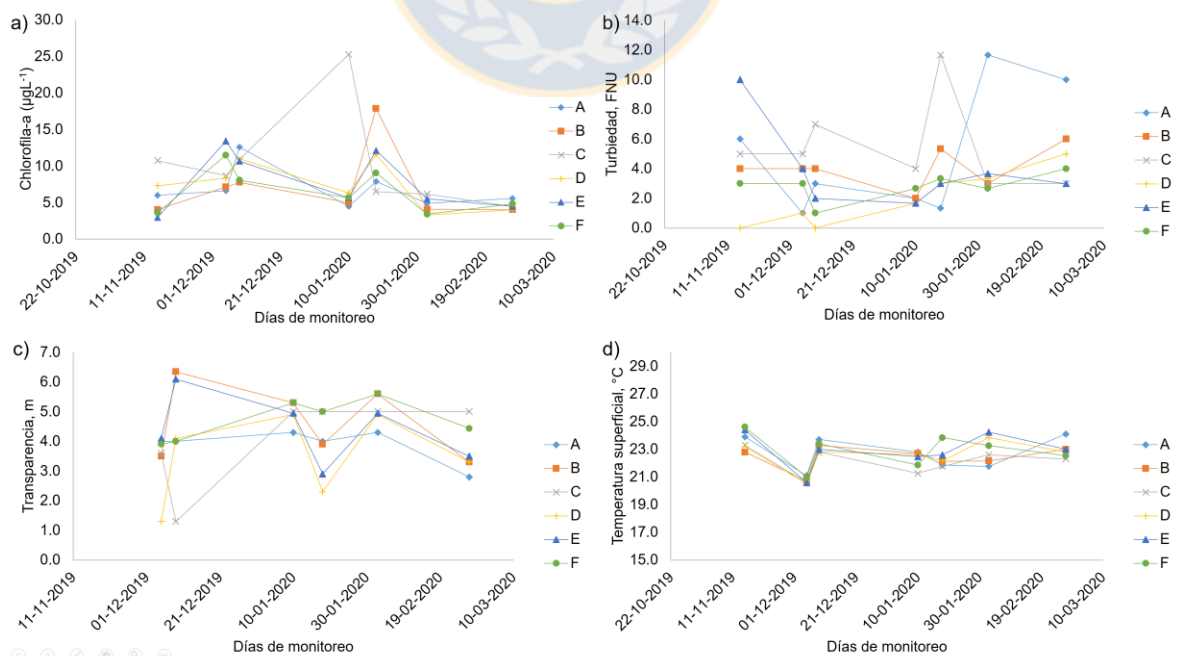


Figura 2. Distribución de parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena según punto de monitoreo para a) clorofila-a, b) turbiedad, c) transparencia y d) temperatura superficial.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los parámetros auxiliares (EC, pH y SDT) se observa que el 15/11/2019 se obtiene la mayor desviación estándar para CE ($23.5 \mu\text{Scm}^{-1}$) y STD (27.4mgL^{-1}). El nivel de pH se mantiene relativamente estable durante todas las campañas entre 8.21 y 9.25 lo que es considerado elevado por la NSCA. La Norma Secundaria indica que desde un pH de 8.50 se acelera la transformación de amonio en amoníaco, el que puede llegar a ser muy tóxico para los peces y otros organismos. Con este parámetro fue posible clasificar a la Laguna Santa Elena como Clase 4, ya que excede el límite máximo de $\text{pH} = 8.50$, considerado no apto para la conservación de comunidades acuáticas o usos prioritarios sin el tratamiento adecuado (MMA, 2017). La Figura 3 muestra la distribución de pH en los distintos puntos de muestreo y su clasificación según clase.

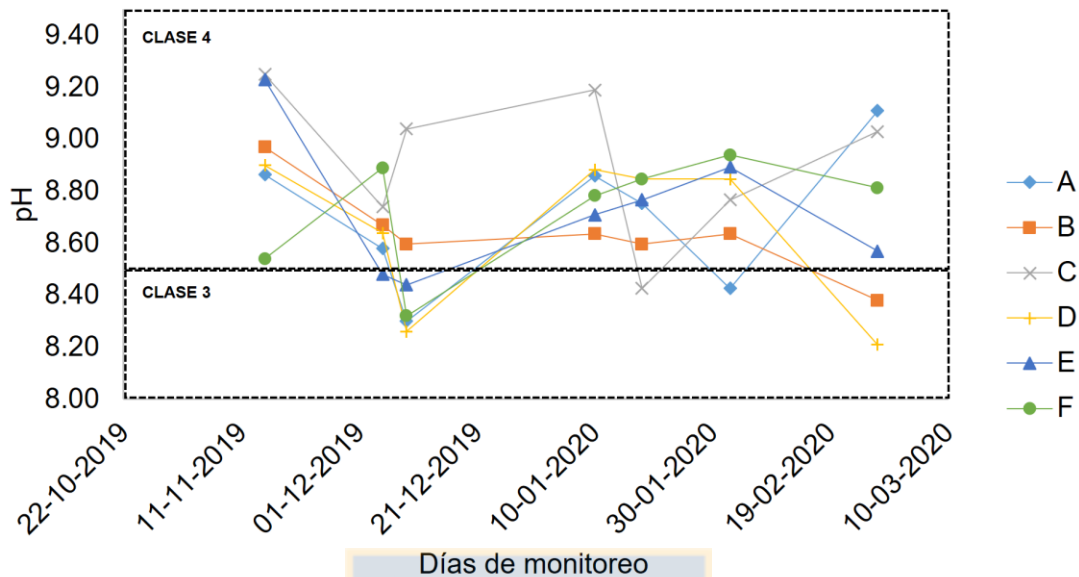


Figura 3. Distribución de pH y clase de la Laguna Santa Elena según punto de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

El índice de estado trófico de la Laguna Santa Elena calculado en este trabajo indica que es eutrófica. Sin embargo, se observa variabilidad entre los días de monitoreo. La mayor variabilidad de trofia se encuentra en el punto C, correspondiente al sector donde sale un efluente hacia el estero Lomavida y donde se encuentra una bomba de extracción de aguas (Figura 4).

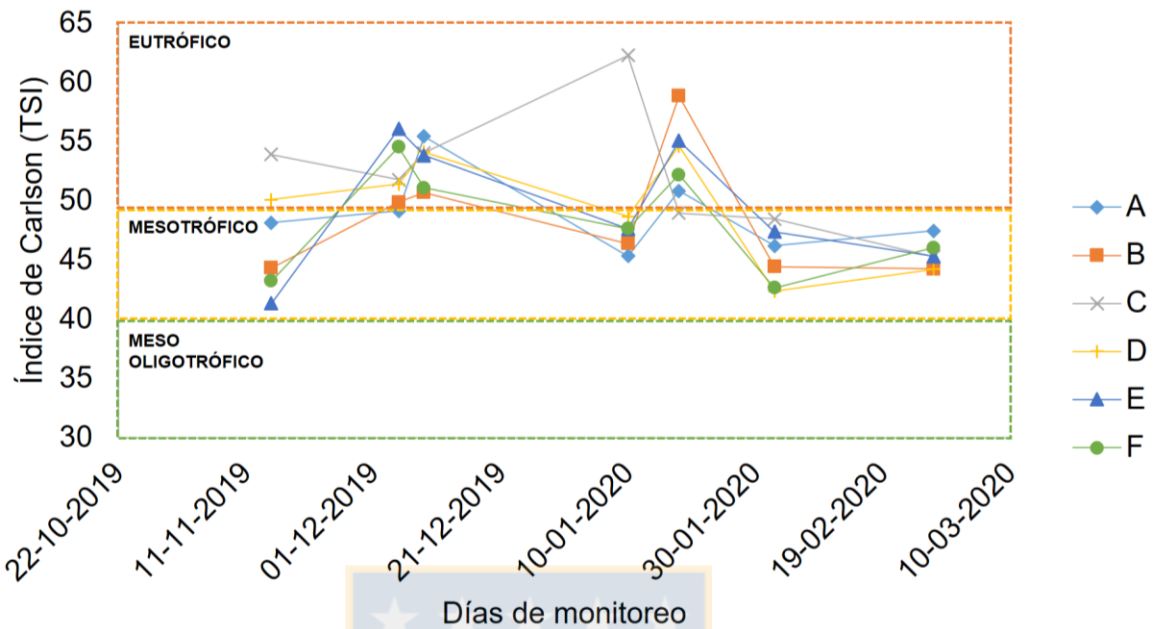


Figura 4. Distribución del índice de estado trófico de Carlson en la Laguna Santa Elena según punto de monitoreo.

Fuente: Registro propio.

La escala de Smith, que muestra parámetros de clorofila-a y transparencia, nos indican resultados algo inconsistentes, ya que obtienen resultados distintos. Para clorofila la escala de Smith indica eutrofia, mientras que para transparencia indicaría un estado entre mesotrófico y oligotrófico. La transparencia no es un parámetro indicativo por si solo, pues se puede atribuir a que la laguna se encuentre en una fase de claridad de agua, por la dinámica herbivoría por parte del zooplancton, resultando en una disminución del fitoplancton (Fraire-Pacheco et al., 2017). Esto último, nos confirma la importancia de monitorear distintos parámetros de calidad de agua para el análisis del estado trófico. Finalmente, se concluye que la laguna

es eutrónica durante la temporada estival por lo que se confirma la necesidad de generar un plan de manejo para proteger este ecosistema.

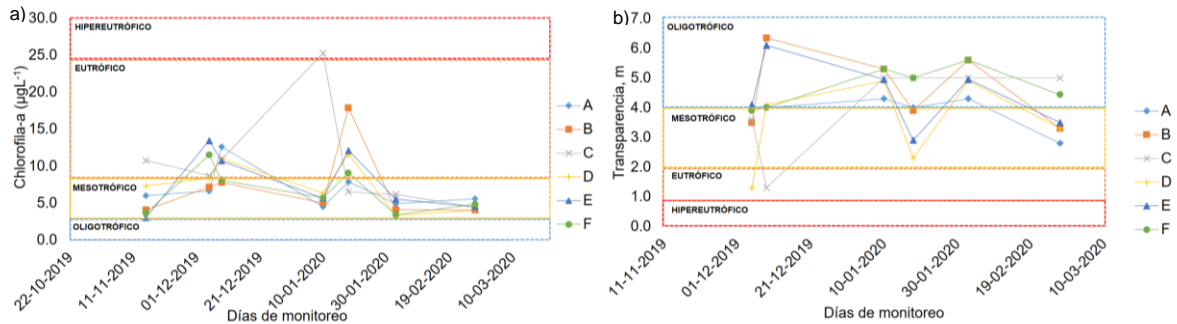


Figura 5. Distribución del estado trófico de la Laguna Santa Elena para a) clorofila-a y b) transparencia según la escala de Smith.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis de algoritmos

Es importante mencionar que durante el periodo que se realizó este estudio se registraron fenómenos particulares. Uno de ellos fueron los incendios forestales más violentos que ocurrieron en el territorio australiano, en los últimos tiempos y que impactaron a nivel global. El humo proveniente de estos incendios cruzó el Océano Pacífico afectando principalmente la zona sur y centro de Chile a partir del día 6 de enero, 2020. La trayectoria del humo proveniente de los incendios forestales de Australia se muestra en la Figura 6.

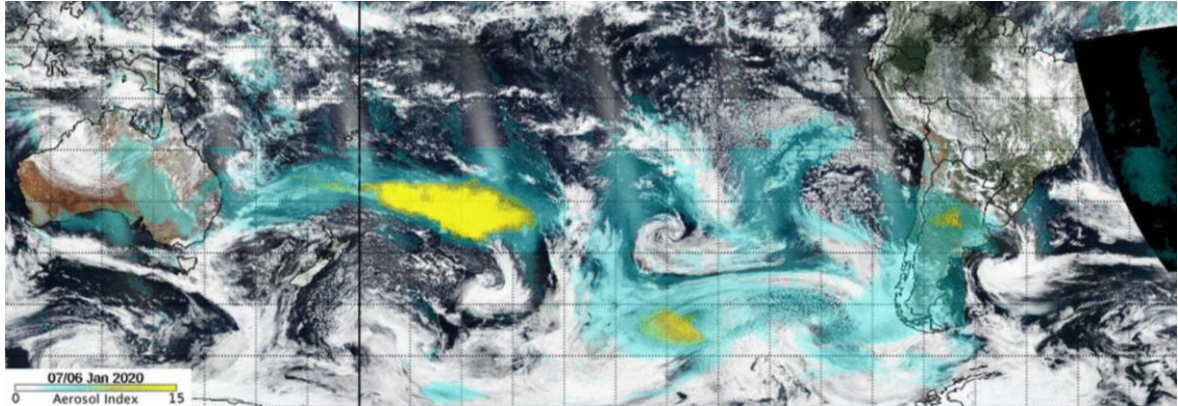


Figura 6. Índice de aerosol para humo proveniente de los incendios forestales de Australia. Valores mayores a 10 (color amarillo) indican mayor elevación de partículas o humo.

Fuente: NASA/Colin Seftor

De acuerdo a la Dirección Meteorológica de Chile, las partículas de humo se ubicaron a alturas entre 5 – 15 km tornando el cielo de color café tenue en días que registraron poca presencia de nubosidad, en el territorio chileno (METEOCHILE, 2020). El segundo fenómeno se registró el día 16 de enero, donde nuevamente apreció el cielo con una especie de bruma. En esta ocasión, el humo se concentró a alturas mayores a 8 km (METEOCHILE, 2020). Es importante mencionar que la emergencia por incendios forestales se registró desde el mes de noviembre, 2019, y lograron ser contenidos a mediados de febrero, 2020. La permanencia del humo, especialmente en la estratósfera está aún en investigación (NASA, 2020).

A este fenómeno se agregan los incendios forestales locales, que ocurren comúnmente durante la época estival, en la región donde se encuentra la laguna Santa Elena. Las condiciones ambientales debido a la presencia de humo

comparando dos días de monitoreo en la Laguna Santa Elena se observan el día 9 de enero (ausencia de humo) y 10 de enero (presencia de humo) (Figura 7).

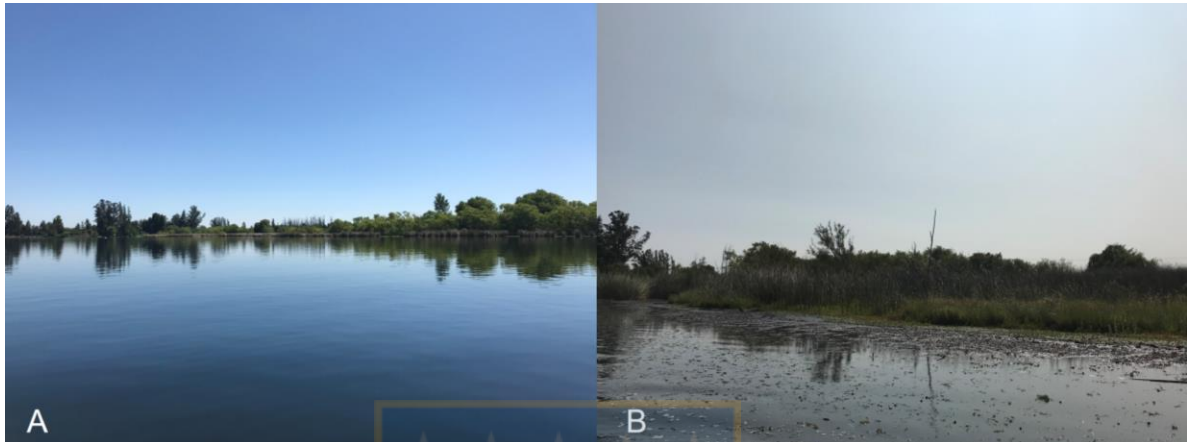


Figura 7. Condiciones ambientales en la Laguna Santa Elena (A) el día 9 de diciembre, 2019, y (B) el día 10 de enero, 2020 donde se registra la presencia de humo y cenizas debido a incendios forestales locales.

Fuente: Registro propio.

Aun cuando las condiciones locales son notables producto de los incendios forestales, el algoritmo MAIN no logró percatar este último fenómeno. Sin embargo, ya que el algoritmo MAIN fue evaluado en este trabajo para detectar parámetros de calidad de la Laguna Santa Elena, los datos del día 10 de enero, 2020, no fueron excluidos en el análisis.

Otro factor que causa incertidumbre acerca de los resultados es la vegetación sumergida que se encuentra en la laguna. No existen estudios de línea de base de la vegetación terrestre y acuática en la Laguna Santa Elena. Sin embargo, las observaciones durante las campañas de terreno confirman la presencia de vegetación sumergida en gran parte del lago, especialmente a lo largo del borde de

la laguna. Se cree que se trata de la especie *Ceratophyllum demersum*, comúnmente conocida como pino de agua (GISD, 2020) (Figura 8). Habitantes del sector mencionan que esta planta invasiva ha proliferado de manera importante durante la última década, y que mide aproximadamente 7 metros en las zonas más profundas del lago. La imagen muestra claramente que la planta acuática se encuentra muy cerca de la superficie del espejo de agua, lo que puede haber inferido en los datos de reflectancia adquiridos.

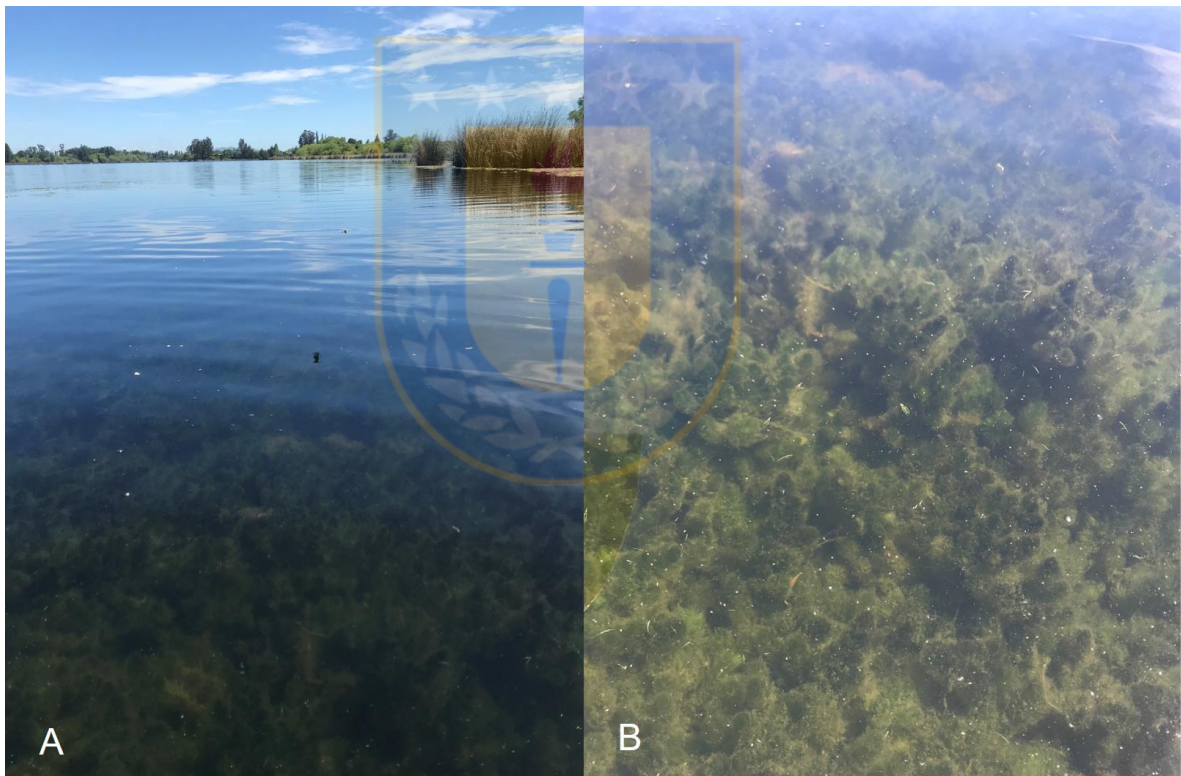


Figura 8. *Ceratophyllum demersum* reconocida como la vegetación sumergida encontrada en la Laguna Santa Elena registrada el 18 de enero, 2020 (A) muestra la cercanía de esta planta a la superficie del agua, y (B) muestra una vista por encima de las plantas.

Fuente: Registro propio.

4.2.1 Algoritmos pre-existentes

Varios enfoques han demostrado la efectividad de los índices de vegetación como buenos predictores de clorofila-a. Por ejemplo, Bohn et al. (2017) logró un $R^2 = 0.75$ aplicando el índice NDVI en un lago somero en la Pampa Argentina para Landsat 8 OLI. Del mismo modo, se esperaba que el índice NDCI, desarrollado por Mishra y Mishra et al. (2012) generara las mejores estimaciones para Sentinel 2 MSI. Sin embargo, para Sentinel 2 MSI, el índice NDTI obtuvo el mejor resultado para clorofila-a ($R^2 = 0.187$) y transparencia ($R^2 = 0.779$), mientras que el NDVI fue el mejor resultado para turbiedad ($R^2 = 0.217$). Chao-Rodríguez et al. (2014) discute que las áreas lacustres y palustres deben identificarse claramente, ya que la vegetación sumergida puede caracterizarse a través del NDVI y afectar la estimación de parámetros de calidad de agua, lo que puede haber ocurrido en este trabajo.

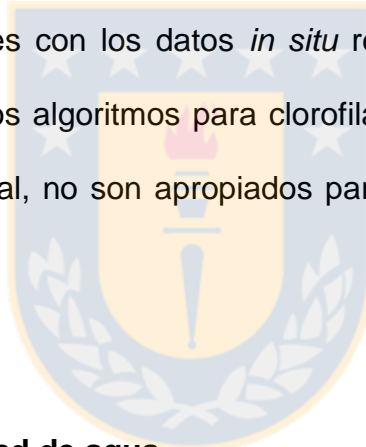
Como los resultados de clorofila-a y turbiedad se consideran deficientes para la estimación de calidad de agua en la Laguna Santa Elena, se realizó una modificación en los algoritmos para mejorar la estimación. Aquí, se incluyó una regresión utilizando los índices al cuadrado, similar a los desarrollados por Mishra y Mishra et al. (2012) y los algoritmos pre-existentes presentados por Neil et al. (2019). Este método disminuyó el valor $-p$ y el RSME de los modelos, y mejoró el R^2 para dos de los parámetros evaluados. Del total de índices evaluados para Landsat 8 OLI, no se encontraron correlaciones con $p \leq 0.05$, por tanto, la Tabla 10 contiene solo resultados obtenidos con Sentinel 2 MSI.

Tabla 10. Resultados de los algoritmos pre-existentes evaluados para la estimación de clorofila-a, turbiedad y transparencia utilizando Sentinel 2 MSI.

Satélite	Algoritmo	P	R ²	RMSE
Sentinel 2 MSI	$\ln(chla) = 4.439 + 21.97 NDTI + 42.41 NDTI^2$	0.005	0.458	0.339
	$\ln(TURB) = 1.645 - 5968 NDVI^2$	0.016	0.281	0.461
	$\ln(SD) = 0.809 + 0.120 NDTI$	< 0.000	0.779	0.167

Fuente: Elaboración propia

De los algoritmos pre-existentes descritos por Neil et al. (2019) no se encontraron correlaciones consistentes con los datos *in situ* registrados en la Laguna Santa Elena. Esto indica que los algoritmos para clorofila-a que son considerados para aplicaciones a nivel global, no son apropiados para lagos y lagunas de pequeño tamaño.



4.2.2 Modelos de calidad de agua

Las distintas combinaciones pueden producir estimaciones moderadas de los parámetros de calidad de agua utilizando regresión lineal simple y múltiple para clorofila-a y turbiedad (Tabla 11). En general, los valores de R² no superan los 0.50. Para el caso de las regresiones lineales simples, Deutsch et al. (2018) indica que la razón entre bandas produce mejores resultados en comparación con las bandas individuales. Esto se observó para la estimación de clorofila-a, donde los modelos con mejores resultados se adquirieron a partir de esta combinación matemática, con

el criterio $p < 0.05$. Es interesante que las bandas utilizadas en estos tres modelos presentan las bandas de aerosol/costera (B1), azul (B2) y verde (B3). Esto indica que la Laguna Santa Elena produce concentraciones menores de clorofila-a (Matthews, 2017), ya que la banda azul (B2) es aplicable para aguas de Caso II que no superan concentraciones de $10 \mu\text{gL}^{-1}$ (Palmer et al., 2015). De acuerdo a los datos *in situ*, los valores inferiores a $10 \mu\text{gL}^{-1}$ corresponden a 75.0 % del total de los datos registrados en las campañas de terreno, lo que concuerda con lo descrito por Palmer et al. (2015).

Es importante mencionar la banda B1, ya que es una nueva adición a los satélites Landsat (a partir de Landsat 8 OLI). Tiene dos objetivos: estimar las concentraciones de aerosoles en la atmósfera (humo y polvo) y proporcionar una inspección más cercana de las aguas costeras y continentales (USGS, 2020). Matus-Hernández et al. (2018) logró resultados similares para clorofila-a en un ambiente costero, donde el autor sugiere que la banda B1 es una variable importante en zonas costeras complejas (bahías y albuferas). La presencia de la banda B1 en la mayoría de los modelos desarrollados puede indicar la importancia de la banda para determinar parámetros de calidad de agua en lagos y lagunas de pequeño tamaño. Otra teoría de la presencia de la banda B1 en los modelos es atribuido al humo presente en la atmósfera producto de los incendios forestales que ocurrieron durante el tiempo de monitoreo.

En general, los resultados producidos por los modelos de regresión lineal múltiple superan el R^2 respecto a los R^2 de las regresiones lineales simples. Lo mismo ocurre con los RMSE adquiridos para las distintas regresiones.

Tabla 11. Algoritmos desarrollados con Landsat 8 OLI mediante regresión lineal simple y múltiple para clorofila-a (chla) y turbidez (TURB).

Regresión lineal	Algoritmo	P	R ²	RMSE
Simple	$\ln(chla) = 0.649 + 1.433 (B1/B3)$	0.013	0.252	0.403
	$\ln(chla) = 4.091 - 2.118 (B3/B2)$	0.018	0.229	0.409
	$\ln(chla) = -0.242 + 2.403 (B1/B2)$	0.018	0.227	0.409
	$\ln(TURB) = 1.479 - 2996 (B2 \times B5)$	0.021	0.221	0.578
	$\ln(TURB) = 1.473 - 3178 (B1 \times B5)$	0.019	0.225	0.577
	$\ln(TURB) = 2.801 - 1.922 (B1/B3)$	0.018	0.229	0.728
Múltiple	$\ln(chla) = 4.343 + 1509 B1 - 2004 B2 - 2.871 B3 + 868.8 B4$	0.030	0.417	0.356
	$\ln(chla) = 4.428 + 1852 B1 - 2591 B2 + 828.4 B4$	0.014	0.404	0.359
	$\ln(chla) = 3.219 + 267.2 B1 - 8.36.6 B3 + 626.6 B4$	0.040	0.333	0.380
	$\ln(TURB) = 0.870 - 571.3 B2 + 840.7 B3 - 356.8 B4$	0.024	0.369	0.502
	$\ln(TURB) = 2.010 + 830.1 B1 - 1876 B2 + 991.3 B4$	0.025	0.368	0.552
	$\ln(TURB) = 1.303 - 543.7 B2 + 574.7 B3 - 63.82 B5$	0.027	0.361	0.530

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de la clorofila-a, se obtuvieron los mejores modelos lineales simples utilizando el producto entre bandas para turbiedad, donde la banda infrarroja cercana (NIR: B5) se repite en dos de los modelos. La banda roja (B4) ha sido ampliamente utilizada en estudios para predecir turbiedad, como Vanhellenmont y

Ruddick (2015) para áreas costeras poco profundas, y por Quang et al. (2017) para Cam Ranh Bay y la Laguna Truy Trieu en Vietnam. En este estudio, la banda roja tuvo un resultado inferior en comparación con los modelos mostrados en la Tabla 11. Sin embargo, cumple con la condición $p < 0.05$ para la estimación de turbiedad ($p = 0.04$, $R^2 = 0.176$). La investigación de Surisetty et al. (2018) en la Laguna de Chilika estima la turbiedad mediante la relación B3/B4 para aguas continentales complejas, logrando un $R^2 = 0.87$. Sin embargo, para este estudio, la relación no resulta en una correlación eficiente. La relación B3/B4 produce un $p = 0.071$ y un $R^2 = 0.141$. El estudio de Surisetty et al. (2018) aplicó una corrección atmosférica basada en las bandas NIR y SWIR 1 y 2 (B6: 15.60 – 16.60 μm ; B7: 21.00 – 23.00 μm) a imágenes de Landsat 8 OLI derivadas del producto sin procesamiento. Los resultados producen incertidumbre respecto a la aplicabilidad de la corrección atmosférica MAIN y la necesidad de estudiar otros modelos de corrección atmosférica.

Los modelos generados a partir de Sentinel 2 MSI superan los desarrollados con Landsat 8 OLI, logrando resultados con correlaciones $R^2 > 0.80$ para clorofila-a, mediante regresión lineal múltiple, similar a resultados obtenidos con la misma metodología por Briceño et al. (2018) y Matus-Hernández et al. (2018). Sin embargo, se sabe que, al integrar un mayor número de datos en las regresiones, el R^2 aumentará. Esto se cumple para las regresiones de este trabajo. Sin embargo, la ecuación $\ln(chla) = 3.370 - 472.8 B1 + 1228 B6 - 1003 B8$ contiene solo 3

variables, con una correlación $R^2 = 0.853$, lo que se considera como pertinente para la detección de clorofila-a para la Laguna Santa Elena.

Se encuentran algunas semejanzas entre los satélites Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI, aunque no es adecuada la comparación debido al desfase entre las fechas analizadas, los resultados obtenidos con las regresiones lineales simples son inferiores a las obtenidas con correlaciones lineales múltiples, tanto para R^2 como RMSE. En las regresiones lineales simples existe una gran presencia de las bandas Red Edge, en particular la banda B6, centrada en 740 nm, aparece en los tres algoritmos desarrollados para clorofila-a. Esto resulta interesante ya que Avdan et al. (2019) obtiene resultados similares para lagos pequeños en Turquía. Esto puede ser evidencia de que las bandas Red-Edge son particularmente importantes para estimar parámetros de calidad de agua en lagos de pequeño tamaño. Por otro lado, la banda B4 se destaca en los resultados para turbiedad (Tabla 12).

Tabla 12. Algoritmos desarrollados con Sentinel 2 MSI mediante regresión lineal simple y múltiple para clorofila-a (chl_a), turbidez (TURB), transparencia (SD).

Regresión lineal	Algoritmo	P	R ²	RMSE
	$\ln(chl_a) = -3.355 + 5.439 (B6/B8)$	0.004	0.374	1.006
	$\ln(chl_a) = 0.980 + 0.851 (B6/B1)$	0.015	0.285	0.870
Simple	$\ln(chl_a) = -2.892 + 5.692 (B6/B7)$	0.015	0.284	1.122
	$\ln(TURB) = 2.679 - 0.901 (B6/B4)$	0.013	0.295	0.463
	$\ln(TURB) = 2.456 - 0.742 (B8/B4)$	0.018	0.272	0.469

	$\ln(TURB) = 2.329 - 0.606 (B8A/B4)$	0.019	0.267	0.456
	$\ln(SD) = 2.085 - 0.508 (B1/B5)$	0.022	0.259	0.279
	$\ln(SD) = 2.711 - 1.007 (B2/B4)$	0.030	0.236	0.311
	$\ln(SD) = 2.063 - 0.449 (B3/B5)$	0.047	0.201	0.290
	$\ln(chla) = 3.448 - 571.5 B1 + 112.0 B2 + 1207 B6 - 995.9 B8$	< 0.000	0.861	0.180
	$\ln(chla) = 3.377 - 532.4 B1 + 56.80 B3 + 1226 B6 - 1005 B8$	< 0.000	0.858	0.182
	$\ln(chla) = 3.370 - 472.8 B1 + 1228 B6 - 1003 B8$	<0.000	0.853	0.185
	$\ln(TURB) = 0.526 + 405.8 B3 - 1178 B5 + 1761 B7 - 1396 B8A$	0.008	0.578	0.353
Múltiple	$\ln(TURB) = 0.700 + 369.4 B3 - 758.9 B5 + 1779 B7 - 1785 B8$	0.020	0.519	0.379
	$\ln(TURB) = 0.435 + 228.3 B3 - 713.2 B6 + 1138 B7 - 709.3 B8$	0.049	0.450	0.403
	$\ln(SD) = 1.407 - 271.0 B3 + 587.5 B4 - 784.4 B6 + 568.7 B7$	0.067	0.423	0.247
	$\ln(SD) = 1.000 - 23.07 B3 + 284.6 B5 - 632.1 B6 + 431.6 B7$	0.069	0.421	0.247
	$\ln(SD) = 1.018 - 55.20 B3 + 465.0 B5 - 632.6 B6 + 399.0 B8$	0.084	0.403	0.251

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Serie espacio-temporal

Los productos de Landsat 8 OLI producen una sobrestimación de la temperatura superficial de la Laguna Santa Elena con un RMSE = 3.106 °C. Los datos durante las campañas fueron tomados a ± 2 horas (14:40 UTC) del paso de los satélites, es decir, aproximadamente entre las 8:40 – 12:40 en hora local lo que puede ser la razón por esta diferencia. La Figura 9 muestra la serie temporal de la temperatura superficial de la laguna para estimaciones con Landsat 8 OLI (a). También se muestra el promedio para los distintos puntos de muestreo para visualizar la

diferencia entre las estimaciones Landsat 8 OLI y los datos registrados durante las campañas (b).

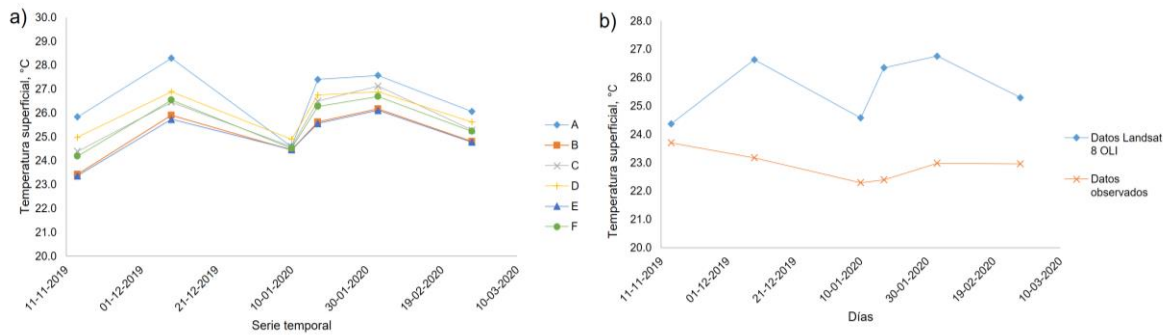


Figura 9. Serie temporal de temperatura superficial a) adquirida a partir de las imágenes de Landsat 8 OLI en los distintos puntos de muestreo y b) promedio de temperatura superficial para datos de Landsat 8 OLI y datos observados durante campañas de terreno.

Fuente: Elaboración propia.

De los algoritmos evaluados en este trabajo se seleccionaron los modelos que produjeron las mejores estimaciones al validar los datos. Solo fue posible seleccionar modelos para clorofila-a y turbidez (Figura 10), puesto que el algoritmo para transparencia genera un $R^2 = 0.002$ para la validación de datos. Revisando los algoritmos restantes para transparencia se verifica que el valor $-p$ no cumple con la condición $p < 0.05$, por lo que se descarta este parámetro. Al revisar los resultados validados se muestra que los algoritmos pueden estimar valores menores o mayores de los distintos parámetros en mejor medida. Por ejemplo, la turbiedad permite estimar parámetros de menor concentración, mientras que la ecuación a partir del NDTI para transparencia genera mejores estimaciones para valores altos

de transparencia. Es interesante considerar realizar una clasificación de los resultados en valores altos y bajos, y generar modelos específicos clasificados según la concentración. A partir de esta clasificación, es posible que las estimaciones sean más certeras para aguas continentales. Sin embargo, para realizar esta propuesta es necesario incorporar un mayor número de datos, tanto para la generación de modelos, como el set de validación de datos.

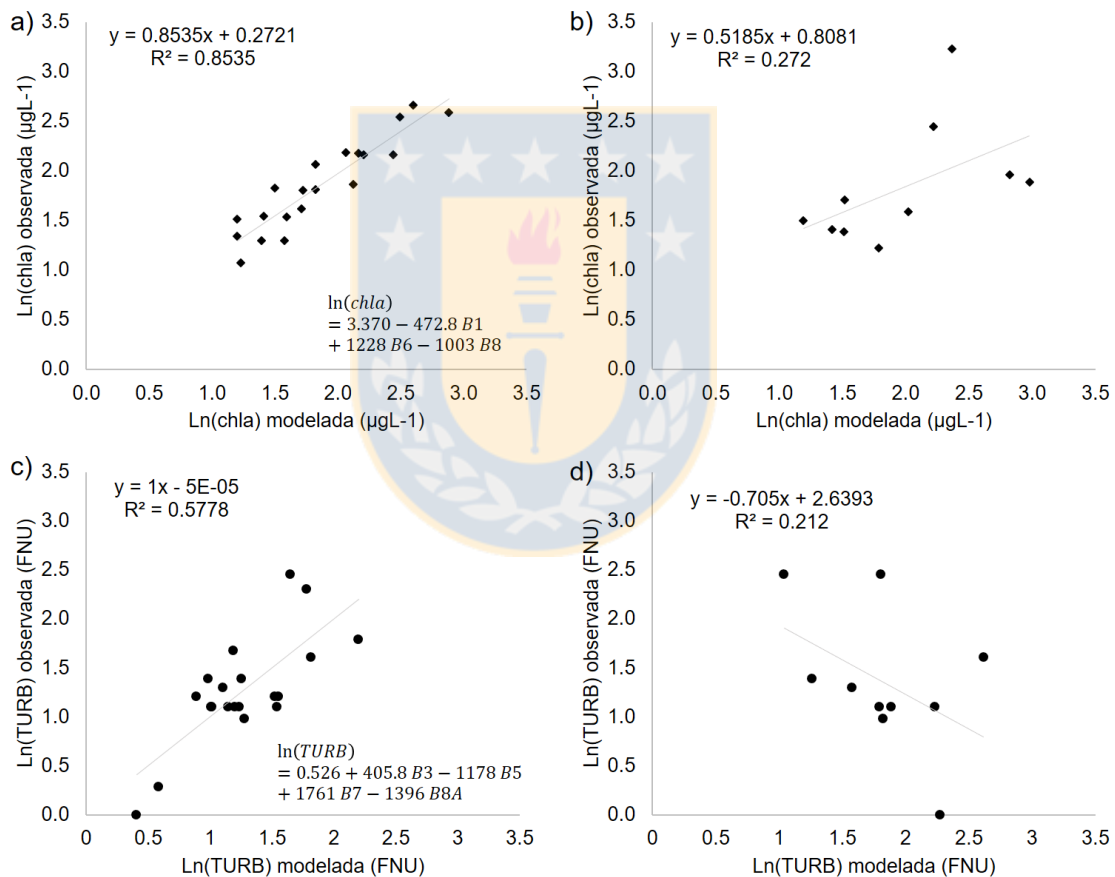


Figura 10. Selección de algoritmos para generar la serie espacio-temporal. a), y b) corresponden al modelo calibrado y a los datos validados para clorofila-a, respectivamente, mientras que c) es el modelo calibrado y d) validado para turbidez.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra la serie espacio-temporal de clorofila-a de la Laguna Santa Elena utilizando el algoritmo seleccionado para su estimación. Los resultados muestran la dinámica de la clorofila-a a lo largo de la laguna, donde predominan los valores entre $0 \mu\text{gL}^{-1}$ a $12.5 \mu\text{gL}^{-1}$ para todas las fechas analizadas. Valores $\geq 12.5 \mu\text{gL}^{-1}$ dominan el sector sur-este del cuerpo de agua, que corresponde al punto de muestreo C, lo que coincide con los resultados del monitoreo *in situ*.

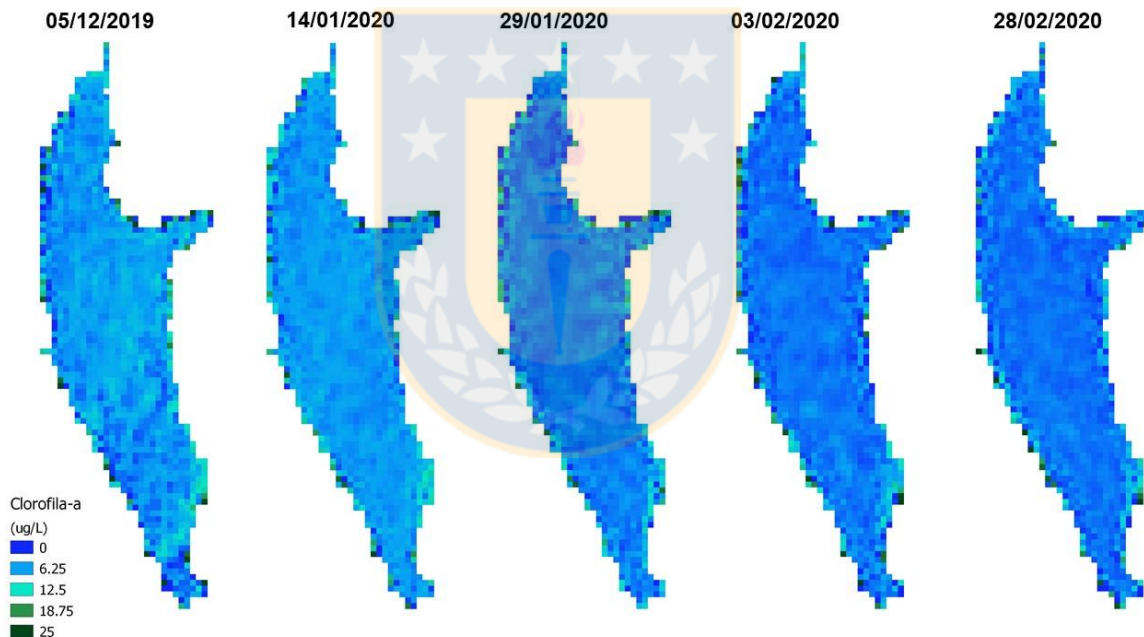


Figura 11. Serie espacio-temporal de la concentración de clorofila-a (μgL^{-1}) estimada a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que los resultados para clorofila-a, la distribución de turbiedad entrega los valores más elevados (≥ 10 FNU) en el sector C. El día 14/01/2020 registra los valores más bajos (0 FNU a 2.5 FNU), lo que coincide con los datos *in situ* (promedio

= 2 FNU y desviación estándar = 1.05 FNU). Se observa un aumento paulatino en la turbidez para los días posteriores, lo que se verifica con los datos *in situ* (Figura 12).

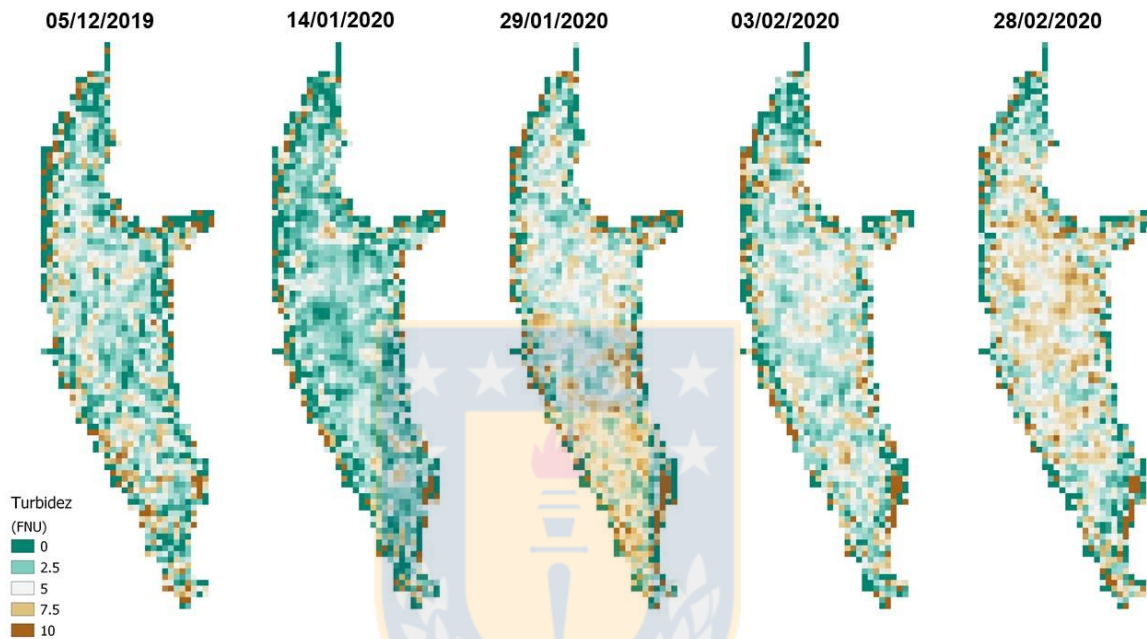


Figura 12. Serie espacio-temporal de la turbidez (FNU) en la Laguna Santa Elena estimada a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del algoritmo seleccionado para clorofila-a se calculó el índice de estado trófico de Carlson. Se considera que la ecuación para estimar el estado trófico de Carlson para la Laguna Santa Elena sobreestima la condición de trofía, ya que presenta niveles muy elevados del índice, necesitando una calibración. Sin embargo, es interesante la dinámica que produce el índice de Carlson, que posiblemente puede corresponder a la herbivoría del zooplancton en la laguna.

Asimismo, la serie indica claramente que el punto C registra los valores ≥ 70 (Figura 13).

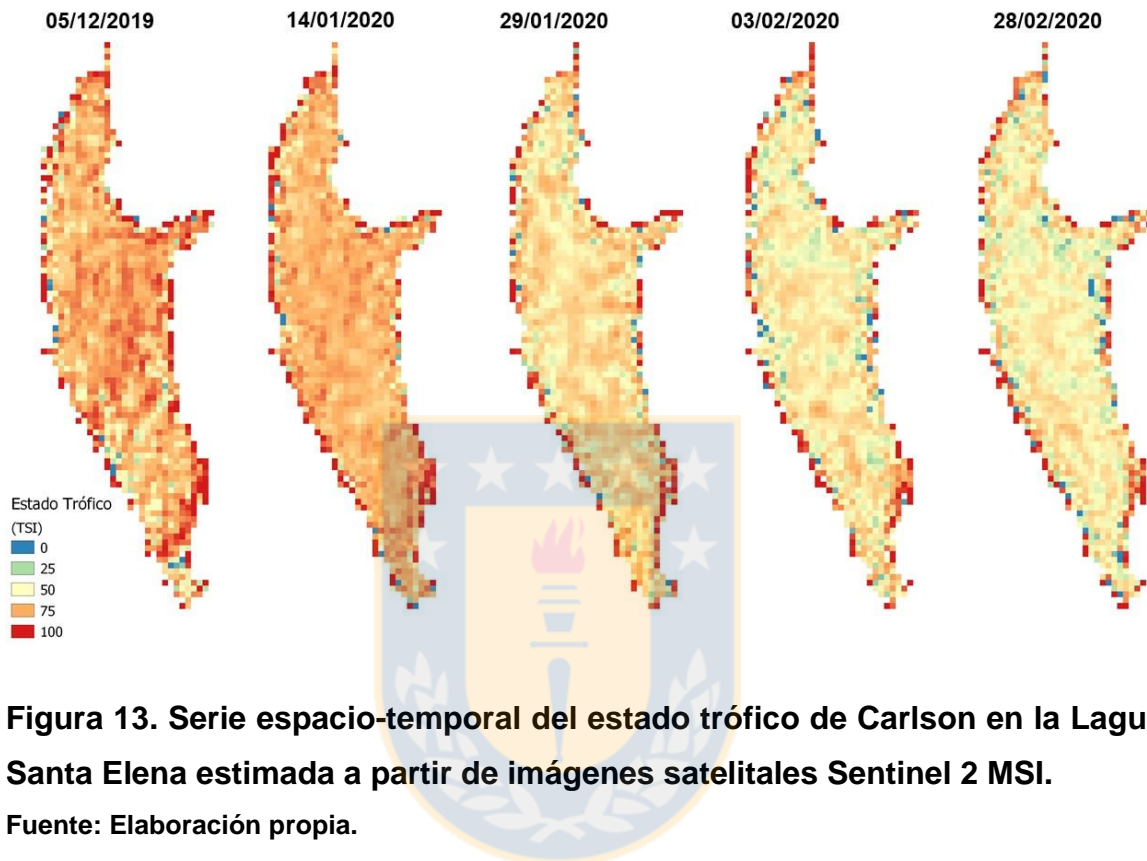


Figura 13. Serie espacio-temporal del estado trófico de Carlson en la Laguna Santa Elena estimada a partir de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al estado trófico evaluado según la escala de Smith et al. (1999), podemos observar que se obtiene una visualización similar al índice de estado trófico de Carlson. Esto no es una coincidencia, puesto que ambos índices utilizan la concentración de clorofila-a para su estimación. Sin embargo, la escala de Smith et al. (1999) es más permisiva, ya que se muestra que la laguna presenta mayormente una condición mesotrófica. El punto C sigue registrando valores de eutrofia (Figura 14).



Figura 14. Serie espacio- temporal del estado trófico de Smith de la Laguna Santa Elena utilizando imágenes Sentinel 2 MSI, donde 1: oligotrófico; 2: mesotrófico; 3: eutrófico; 4: hipertrófico.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 15 muestra los resultados de temperatura superficial, estimadas con imágenes satelitales de Landsat 8 OLI. Como ya se ha mencionado, los resultados entregan una sobreestimación de la temperatura en aproximadamente 3 °C. Sin embargo, el primer día analizado (14/11/2019) se acerca más a los resultados *in situ*, ya que el promedio en este día fue de 23.7 °C y máxima < 25 °C. La serie-temporal visualiza estos resultados cercanos a perfectos, entregando valores de 20 °C a 23 °C, y valores entre 23 °C a 26 °C para las zonas de poca profundidad. La sobreestimación de la temperatura se registra los días posteriores en la serie espacio-temporal. Sin embargo, se considera que un RMSE

= 3.11 °C es una buena estimación, tomando en cuenta el área de la laguna. Este resultado es, además, cercano a resultados registrados por Huovinen et al. (2019) para el Lago Panguipulli (RMSE = 2.77 °C), lo que puede indicar que la temperatura superficial de lagos y lagunas de pequeño tamaño es posible y se ajusta a los resultados que actualmente se adquieren a partir del procesamiento de imágenes satelitales. Una manera de mejorar estas estimaciones es la evaluación de distintos tipos de corrección atmosférica. Tavares et al. (2019) recomienda la Calculadora de Parámetros de Corrección Atmosférica (AtmCorr) de la NASA logrando un RMSE = 1.07 °C para lagos de pequeño tamaño.

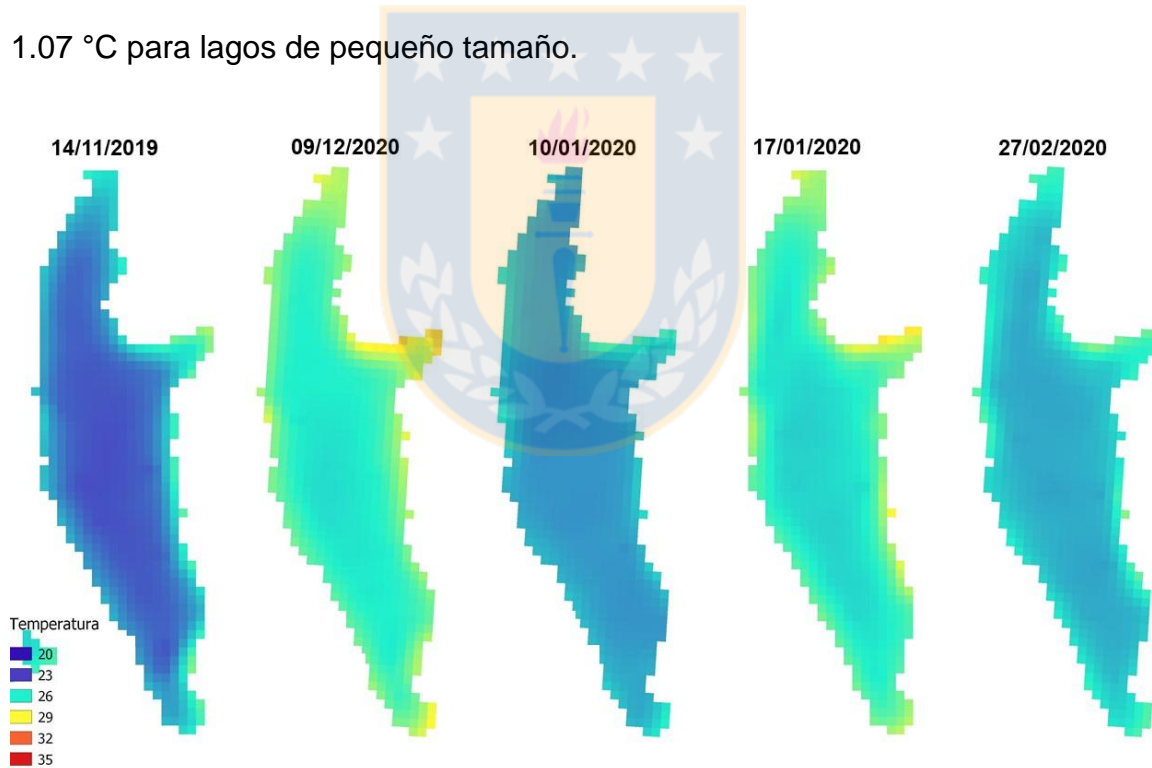


Figura 15. Serie espacio-temporal de la temperatura superficial (°C) de Laguna Santa Elena utilizando Landsat 8 OLI.

Fuente: Elaboración propia.

5 CONCLUSIONES

Este trabajo fue desarrollado para estimar parámetros de calidad de agua en la Laguna Santa Elena, basado en el procesamiento de imágenes satelitales como apoyo para la evaluación y monitoreo espacio temporal de ecosistemas.

Los índices fueron los algoritmos pre-existentes mejor evaluados. El mejor resultado fue logrado para transparencia ($R^2 = 0.779$) pero fue descartado por los malos resultados en la etapa de validación ($R^2 = 0.002$). Lo anterior puede haber sido producto del número de datos que se tenía para este parámetro ($n = 8$). Los algoritmos pre-existentes desarrollados para las distintas OWTs no lograron buenos resultados, esto aumenta la incertidumbre del uso de modelos globales para la detección de parámetros de calidad de agua en Latinoamérica, ya que, si bien están evaluados en un número importante de lagos, estos se ubican principalmente en el hemisferio norte. Con la evaluación de los algoritmos pre-existentes también se logró identificar que la modificación de la regresión lineal a uno de polinomio de grado 2, incrementa los resultados de R^2 , RMSE y disminuye el valor $-p$ de los modelos. Esto sugiere que sería importante incluir este tipo de algoritmo en futuros trabajos.

Se desarrollaron algoritmos empíricos para la estimación de parámetros de calidad de agua para la Laguna Santa Elena. En general se obtuvieron mejores resultados para R^2 , RMSE y valor $-p$ utilizando regresión lineal múltiple tanto para Landsat 8 OLI como para Sentinel 2 MSI. Sin embargo, los algoritmos generados con Sentinel 2 MSI fueron superiores, posiblemente por la resolución espacial de este satélite.

Esto fue especialmente cierto al combinar las bandas del espectro visible del satélite, donde se obtuvo valores de $R^2 > 0.80$ para clorofila-a. También se destaca la presencia de la banda B1 y B6 en los algoritmos con mejores correlaciones, lo que indica que estas bandas pueden ser importantes a la hora de estimar parámetros de calidad de agua en lagos y lagunas de pequeño tamaño. La clorofila-a y la temperatura superficial pueden estimarse con mayor precisión, en comparación con los parámetros de turbiedad y transparencia. Además, la clorofila-a permite estimar el estado trófico de lagos, que es uno de los parámetros más importantes para la evaluación y monitoreo de lagos y lagunas.

Para construir el historial espacio-temporal de la laguna se utilizaron los modelos con los mejores resultados. Estos se obtuvieron a partir de las regresiones lineales múltiples para clorofila-a y turbiedad utilizando imágenes de Sentinel 2 MSI, mientras que se decidió eliminar la transparencia por razones que ya se mencionaron. Además, se estimó la temperatura superficial de la laguna utilizando las imágenes de Landsat 8 OLI. La validación de los datos disminuyó el R^2 considerablemente para clorofila-a y turbiedad. Además, para las estimaciones de temperatura se obtiene una sobreestimación para la mayoría de los datos, aunque no se considera significativa ya que los resultados se acercan a otros realizados en Chile. Para la totalidad de datos, la zona C, presenta mayores problemas de calidad, por lo que es recomendable revisar el método de extracción de aguas que actualmente se encuentra en este sector. Asimismo, es necesario realizar un plan

de manejo para no aumentar el nivel trófico y deteriorar la calidad del agua en la laguna.

Si bien el monitoreo *in situ* no puede reemplazarse por completo, el análisis de imágenes satelitales tiene un gran potencial para estimar parámetros de calidad de aguas continentales, ofreciendo resultados en una escala espacial y temporal de mayor resolución. Esta herramienta puede apoyar en el monitoreo de lagos y lagunas el Chile, pero se requiere evaluar otras metodologías para mejorar las estimaciones. En general se recomienda definir el área mínima, caracterizar la profundidad de la vegetación sumergida, aumentar el número de datos para el análisis e integrar el análisis de fuentes de contaminación que pueden afectar la dinámica en la concentración de componentes presentes en el agua. Finalmente, se propone realizar algoritmos basados en una clasificación de valores altos y bajos de concentración de los distintos parámetros, con la finalidad de mejorar los modelos de calidad de agua.

6 REFERENCIAS

(CONAMA), Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2004). *Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas*. https://www.uach.cl/externos/epicforce/pdf/legislacionchile/agua/guia_CONAMA_establ_norm_secund_calidad_amb_agua.pdf

(DGA), Dirección General de Aguas. (2009). *Redefinición de la Red Mínima de Lagos*. <https://snia.mop.gob.cl/sad/LGO5151.pdf>

(DGA), Dirección General de Aguas. (2014). *Diagnóstico de la Condición Trófica de Cuerpos Lacustres Utilizando Nuevas Herramientas Tecnológicas*. <https://snia.mop.gob.cl/sad/LGO5517.pdf>

(ESA), European Space Agency (2015). *Sentinel 2 User Handbook*. https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

(FAO), Food and Agriculture Organization for the United Nations. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review*. <http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>

(GISD), Global Invasive Species Database. (2020). *Ceratophyllum demersum*. <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=281>

(MMA), Ministerio de Medio Ambiente. (2011). *Informe del Estado del medio Ambiente 2011. Capítulo 8 Recursos Hídricos*. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/Informe-del-estado-del-medio-ambiente.pdf>

(MMA), Ministerio de Medio Ambiente. (2013). *Primer Reporte del Estado del medio Ambiente*. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/M2500MIN2013.pdf>

(MMA), Ministerio de Medio Ambiente. (2017). *Guía Para La Elaboración De Normas Secundarias De Calidad Ambiental En Aguas Continentales Y Marinas 2017*. <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=57f4f33c-e43c-495d-a82a-8f081ec981d3&fname=Guia%20NSCA%20Agua.pdf&access=public>

(MMA), Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Plan Nacional de Protección Ambiental de Humedales 2018 – 2022. Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile*. <https://mma.gob.cl/wp->

content/uploads/2018/11/Plan_humedales_Baja_confrase_VERSION-DEFINITIVA.pdf

(METEOCHILE), Dirección Meteorológica de Chile. (2020). *Desde Australia hasta Chile: El viaje de 10 mil kilómetros de humo de los incendios*. <http://blog.meteochile.gob.cl/2020/01/06/desde-australia-hasta-chile-el-viaje-de-10-mil-kilometros-del-humo-de-los-incendios/>

(MOP), Ministerio de Obras Públicas. (2013). *Chile cuida su Agua. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2015*. https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf

(NASA), National Aeronautics and Space Administration. (2015). *Landsat 8 Users Handbook*. https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf

(NASA), National Aeronautics and Space Administration. (2020). *NASA Animates World Path of Smoke and Aerosols from Australian Fires*. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-animates-world-path-of-smoke-and-aerosols-from-australian-fires>

Avdan, Y., Kaplan, Goncu, & Avdan. (2019). Monitoring the Water Quality of Small Water Bodies Using High-Resolution Remote Sensing Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, <http://doi.org/10.3390/ijgi8120553>

Bohn, V. Y., Carmona, F., Rivas, R., Lagomarsino, L., Diovisalvi, N., & Zagarese, H. E. (2018). Development of an empirical model for chlorophyll-a and Secchi Disk Depth estimation for a Pampean shallow lake (Argentina). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.04.005>

Bonanseña, M., Ledesma, M., Bazán, R., Ferral, A., German, A., O'Mill, P., & Pinotti, L. (2019). Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 imagery for water clarity assessment in a reservoir. *Journal of South American Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102265>

Briceño, I., Pérez, W., San Miguel, D. & Ramos, S. (2018). Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile. *Revista de Teledetección*. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.10126>

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369. Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P.,

- Havens, K. E., ... & Likens, G. E. (2009). Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science*, 323(5917), 1014-1015.
- Carmona, F., Rivas, R. & Fonnegra, D. (2015). Vegetation Index to estimate chlorophyll content from multispectral remote sensing data. *European Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20154818>
- Chander, G., & Markham, B. L. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674–2677.
- Chang, N., Imen, S. y Vannah, B. (2015). Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality Status and Ecosystem State in Relation to the Nutrient Cycle: A 40-Year Perspective, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829981>
- Chao Rodríguez, Y., el Anjoumi, A., Domínguez Gómez, J. A., Rodríguez Pérez, D., & Rico, E. (2014). Using Landsat image time series to study a small water body in Northern Spain. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3634-8>
- Deutsch, E. S., Alameddine, I. & El-Fadel, M. (2018). Monitoring water quality in a hypereutrophic reservoir using Landsat ETM+ and OLI sensors: how transferable are the water quality algorithms? *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6506-9>
- Dörnhöfer, K., & Oppelt, N. (2016). Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolind.2015.12.009>
- Elhag, M., Gitas, I., Othman, A., Bahrawi, J., & Gikas, P. (2019). Assessment of Water Quality Parameters Using Temporal Remote Sensing Spectral Reflectance in Arid Environments, Saudi Arabia. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w11030556>
- Escobar, M. (2019). Identificación de regiones contaminadas en la superficie del Lago Villarica con base en imágenes Sentinel en el periodo 2017-2018. Departamento de Ciencias Geodésicas y Geomática, Universidad de Concepción.
- Fraire-Pacheco, K., Aracibia-Ávila, P., Concha, J., Echeverría, F., Salazar, M. L., Figueroa, C., Espinoza, M., Sepúlveda, J., Jara-Zapata, P., Jeldres-Urra, J. & Vega-Román, E. (2017). A new report of *Craspedacusta sowerbii* (Lankester, 1880) in southern Chile. *Bioinvasions Records*. <https://doi.org/10.3391/bir.2017.6.1.05>

Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s16081298>

Gitelson, A. A., Gritz †, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>

González-Acuña, G., Benavente, C. & Figueroa, R. (2004). Avifauna de la Laguna de Santa Elena, Región del Bío-Bío. *Boletín Chileno de Ornitología*, 10:12-18

González-Acuña, G., Cabello, J., Mey, E., Fernández, I. & Cortéz, A. (2001). *Pseudocolopteryx flaviventris* en Laguna Santa Elena, Provincia de Ñuble. *Boletín Chileno de Ornitología*, 8:37.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Gökçe, D. (2016). Algae as an Indicator of Water Quality. *Algae – Organisms for Imminent Biotechnology*. <https://doi.org/10.5772/62916>

Huovinen, P., Ramírez, J., Caputo, L. & Gómez, I. (2019). Mapping of spatial and temporal variation of water characteristics through satellite remote sensing in Lake Panguipulli, Chile. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.367>

Lavanderos, L., Pozo, M. E., Pattillo, C., & Miranda, H. (1990). Landsat image and sample design for water reservoirs (Rapel dam Central Chile). *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/bf00394354>

Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., & Lafaye, M. (2007). Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment* <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012>

Liu, H. Q., & Huete, A. (1995). A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1109/tgrs.1995.8746027>

Matthews, M. (2017). Bio-optical modeling of phytoplankton chlorophyll-a. Bio-optical modeling and remote sensing of inland waters.

Matthew, A. & McBride, C. (2018). Remote Sensing of Water Quality. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 D. P. Hamilton et al. (eds.), Lake Restoration Handbook. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93043-5_14

Matta Lagos, Camila Guissella, Arumí Ribera, José Luis, Lagos Roa, Luis Octavio, and Paredes Cáceres, Jerónimo. (2015). Diseño De Una Red De Instrumentación Para El Monitoreo Hidrológico De La Laguna Santa Elena. 2015. Print.

Matus-Hernández, M. Á., Martínez-Rincón, R. O., Aviña-Hernández, R. J., & Hernández-Saavedra, N. Y. (2019). Landsat-derived environmental factors to describe habitat preferences and spatiotemporal distribution of phytoplankton. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108759>

Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>

Muñoz Hernández, Felipe Ignacio, Arumí Ribera, José Luis, Montory González, Mónica, Ferrer Valenzuela, Javier F, and Uslar Valle, Nicole. (2017). Uso De 222Rn Como Trazador Ambiental Para Determinar La Existencia De Aportes De Agua Subterránea En La Laguna Santa Elena. 2017. Print

Neil, C., Spyrakos, E., Hunter, P.D. & Tyler A.N. (2019). A global approach for chlorophyll-a retrieval across optically complex inland waters based on optical water types. *Remote Sensing of the Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.027>

Ogashawara, I., Mishra, D. & Gitelson, A. (2017). Remote sensing of inland waters: background and State-of-the-Art. Bio-optical modeling and remote sensing of inland waters.

Page, B. P., Olmanson, L. G., & Mishra, D. R. (2019). A harmonized image processing workflow using Sentinel-2/MSI and Landsat-8/OLI for mapping water clarity in optically variable lake systems. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111284>

Palmer, S. C. J., Kutser, T. & Hunter, P. D. (2015). Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.021>

Papoutsas, C., & Hidjimitsis, G. (2013). Remote Sensing for Water Quality Surveillance in Inland Waters: The Case Study of Asprokremmos Dam in Cyprus.

Remote Sensing of Environment – Integrated Approaches.
<https://doi.org/10.5772/39308>

Quang, N., Sasaki, J., Higa, H., & Huan, N. (2017). Spatiotemporal Variation of Turbidity Based on Landsat 8 OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon, Vietnam. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w9080570>

Quintanilla-Sotomayor, C., Lillo-Saavedra, M., Gonzalo-Martín, C. & Barrera-Berrocal, J. A. (2012). Metodología para estimación de la turbiedad de un lago mediante la clasificación orientada a objetos de imágenes multiespectrales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol III(4), 143–150.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium. Volume I: Technical Presentations*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.

Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)

Suriseti, V., Sahay, A., Ramakrishnan, R., Samal, R. & Rajawat, A. (2018). Improved turbidity estimates in complex inland waters using combined NIR-SWIR atmospheric correction approach for Landsat 8 OLI data. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1471538>

Tavares, M., Cunha, A., Motta-Marques, D., Ruhoff, A., Cavalcanti, J., Fragoso, C., Bravo, J., Cavalcanti, J., Fan, F. & Rodrigues, L. (2019). Comparison of Methods to Estimate Lake-Surface-Water Temperature Using Landsat 7 ETM+ and MODIS Imagery: Case Study of a Large Shallow Subtropical Lake in Southern Brazil. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w11010168>

Topp, S., Pavelsky, T., Jensen, D, Simard, M. & Ross, M. (2020). Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: moving towards multidisciplinary applications. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w12010169>

Vanhellemont, Q. & Ruddick, K. (2016). ACOLITE processing for Sentinel-2 and Landsat-8: atmospheric correction and aquatic applications. *Ocean Optics Conference*, en Victoria, BC, Canada

7 ANEXOS

Algoritmos de Regresión Lineal Simple y Múltiple

Tabla S1

Algoritmos desarrollados para estimar clorofila-a en la Laguna Santa Elena utilizando Sentinel 2 MSI

ALGORITMOS PRE-EXISTENTES								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
NDVI	$\ln(chla) = a + b \times (NDVI)$	1.745	-0.495				0.634	0.013
NDVI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDVI) + c \times (NDVI^2)$	1.663	-1.700	-2.996			0.797	0.026
EVI	$\ln(chla) = a + b \times (EVI)$	1.609	33.47				0.081	0.159
EVI2	$\ln(chla) = a + b \times (EVI) + c \times (EVI^2)$	1.824	-40.86	3811			0.118	0.222
NDCI	$\ln(chla) = a + b \times (NDCI)$	1.830	0.537				0.769	0.005
NDCI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDCI) + c \times (NDCI^2)$	1.836	3.157	-21.23			0.509	0.076
GNDVI	$\ln(chla) = a + b \times (GNDVI)$	1.858	1.114				0.168	0.103
GNDVI2	$\ln(chla) = a + b \times (GNDVI) + c \times (GNDVI^2)$	1.837	1.231	1.058			0.389	0.105
TOMING	$\ln(chla) = a + b \times (TOMING)$	1.821	0.399				0.694	0.009
TOMING2	$\ln(chla) = a + b \times (TOMING) + c \times (TOMING^2)$	1.854	1.328	-5.519			0.560	0.066
NAVI	$\ln(chla) = a + b \times (NAVI)$	1.716	0.396				0.582	0.017
NAVI2	$\ln(chla) = a + b \times (NAVI) + c \times (NAVI^2)$	1.652	1.291	-1.671			0.744	0.034
NDTI	$\ln(chla) = a + b \times (NDTI)$	2.512	2.850				0.070	0.187
NDTI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDTI) + c \times (NDTI^2)$	4.439	21.97	42.41			0.005	0.458
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
B1	$\ln(chla) = a + b \times (B1)$	1.393	74.29				0.128	0.124
B2	$\ln(chla) = a + b \times (B2)$	1.443	72.32				0.082	0.158
B3	$\ln(chla) = a + b \times (B3)$	1.407	64.79				0.104	0.139
B4	$\ln(chla) = a + b \times (B4)$	1.473	83.35				0.046	0.203
B5	$\ln(chla) = a + b \times (B5)$	1.482	72.92				0.045	0.205
B6	$\ln(chla) = a + b \times (B6)$	1.509	47.41				0.032	0.231
B7	$\ln(chla) = a + b \times (B7)$	1.506	40.56				0.044	0.206
B8	$\ln(chla) = a + b \times (B8)$	1.517	45.03				0.051	0.195
B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B8A)$	1.518	42.12				0.045	0.204
B1B2	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B2)$	2.916	-0.935				0.269	0.067
B1B3	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B3)$	2.375	-0.0566				0.612	0.015
B1B4	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B4)$	2.459	-0.403				0.237	0.076
B1B5	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B5)$	2.486	-0.465				0.178	0.098
B1B6	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B6)$	2.678	-0.828				0.031	0.232
B1B7	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B7)$	2.623	-0.932				0.063	0.179
B1B8	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B8)$	2.522	-0.702				0.091	0.150
B1B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B1/B8A)$	2.467	-0.677				0.078	0.162
B2B3	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B3)$	-0.442	2.840				0.187	0.094
B2B4	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B4)$	3.229	-1.053				0.141	0.117
B2B5	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B5)$	2.656	-0.672				0.196	0.091
B2B6	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B6)$	2.584	-0.831				0.069	0.172
B2B7	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B7)$	2.499	-0.885				0.138	0.118
B2B8	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B8)$	2.404	-0.654				0.185	0.095
B2B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B8A)$	2.372	-0.647				0.150	0.112
B3B4	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B4)$	3.017	-0.716				0.106	0.138
B3B5	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B5)$	2.577	-0.486				0.160	0.106
B3B6	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B6)$	2.449	-0.540				0.081	0.159

B3B7	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B7)$	2.407	-0.606				0.134	0.120
B3B8	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B8)$	2.331	-0.452				0.177	0.099
B3B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B8A)$	2.306	-0.449				0.147	0.113
B4B5	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B5)$	2.221	-0.399				0.694	0.009
B4B6	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B6)$	2.340	-0.793				0.252	0.072
B4B7	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B7)$	2.214	-0.639				0.475	0.029
B4B8	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B8)$	2.112	-0.396				0.582	0.017
B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B8A)$	2.170	-0.511				0.433	0.034
B5B6	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B6)$	2.575	-0.974				0.222	0.082
B5B7	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B7)$	2.335	-0.781				0.486	0.027
B5B8	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B8)$	2.121	-0.373				0.639	0.012
B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B8A)$	2.203	-0.513				0.467	0.030
B6B7	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B7)$	-2.892	5.692				0.015	0.284
B6B8	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B8)$	-3.355	5.439				0.004	0.374
B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B8A)$	0.539	1.454				0.359	0.047
B7B8	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B8)$	0.906	0.827				0.641	0.012
B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B8A)$	2.531	-0.619				0.609	0.015
B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B8A)$	5.194	-3.529				0.141	0.116
B2B1	$\ln(chla) = a + b \times (B2/B1)$	0.432	1.593				0.136	0.119
B3B1	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B1)$	1.173	0.617				0.481	0.029
B4B1	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B1)$	0.839	1.448				0.041	0.212
B5B1	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B1)$	0.861	1.277				0.041	0.212
B6B1	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B1)$	0.930	0.851				0.015	0.285
B7B1	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B1)$	0.980	0.674				0.043	0.210
B8B1	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B1)$	1.097	0.669				0.073	0.167
B8AB1	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B1)$	1.117	0.611				0.060	0.183
B3B2	$\ln(chla) = a + b \times (B3/B2)$	4.018	-1.742				0.221	0.082
B4B2	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B2)$	-0.042	2.441				0.047	0.201
B5B2	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B2)$	0.955	1.039				0.173	0.101
B6B2	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B2)$	0.839	0.839				0.041	0.213
B7B2	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B2)$	1.026	0.573				0.136	0.119
B8B2	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B2)$	1.223	0.500				0.225	0.080
B8AB2	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B2)$	1.227	0.466				0.182	0.097
B4B3	$\ln(chla) = a + b \times (B4/B3)$	0.418	2.277				0.039	0.219
B5B3	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B3)$	1.028	1.172				0.119	0.129
B6B3	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B3)$	1.013	0.851				0.039	0.216
B7B3	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B3)$	1.093	0.646				0.098	0.144
B8B3	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B3)$	1.229	0.607				0.155	0.109
B8AB3	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B3)$	1.226	0.573				0.124	0.126
B5B4	$\ln(chla) = a + b \times (B5/B4)$	1.702	0.139				0.861	0.002
B5B4	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B4)$	1.223	0.405				0.241	0.076
B6B4	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B4)$	1.504	0.189				0.556	0.019
B7B4	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B4)$	1.666	0.117				0.699	0.008
B8AB4	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B4)$	1.619	0.136				0.583	0.017
B6B5	$\ln(chla) = a + b \times (B6/B5)$	1.196	0.470				0.263	0.069
B7B5	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B5)$	1.515	0.203				0.619	0.014
B8B5	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B5)$	1.728	0.088				0.803	0.003
B8AB5	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B5)$	1.662	0.124				0.658	0.011
B7B6	$\ln(chla) = a + b \times (B7/B6)$	6.634	-3.974				0.015	0.285
B8B6	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B6)$	6.766	-4.688				0.005	0.361
B8AB6	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B6)$	3.214	-1.222				0.313	0.056
B8B7	$\ln(chla) = a + b \times (B8/B7)$	2.712	-0.980				0.661	0.011
B8AB7	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B7)$	1.283	0.620				0.649	0.012
B8AB8	$\ln(chla) = a + b \times (B8A/B8)$	-1.429	3.100				0.153	0.110
B1XB2	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B2)$	1.605	6023				0.042	0.211
B1XB3	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B3)$	1.593	5336				0.048	0.200

B1XB4	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B4)$	1.620	6852				0.031	0.234
B1XB5	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B5)$	1.622	6068				0.030	0.237
B1XB6	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B6)$	1.634	3943				0.025	0.251
B1XB7	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B7)$	1.632	3422				0.029	0.237
B1XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B8)$	1.634	3876				0.032	0.232
B1XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B1 \times B8A)$	1.636	3593				0.030	0.236
B2XB3	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B3)$	1.611	5222				0.038	0.218
B2XB4	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B4)$	1.634	6690				0.025	0.248
B2XB5	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B5)$	1.637	5916				0.025	0.250
B2XB6	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B6)$	1.648	3826				0.021	0.260
B2XB7	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B7)$	1.646	3325				0.025	0.248
B2XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B8)$	1.648	3773				0.027	0.243
B2XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B2 \times B8A)$	1.650	3494				0.026	0.247
B3XB4	$\ln(chla) = a + b \times (B3 \times B4)$	1.623	5957				0.027	0.242
B3XB5	$\ln(chla) = a + b \times (B3 \times B5)$	1.626	5277				0.028	0.244
B3XB6	$\ln(chla) = a + b \times (B3 \times B6)$	1.639	3413				0.023	0.256
B3XB7	$\ln(chla) = a + b \times (B3 \times B7)$	1.637	2963				0.027	0.243
B3XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B3 \times B8)$	1.639	3357				0.029	0.238
B3XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B3 \times B8A)$	1.641	3111				0.028	0.241
B4XB5	$\ln(chla) = a + b \times (B4 \times B5)$	1.647	6671				0.020	0.266
B4XB6	$\ln(chla) = a + b \times (B4 \times B6)$	1.658	4292				0.018	0.273
B4XB7	$\ln(chla) = a + b \times (B4 \times B7)$	1.656	3739				0.021	0.262
B4XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B4 \times B8)$	1.658	4245				0.022	0.257
B4XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B4 \times B8A)$	1.660	3926				0.022	0.260
B5XB6	$\ln(chla) = a + b \times (B5 \times B6)$	1.660	3771				0.019	0.270
B5XB7	$\ln(chla) = a + b \times (B5 \times B7)$	1.660	3283				0.022	0.259
B5XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B5 \times B8)$	1.660	3730				0.023	0.255
B5XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B5 \times B8A)$	1.662	3446				0.023	0.257
B6XB7	$\ln(chla) = a + b \times (B6 \times B7)$	1.667	2115				0.020	0.264
B6XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B6 \times B8)$	1.670	2406				0.021	0.260
B6XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B6 \times B8A)$	1.670	2221				0.021	0.262
B7XB8	$\ln(chla) = a + b \times (B7 \times B8)$	1.667	2087				0.025	0.249
B7XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B7 \times B8A)$	1.669	1926				0.025	0.250
B8XB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B8 \times B8A)$	1.670	2189				0.026	0.246
B1MB2	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B2)$	1.414	37.01				0.100	0.143
B1MB3	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B3)$	1.395	35.06				0.112	0.134
B1MB4	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B4)$	1.419	40.39				0.075	0.166
B1MB5	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B5)$	1.425	37.91				0.071	0.170
B1MB6	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B6)$	1.449	30.03				0.050	0.197
B1MB7	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B7)$	1.454	27.06				0.060	0.183
B1MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B8)$	1.458	28.91				0.068	0.173
B1MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B1 + B8A)$	1.459	27.86				0.061	0.181
B2MB3	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B3)$	1.423	34.29				0.093	0.149
B2MB4	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B4)$	1.454	38.99				0.062	0.181
B2MB5	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B5)$	1.456	36.90				0.057	0.185
B2MB6	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B6)$	1.474	29.30				0.044	0.210
B2MB7	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B7)$	1.476	26.50				0.053	0.193
B2MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B8)$	1.481	28.32				0.059	0.185
B2MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B2 + B8A)$	1.481	27.27				0.053	0.192
B3MB4	$\ln(chla) = a + b \times (B3 + B4)$	1.430	36.99				0.071	0.170
B3MB5	$\ln(chla) = a + b \times (B3 + B5)$	1.431	35.29				0.066	0.175
B3MB6	$\ln(chla) = a + b \times (B3 + B6)$	1.451	28.45				0.048	0.200
B3MB7	$\ln(chla) = a + b \times (B3 + B7)$	1.455	25.78				0.057	0.187
B3MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B3 + B8)$	1.460	27.48				0.064	0.178
B3MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B3 + B8A)$	1.459	26.51				0.058	0.186
B4MB5	$\ln(chla) = a + b \times (B4 + B5)$	1.475	39.18				0.044	0.206

B4MB6	$\ln(chla) = a + b \times (B4 + B6)$	1.492	30.55					0.035	0.223
B4MB7	$\ln(chla) = a + b \times (B4 + B7)$	1.491	27.58					0.043	0.208
B4MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B4 + B8)$	1.497	29.63					0.048	0.201
B4MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B4 + B8A)$	1.497	28.43					0.044	0.207
B5MB6	$\ln(chla) = a + b \times (B5 + B6)$	1.496	28.96					0.036	0.223
B5MB7	$\ln(chla) = a + b \times (B5 + B7)$	1.495	26.24					0.044	0.207
B5MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B5 + B8)$	1.500	28.14					0.047	0.201
B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times (B5 + B8A)$	1.499	27.09					0.043	0.207
B6MB7	$\ln(chla) = a + b \times (B6 + B7)$	1.507	21.89					0.038	0.218
B6MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B6 + B8)$	1.512	23.16					0.040	0.213
B6MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B6 + B8A)$	1.513	22.38					0.038	0.217
B7MB8	$\ln(chla) = a + b \times (B7 + B8)$	1.511	21.36					0.047	0.201
B7MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B7 + B8A)$	1.511	20.71					0.045	0.206
B8MB8A	$\ln(chla) = a + b \times (B8 + B8A)$	1.517	21.78					0.048	0.200
MODELOS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE									
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R²	
RB1B2	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2$	1.930	-354.8	374.0			0.111	0.227	
RB1B3	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3$	1.445	-55.47	109.3			0.269	0.143	
RB1B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4$	2.328	-371.0	400.1			0.023	0.357	
RB1B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B5$	2.283	-329.9	317.4			0.028	0.343	
RB1B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B6$	2.471	-327.4	194.8			0.012	0.403	
RB1B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B7$	2.109	-220.4	130.0			0.052	0.294	
RB1B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B8$	1.992	-172.3	124.6			0.084	0.252	
RB1B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B8A$	1.973	-158.8	108.7			0.076	0.262	
RB1B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4$	2.596	-238.5	-450.3	761.5		0.011	0.490	
RB1B3B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5$	2.282	-333.9	4.640	316.3		0.075	0.343	
RB1B3B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6$	2.475	-377.5	47.95	191.5		0.035	0.407	
RB1B3B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7$	2.113	-275.7	53.57	126.3		0.120	0.298	
RB1B3B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8$	2.003	-244.9	68.61	120.1		0.175	0.230	
RB1B3B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8A$	1.983	-227.3	64.51	104.9		0.162	0.268	
RB1B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5$	2.452	-419.7	251.6	168.1		0.045	0.386	
RB1B4B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B6$	2.619	-431.3	200.4	137.0		0.024	0.437	
RB1B4B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B7$	2.413	-392.4	307.8	54.72		0.052	0.375	
RB1B4B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B8$	2.387	-387.3	345.3	38.90		0.058	0.365	
RB1B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B8A$	2.393	-385.5	333.3	41.41		0.054	0.371	
RB1B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B6$	2.520	-368.8	100.6	152.7		0.033	0.413	
RB1B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B7$	2.308	-333.0	258.0	34.73		0.072	0.347	
RB1B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B8$	2.304	-334.0	288.3	21.33		0.073	0.344	
RB1B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B8A$	2.324	-388.8	264.8	35.40		0.068	0.035	
RB1B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B7$	3.181	-407.1	1175	-856.1		0.0002	0.694	
RB1B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B8$	3.370	-472.8	1228	-1003		6.6E-07	0.853	
RB1B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B8A$	3.187	-511.5	835.3	-529.7		0.0006	0.652	
RB1B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8$	2.158	-240.3	553.6	-475.2		0.063	0.358	
RB1B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8A$	2.153	-245.0	250.2	-115.6		0.113	0.304	
RB1B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B8 + d \times B8A$	1.929	-135.2	-121.6	209.8		0.167	0.264	
RB1B2B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B4$	3.239	-414.8	555.3	-672.9	585.1	0.030	0.502	
RB1B2B3B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B5$	3.342	-706.9	1279	-757.3	167.8	0.043	0.462	
RB1B2B3B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B6$	3.196	-643.0	1039	-583.8	106.0	0.043	0.462	
RB1B2B3B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B7$	3.281	-689.2	1466	-835.1	32.23	0.065	0.427	
RB1B2B3B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B8$	3.334	-710.2	1649	-938.3	3.157	0.069	0.421	
RB1B2B3B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B8A$	3.317	-703.4	1069	-915.3	8.579	0.069	0.421	
RB1B2B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B5$	2.368	-86.15	-656.8	816.6	3.969	0.069	0.421	
RB1B2B4B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B6$	2.561	-259.2	-357.6	483.1	99.98	0.049	0.450	
RB1B2B4B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B7$	2.362	-77.02	-672.8	834.7	-2.570	0.069	0.421	
RB1B2B4B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B8$	2.348	-61.52	-698.7	864.8	-12.68	0.069	0.422	
RB1B2B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B8A$	2.379	-96.55	-637.9	792.7	9.548	0.069	0.421	

RB1B2B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B6$	2.608	-478.5	136.1	72.40	147.6	0.067	0.423
RB1B2B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B7$	2.417	-462.3	-159.1	224.0	30.36	0.128	0.362
RB1B2B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8$	2.412	-464.5	160.4	253.9	15.90	0.131	0.360
RB1B2B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8A$	2.424	-460.3	150.8	234.3	29.46	0.125	0.364
RB1B2B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B7$	3.328	-573.8	186.1	1163	-865.9	0.0005	0.713
RB1B2B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8$	3.448	-571.5	112.0	1207	-995.9	2.7E-06	0.861
RB1B2B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8A$	3.308	-654.8	160.5	816.2	-530.4	0.001	0.668
RB1B2B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8$	2.319	-413.9	192.8	509.9	-449.3	0.106	0.381
RB1B2B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8A$	2.340	-444.3	220.0	226.6	-115.4	0.165	0.335
RB1B2B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B8 + e \times B8A$	2.160	-368.1	244.6	-109.7	176.6	0.219	0.302
RB1B3B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B5$	2.989	-193.9	-517.2	891.2	-86.07	0.028	0.494
RB1B3B3B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B6$	2.949	-260.6	-408.9	695.4	22.61	0.030	0.491
RB1B3B4B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B7$	3.044	-168.3	-592.3	998.5	-72.91	0.023	0.508
RB1B3B4B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8$	3.030	-163.0	-590.8	990.8	-82.80	0.022	0.514
RB1B3B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8A$	2.999	-203.8	-522.2	881.9	-38.83	0.027	0.498
RB1B3B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B6$	2.518	-395.6	29.82	90.04	155.1	0.075	0.414
RB1B3B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B7$	2.306	-341.3	9.446	254.9	35.24	0.147	0.347
RB1B3B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8$	2.303	-341.5	7.298	286.1	21.64	0.151	0.345
RB1B3B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8A$	2.323	-345.1	7.146	262.9	35.50	0.141	0.351
RB1B3B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B7$	3.219	-530.6	115.1	1206	-890.5	0.0006	0.712
RB1B3B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8$	3.377	-532.4	56.80	1226	-1005	3.2E-06	0.858
RB1B3B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8A$	3.200	-586.0	69.60	836.5	-534.7	0.002	0.659
RB1B3B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8$	2.160	-268.4	27.65	544.2	-466.8	0.132	0.359
RB1B3B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8A$	2.157	-295.8	50.06	243.5	-112.4	0.209	0.308
RB1B3B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8 + e \times B8A$	1.942	-203.3	62.58	-113.2	199.2	0.284	0.271
RB2B3	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3$	1.874	536.8	-445.3			0.126	0.216
RB2B4	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4$	2.295	-775.7	867.9			0.010	0.418
RB2B5	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B5$	1.697	-169.1	219.2			0.091	0.246
RB2B6	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B6$	1.873	-194.7	149.7			0.050	0.303
RB2B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B7$	1.677	-105.2	90.44			0.109	0.230
RB2B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B8$	1.621	-63.25	79.15			0.143	0.204
RB2B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B8A$	1.641	-69.42	76.16			0.125	0.217
RB2B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4$	2.603	-375.9	-351.9	834.4		0.019	0.454
RB2B3B5	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5$	1.888	141.9	-250.7	174.2		0.173	0.261
RB2B3B6	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6$	1.872	-196.3	1.216	149.9		0.114	0.303
RB2B3B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7$	1.853	203.5	-248.5	65.22		0.206	0.242
RB2B3B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8$	1.854	339.9	-326.0	42.33		0.240	0.225
RB2B3B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8A$	1.851	280.5	-288.3	49.76		0.221	0.234
RB2B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B5$	2.305	-787.0	918.1	-34.33		0.030	0.419
RB2B4B6	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B6$	2.318	-742.4	738.9	51.99		0.026	0.430
RB2B4B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B7$	2.299	-788.0	908.7	-14.04		0.030	0.419
RB2B4B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B8$	2.996	-787.2	916.3	-20.89		0.029	0.420
RB2B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B8A$	2.296	-775.1	865.3	1.014		0.031	0.419
RB2B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B6$	1.874	-205.6	26.79	139.3		0.113	0.310
RB2B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B7$	1.715	-173.7	163.3	33.67		0.191	0.250
RB2B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B8$	1.707	-172.7	201.8	13.30		0.198	0.247
RB2B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B8A$	1.732	-181.6	173.6	33.69		0.185	0.254
RB2B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B7$	2.388	-240.4	1026	-772.8		0.005	0.542
RB2B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B8$	2.524	-309.6	1103	-925.9		0.0002	0.690
RB2B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B8A$	2.201	-299.1	627.4	-401.7		0.018	0.457
RB2B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B7 + d \times B8$	1.710	-128.4	503.5	-459.8		0.132	0.289
RB2B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B7 + d \times B8A$	1.681	-114.1	146.1	-53.97		0.226	0.232
RB2B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B8 + d \times B8A$	1.618	-23.58	-299.6	327.3		0.217	0.237
RB2B3B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B5$	2.788	-248.8	-511.5	1061	-165.6	0.036	0.476
RB2B3B4B6	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B6$	2.650	-316.6	-417.7	887.9	-24.12	0.046	0.455
RB2B3B4B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B7$	2.863	-158.4	-619.1	1094	-98.21	0.030	0.489

RB2B3B4B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8$	2.848	-119.8	-629.3	1056	-107.2	0.028	0.494
RB2B3B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8A$	2.733	-234.1	-505.9	954.7	-53.07	0.039	0.469
RB2B3B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B6$	1.917	-258.5	-11.83	187.4	71.50	0.155	0.342
RB2B3B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B7$	1.955	18.61	-206.3	294.0	-35.45	0.166	0.334
RB2B3B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8$	1.962	49.13	-225.8	287.5	-42.14	0.163	0.336
RB2B3B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8A$	1.935	-56.29	-153.3	254.7	-2.440	0.173	0.329
RB2B3B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B7$	2.163	-962.0	555.3	1267	-919.1	0.007	0.588
RB2B3B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8$	2.329	-854.7	418.0	1230	-993.8	0.0005	0.719
RB2B3B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8A$	2.064	-672.2	283.8	706.0	-435.5	0.039	0.470
RB2B3B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8$	1.942	273.8	-325.3	503.2	-496.2	0.205	0.310
RB2B3B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8A$	1.859	198.3	-252.0	124.4	-57.69	0.345	0.245
RB2B3B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B2 + d \times B8 + e \times B8A$	1.891	454.9	-383.1	-388.3	366.6	0.296	0.265
RB3B4	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4$	2.627	-554.9	668.2			0.008	0.434
RB3B5	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5$	1.827	-147.3	204.6			0.080	0.258
RB3B6	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6$	1.937	-143.6	124.9			0.050	0.299
RB3B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B7$	1.763	-94.34	86.55			0.100	0.237
RB3B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B8$	1.699	-65.91	81.55			0.133	0.211
RB3B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B8A$	1.716	-68.89	76.80			0.116	0.224
RB3B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5$	2.835	-661.9	1001	-194.8		0.015	0.468
RB3B4B6	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6$	2.734	-638.6	865.7	-59.70		0.021	0.445
RB3B4B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7$	2.901	-721.7	1065	-109.4		0.012	0.486
RB3B4B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8$	2.875	-705.9	1032	-116.4		0.011	0.493
RB3B4B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8A$	2.778	-652.0	897.6	-66.52		0.018	0.463
RB3B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6$	1.941	-149.4	19.29	116.4		0.118	0.300
RB3B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7$	1.835	-146.4	167.1	20.64		0.175	0.260
RB3B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8$	1.827	-147.3	203.7	0.587		0.178	0.258
RB3B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8A$	1.844	-149.0	166.6	23.62		0.171	0.262
RB3B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7$	2.363	-152.1	924.4	-720.9		0.008	0.511
RB3B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8$	2.523	-204.1	998.2	-871.3		0.0006	0.652
RB3B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8A$	2.226	-200.5	536.1	-361.5		0.026	0.430
RB3B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B7 + d \times B8$	1.820	-117.0	516.4	-489.0		0.117	0.301
RB3B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B7 + d \times B8A$	1.773	-102.1	147.9	-60.41		0.210	0.240
RB3B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B8 + d \times B8A$	1.685	-39.77	-271.1	309.7		0.209	0.241
RB3B4B5B6	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B6$	2.847	-674.0	1025	-183.8	-12.88	0.039	0.469
RB3B4B5B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B7$	2.945	-739.2	1145	-94.96	-86.61	0.029	0.492
RB3B4B5B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8$	2.955	-743.0	1166	-114.6	-96.49	0.025	0.503
RB3B4B5B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8A$	2.910	-715.0	1111	-158.0	-50.25	0.033	0.483
RB3B4B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B7$	3.036	-589.5	766.2	700.3	-666.1	0.004	0.624
RB3B4B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B8$	2.796	-405.5	364.2	821.5	-772.5	0.001	0.674
RB3B4B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B8A$	2.690	-532.4	616.0	258.3	-232.7	0.031	0.487
RB3B4B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7 + e \times B8$	2.849	-690.3	997.3	59.34	-174.1	0.030	0.493
RB3B4B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7 + e \times B8A$	3.001	-770.0	1183	-299.5	165.7	0.024	0.505
RB3B4B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8 + e \times B8A$	3.035	-757.0	1195	-820.0	590.4	0.006	0.594
RB3B5B6B7	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B7$	2.417	-195.8	142.2	914.6	-768.4	0.018	0.527
RB3B5B6B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8$	2.569	-134.1	-260.9	1246	-1004	0.0007	0.702
RB3B5B6B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8A$	2.324	-123.1	-362.3	931.1	-568.7	0.027	0.499
RB3B5B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7 + e \times B8$	1.805	-103.3	-53.59	594.3	-542.2	0.220	0.302
RB3B5B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7 + e \times B8A$	1.829	-174.9	350.1	-277.9	222.7	0.278	0.273
RB3B5B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8 + e \times B8A$	1.923	-167.4	407.1	-906.3	725.4	0.113	0.375
RB3B6B7B8	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8$	2.560	-198.2	1091	-188.3	-755.3	0.002	0.661
RB3B6B7B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8A$	2.433	-180.1	987.0	-583.8	-188.6	0.015	0.539
RB3B6B8B8A	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8 + e \times B8A$	1.823	-88.43	613.6	-1100	452.7	0.129	0.361

Tabla S2

Algoritmos desarrollados para estimar turbiedad en la Laguna Santa Elena utilizando Sentinel 2 MSI

ALGORITMOS PRE-EXISTENTES								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
NDVI	$\ln(chla) = a + b \times (NDVI)$	1.788	-2.286				0.038	0.217
NDVI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDVI) + c \times (NDVI^2)$	1.581	0.744	-7.542			0.058	0.284
EVI	$\ln(chla) = a + b \times (EVI)$	1.397	-95.43				0.243	0.075
EVI2	$\ln(chla) = a + b \times (EVI) + c \times (EVI^2)$	1.399	-35.19	-19585			0.487	0.081
NDCI	$\ln(chla) = a + b \times (NDCI)$	1.373	-2.073				0.307	0.058
NDCI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDCI) + c \times (NDCI^2)$	1.370	-3.376	10.56			0.531	0.072
GNDVI	$\ln(chla) = a + b \times (GNDVI)$	1.142	-0.701				0.577	0.017
GNDVI2	$\ln(chla) = a + b \times (GNDVI) + c \times (GNDVI^2)$	0.893	-4.493	-10.10			0.632	0.053
TOMING	$\ln(chla) = a + b \times (TOMING)$	1.375	-1.198				0.287	0.063
TOMING2	$\ln(chla) = a + b \times (TOMING) + c \times (TOMING^2)$	1.361	-1.625	2.538			0.528	0.072
NAVI	$\ln(chla) = a + b \times (NAVI)$	1.789	-1.462				0.057	0.185
NAVI2	$\ln(chla) = a + b \times (NAVI) + c \times (NAVI^2)$	1.646	0.518	-3.693			0.086	0.251
NDTI	$\ln(chla) = a + b \times (NDTI)$	1.281	0.053				0.976	5.1E-05
NDTI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDTI) + c \times (NDTI^2)$	-0.534	-17.96	-39.95			0.166	0.190
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
B1	$\ln(turb) = a + b \times (B1)$	1.476	-33.19				0.556	0.019
B2	$\ln(turb) = a + b \times (B2)$	1.367	-17.16				0.725	0.007
B3	$\ln(turb) = a + b \times (B3)$	1.315	-6.572				0.888	0.001
B4	$\ln(turb) = a + b \times (B4)$	1.345	-16.57				0.738	0.006
B5	$\ln(turb) = a + b \times (B5)$	1.386	-22.74				0.598	0.016
B6	$\ln(turb) = a + b \times (B6)$	1.413	-19.71				0.453	0.031
B7	$\ln(turb) = a + b \times (B7)$	1.406	-15.83				0.507	0.025
B8	$\ln(turb) = a + b \times (B8)$	1.427	-21.00				0.439	0.033
B8A	$\ln(turb) = a + b \times (B8A)$	1.434	-20.45				0.410	0.038
B1B2	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B2)$	2.601	-1.175				0.215	0.084
B1B3	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B3)$	3.570	-2.514				0.034	0.227
B1B4	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B4)$	2.091	-0.551				0.147	0.113
B1B5	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B5)$	1.687	-0.309				0.435	0.034
B1B6	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B6)$	0.873	0.399				0.382	0.043
B1B7	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B7)$	1.014	0.310				0.600	0.125
B1B8	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B8)$	0.835	0.459				0.340	0.051
B1B8A	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B8A)$	0.856	0.458				0.303	0.059
B2B3	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B3)$	4.012	-3.396				0.159	0.107
B2B4	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B4)$	2.103	-0.870				0.286	0.063
B2B5	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B5)$	1.242	0.023				0.970	8.2E-05
B2B6	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B6)$	0.595	0.770				0.141	0.117
B2B7	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B7)$	0.700	0.784				0.248	0.073
B2B8	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B8)$	0.565	0.841				0.127	0.125
B2B8A	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B8A)$	0.667	0.756				0.133	0.121
B3B4	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B4)$	1.475	-0.127				0.806	0.003
B3B5	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B5)$	0.993	0.186				0.641	0.012
B3B6	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B6)$	0.662	0.553				0.115	0.132
B3B7	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B7)$	0.714	0.611				0.183	0.096
B3B8	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B8)$	0.627	0.613				0.099	0.143
B3B8A	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B8A)$	0.712	0.557				0.108	0.137
B4B5	$\ln(turb) = a + b \times (B4/B5)$	0.177	1.198				0.287	0.063
B4B6	$\ln(turb) = a + b \times (B4/B6)$	0.291	1.455				0.053	0.192

B4B7	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B4/B7)$	0.390	1.575				0.107	0.137
B4B8	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B4/B8)$	0.327	1.462				0.059	0.185
B4B8A	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B4/B8A)$	0.490	1.269				0.072	0.168
B5B6	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B6)$	0.270	1.354				0.126	0.125
B5B7	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B7)$	0.357	1.490				0.231	0.079
B5B8	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B8)$	0.327	1.462				0.058	0.185
B5B8A	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B8A)$	0.561	1.050				0.177	0.099
B6B7	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B7)$	6.064	-5.758				0.033	0.229
B6B8	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B8)$	0.861	0.425				0.859	0.002
B6B8A	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B8A)$	0.044	1.351				0.450	0.032
B7B8	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B8)$	-3.327	3.996				0.033	0.227
B7B8A	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B8A)$	-1.446	2.493				0.055	0.189
B8B8A	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B8A)$	-1.522	2.952				0.281	0.064
B2B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B2/B1)$	0.092	1.315				0.281	0.064
B3B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B3/B1)$	-0.805	1.873				0.046	0.203
B4B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B4/B1)$	0.813	0.649				0.439	0.034
B5B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B1)$	1.160	0.140				0.851	0.002
B6B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B1)$	1.620	-0.322				0.448	0.032
B7B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B1)$	1.481	-0.163				0.681	0.010
B8B1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B1)$	1.670	-0.353				0.417	0.040
B8AB1	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B1)$	1.700	-0.356				0.348	0.049
B3B2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B3/B2)$	-1.607	2.319				0.144	0.115
B4B2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B4/B2)$	0.486	1.007				0.489	0.027
B5B2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B2)$	1.471	-0.233				0.791	0.004
B6B2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B2)$	2.149	-0.725				0.125	0.126
B7B2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B2)$	1.959	-0.476				0.278	0.065
B8B2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B2)$	2.207	-0.740				0.105	0.139
B8AB2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B2)$	2.167	-0.665				0.085	0.156
B4B3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B4/B3)$	1.338	-0.109				0.934	0.003
B5B3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B3)$	1.653	-0.544				0.532	0.022
B6B3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B3)$	2.005	-0.742				0.119	0.129
B7B3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B3)$	1.956	-0.555				0.214	0.084
B8B3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B3)$	2.098	-0.801				0.092	0.150
B8AB3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B3)$	2.088	-0.743				0.073	0.168
B5B4	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B5/B4)$	2.214	-0.847				0.334	0.052
B5B4	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B4)$	2.679	-0.901				0.013	0.296
B6B4	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B4)$	2.510	-0.663				0.053	0.192
B7B4	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B4)$	2.486	-0.742				0.018	0.272
B8AB4	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B4)$	2.329	-0.606				0.019	0.267
B6B5	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B6/B5)$	2.625	-0.965				0.033	0.229
B7B5	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B5)$	2.451	-0.703				0.114	0.133
B8B5	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B5)$	2.367	-0.744				0.046	0.203
B8AB5	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B5)$	2.206	-0.595				0.046	0.203
B7B6	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B7/B6)$	-3.467	3.939				0.036	0.221
B8B6	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B6)$	1.760	-0.469				0.823	0.003
B8AB6	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B6)$	2.533	-1.138				0.406	0.039
B8B7	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8/B7)$	5.968	-5.387				0.021	0.261
B8AB7	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B7)$	4.150	-3.113				0.030	0.236
B8AB8	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B8A/B8)$	4.180	-2.742				0.268	0.068
B1XB2	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B2)$	1.361	-2194				0.531	0.022
B1XB3	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B3)$	1.356	-1764				0.581	0.017
B1XB4	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B4)$	1.350	-2356				0.534	0.022
B1XB5	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B5)$	1.362	-2393				0.472	0.029
B1XB6	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B6)$	1.363	-1647				0.429	0.035
B1XB7	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B7)$	1.363	-1435				0.444	0.033
B1XB8	$\ln(\text{turb}) = a + b \times (B1 \times B8)$	1.368	-1726				0.421	0.036

B1XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B1 \times B8A)$	1.363	-1657				0.429	0.035
B2XB3	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B3)$	1.340	-1501				0.616	0.014
B2XB4	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B4)$	1.339	-2108				0.557	0.019
B2XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B5)$	1.348	-2129				0.501	0.025
B2XB6	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B6)$	1.349	-1469				0.463	0.030
B2XB7	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B7)$	1.349	-1269				0.476	0.029
B2XB8	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B8)$	1.353	-1515				0.457	0.031
B2XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B8A)$	1.354	-1439				0.443	0.033
B3XB4	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B4)$	1.336	-1706				0.598	0.016
B3XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B5)$	1.347	-1782				0.532	0.022
B3XB6	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B6)$	1.349	-1259				0.484	0.028
B3XB7	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B7)$	1.349	-1078				0.502	0.025
B3XB8	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B8)$	1.353	-1298				0.479	0.028
B3XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B8A)$	1.355	-1238				0.463	0.030
B4XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B4 \times B5)$	1.343	-2344				0.497	0.026
B4XB6	$\ln(turb) = a + b \times (B4 \times B6)$	1.342	-1583				0.470	0.029
B4XB7	$\ln(turb) = a + b \times (B4 \times B7)$	1.343	-1377				0.480	0.028
B4XB8	$\ln(turb) = a + b \times (B4 \times B8)$	1.345	-1628				0.466	0.030
B4XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B4 \times B8A)$	1.346	-1542				0.453	0.032
B5XB6	$\ln(turb) = a + b \times (B5 \times B6)$	1.348	-1511				0.435	0.034
B5XB7	$\ln(turb) = a + b \times (B5 \times B7)$	1.345	-1329				0.443	0.033
B5XB8	$\ln(turb) = a + b \times (B5 \times B8)$	1.351	-1551				0.430	0.035
B5XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B5 \times B8A)$	1.352	-1463				0.419	0.037
B6XB7	$\ln(turb) = a + b \times (B6 \times B7)$	1.348	-881.3				0.421	0.036
B6XB8	$\ln(turb) = a + b \times (B6 \times B8)$	1.351	-1040				0.407	0.038
B6XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B6 \times B8A)$	1.352	-982.2				0.395	0.040
B7XB8	$\ln(turb) = a + b \times (B7 \times B8)$	1.351	-906.6				0.415	0.037
B7XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B7 \times B8A)$	1.353	-856.5				0.403	0.039
B8XB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B8 \times B8A)$	1.355	-1013				0.388	0.042
B1MB2	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B2)$	1.414	-12.13				0.644	0.012
B1MB3	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B3)$	1.385	-8.840				0.731	0.007
B1MB4	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B4)$	1.400	-12.10				0.649	0.012
B1MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B5)$	1.425	-13.73				0.577	0.018
B1MB6	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B6)$	1.442	-12.72				0.481	0.028
B1MB7	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B7)$	1.432	-10.94				0.517	0.024
B1MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B8)$	1.453	-13.32				0.472	0.029
B1MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B8A)$	1.456	-13.25				0.447	0.032
B2MB3	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B3)$	1.343	-5.826				0.807	0.003
B2MB4	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B4)$	1.356	-8.460				0.731	0.007
B2MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B5)$	1.381	-10.30				0.654	0.011
B2MB6	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B6)$	1.407	-10.56				0.539	0.021
B2MB7	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B7)$	1.400	-9.123				0.572	0.018
B2MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B8)$	1.415	-11.03				0.531	0.022
B2MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B8A)$	1.422	-11.13				0.503	0.025
B3MB4	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B4)$	1.334	-5.663				0.814	0.003
B3MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B5)$	1.363	-7.782				0.730	0.007
B3MB6	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B6)$	1.399	-9.088				0.593	0.016
B3MB7	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B7)$	1.391	7.856				0.623	0.014
B3MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B8)$	1.406	-9.482				0.586	0.017
B3MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B8A)$	1.415	-9.738				0.554	0.020
B4MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B4 + B5)$	1.368	-10.16				0.661	0.011
B4MB6	$\ln(turb) = a + b \times (B4 + B6)$	1.394	-10.49				0.544	0.021
B4MB7	$\ln(turb) = a + b \times (B4 + B7)$	1.389	-9.053				0.576	0.018
B4MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B4 + B8)$	1.402	-10.96				0.535	0.023
B4MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B4 + B8A)$	1.409	-11.07				0.507	0.025
B5MB6	$\ln(turb) = a + b \times (B5 + B6)$	1.405	-10.94				0.504	0.025

B5MB7	$\ln(turb) = a + b \times (B5 + B7)$	1.400	-9.510					0.570	0.021
B5MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B5 + B8)$	1.414	-11.41					0.496	0.026
B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times (B5 + B8A)$	1.420	-11.42					0.471	0.029
B6MB7	$\ln(turb) = a + b \times (B6 + B7)$	1.410	-8.819					0.481	0.028
B6MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B6 + B8)$	1.421	-10.18					0.446	0.033
B6MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B6 + B8A)$	1.424	-10.08					0.430	0.035
B7MB8	$\ln(turb) = a + b \times (B7 + B8)$	1.416	-9.083					0.475	0.029
B7MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B7 + B8A)$	1.420	-9.043					0.457	0.031
B8MB8A	$\ln(turb) = a + b \times (B8 + B8A)$	1.431	-10.38					0.424	0.036
MODELOS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE									
Índice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R²	
RB1B2	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2$	2.126	-552.4	452.6				0.279	0.139
RB1B3	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3$	1.674	-530.4	418.7				0.097	0.240
RB1B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4$	2.028	-296.4	236.5				0.472	0.084
RB1B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5$	1.569	-75.44	33.17				0.832	0.021
RB1B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B6$	1.108	-103.9	-66.49				0.674	0.045
RB1B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B7$	1.314	33.65	-29.49				0.796	0.026
RB1B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B8$	1.160	97.22	-65.91				0.658	0.048
RB1B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B8A$	1.131	105.5	-64.63				0.601	0.058
RB1B2B3	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3$								
RB1B2B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4$								
RB1B2B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5$								
RB1B2B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6$								
RB1B2B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7$								
RB1B2B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B8$								
RB1B2B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B8A$								
RB1B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4$	1.191	-472.1	597.1	-242.8			0.161	0.262
RB1B3B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5$	1.477	-464.9	443.3	-74.45			0.193	0.249
RB1B3B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6$	1.149	-366.3	450.0	-97.62			0.124	0.295
RB1B3B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7$	1.353	-424.8	445.4	-60.56			0.161	0.268
RB1B3B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8$	1.191	-301.7	228.9	49.38			0.371	0.173
RB1B3B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8A$	1.205	-380.8	457.7	-91.31			0.101	0.315
RB1B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5$	1.861	-231.0	435.6	-225.4			0.529	0.125
RB1B4B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B6$	1.534	-194.2	575.0	-232.3			0.164	0.266
RB1B4B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B7$	1.796	-238.4	487.2	-148.7			0.332	0.187
RB1B4B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B8$	1.738	-217.4	506.0	-191.5			0.210	0.240
RB1B4B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B8A$	1.767	-238.2	505.3	-166.6			0.180	0.256
RB1B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B6$	1.262	-25.14	313.5	-197.5			0.574	0.114
RB1B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B7$	1.489	-65.31	226.9	-133.3			0.800	0.059
RB1B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B8$	1.421	-38.73	240.9	-152.2			0.633	0.099
RB1B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B8A$	1.767	-238.2	505.3	-166.6			0.180	0.257
RB1B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B7$	0.551	166.5	-836.6	672.8			0.335	0.186
RB1B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B8$	1.189	90.90	25.82	-89.61			0.846	0.048
RB1B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B8A$	1.354	40.59	153.6	182.1			0.760	0.069
RB1B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8$	1.417	-7.761	854.8	-992.1			0.198	0.247
RB1B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8A$	1.530	-85.21	553.9	-560.9			0.243	0.224
RB1B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B8 + d \times B8A$	1.283	24.10	419.5	-419.5			0.689	0.085
RB1B2B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B4$	0.661	-138.6	-1050	1018	90.97		0.219	0.303
RB1B2B3B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B5$	0.661	-138.6	-1050	1018	90.97		0.219	0.303
RB1B2B3B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B6$	0.745	-217.4	-582.6	804.3	-49.70		0.209	0.308
RB1B2B3B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B7$	0.690	-190.0	-832.6	950.1	-7.153		0.221	0.301
RB1B2B3B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B8$	0.782	-222.9	-557.4	791.2	-55.77		0.200	0.313
RB1B2B3B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B8A$	0.847	-253.2	-431.5	720.4	-65.48		0.182	0.324
RB1B2B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B5$	0.678	-183.6	-964.4	1018	37.57		0.219	0.303
RB1B2B4B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B6$	1.554	-252.7	121.5	479.0	-219.7		0.291	0.267
RB1B2B4B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B7$	1.825	-423.0	394.0	178.6	-115.1		0.470	0.200

RB1B2B4B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B8$	1.757	-374.2	336.5	255.8	-166.7	0.331	0.250
RB1B2B4B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B8A$	1.775	-417.2	395.3	220.6	-146.8	0.281	0.272
RB1B2B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B6$	1.634	-488.6	575.3	194.2	-194.2	0.290	0.268
RB1B2B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B7$	1.869	-516.9	555.6	108.1	-128.6	0.459	0.203
RB1B2B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8$	1.807	-502.7	574.9	117.5	-171.7	0.326	0.253
RB1B2B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8A$	1.819	-528.1	601.5	97.86	-149.0	0.278	0.273
RB1B2B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B7$	1.035	-380.5	610.7	-875.4	640.4	0.117	0.371
RB1B2B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8$	1.624	-464.3	629.7	-93.84	-49.45	0.347	0.244
RB1B2B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8A$	1.832	-524.4	633.1	78.20	-184.7	0.292	0.267
RB1B2B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8$	1.859	-484.1	529.1	734.9	-920.8	0.102	0.38
RB1B2B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8A$	2.027	-614.7	584.5	491.2	-560.5	0.093	0.393
RB1B2B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B8 + e \times B8A$	1.895	-593.1	648.1	451.2	-501.8	0.231	0.296
RB1B3B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B5$	1.153	-529.1	-408.6	-408.6	110.0	0.276	0.274
RB1B3B3B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B6$	1.250	-341.4	352.6	148.2	-133.6	0.228	0.298
RB1B3B4B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B7$	1.231	-438.9	530.1	-130.8	-34.46	0.282	0.271
RB1B3B4B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8$	1.282	-376.1	418.6	48.70	-105.3	0.226	0.299
RB1B3B4B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8A$	1.299	-378.7	403.8	81.07	-104.5	0.194	0.317
RB1B3B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B6$	1.227	-399.6	416.7	165.5	-164.5	0.201	0.312
RB1B3B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B7$	1.416	-446.1	431.1	82.54	-90.05	0.280	0.273
RB1B3B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8$	1.345	-418.1	426.9	112.5	-134.0	0.208	0.309
RB1B3B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8A$	1.340	-427.5	435.0	104.2	-118.8	0.179	0.326
RB1B3B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B7$	0.686	-271.6	408.4	-725.1	550.7	0.099	0.387
RB1B3B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8$	1.242	-382.2	450.9	8.858	-103.4	0.227	0.298
RB1B3B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8A$	1.440	-450.0	458.7	161.4	-214.7	0.177	0.327
RB1B3B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8$	1.439	-411.2	396.8	719.6	-871.5	0.058	0.436
RB1B3B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8A$	1.558	-520.4	428.3	496.2	-534.3	0.051	0.447
RB1B3B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8 + e \times B8A$	1.381	-483.1	465.9	482.4	-493.1	0.141	0.352
RB1B4B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B6$	1.543	-205.4	543.1	67.37	-251.2	0.288	0.269
RB1B4B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B7$	1.794	-237.2	489.8	-6.018	-147.1	0.508	0.187
RB1B4B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8$	1.732	-214.1	515.4	-16.10	-188.1	0.357	0.240
RB1B4B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8A$	1.743	-226.7	536.4	-48.05	-159.6	0.313	0.258
RB1B5B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B7$	0.719	79.58	190.9	-813.1	582.6	0.442	0.209
RB1B5B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8$	1.211	-22.07	329.2	-271.8	65.74	0.744	0.115
RB1B5B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8A$	1.271	-26.07	308.9	-185.9	-8.070	0.748	0.114
RB1B6B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8$	0.827	98.75	-628.2	1239	-831.7	0.171	0.331
RB1B6B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8A$	0.925	35.94	-618.0	960.0	-452.6	0.217	0.304
RB1B6B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8 + e \times B8A$	1.473	-43.81	813.2	-673.7	-232.8	0.313	0.258
RB2B3	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3$	0.297	-1171	1106			0.054	0.290
RB2B4	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4$	1.433	-82.80	67.17			0.932	0.008
RB2B5	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B5$	1.173	166.7	-166.9			0.663	0.047
RB2B6	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B6$	0.879	286.3	-170.1			0.239	0.155
RB2B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B7$	1.080	200.5	-110.9			0.441	0.092
RB2B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B8$	1.019	247.5	-154.5			0.264	0.145
RB2B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B8A$	1.010	238.3	-137.3			0.233	0.157
RB2B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4$	0.449	-1361	1125	174.3		0.120	0.298
RB2B3B5	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5$	0.300	-1260	1150	39.24		0.128	0.292
RB2B3B6	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6$	0.297	-1000	1002	-34.88		0.125	0.294
RB2B3B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7$	0.296	-1181	1112	1.942		0.130	0.290
RB2B3B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8$	0.317	-968.5	983.4	-43.48		0.121	0.298
RB2B3B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8A$	0.320	-909.7	946.1	-50.66		0.112	0.305
RB2B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B5$	1.519	-184.6	522.0	-311.1		0.663	0.091
RB2B4B6	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B6$	1.317	-253.6	728.3	-266.5		0.188	0.252
RB2B4B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B7$	1.480	-238.9	584.7	-178.1		0.431	0.154
RB2B4B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B8$	1.437	-202.0	568.9	-216.6		0.272	0.211
RB2B4B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B8A$	1.415	-197.5	534.4	-183.7		0.256	0.218
RB2B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B6$	0.885	226.3	147.7	-227.7		0.382	0.169

RB2B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B7$	1.091	183.6	40.29	-124.9		0.659	0.093
RB2B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B8$	1.045	214.3	61.13	-174.5		0.450	0.148
RB2B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B8A$	1.025	220.1	28.21	-144.2		0.417	0.158
RB2B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B7$	0.411	327.8	-966.3	702.2		0.105	0.311
RB2B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B8$	0.873	287.2	-177.8	7.419		0.427	0.155
RB2B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B8A$	0.945	265.1	-73.04	-81.65		0.411	0.160
RB2B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B7 + d \times B8$	1.147	153.4	727.4	-933.1		0.137	0.285
RB2B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B7 + d \times B8A$	1.115	122.3	379.8	-475.5		0.214	0.238
RB2B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B8 + d \times B8A$	1.021	216.1	145.2	-259.0		0.408	0.161
RB2B3B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B5$	0.482	-1339	1097	214.7	-29.51	0.226	0.299
RB2B3B4B6	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B6$	0.689	-1060	791.7	445.8	-122.2	0.181	0.324
RB2B3B4B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B7$	0.554	-1273	1017	279.7	-39.83	0.218	0.303
RB2B3B4B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8$	0.669	-1131	876.1	373.8	96.41	0.181	0.324
RB2B3B4B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8A$	0.673	-1116	858.9	382.6	-91.87	0.165	0.335
RB2B3B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B6$	0.308	-1041	992.1	132.2	-87.77	0.213	0.306
RB2B3B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B7$	0.309	-1218	1118	69.20	-21.42	0.237	0.293
RB2B3B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8$	0.343	-1075	1017	117.4	-77.94	0.207	0.309
RB2B3B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8A$	0.339	-1047	1000	111.0	-72.89	0.195	0.316
RB2B3B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B7$	0.133	-566.2	687.9	-667.9	520.9	0.122	0.366
RB2B3B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8$	0.374	-1111	1072	146.4	-166.8	0.218	0.303
RB2B3B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8A$	0.393	-1239	1143	243.7	-218.2	0.177	0.327
RB2B3B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8$	0.445	-1064	984.5	728.3	-822.9	0.057	0.438
RB2B3B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8A$	0.349	-1222	1084	473.3	-459.5	0.065	0.427
RB2B3B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8 + e \times B8A$	0.281	-1083	1040	386.2	-365.8	0.173	0.329
RB3B4	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4$	0.534	390.0	-427.6			0.422	0.097
RB3B5	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5$	0.843	231.9	-229.9			0.339	0.119
RB3B6	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6$	0.627	264.1	-162.3			0.129	0.214
RB3B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B7$	0.814	0.242	-121.8			0.242	0.154
RB3B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B8$	0.760	242.2	-155.2			0.141	0.206
RB3B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B8A$	0.758	234.3	-138.4			0.125	0.217
RB3B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5$	0.734	287.5	-108.2	-186.8		0.545	0.121
RB3B4B6	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6$	0.969	51.78	371.4	-241.4		0.219	0.236
RB3B4B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7$	0.859	192.5	42.19	-129.5		0.431	0.154
RB3B4B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8$	0.924	153.1	143.7	-182.8		0.273	0.210
RB3B4B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8A$	0.888	162.6	110.3	-155.9		0.252	0.220
RB3B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6$	0.644	235.6	94.04	-203.6		0.251	0.220
RB3B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7$	0.800	227.3	-32.09	-109.1		0.429	0.154
RB3B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8$	0.767	237.6	11.54	-159.8		0.283	0.206
RB3B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8A$	0.746	241.5	-15.14	-133.5		0.258	0.217
RB3B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7$	0.250	271.7	-869.4	637.6		0.073	0.345
RB3B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8$	0.632	263.6	-154.6	-7.636		0.264	0.214
RB3B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8A$	0.692	251.3	-69.30	-81.72		0.252	0.220
RB3B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B7 + d \times B8$	0.919	175.2	677.0	-890.0		0.088	0.328
RB3B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B7 + d \times B8A$	0.883	160.6	328.2	-442.7		0.143	0.281
RB3B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B8 + d \times B8A$	0.770	222.8	107.1	-230.4		0.253	0.219
RB3B4B5B6	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B6$	0.953	56.53	350.0	24.69	-247.7	0.368	0.236
RB3B4B5B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B7$	0.883	183.0	85.64	-51.70	-117.2	0.610	0.155
RB3B4B5B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8$	0.952	139.9	191.1	-40.65	-175.7	0.435	0.211
RB3B4B5B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8A$	0.954	131.4	216.4	-78.31	-147.9	0.400	0.224
RB3B4B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B7$	0.665	2.321	471.7	-1007	671.3	0.108	0.379
RB3B4B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B8$	0.959	17.67	444.7	-370.3	113.0	0.359	0.239
RB3B4B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B8A$	0.967	54.18	365.7	-234.3	-5.248	0.369	0.236
RB3B4B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7 + e \times B8$	0.565	372.4	-343.0	834.2	-994.9	0.149	0.346
RB3B4B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7 + e \times B8A$	0.554	339.2	-316.1	447.8	-503.1	0.232	0.295
RB3B4B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8 + e \times B8A$	0.867	171.3	85.75	67.74	-210.3	0.409	0.220
RB3B5B6B7	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B7$	0.247	274.2	-8.362	-868.8	640.4	0.150	0.345

RB3B5B6B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8$	0.615	234.9	107.2	-256.5	47.03	0.408	0.221
RB3B5B6B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8A$	0.675	237.7	63.61	-138.6	-45.35	0.407	0.221
RB3B5B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7 + e \times B8$	0.700	369.4	-758.9	1779	-1785	0.020	0.519
RB3B5B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7 + e \times B8A$	0.526	405.8	-1178	1761	-1396	0.008	0.578
RB3B5B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8 + e \times B8A$	0.727	246.1	-74.36	223.1	-306.3	0.404	0.223
RB3B6B7B8	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8$	0.435	228.3	-713.2	1138	-709.3	0.049	0.450
RB3B6B7B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8A$	0.378	220.4	-754.9	887.9	-344.7	0.071	0.419
RB3B6B8B8A	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8 + e \times B8A$	0.919	170.4	660.6	-785.1	-76.48	0.173	0.329

Tabla S3

Algoritmos desarrollados para estimar transparencia en la Laguna Santa Elena utilizando Sentinel 2 MSI

ALGORITMOS PRE-EXISTENTES								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
NDVI	$\ln(chla) = a + b \times (NDVI)$	1.675	-1.212				0.068	0.173
NDVI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDVI) + c \times (NDVI^2)$	1.477	1.685	-7.130			0.027	0.345
EVI	$\ln(chla) = a + b \times (EVI)$	1.391	5.516				0.912	0.001
EVI2	$\ln(chla) = a + b \times (EVI) + c \times (EVI^2)$	1.390	2.477	988.1			0.994	0.001
NDCI	$\ln(chla) = a + b \times (NDCI)$	1.411	-0.251				0.839	0.002
NDCI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDCI) + c \times (NDCI^2)$	1.409	-0.912	5.359			0.899	0.012
GNDVI	$\ln(chla) = a + b \times (GNDVI)$	1.496	0.545				0.467	0.030
GNDVI2	$\ln(chla) = a + b \times (GNDVI) + c \times (GNDVI^2)$	1.361	-1.527	-5.520			0.570	0.059
TOMING	$\ln(chla) = a + b \times (TOMING)$	1.413	-0.169				0.804	0.003
TOMING	$\ln(chla) = a + b \times (TOMING) + c \times (TOMING^2)$	1.402	-0.493	1.925			0.850	0.019
NDTI	$\ln(chla) = a + b \times (NDTI)$	1.673	1.197				0.249	0.073
NDTI2	$\ln(chla) = a + b \times (NDTI) + c \times (NDTI^2)$	0.442	-11.02	-27.09			0.039	0.318
NAVI	$\ln(chla) = a + b \times (NAVI)$	1.661	-0.740				0.115	0.132
NAVI2	$\ln(chla) = a + b \times (NAVI) + c \times (NAVI^2)$	1.553	0.752	-2.782			0.100	0.237
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
B1	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1)$	1.296	16.33				0.629	0.013
B2	$\ln(Secchi) = a + b \times (B2)$	1.329	11.99				0.681	0.010
B3	$\ln(Secchi) = a + b \times (B3)$	1.322	10.90				0.695	0.009
B4	$\ln(Secchi) = a + b \times (B4)$	1.340	12.71				0.668	0.010
B5	$\ln(Secchi) = a + b \times (B5)$	1.325	14.23				0.581	0.017
B6	$\ln(Secchi) = a + b \times (B6)$	1.375	3.059				0.847	0.002
B7	$\ln(Secchi) = a + b \times (B7)$	1.359	4.454				0.756	0.005
B8	$\ln(Secchi) = a + b \times (B8)$	1.369	3.780				0.817	0.003
B8A	$\ln(Secchi) = a + b \times (B8A)$	1.381	2.136				0.887	0.001
B1B2	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B2)$	1.975	-0.509				0.374	0.044
B1B3	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B3)$	1.709	-0.340				0.651	0.012
B1B4	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B4)$	2.026	-0.421				0.059	0.185
B1B5	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B5)$	2.085	-0.508				0.022	0.259
B1B6	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B6)$	1.456	-0.059				0.831	0.003
B1B7	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B7)$	1.547	-0.181				0.608	0.015
B1B8	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B8)$	1.429	-0.032				0.910	0.001
B1B8A	$\ln(Secchi) = a + b \times (B1/B8A)$	1.379	0.021				0.938	0.0003
B2B3	$\ln(Secchi) = a + b \times (B2/B3)$	0.449	1.172				0.426	0.035
B2B4	$\ln(Secchi) = a + b \times (B2/B4)$	2.711	-1.007				0.030	0.236
B2B5	$\ln(Secchi) = a + b \times (B2/B5)$	2.209	-0.623				0.043	0.208
B2B6	$\ln(Secchi) = a + b \times (B2/B6)$	1.383	0.017				0.958	0.0002
B2B7	$\ln(Secchi) = a + b \times (B2/B7)$	1.452	-0.075				0.857	0.002

B2B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B8)$	1.365	0.040				0.907	0.001
B2B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B8A)$	1.336	0.078				0.802	0.003
B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B4)$	2.377	-0.604				0.038	0.218
B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B5)$	2.063	-0.449				0.047	0.201
B3B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B6)$	1.435	-0.034				0.876	0.001
B3B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B7)$	1.492	-0.103				0.712	0.008
B3B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B8)$	1.425	-0.025				0.913	0.0001
B3B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B8A)$	1.392	0.006				0.977	4.6E-05
B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B5)$	1.891	-0.541				0.424	0.036
B4B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B6)$	1.180	0.325				0.490	0.027
B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B7)$	1.222	0.315				0.602	0.015
B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B8)$	1.184	0.332				0.492	0.027
B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B8A)$	1.203	0.318				0.468	0.029
B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B6)$	0.777	0.842				0.111	0.135
B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B7)$	0.725	1.101				0.134	0.120
B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B8)$	1.184	0.332				0.492	0.027
B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B8A)$	0.935	0.686				0.138	0.118
B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B7)$	3.539	-2.566				0.122	0.128
B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B8)$	0.900	0.519				0.716	0.007
B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B8A)$	0.343	1.164				0.272	0.067
B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B8)$	-0.796	1.907				0.098	0.145
B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B8A)$	-0.139	1.411				0.071	0.170
B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B8A)$	-0.768	2.291				0.157	0.108
B2B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B1)$	0.978	0.469				0.524	0.023
B3B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B1)$	1.267	0.118				0.842	0.002
B4B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B1)$	1.057	0.484				0.331	0.052
B5B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B1)$	0.919	0.615				0.156	0.108
B6B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B1)$	1.370	0.026				0.920	0.0006
B7B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B1)$	1.268	0.100				0.671	0.010
B8B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B1)$	1.377	0.019				0.943	0.0003
B8AB1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B1)$	1.451	-0.044				0.848	0.002
B3B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B2)$	2.393	-0.802				0.407	0.038
B4B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B2)$	0.365	1.328				0.116	0.132
B5B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B2)$	0.643	0.870				0.085	0.156
B6B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B2)$	1.503	-0.087				0.766	0.005
B7B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B2)$	1.346	0.035				0.894	0.001
B8B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B2)$	1.545	-0.116				0.681	0.009
B8AB2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B2)$	1.634	-0.175				0.465	0.030
B4B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B3)$	0.708	1.092				0.153	0.110
B5B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B3)$	0.836	0.795				0.116	0.131
B6B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B3)$	1.425	-0.027				0.927	0.0005
B7B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B3)$	1.310	0.075				0.783	0.004
B8B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B3)$	1.456	-0.056				0.849	0.002
B8AB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B3)$	1.537	-0.126				0.625	0.013
B5B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B4)$	0.871	0.472				0.369	0.045
B6B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B4)$	1.997	-0.383				0.092	0.150
B7B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B4)$	1.872	-0.253				0.232	0.078
B8B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B4)$	1.955	-0.340				0.081	0.159
B8AB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B4)$	1.941	-0.310				0.049	0.197
B6B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6/B5)$	2.317	-0.654				0.013	0.295
B7B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B5)$	2.293	-0.532				0.040	0.213
B8B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B5)$	2.154	-0.512				0.019	0.269
B8AB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B5)$	2.061	-0.421				0.015	0.284
B7B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7/B6)$	-0.635	1.691				0.145	0.114
B8B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B6)$	1.851	-0.433				0.729	0.007
B8AB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B6)$	2.425	-0.925				0.255	0.071

B8B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8/B7)$	3.839	-2.798				0.049	0.197
B8AB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B7)$	3.152	-1.895				0.027	0.245
B8AB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8A/B8)$	3.723	-2.193				0.132	0.122
B1XB2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B2)$	1.383	348.2				0.869	0.001
B1XB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B3)$	1.383	309.5				0.872	0.001
B1XB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B4)$	1.387	315.4				0.889	0.001
B1XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B5)$	1.383	389.1				0.846	0.002
B1XB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B6)$	1.384	72.91				0.954	0.0002
B1XB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B7)$	1.389	130.7				0.908	0.001
B1XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B8)$	1.391	119.7				0.926	0.0004
B1XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B8A)$	1.394	64.35				0.957	0.0002
B2XB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B3)$	1.389	198.9				0.912	0.001
B2XB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B4)$	1.392	191.0				0.929	0.0004
B2XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B5)$	1.389	252.9				0.894	0.001
B2XB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B6)$	1.388	176.9				0.883	0.001
B2XB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B7)$	1.392	86.58				0.936	0.0004
B2XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B8)$	1.393	81.67				0.947	0.0002
B2XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B8A)$	1.395	40.62				0.971	7.4E-05
B3XB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B4)$	1.391	171.3				0.930	0.0004
B3XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B5)$	1.387	239.7				0.889	0.001
B3XB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B6)$	1.396	34.85				0.974	5.9E-05
B3XB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B7)$	1.392	80.56				0.933	0.0004
B3XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B8)$	1.393	75.62				0.945	0.0003
B3XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B8A)$	1.395	36.34				0.971	7.3E-05
B4XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 \times B5)$	1.392	191.9				0.926	0.0005
B4XB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 \times B6)$	1.397	20.02				0.988	1.3E-05
B4XB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 \times B7)$	1.394	68.04				0.954	0.0002
B4XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 \times B8)$	1.395	67.61				0.960	0.0001
B4XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 \times B8A)$	1.396	31.33				0.979	3.6E-05
B5XB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 \times B6)$	1.395	56.08				0.962	0.0001
B5XB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 \times B7)$	1.392	96.32				0.926	0.0005
B5XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 \times B8)$	1.393	98.66				0.934	0.0004
B5XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 \times B8A)$	1.395	60.87				0.955	0.0002
B6XB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6 \times B7)$	1.397	5.878				0.993	4.4E-06
B6XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6 \times B8)$	1.398	-4.071				0.996	1.7E-06
B6XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6 \times B8A)$	1.400	-21.41				0.975	5.4E-05
B7XB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7 \times B8)$	1.395	27.20				0.968	9.3E-05
B7XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7 \times B8A)$	1.397	8.806				0.989	1.1E-05
B8XB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8 \times B8A)$	1.398	-1.565				0.998	2.8E-07
B1MB2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B2)$	1.314	7.000				0.655	0.011
B1MB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B3)$	1.310	6.687				0.663	0.011
B1MB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B4)$	1.319	7.263				0.647	0.012
B1MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B5)$	1.310	7.745				0.599	0.016
B1MB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B6)$	1.355	3.126				0.774	0.005
B1MB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B7)$	1.343	3.706				0.715	0.007
B1MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B8)$	1.349	3.527				0.751	0.006
B1MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B8A)$	1.361	2.619				0.803	0.003
B2MB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B3)$	1.325	5.756				0.687	0.009
B2MB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B4)$	1.334	6.190				0.674	0.010
B2MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B5)$	1.325	6.726				0.625	0.013
B2MB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B6)$	1.361	2.810				0.786	0.004
B2MB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B7)$	1.350	3.357				0.729	0.007
B2MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B8)$	1.355	3.164				0.765	0.005
B2MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B8A)$	1.365	2.359				0.813	0.003
B3MB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B4)$	1.330	5.913				0.681	0.010
B3MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B5)$	1.320	6.473				0.631	0.013

B3MB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B6)$	1.359	2.740				0.788	0.004
B3MB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B7)$	1.347	3.279				0.732	0.007
B3MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B8)$	1.353	3.083				0.768	0.005
B3MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B8A)$	1.363	2.303				0.816	0.003
B4MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 + B5)$	1.331	6.869				0.619	0.014
B4MB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 + B6)$	1.364	2.868				0.782	0.004
B4MB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 + B7)$	1.353	3.410				0.725	0.007
B4MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 + B8)$	1.359	3.227				0.761	0.005
B4MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 + B8A)$	1.397	2.411				0.810	0.003
B5MB6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 + B6)$	1.357	3.252				0.741	0.006
B5MB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 + B7)$	1.347	3.679				0.690	0.009
B5MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 + B8)$	1.352	3.601				0.721	0.007
B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5 + B8A)$	1.361	2.810				0.768	0.005
B6MB7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6 + B7)$	1.367	1.919				0.799	0.004
B6MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6 + B8)$	1.373	1.710				0.832	0.003
B6MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B6 + B8A)$	1.378	1.290				0.867	0.001
B7MB8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7 + B8)$	1.364	2.095				0.784	0.004
B7MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B7 + B8A)$	1.370	1.677				0.819	0.003
B8MB8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B8 + B8A)$	1.375	1.450				0.853	0.002
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R²
RB1B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2$	1.185	105.3	-77.53			0.819	0.023
RB1B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3$	1.274	70.68	-45.77			0.838	0.021
RB1B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4$	1.238	43.88	-24.75			0.878	0.015
RB1B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B5$	1.402	-31.78	37.78			0.841	0.020
RB1B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B6$	0.965	139.9	-59.92			0.531	0.072
RB1B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B7$	1.147	77.81	-27.12			0.774	0.030
RB1B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B8$	1.087	102.6	-43.60			0.658	0.048
RB1B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B8A$	1.048	115.9	-46.40			0.546	0.069
RB1B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4$	1.333	63.66	-67.14	29.21		0.948	0.022
RB1B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5$	1.415	23.88	-63.36	53.16		0.907	0.033
RB1B3B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6$	0.962	168.3	-27.18	-58.04		0.735	0.074
RB1B3B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7$	1.144	113.7	-34.90	-24.69		0.904	0.034
RB1B3B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8$	1.338	-32.71	13.48	22.63		0.839	0.050
RB1B3B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8A$	1.044	144.2	-26.63	-44.85		0.749	0.071
RB1B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5$	1.320	11.89	-122.3	110.3		0.867	0.043
RB1B4B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B6$	1.045	83.91	107.9	-91.05		0.655	0.093
RB1B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B7$	1.182	57.87	35.72	-35.72		0.911	0.032
RB1B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B8$	1.151	67.61	56.27	-57.57		0.820	0.055
RB1B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B8A$	1.142	65.32	74.32	-61.40		0.708	0.081
RB1B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B6$	1.113	15.62	301.9	-186.1		0.192	0.250
RB1B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B7$	1.323	-21.81	228.5	-111.5		0.543	0.122
RB1B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B8$	1.293	-4.818	190.3	-111.8		0.489	0.137
RB1B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B5 + d \times B8A$	1.142	65.33	74.32	-61.40		0.708	0.081
RB1B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B7$	0.473	195.1	-738.0	593.4		0.050	0.377
RB1B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B8$	0.775	170.5	-277.5	211.3		0.699	0.116
RB1B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B6 + d \times B8A$	0.975	137.1	-50.24	-8.011		0.746	0.072
RB1B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8$	1.190	60.48	342.9	-415.2		0.487	0.137
RB1B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B7 + d \times B8A$	1.272	9.076	310.2	-324.4		0.264	0.215
RB1B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B8 + d \times B8A$	1.214	27.05	458.0	-427.4		0.412	0.160
RB1B2B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B4$	1.119	198.1	-423.4	102.5	163.7	0.962	0.037
RB1B2B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B5$	1.148	117.8	-322.0	128.5	90.56	0.936	0.050
RB1B2B3B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B6$	1.277	52.45	453.2	-302.8	-95.32	0.802	0.098
RB1B2B3B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B7$	1.200	93.83	70.59	-77.69	-29.21	0.967	0.034
RB1B2B3B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B8$	1.253	76.17	121.7	-161.5	-56.61	0.918	0.057
RB1B2B3B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B8A$	1.315	47.67	326.2	-225.3	-64.96	0.841	0.085

RB1B2B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B5$	1.311	49.29	-73.64	-58.91	-58.91	91.95	0.044
RB1B2B4B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B6$	0.921	447.9	-756.7	706.1	-169.4	0.415	0.219
RB1B2B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B7$	1.143	299.2	-514.9	438.9	-79.71	0.820	0.092
RB1B2B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B8$	1.124	298.9	-496.5	425.4	-94.22	0.737	0.117
RB1B2B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4 + e \times B8A$	1.132	277.4	-468.2	411.5	-84.79	0.657	0.141
RB1B2B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B6$	1.049	94.67	-98.13	322.3	-182.4	0.303	0.262
RB1B2B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B7$	1.245	71.07	-114.3	252.9	-108.4	0.665	0.139
RB1B2B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8$	1.221	81.38	-106.8	213.3	-108.2	0.622	0.152
RB1B2B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5 + e \times B8A$	1.229	65.49	-90.48	199.6	-93.00	0.555	0.172
RB1B2B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B7$	0.455	216.4	-23.78	-736.5	593.6	0.109	0.378
RB1B2B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8$	0.779	165.6	5.597	-278.6	-211.6	0.742	0.116
RB1B2B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B6 + e \times B8A$	0.972	140.7	-3.984	-49.76	-7.994	0.879	0.072
RB1B2B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8$	1.130	124.56	-71.17	359.1	-424.8	0.647	0.144
RB1B2B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B7 + e \times B8A$	1.233	50.42	-45.65	315.1	-324.4	0.418	0.217
RB1B2B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B8 + e \times B8A$	1.212	29.24	-2.300	457.9	-427.1	0.596	0.160
RB1B3B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B5$	1.289	-1.137	29.83	-159.1	125.0	0.949	0.044
RB1B3B3B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B6$	1.431	283.9	-479.3	688.1	-225.2	0.319	0.255
RB1B3B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B7$	1.433	147.2	-236.2	311.1	-86.75	0.860	0.079
RB1B3B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8$	1.427	163.7	-253.4	333.1	-109.8	0.745	0.115
RB1B3B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8A$	1.435	153.2	-252.8	339.8	-100.2	0.639	0.147
RB1B3B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B6$	1.121	100.8	-94.80	335.6	-193.6	0.267	0.249
RB1B3B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B7$	1.336	48.09	-79.15	255.0	-155.8	0.655	0.142
RB1B3B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8$	1.306	64.05	-77.50	213.7	-115.1	0.607	0.156
RB1B3B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8A$	1.302	54.61	-70.25	199.9	-97.62	0.538	0.178
RB1B3B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B7$	0.449	273.9	-73.54	-758.0	614.3	0.091	0.395
RB1B3B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8$	0.772	201.0	-29.05	-276.5	212.2	0.732	0.119
RB1B3B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8A$	0.970	165.9	-26.94	-50.69	-6.093	0.872	0.074
RB1B3B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8$	1.186	120.5	-59.04	363.1	-433.1	0.631	0.149
RB1B3B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8A$	1.269	55.20	-45.39	316.3	316.3	-327.2	0.407
RB1B3B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B8 + e \times B8A$	1.210	47.59	-18.87	455.5	-424.2	0.592	0.161
RB2B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3$	1.383	70.23	-55.83			0.905	0.012
RB2B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4$	1.378	-36.42	49.54			0.906	0.012
RB2B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B5$	1.424	-77.86	81.57			0.729	0.036
RB2B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B6$	1.181	104.0	-51.59			0.660	0.048
RB2B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B7$	1.283	46.77	-17.72			0.874	0.016
RB2B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B8$	1.250	72.23	-35.16			0.774	0.030
RB2B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B8A$	1.219	91.37	-42.65			0.645	0.050
RB2B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4$	1.422	21.33	-50.83	44.70		0.975	0.013
RB2B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5$	1.391	-132.6	44.13	89.49		0.889	0.037
RB2B3B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6$	1.385	553.9	-350.5	-98.90		0.648	0.095
RB2B3B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7$	1.395	242.5	-157.5	-33.71		0.930	0.027
RB2B3B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8$	1.412	353.2	-227.2	-60.82		0.828	0.052
RB2B3B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8A$	1.414	416.3	-267.7	-67.17		0.698	0.083
RB2B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B5$	1.347	0.844	-116.9	113.9		0.869	0.043
RB2B4B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B6$	1.340	-91.87	264.2	-86.53		0.697	0.083
RB2B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B7$	1.387	-67.25	151.73	-35.17		0.928	0.027
RB2B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B8$	1.379	-66.29	175.3	-54.30		0.850	0.047
RB2B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4 + d \times B8A$	1.372	-74.05	202.8	-60.27		0.734	0.075
RB2B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B6$	1.195	-30.51	331.3	-180.8		0.188	0.252
RB2B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B7$	1.352	-63.14	262.2	-108.9		0.502	0.133
RB2B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B8$	1.345	-48.44	222.4	-107.7		0.464	0.144
RB2B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B5 + d \times B8A$	1.328	-43.18	208.3	-93.60		0.339	0.167
RB2B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B7$	0.809	137.0	-684.8	558.5		0.091	0.324
RB2B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B8$	1.047	127.7	-248.7	191.3		0.693	0.084
RB2B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B6 + d \times B8A$	1.210	94.73	-9.197	-35.65		0.837	0.050
RB2B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B7 + d \times B8$	1.314	25.50	361.0	-421.6		0.528	0.126

RB2B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B7 + d \times B8A$	1.308	-7.730	324.3	-331.4		0.264	0.215
RB2B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B8 + d \times B8A$	1.255	19.00	472.9	-439.1		0.415	0.159
RB2B3B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B5$	1.273	-81.48	-81.48	-138.9	133.9	0.945	0.046
RB2B3B4B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B6$	1.795	490.5	-571.4	468.1	-190.6	0.504	0.189
RB2B3B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B7$	1.599	169.2	232.5	221.5	-66.78	0.938	0.049
RB2B3B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8$	1.639	248.1	-296.5	241.3	-94.98	0.846	0.083
RB2B3B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4 + e \times B8A$	1.655	275.8	-327.1	260.7	-95.24	0.722	0.122
RB2B3B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B6$	1.413	449.4	-375.7	337.1	-233.8	0.212	0.307
RB2B3B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B7$	1.444	102.4	-132.1	258.8	-121.1	0.658	0.141
RB2B3B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8$	1.459	161.1	-165.4	213.2	-123.4	0.608	0.156
RB2B3B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5 + e \times B8A$	1.447	176.8	-173.8	193.9	-105.9	0.528	0.181
RB2B3B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B7$	1.140	1199	-817.0	-1039	773.8	0.015	0.541
RB2B3B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8$	1.262	730.5	-462.2	-388.5	266.5	0.590	0.161
RB2B3B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B6 + e \times B8A$	1.447	176.8	-173.7	193.9	-105.9	0.528	0.181
RB2B3B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8$	1.475	305.8	-226.7	360.8	-446.9	0.632	0.149
RB2B3B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B7 + e \times B8A$	1.433	212.3	-177.4	309.0	-334.0	0.387	0.229
RB2B3B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B8 + e \times B8A$	1.370	220.6	-161.4	435.6	-422.5	0.562	0.170
RB3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4$	1.421	-39.31	54.13			0.895	0.013
RB3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5$	1.448	-52.49	61.15			0.757	0.032
RB3B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6$	1.202	58.21	-28.35			0.793	0.027
RB3B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B7$	1.288	26.15	-8.295			0.912	0.011
RB3B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B8$	1.251	43.07	-20.07			0.854	0.018
RB3B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B8A$	1.213	57.96	-27.04			0.760	0.032
RB3B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5$	1.288	28.98	-158.5	124.4		0.864	0.044
RB3B4B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6$	1.665	-229.1	502.5	-135.5		0.493	0.135
RB3B4B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7$	1.559	-122.9	253.0	-54.86		0.872	0.042
RB3B4B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8$	1.583	-137.9	291.8	-76.04		0.762	0.068
RB3B4B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8A$	1.601	-155.1	327.9	-79.40		0.619	0.102
RB3B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6$	1.268	-49.11	353.6	-183.7		0.171	0.262
RB3B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7$	1.403	-57.18	267.3	-113.7		0.484	0.138
RB3B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8$	1.395	-48.50	229.1	-111.1		0.445	0.149
RB3B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8A$	1.378	-45.54	215.2	-95.74		0.373	0.173
RB3B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7$	0.891	64.42	-612.6	526.8		0.149	0.277
RB3B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8$	1.092	69.44	-190.5	161.8		0.822	0.054
RB3B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8A$	1.246	49.53	34.36	-55.12		0.904	0.337
RB3B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B7 + d \times B8$	1.339	5.907	375.5	-427.7		0.538	0.123
RB3B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B7 + d \times B8A$	1.341	-17.01	334.2	-336.9		0.260	0.216
RB3B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B8 + d \times B8A$	1.270	5.083	492.4	-450.1		0.420	0.157
RB3B4B5B6	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B6$	1.477	-170.2	236.6	306.7	-213.6	0.259	0.282
RB3B4B5B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B7$	1.437	-75.36	35.10	259.3	-117.0	0.666	0.139
RB3B4B5B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8$	1.430	-66.86	35.93	219.3	-114.1	0.628	0.150
RB3B4B5B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5 + e \times B8A$	1.436	-76.29	60.40	197.5	-99.75	0.549	0.174
RB3B4B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B7$	1.407	-271.0	587.5	-784.4	568.7	0.067	0.423
RB3B4B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B8$	1.636	-338.3	737.4	-548.2	361.9	0.341	0.247
RB3B4B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B6 + e \times B8A$	1.677	-258.5	571.7	-223.5	64.40	0.653	0.143
RB3B4B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7 + e \times B8$	1.441	-51.10	99.19	330.1	-397.4	0.703	0.127
RB3B4B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B7 + e \times B8A$	1.356	-25.57	15.17	328.4	-334.1	0.421	0.216
RB3B4B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B8 + e \times B8A$	1.473	-102.6	179.3	410.1	-407.9	0.546	0.175
RB3B5B6B7	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B7$	1.000	-23.07	284.6	-632.1	431.6	0.069	0.421
RB3B5B6B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8$	1.018	-55.20	465.0	-632.6	399.0	0.084	0.403
RB3B5B6B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B6 + e \times B8A$	1.107	-60.15	513.8	-525.8	238.7	0.158	0.380
RB3B5B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7 + e \times B8$	1.391	-39.98	179.3	115.0	-216.2	0.617	0.153
RB3B5B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B7 + e \times B8A$	1.332	-11.23	-27.77	367.9	-359.4	0.420	0.217
RB3B5B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5 + d \times B8 + e \times B8A$	1.355	-40.12	144.2	267.5	-302.9	0.486	0.194
RB3B6B7B8	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8$	0.966	46.79	-549.1	730.3	-288.6	0.180	0.325
RB3B6B7B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B7 + e \times B8A$	0.991	24.40	-523.3	722.2	-269.0	0.085	0.402

RB3B6B8B8A	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B6 + d \times B8 + e \times B8A$	1.336	-18.20	293.6	95.88	-381.7	0.416	0.218
------------	---	-------	--------	-------	-------	--------	-------	-------

Tabla L1

Algoritmos desarrollados para la estimación de clorofila-a para la Laguna Santa Elena utilizando imágenes Landsat 8 OLI.

MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
B1	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1)$	1.666	24.67				0.314	0.046
B2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2)$	1.672	21.32				0.387	0.034
B3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3)$	1.707	16.25				0.516	0.019
B4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4)$	1.722	20.49				0.441	0.027
B5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B5)$	1.751	11.09				0.498	0.021
B1B2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1/B2)$	-0.242	2.403				0.018	0.227
B1B3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1/B3)$	0.649	1.433				0.013	0.252
B1B4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1/B4)$	1.257	0.453				0.124	0.104
B1B5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1/B5)$	1.686	0.152				0.520	0.019
B2B1	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2/B1)$	3.607	-1.511				0.025	0.207
B3B1	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3/B1)$	2.832	-0.790				0.021	0.219
B4B1	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4/B1)$	2.384	-0.664				0.263	0.057
B5B1	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B5/B1)$	1.995	-0.137				0.622	0.011
B3B2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3/B2)$	4.091	-2.118				0.018	0.229
B4B2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4/B2)$	1.841	0.004				0.996	9.971E-07
B5B2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B5/B2)$	1.779	0.068				0.843	0.002
B4B3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4/B3)$	1.221	0.947				0.285	0.052
B4B5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4/B5)$	2.079	-0.299				0.529	0.018
B5B3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B5/B3)$	1.616	0.253				0.481	0.023
B5B4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B5/B4)$	1.769	0.055				0.869	0.001
B1XB2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 \times B2)$	1.787	769.2				0.563	0.015
B1XB3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 \times B3)$	1.788	733.3				0.578	0.014
B1XB4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 \times B4)$	1.792	906.2				0.567	0.015
B1XB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 \times B5)$	1.803	408.6				0.639	0.010
B2XB3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2 \times B3)$	1.787	677.1				0.592	0.013
B2XB4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2 \times B4)$	1.790	864.4				0.567	0.015
B2XB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2 \times B5)$	1.801	466.1				0.632	0.011
B3XB4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3 \times B4)$	1.789	853.7				0.568	0.015
B3XB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3 \times B5)$	1.799	470.7				0.626	0.011
B4XB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4 \times B5)$	1.799	614.2				0.600	0.013
B1MB2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 + B2)$	1.668	11.52				0.349	0.040
B1MB3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 + B3)$	1.682	10.37				0.405	0.032
B1MB4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 + B4)$	1.692	11.53				0.369	0.037
B1MB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B1 + B5)$	1.717	8.100				0.414	0.031
B2MB3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2 + B3)$	1.689	9.445				0.448	0.026
B2MB4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2 + B4)$	1.697	10.54				0.411	0.031
B2MB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B2 + B5)$	1.721	7.503				0.449	0.026
B3MB4	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3 + B4)$	1.713	9.146				0.479	0.023
B3MB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B3 + B5)$	1.732	6.672				0.502	0.021
B4MB5	$\ln(\text{chla}) = a + b \times (B4 + B5)$	1.740	7.283				0.474	0.023
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
RB1B2	$\ln(\text{chla}) = a + b \times B1 + c \times B2$	2.138	560.4	-539.0			0.122	0.182
RB1B3	$\ln(\text{chla}) = a + b \times B1 + c \times B3$	1.969	232.2	-214.9			0.129	0.177

RB1B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4$	1.600	125.4	-111.6			0.390	0.086
RB1B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B5$	1.555	101.8	-53.50			0.380	0.088
RB1B2B3	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3$	2.109	500.7	-437.8	-42.30		0.249	0.182
RB1B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4$	4.428	1852	-2591	828.4		0.014	0.404
RB1B2B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5$	2.326	646.5	-674.0	33.37		0.230	0.190
RB1B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4$	3.219	267.2	-836.6	626.6		0.040	0.333
RB1B3B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5$	2.036	232.4	-238.6	15.82		0.257	0.179
RB1B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5$	1.564	123.9	-57.16	-33.02		0.576	0.092
RB1B2B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B4$	4.343	1509	-2004	-287.1	868.8	0.030	0.417
RB1B2B3B5	$\ln(chla) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B5$	2.337	665.5	-706.0	12.58	33.84	0.380	0.190
RB2B3	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3$	1.841	359.4	-344.7			0.151	0.165
RB2B4	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B4$	1.529	110.7	-97.37			0.596	0.048
RB2B5	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B5$	1.520	85.69	-43.86			0.560	0.054
RB2B3B4	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4$	2.950	385.7	-903.8	568.7		0.067	0.295
RB2B3B5	$\ln(chla) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5$	1.868	358.3	-353.5	6.633		0.296	0.165
RB3B4	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4$	2.711	-470.3	519.4			0.235	0.129
RB3B5	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B5$	1.771	-6.314	15.11			0.798	0.021
RB3B4B5	$\ln(chla) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5$	2.763	-534.1	703.1	-72.47		0.316	0.159
RB4B5	$\ln(chla) = a + b \times B4 + c \times B5$	1.681	78.86	-36.47			0.686	0.035

Tabla L2

Algoritmos desarrollados para la estimación de turbiedad para la Laguna Santa Elena utilizando imágenes Landsat 8 OLI.

MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R ²
B1	$\ln(turb) = a + b \times (B1)$	1.766	-77.50				0.018	0.023
B2	$\ln(turb) = a + b \times (B2)$	1.805	-74.41				0.024	0.210
B3	$\ln(turb) = a + b \times (B3)$	1.772	-67.41				0.046	0.169
B4	$\ln(turb) = a + b \times (B4)$	1.641	-73.29				0.041	0.176
B5	$\ln(turb) = a + b \times (B5)$	1.596	-46.65				0.034	0.189
B1B2	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B2)$	3.990	-3.207				0.027	0.204
B1B3	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B3)$	2.801	-1.922				0.018	0.229
B1B4	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B4)$	1.660	-0.350				0.401	0.031
B1B5	$\ln(turb) = a + b \times (B1/B5)$	1.268	-0.060				0.858	0.001
B2B1	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B1)$	-1.073	1.954				0.014	0.175
B2B3	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B3)$	4.189	-3.137				0.024	0.211
B2B4	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B4)$	1.113	0.063				0.018	0.001
B2B5	$\ln(turb) = a + b \times (B2/B5)$	1.080	0.107				0.738	0.005
B3B1	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B1)$	-0.093	1.039				0.033	0.191
B3B2	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B2)$	-1.847	2.879				0.023	0.123
B3B4	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B4)$	-0.202	0.901				0.087	0.127
B3B5	$\ln(turb) = a + b \times (B3/B5)$	0.816	0.313				0.316	0.046
B4B1	$\ln(turb) = a + b \times (B4/B1)$	0.835	0.457				0.589	0.013
B5B1	$\ln(turb) = a + b \times (B5/B1)$	1.088	0.107				0.784	0.003
B4B2	$\ln(turb) = a + b \times (B4/B2)$	1.729	-0.749				0.520	0.019
B5B2	$\ln(turb) = a + b \times (B5/B2)$	1.494	-0.303				0.530	0.018
B4B3	$\ln(turb) = a + b \times (B4/B3)$	2.653	-2.198				0.071	0.141
B4B5	$\ln(turb) = a + b \times (B4/B5)$	0.927	0.355				0.595	0.013
B5B3	$\ln(turb) = a + b \times (B5/B3)$	1.793	-0.655				0.190	0.077
B5B4	$\ln(turb) = a + b \times (B5/B4)$	1.320	-0.084				0.861	0.001
B1XB2	$\ln(turb) = a + b \times (B1 \times B2)$	1.509	-4071				0.021	0.218

B1XB3	$\ln(turb) = a + b \times (B1 \times B3)$	1.506	-3926				0.026	0.207
B1XB4	$\ln(turb) = a + b \times (B1 \times B4)$	1.476	-4683				0.027	0.204
B1XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B1 \times B5)$	1.473	-3178				0.019	0.225
B2XB3	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B3)$	1.515	-3703				0.028	0.200
B2XB4	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B4)$	1.483	-4418				0.028	0.200
B2XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B2 \times B5)$	1.479	-2996				0.021	0.221
B3XB4	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B4)$	1.483	-4285				0.032	0.192
B3XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B3 \times B5)$	1.480	-2917				0.023	0.213
B4XB5	$\ln(turb) = a + b \times (B4 \times B5)$	1.463	-3565				0.022	0.216
B1MB2	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B2)$	1.788	-38.04				0.021	0.220
B1MB3	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B3)$	1.778	-36.63				0.028	0.200
B1MB4	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B4)$	1.710	-38.31				0.026	0.205
B1MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B1 + B5)$	1.670	-29.81				0.025	0.209
B2MB3	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B3)$	1.792	-35.61				0.033	0.190
B2MB4	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B4)$	1.726	-37.21				0.031	0.195
B2MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B2 + B5)$	1.684	-29.11				0.028	0.200
B3MB4	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B4)$	1.710	-35.17				0.044	0.172
B3MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B3 + B5)$	1.673	-27.92				0.037	0.183
B4MB5	$\ln(turb) = a + b \times (B4 + B5)$	1.617	-28.75				0.035	0.186
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R²
RB1B2	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2$	1.332	-569.6	495.1			0.029	0.287
RB1B3	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3$	1.410	-320.6	251.6			0.017	0.320
RB1B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4$	1.866	-230.5	169.5			0.034	0.276
RB1B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B5$	1.826	-119.8	29.32			0.059	0.236
RB1B2B3	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3$	2.010	830.1	-1876	991.3		0.025	0.368
RB1B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4$	1.055	-725.3	742.5	-99.89		0.072	0.289
RB1B2B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5$	0.927	-755.4	786.6	-72.06		0.058	0.306
RB1B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4$	0.569	-344.1	670.2	-421.9		0.029	0.356
RB1B3B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5$	1.085	-321.2	368.3	-77.66		0.034	0.345
RB1B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5$	1.783	-234.0	295.9	-76.72		0.068	0.294
RB1B2B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B4$	1.369	540.6	-1427	1061	-249.3	0.051	0.377
RB1B2B3B5	$\ln(turb) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B5$	1.760	648.5	-1581	930.8	-37.31	0.054	0.372
RB2B3	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3$	1.565	-554.8	489.9			0.012	0.343
RB2B4	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B4$	2.191	-315.6	262.7			0.041	0.261
RB2B5	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B5$	1.868	-101.1	18.19			0.082	0.212
RB2B3B4	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4$	0.870	-571.3	840.7	-356.8		0.024	0.369
RB2B3B5	$\ln(turb) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5$	1.303	-543.7	574.0	-63.82		0.027	0.361
RB3B4	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4$	1.223	198.4	-283.8			0.117	0.185
RB3B5	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B5$	1.451	47.13	-76.69			0.105	0.193
RB3B4B5	$\ln(turb) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5$	1.267	145.2	-130.6	-60.42		0.216	0.195
RB4B5	$\ln(turb) = a + b \times B4 + c \times B5$	1.437	22.84	43.89			0.089	0.206

Tabla L3

Algoritmos desarrollados para estimar transparencia en la Laguna Santa Elena utilizando imágenes Landsat 8 OLI.

MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R²
B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1)$	1.329	7.239				0.690	0.007
B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2)$	1.317	7.987				0.661	0.009
B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3)$	1.312	8.233				0.655	0.009

B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4)$	1.321	10.05				0.608	0.012
B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5)$	1.322	7.055				0.557	0.016
B1B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1/B2)$	1.766	-0.443				0.577	0.014
B1B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1/B3)$	1.500	-0.143				0.751	0.005
B1B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1/B4)$	1.536	-0.120				0.587	0.014
B1B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1/B5)$	1.488	-0.103				0.552	0.016
B2B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B3)$	1.525	-0.152				0.843	0.002
B2B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B4)$	1.539	-0.107				0.667	0.009
B2B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B5)$	1.480	-0.083				0.616	0.012
B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B4)$	1.557	-0.113				0.691	0.007
B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B5)$	1.480	-0.080				0.628	0.011
B2B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2/B1)$	0.965	0.356				0.495	0.021
B3B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B1)$	1.178	0.162				0.514	0.017
B4B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B1)$	1.051	0.406				0.354	0.039
B5B1	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B1)$	1.204	0.160				0.431	0.028
B3B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3/B2)$	1.118	0.248				0.723	0.006
B4B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B2)$	1.116	0.381				0.531	0.018
B5B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B2)$	1.233	0.156				0.535	0.018
B4B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B3)$	1.183	0.300				0.648	0.010
B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4/B5)$	1.487	-0.135				0.698	0.007
B5B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B3)$	1.255	0.141				0.595	0.013
B5B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B5/B4)$	1.236	0.107				0.667	0.009
B1XB2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B2)$	1.335	621.2				0.524	0.019
B1XB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B3)$	1.335	598.8				0.535	0.018
B1XB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B4)$	1.337	752.7				0.516	0.019
B1XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 \times B5)$	1.337	518.1				0.489	0.022
B2XB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B3)$	1.333	575.7				0.534	0.018
B2XB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B4)$	1.336	717.8				0.516	0.019
B2XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 \times B5)$	1.336	492.9				0.489	0.022
B3XB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B4)$	1.335	701.8				0.521	0.019
B3XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 \times B5)$	1.335	483.2				0.493	0.021
B4XB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 \times B5)$	1.338	594.5				0.488	0.022
B1MB2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B2)$	1.323	3.812				0.675	0.008
B1MB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B3)$	1.320	3.903				0.671	0.008
B1MB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B4)$	1.324	4.328				0.648	0.010
B1MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B1 + B5)$	1.322	3.781				0.605	0.012
B2MB3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B3)$	1.314	4.069				0.657	0.009
B2MB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B4)$	1.318	4.502				0.634	0.010
B2MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B2 + B5)$	1.317	3.877				0.594	0.013
B3MB4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B4)$	1.316	4.554				0.631	0.011
B3MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B3 + B5)$	1.315	3.912				0.592	0.013
B4MB5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times (B4 + B5)$	1.321	4.197				0.574	0.015
MODELOS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE								
Indice	Algoritmo	a	b	c	d	e	Valor -p	R²
RB1B2	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2$	1.223	-112.6	120.5			0.809	0.020
RB1B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3$	1.291	-18.48	26.62			0.889	0.011
RB1B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4$	1.358	-37.26	49.29			0.793	0.023
RB1B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B5$	1.388	-34.47	28.92			0.725	0.030
RB1B2B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3$	0.972	-630.0	997.3	-366.4		0.735	0.060
RB1B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B4$	1.374	-27.11	-15.23	57.81		0.929	0.022
RB1B2B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B5$	1.380	-40.46	7.415	27.96		0.890	0.030
RB1B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B4$	1.704	-6.923	-178.9	207.2		0.826	0.043
RB1B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B3 + d \times B5$	1.380	-40.46	7.415	27.96		0.890	0.030
RB1B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B4 + d \times B5$	1.388	-36.02	4.008	27.48		0.890	0.030
RB1B2B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B4$	1.257	-501.3	797.5	-397.7	110.8	0.845	0.067
RB1B2B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B1 + c \times B2 + d \times B3 + e \times B5$	1.074	-556.0	876.8	-341.8	15.20	0.861	0.063

RB2B3	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3$	1.310	-5.828	14.09			0.906	0.009
RB2B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B4$	1.417	-54.77	68.37			0.795	0.022
RB2B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B5$	1.430	-40.14	32.79			0.732	0.029
RB2B3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B4$	1.720	3.887	-192.8	210.5		0.827	0.043
RB2B3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B2 + c \times B3 + d \times B5$	1.465	-12.42	-35.94	37.93		0.884	0.031
RB3B4	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4$	1.717	-188.5	210.0			0.633	0.043
RB3B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B5$	1.469	-47.98	37.63			0.718	0.031
RB3B4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B3 + c \times B4 + d \times B5$	1.705	-173.7	167.4	16.78		0.812	0.045
RB4B5	$\ln(\text{Secchi}) = a + b \times B4 + c \times B5$	1.216	17.04	-7.623			0.578	0.051

