



Detección de bloom de algas satelital e impacto climatológico en zonas de Quellón y Villarrica



Ziyu Guo
Karla Muñoz
Gonzalo Fuentes



Introducción y descripción del problema

En 2016 alrededor de 39 mil toneladas de salmones se perdieron producto del conocido fenómeno “Marea Roja”, el cual es un fenómeno específico de bloom de algas. Un bloom de algas, conocido también como floración de algas, se produce cuando hay un crecimiento excesivo y rápido de algas en cuerpos de agua como océanos, lagos o ríos. Durante este fenómeno, las algas se multiplican rápidamente y forman una concentración visible y densa en la superficie del agua. Estos blooms pueden afectar negativamente a los seres humanos. Por ejemplo, ciertas toxinas producidas por las algas pueden acumularse en mariscos y peces, representando un riesgo para la salud humana si se consumen. Asimismo, los blooms de algas pueden afectar la calidad del agua potable, ya que algunas algas generan sustancias que causan olores y sabores desagradables en el agua. Es fundamental llevar a cabo un monitoreo y gestión adecuados de los blooms de algas para minimizar sus efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

En este informe presentaremos resultados correspondientes a un análisis del impacto de los bloom de algas en el ámbito climatológico y turístico, a través de modelos de regresión lineal con efectos exógenos en las variables.

Objetivos generales y específicos del proyecto

- Generar mapas de detección de bloom de algas a través de la detección de Clorofila-a mediante el algoritmo OC4ME.
- Buscar correlaciones entre mapas predictivos de Clorofila-a y datos geoespaciales de temperatura y precipitaciones.
- Revisar si existe impacto entre los blooms de algas y el turismo

En particular, trabajaremos con dos situaciones espacio-temporales:

- Enero de 2020, Villarrica
- Febrero, Marzo y Abril 2020, Quellón

Descripción de los datos

Para el análisis geoespacial que se quiere realizar se necesitan en primer lugar los polígonos donde se realizarán las operaciones espaciales. Para el caso del Lago Villarrica, la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile tiene un dataset de todas las masas de agua en territorio Chileno (SIIT, B. del C. Nacional, 2019). En el caso de la zona hídrica cercana a Quellón, se va a utilizar el dataset vectorial del Censo 2017 donde mediante operaciones de conjuntos se puede obtener el polígono.

Luego, se necesitan datos raster de información acerca de las características que queremos medir. Esto se consiguió mediante la plataforma de Google Earth. Los satélites y un resumen de ellos a continuación:



-Sentinel 3:

Proporciona mediciones de la radiación solar reflejada desde la superficie terrestre y de los océanos en bandas espectrales. Se utiliza para monitorear la calidad del agua, la clorofila, la vegetación, etc. Se utilizaron las bandas 443nm, 490nm, 510nm y 560nm para el cálculo del índice de OC4ME.

-NASA/OCEANDATA/Modis-Aqua/L3SMI:

Se refiere a un conjunto de datos específicos proporcionado por la NASA y el programa de observación de la tierra llamado Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). El acrónimo L3SMI significa Level-3 Standard Mapped Image, que indica un nivel de procesamiento de los datos MODIS. En el nivel 3, los datos se procesan y se manejan en una cuadrícula estándar, lo que hace más fácil la visualización y su análisis MODIS-Aqua y MODIS-Terra capturan imágenes de la superficie terrestre y los océanos en bandas espectrales, lo que nos permite obtener la información sobre la vegetación, nubes, superficie del mar, calidad del agua, y otros parámetros relacionados con la tierra. Nosotros decidimos usar el MODIS-Aqua ya que a diferencia de MODIS-Terra nos era mucho más preciso para calcular la temperatura del agua, a través de su banda especializada “sst” que significa “Sea Surface Temperature”

-ECMWF/ERA5/DAILY:

Se refiere a un conjunto de datos meteorológicos proporcionados por el Centro Europeo para las predicciones Meteorológicas a plazo medio, y su modelo de reanálisis denominado ERA5 /ECMWF/ERA5/DAILY se refiere a los datos del reanálisis ERA5, estos datos son utilizados para la investigación climática, en nuestro caso, lo utilizamos para ver las precipitaciones en las zonas afectadas.

Desarrollo

Primero, obtuvimos la información geográfica necesaria a través de la base de datos proporcionada por el gobierno de Chile. Mediante la investigación en línea, identificamos el modelo de satélite correspondiente y sus bandas de frecuencia aplicables. Utilizamos la base de datos de Google Earth Engine (GEE) para recortar la información geográfica correspondiente y seleccionar el rango de fechas necesario para nuestro estudio.

Para los datos de banda devueltos por el satélite Sentinel-3, aplicamos un algoritmo específico para calcular la distribución de la clorofila a (algas marinas).

OC4ME Es un algoritmo semianalítico utilizado para estimar la concentración de clorofila en el agua. La clorofila es un pigmento presente en algas y plantas que desempeña un papel importante en la fotosíntesis.

Este algoritmo procesa datos de teledetección satelital, en particular imágenes del color del océano, para calcular la concentración de clorofila de manera precisa. Utiliza información espectral de las imágenes, como las reflectancias en diferentes longitudes de onda, para determinar la cantidad de clorofila presente en el agua.

La base de este algoritmo es un modelo polinomial de cuarto grado, donde la variable independiente X es el valor logarítmico de la relación entre las reflectancias de las bandas azul y verde. La fórmula específica es la siguiente:



$$X = \log_{10}(\max(R_{\lambda}(\text{Azul})/R_{\lambda}(\text{Verde})))$$

$$\log_{10}(\text{Chla}) = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$$

Aquí, $R_{\lambda}(\text{Azul})$ y $R_{\lambda}(\text{Verde})$ representan las reflectancias de la superficie en las bandas azul y verde, respectivamente. La "banda azul" suele incluir las longitudes de onda de 443, 490, 510 nm, y la "banda verde" es 560 nm. En esta fórmula, a_0 , a_1 , a_2 , a_3 y a_4 son los parámetros del modelo obtenidos a través de la regresión no lineal basada en datos de mediciones in situ (Binh, N et al, 2022).

Coefficiente	Valor
a0	0.450
a1	-3.259
a2	1.9743
a3	3.522731
a4	0.949586

Figura n°1: Coeficientes del OC4ME, sacados de “Evaluation of Chlorophyll-a estimation using Sentinel 3 based on various algorithms in southern coastal Vietnam”

Visualizamos y resumimos los datos obtenidos de temperatura, precipitación y clorofila para facilitar el análisis y la comprensión.

Realizamos análisis de autocorrelación espacial y no espacial para examinar la correlación y autocorrelación de los datos, lo cual es un paso importante para entender la distribución de los datos geográficos.

Utilizando este algoritmo, podemos estimar con precisión la concentración de clorofila a en grandes áreas de agua utilizando datos de teledetección por satélite, sin necesidad de realizar un extenso muestreo in situ.

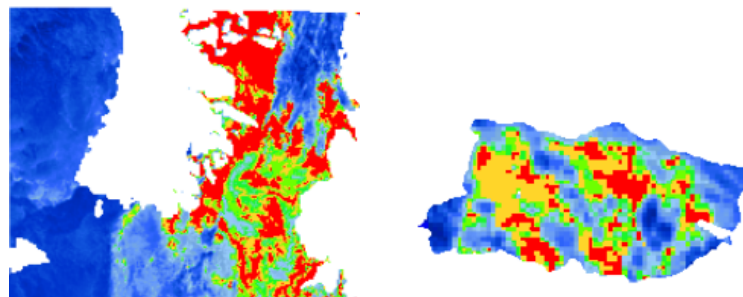


Figura n°2: Ejemplos de visualización del algoritmo OC4ME. A la izquierda se ve Quellón, el día 31 de marzo de 2020 y a la derecha se observa el Lago Villarrica el día 12 de Abril. Los tonos más azulados representan menor concentración y los rojizos mayor concentración de Clorofila-a. La imagen de la izquierda es similar a la [figura 3](#) de Rodríguez-Benito et al, 2020.



Resultados y conclusiones

Resultados de la autocorrelación

Antes de cualquier análisis con los datos, se debe comprobar que existe cierto comportamiento espacial por parte de nuestro modelo predictivo de Clorofila-a.

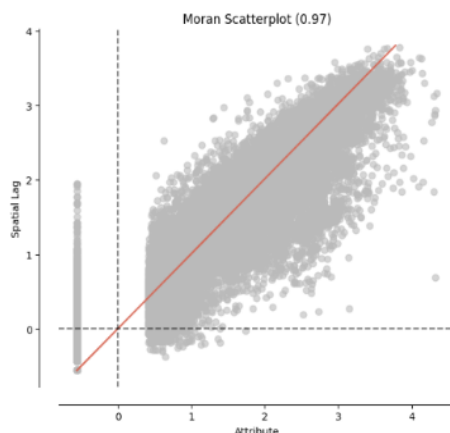


Figura n°3: Gráfico de Moran I, de datos raster obtenidos del procesado por OC4ME

De esta manera, en la investigación, se utilizó el análisis de autocorrelación espacial para entender los patrones en nuestros datos geográficos. Se usa el estadístico de Moran I para medir la correlación entre el valor de una ubicación y los valores de sus ubicaciones cercanas de Clorofila-a. Mediante la utilización de pesos tipo Rook, el coeficiente de Moran I es 0.968 y el valor p es 0.001, lo que indica que nuestros datos muestran una fuerte autocorrelación espacial. Esto significa que en el área que estamos estudiando, los valores similares tienden a agruparse en el espacio. Este hallazgo es de gran importancia para nuestro entendimiento y predicción de los patrones espaciales en esta área.

Análisis Climatológico

Bajo la premisa de que exista cierta correlación entre los niveles de concentración de algas y las variables de temperatura y precipitaciones, se generó una regresión espacial con efectos exógenos en estas dos variables, obteniendo los siguientes resultados. Además, como el algoritmo está basado en una variable logarítmica, se le aplicó el logaritmo de base 10 a los valores de clorofila para que se volvieran a linealizar los datos respecto a las bandas del Sentinel-3. A partir de esto, en primer lugar se observó que todos los test de hipótesis de que cada variable sea significativa mediante el estadístico t daban valores-p prácticamente 0, lo que apoya la idea de que las variables tengan cierta correlación con la concentración de Clorofila-a. Luego,



en la siguiente tabla se observan los coeficientes asociados a cada variable en el modelo de regresión lineal con efectos exógenos.

Coeficiente	Valor
R^2	0.6900
Constante asociada a Precipitaciones (mm)	-0.0460
Constante asociada a Precipitaciones (mm) con lag espacial	-0.0166
Constante asociada a Temperatura (°C)	0.1571
Constante asociada a Temperatura (°C) con lag espacial	0.0815

Figura n°4: Datos de la regresión

El coeficiente de determinación R^2 con un valor de 0.69 da pie a que pueda existir cierta correlación entre los datos, puesto que a pesar de ser modelos aproximados entrega un buen resultado. Tal vez, el hecho de que la resolución de los raster, específicamente el de precipitaciones (27830 metros), pudo no hacer tan precisa el análisis de regresión. Por parte de las constantes asociadas, podemos visualizar que la hipótesis de que bajas precipitaciones y altas temperaturas están relacionadas con blooms de algas, puesto ambas constantes asociadas a las precipitaciones son valores negativos y las constantes asociadas a la temperatura son positivas. De esta manera concluimos que esta relación es necesaria de ser considerada en análisis de predicción de proliferación de algas.

El Turismo en zonas afectadas

Realizamos un análisis según las cifras interanuales de turismo a los lugares afectados con bloom de algas en las fechas de estudio.

Para esto seleccionamos el mes de enero de 2019 sacamos un promedio de la variación interanual de los viajes a Villarrica e hicimos lo mismo para el 2020 (la fecha en la que ocurrió la proliferación) y vimos un promedio más alto que el año anterior lo que significa que no hubo efectos negativos tras el bloom de algas producido en Enero 2020. Algo similar ocurrió cuando estudiamos el caso de Quellón ocurrido en Marzo y abril de 2020, en donde en marzo de 2020 el promedio de la variación interanual fue mayor que en 2019, por lo que también nos dimos cuenta que la proliferación de algas no afectó el turismo en la zona a diferencia de la hipótesis que teníamos nosotros, pero en abril de 2020 si se vio una disminución significativa en las cifras de variación, pero también debemos tener en cuenta que en ese mes ya se habían aplicado las cuarentenas por Covid-19 en Chile, por lo que esto pudo haber afectado directamente con las cifras de turismo.



Bibliografía

SIIT, B. del C.Nacional. (2019) *Biblioteca del Congreso Nacional: SIIT: Mapas Vectoriales*, bcn.cl.
https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/.

Censo 2017. (s. f.). <http://www.censo2017.cl/>

ERA5 Daily Aggregates - Latest Climate Reanalysis Produced by ECMWF / Copernicus Climate Change Service. (s. f.). Google for Developers.
https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_DAILY

OC4Me Chlorophyll - Sentinel Online. (s. f.). Sentinel Online.
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci/level-2/oc4me-chlorophyll>
1

Binh, N. A., Hoa, P. V., Thao, G. T. P., Duan, H. D., & Thu, P. M. (2022). Evaluation of Chlorophyll-a estimation using Sentinel 3 based on various algorithms in southern coastal Vietnam. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 112, 102951. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102951>

Rodríguez-Benito, C. V., Navarro, G., & Caballero, I. (2020). Using Copernicus Sentinel-2 and Sentinel-3 data to monitor harmful algal blooms in Southern Chile during the COVID-19 lockdown. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111722.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111722>