

Desglaciación y Tecnología Satelital: Un Enfoque de Percepción Remota para el Análisis de Áreas Glaciares

San Martín Nicolás.*
Santander Benjamín.†

Pontificia Universidad Católica de Chile

July 9, 2024

Abstract

Este estudio tiene como objetivo monitorear de forma remota los cambios en las áreas glaciales desde el año 2000 hasta 2024, con un enfoque en el glaciar 'El Potro Norte B' y los glaciares circundantes dentro de un radio de 800 metros. La investigación emplea satélites espectrales de libre acceso, como Landsat 7 y Landsat 8. Además, se utilizan modelos de aprendizaje automático para estimar el área de glaciares específicos. Para lograr estos resultados, se realizan varios cálculos utilizando las bandas de los satélites, incluyendo el Índice de Diferencia Normalizada de Nieve (NDSI), el Índice de Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) y la Diferencia Normalizada de las bandas Panchromatic/SWIR1.

Keywords: *Percepción Remota, Landsat, Glaciares, Aprendizaje de Máquina, Clustering, Índices espectrales, Python, Google Earth Engine.*

1 Introducción

Los glaciares son componentes fundamentales de los ecosistemas y tienen una relevancia global, ya que los glaciares ayudan a regular la temperatura de nuestro planeta gracias a su alta reflectividad de la radiación. Por otro lado, en diferentes entornos son muy valiosos la perduración de estos. Producto de sus amplias funcionalidades que aportan a los medios ambientes como pueden ser "proporcionar importantes reservas de agua a ciudades importantes

o a distintas comunidades, aportar a la agricultura o ayudando a la producción de distintas áreas industriales a lo largo del país como puede ser las mineras" *Thomas Shaw [n.d.]*.

Es por esta relevancia en lo posibles problemáticas que es importante el implementar medidas de evaluación de la desglaciación, para ir logrando obtener resultados preliminares gracias al uso de satélites nos proporcionan grandes ventajas por su capacidad de manejar grandes cantidades de datos y con desfases de pocos días a lo cual obtenemos resultados casi en tiempo real.

De esta manera, se pueden responder preguntas como, ¿Es posible analizar glaciares mediante percepción remota?, ¿Cuánto ha variado el área de un Glaciar con el paso del tiempo?, ¿Pueden los modelos de clasificación realizar lo mismo?

2 Descripción del Problema

Cuando uno piensa en monitorear los distintos glaciares que se encuentran en nuestro territorio nacional, la realización de esta de manera física y presencial puede atribuir grandes costos de implementación y personal para su realización. Es por esto que, el tener otras herramientas para realizar este tipo de análisis al respecto la cual en la práctica tiene menor costo como es el uso de distintos satélites para realizar análisis remoto.

Para así, obtener resultados previos y lograr realizar una mejor gestión de recursos en aquellos glaciares que puedan afectar a los medios ambientes. Con esto, hacer levantamientos de alertas tempranas respecto al deterioro de los glaciares, estudiando como ha variado su área a lo largo de los años.

*Email: nicols.sanmartn@uc.cl

†Email: b.santander.42482@uc.cl

3 Descripción de los Datos

A continuación se especificarán los datos utilizados para el estudio.

- **Datos Cartográficos:** Estos datos vectoriales obtenidos del Ministerio de Bienes Nacionales mediante su apartado de Infraestructura de Datos Geospaciales de Chile (IDE Chile) *Dirección General de Aguas [2022]*. La cual contiene datos espaciales (Geometrías) respecto a los glaciares que se encuentran en territorio chileno.

- **Formato:** Los datos son entregados mediante un conjunto de archivos de extensiones como shp, xml, shx, cpg, dbf, prj, sbn.
- **Preprocesamiento:** En este apartado realizamos ajustamiento de crs, limpieza y filtración de datos para realizar el análisis pertinente.

- **Datos Satelitales:** Datos provenientes de los satélites Landsat 7 y Landsat 8. Estos datos son obtenidos mediante Google Earth Engine a través de la librería "ee" de Python.

- **Formato:** Para Landsat 7 (2000 hasta 2013) y Landsat 8 (2014 hasta 2024) utilizamos las colecciones de imágenes RAW del tipo Tier 1 en la cual la resolución de las distintas bandas son entre 15-60 metros para Landsat 7 y para el caso de Landsat 8 están entre 15-30 metros de resolución. Donde mayoritariamente predominan bandas de 30 metros de resolución
- **Preprocesamiento:** No se realizó ningún tipo de preprocesamiento a estas bandas de las imágenes, ya que vienen previamente preprocesadas para su utilización como se indica en su catálogo de Google Earth Engine.

4 Desarrollo

La metodología que realizamos en nuestro estudio es la siguiente, se basa en el análisis de glaciares, por medio del uso de datos tabulados, donde se encontraban las distintas geometrías de cada glaciar en el territorio chileno. Lo que generamos fue un modelo de DBSCAN aplicado a los centroides de cada glaciar, para así generar aquellos clusters de glaciares con parámetros de cercanía de un radio de 800 metros y con un mínimo de 2 glaciares de

cercanía para considerarse un cluster.

Gracias a esto podemos obtener aquellos clusters de glaciares y realizar análisis a todo este grupo con el fin de obtener los resultados más significativos de los posibles efectos que pueda generar en sus alrededores.

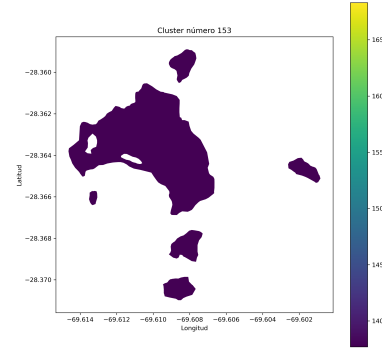


Figure 1: Clustering mediante DBSCAN

De todos los cluster seleccionamos 4 del total de estos, para realizar los siguientes cálculos. Por un lado, el cluster del glaciar 'El Potro B' es utilizado para entrenar nuestros modelos de clasificación, donde el proceso consiste en buscar aquella imagen de mayor calidad proveniente de Landsat 8. Estas imágenes fueron aquellas resultante de la Diferencia Normalizada del Panchromatic y el SWIR1 *Guo et al. [2018]*. Para luego, efectuar una vectorización de la imagen y obtener datos tabulados de forma binaria que indican si hay un glaciar o no, para luego entrenar nuestros respectivos modelos, con las siguientes bandas:

Bandas	RandomFC	smileCart
B1	✓	✓
B2	✓	✓
B3	✓	✓
B4	✓	✓
B5	✓	✓
B6	✓	✓
B7	✓	✓
B8	✓	✓
B9	✓	✓
B10	✓	✓
B11	✓	✓
NDSI	✓	✓
ND B8/B6	✓	✓
NDVI	✓	✗

Table 1: Bandas Utilizadas en cada modelo

Los modelos con los cuales trabajamos, consisten en un RandomForestClassifier de Scikit-learn y un SmileCart de Google Earth Engine, donde el ultimo tiene un funcionamiento del estilo de un Decision Tree implementado en Java, en donde el modelo busca separar los datos bajo un criterio como puede ser GINI, y luego divide los nodos hasta un criterio de parada *Li [n.d.]*. Estos modelos solo se aplicaron a imágenes de Landsat 8 del 2014 hasta el 2023.

Algunas de las metricas obtenidas de nuestro modelo de RandomForestClassifier son las siguientes:

Métrica	Resultado
Accuracy:	0.9976
F1-Score:	0.9937
Recall:	0.9906
ROC-AUC Score:	1.0000

Table 2: Métricas de Nuestro modelo

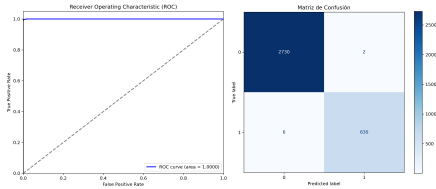


Figure 2: Matriz de Confusión y Curva ROC del RandomForestClassifier

Respecto a los demás clusters que elegimos de nuestro DBSCAN son utilizados para obtener distintos resultados de nuestros clasificadores, mediante la utilización del modelo SNIC implementado en Google Earth Engine para agrupar los datos. Gracias a esto podemos obtener una mejor idea de como clasifica para distintos glaciares, y en condiciones diferentes. Como por ejemplo, presencia de nubes sobre el glaciar y una mayor cantidad de sombras.

El procedimiento realizado para la obtención de las imágenes, consiste en conseguir aquellas colecciones de imágenes que contengan menos de un 10% de nubes. Con esto establecido, hacemos el cálculo de los distintos índices espectrales los cuales son el Índice de Diferencia Normalizada de Nieve (NDSI), el Índice de Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) y las Diferencias Normalizadas de las bandas Panchromatic/SWIR1 y el RED/SWIR1. En el caso de la Diferencia Normalizada de las bandas Panchromatic/SWIR1 al momento de realizar el

cálculo, donde las resoluciones de las bandas eran de 15 y 30 metros respectivamente, luego la nueva banda quedó con una resolución de 7.5 metros.

índice Espectral	Fórmula
NDSI	$\frac{\text{Green} - \text{SWIR1}}{\text{Green} + \text{SWIR1}}$
NDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$
RED-SWIR	$\frac{\text{RED} - \text{SWIR1}}{\text{RED} + \text{SWIR1}}$
Panchromatic-SWIR	$\frac{\text{Panchromatic} - \text{SWIR1}}{\text{Panchromatic} + \text{SWIR1}}$

Table 3: Cálculo de los índices Espectrales utilizados

Teniendo estas imágenes filtradas y con todo los cálculos establecidos, realizamos el cálculo del área respecto a nuestro glaciar. Para el cálculo de eston usamos distintas bandas, para ver cual de estas estima de mejor manera el área que representa a nuestro cluster de glaciar.

Las bandas a las cuales le realizamos este cálculo del área son NDSI y las Diferencias Normalizadas de RED/SWIR y el Panchromatic/SWIR, donde para todos estos cálculos utilizamos la banda SWIR del tipo 1 tanto para Landsat 7 como para Landsat 8. Cabe recalcar que, para este cálculo todas las bandas están enmascaradas bajo un threshold de 0.4 *Zhang et al. [2021]* para así discriminar de mejor manera las capas de nieves y quedarnos con aquellos valores que representen al glaciar.

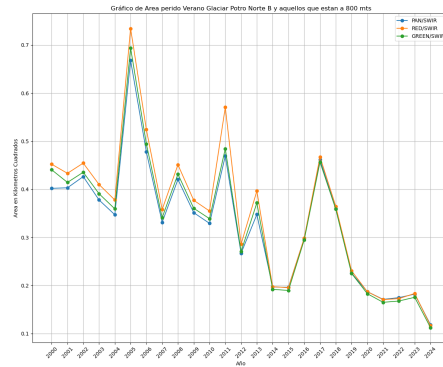


Figure 3: cálculo de Áreas con Distintas Bandas en Kilómetros Cuadrados

5 Resultados

Si bien, los modelos funcionan relativamente bien, en el caso del RandomForestClassifier de Scikit-Learn

se ve más afectado por la nieve en comparación del clasificador que se encuentra implementado en Google Earth Engine. Producto de que, los datos utilizados al momento de entrenar nuestros modelos no son los más óptimos, ya que estos son obtenidos mediante vectorización de colecciones de imágenes y no de DataSets previamente etiquetados como glaciares para realizar clasificación y que posean alguna validación de una entidad especializada en detección de glaciares.

A pesar de ello, el uso del clasificador si logra determinar de cierta manera la forma y el tamaño del glaciar como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figure 4: Imagen Clasificada por smileCart junto al AOI del cluster de glaciares. Año 2018.

Finalmente, al graficar junto al cálculo de las áreas mediante las distintas bandas, obtenemos este resultado:

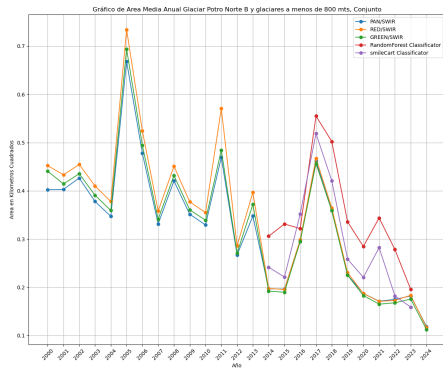


Figure 5: Resultado del cálculo de las áreas mediante los clasificadores y las bandas.

Del gráfico anterior se puede apreciar un decrecimiento en el área en kilómetros cuadrados en el cluster, a su vez se puede apreciar como el RandomForestClassifier tiende a sobreestimar el área

mucho más que el smileCart. A pesar de esto, se sigue apreciando la tendencia a la desglaciación del conjunto de glaciares.

Ahora podemos ver como ha cambiado el área del glaciar con el paso del tiempo bajo la siguiente visualización, en la cual está filtrada a mano, por aquellos años en los cuales las colecciones de imágenes al obtener su mediana poseía una menor cantidad de nieve visible, de manera que, se podía reflejar el contorno del conjunto de glaciares sin tanto ruido. El contorno es obtenido mediante una vectorización de la Diferencia Normalizada de las capas Panchromatic y la SWIR1, cuyo pixel tiene una resolución de 7.5 metros.

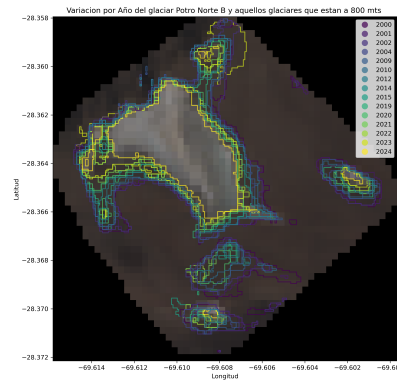


Figure 6: Cambio del glaciar a lo largo del tiempo. 2000 al 2024

6 Conclusión

Finalmente, el manejar otras herramientas al momento de evaluar la desglaciación de los glaciares puede beneficiar a aquellas organizaciones gubernamentales para realizar mejores medidas de prevención y/o acción respecto al efecto que tienen estos glaciares al medio ambiente que lo rodea.

Bajo nuestra investigación logramos tener algunos resultados preliminares que pueden dar una idea de los cambios que se están efectuando a lo largo del tiempo.

A demás, para el análisis de glaciares no solo se debe utilizar las bandas del satélite sino que, hay que buscar otras maneras de diferenciar la nieve del hielo, ya que producto de esto es que los clasificadores no logran determinar correctamente que es un glaciar

versus que es una capa de nieve, cosa que también se puede apreciar en las bandas.

También hay que considerar que, al momento de hacer estos estudios respecto a los glaciares hay que tener en cuenta, que hay distintos tipos de nieves, las cuales son aquellas capas superficiales de nieve blandas y en aquellas que ya pasan a ser consideradas nieve sólida, en la que nuestros modelos tienden a clasificar erróneamente como un glaciar.

Para poder identificar correctamente las masas de hielo se suele utilizar distintos satélites para ir filtrando las imágenes respecto a que tipo de valores se le atribuye al momento de clasificar un glaciar. Como podemos ver a continuación.

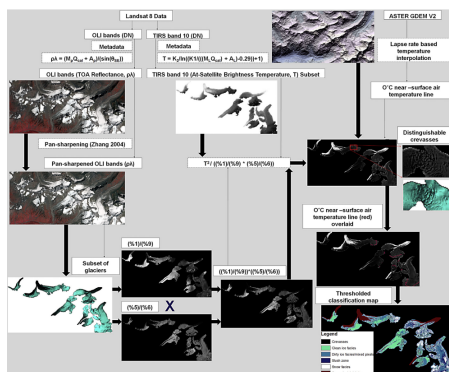


Figure 7: Esquema de clasificación de tipos de suelos en los glaciares. *Bhardwaj et al. [2015]*

A su vez, también hubo dificultades a la hora de realizar los clasificadores, puesto que no hay un DataSet previo al del IDEchile que nos dé una referencia para obtener más muestras para entrenar a nuestro modelo.

Acompañado de esto, hay limitantes al momento de realizar computos, ya que el procesamiento de imágenes, vectorizaciones y optimización de los clasificadores tomaba mucho tiempo de ejecución. Lo cual, era inviable el uso de otros métodos de clasificación como pueden ser las Redes Neuronales Convolutivas de las cuales eran los métodos más utilizados en la práctica.

Por último, lo ideal sería realizar una estandarización de las bandas pues el Panchromatic tiene una resolución mayor respecto a las demás bandas, si bien, se intentó realizar una interpolación con la banda SWIR1 para calcular la ND de las dos bandas, no se pudo lograr debido a que entregó errores en el cálculo. Por otro lado, al aumentar el Panchromatic a 30 metros, se perdía precisión y calidad en los resultados por lo que no se materializó.

References

- Anshuman Bhardwaj, PK Joshi, Snehamani, Lydia Sam, Mritunjay Kumar Singh, Shaktiman Singh, and Rajesh Kumar. Applicability of landsat 8 data for characterizing glacier facies and supraglacial debris. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38: 51–64, 2015. doi: 10.1016/j.jag.2014.12.011. URL <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.12.011>.
- Dirección General de Aguas. Glaciares de Chile, 2022. URL <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35993/Glaciares%20de%20Chile>.
- Agustín Polonio García. Monitorización y análisis comparativo de glaciares mediante imágenes landsat. 2017. URL <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/109109>. Trabajo final de grado, dirigido por Carolina Puig Polo, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú.
- M. Guo, H. Ma, Y. Bao, and L. Wang. FUSING PANCHROMATIC AND SWIR BANDS BASED ON CNN – a PRELIMINARY STUDY OVER WORLDVIEW-3 DATASETS. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences/International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, XLII-3:437–442, 4 2018. doi: 10.5194/isprs-archives-xlii-3-437-2018. URL <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-3/437/2018/>.
- Haifeng Li. Classification. n.d. URL <https://haifengl.github.io/classification.html>.
- Thomas Shaw. ¿por qué los glaciares son importantes?, n.d. URL <https://www.glaciareschilenos.org/por-que-los-glaciares-son-importantes/>.
- United Nations Environment Programme. ¿por qué los glaciares son tan importantes?, 2018. URL <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/por-que-los-glaciares-son-tan-importantes#:~:text=%20una%20fuente%20de%20agua,est%20a%20punto%20de%20desaparecer>.
- Bijeesh Kozhikkodan Veetil, Sebastián Felipe Ruiz Pereira, Shanshan Wang, Pedro Teixeira Valente, Atilio Efraim Bica Grondona, Adriana Coromoto Becerra Rondón, Isabel Cristiane Rekowsky, Sergio Florêncio De Souza, Nilceia Bianchini, Ulisses Franz Bremer, and Jefferson Cardia Simões. Un análisis comparativo del comportamiento diferencial de los glaciares en los Andes Tropicales usando teledetección. *Investigaciones geográficas*, (51):3, 7 2016. doi: 10.5354/0719-5370.2016.41215. URL <https://investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/41215>.
- Jing Zhang, Li Jia, Massimo Menenti, Jie Zhou, and Shaoting Ren. Glacier Area and Snow Cover Changes in the Range System Surrounding Tarim from 2000 to 2020 Using Google Earth Engine. *Remote sensing*, 13(24):5117, 12 2021. doi: 10.3390/rs13245117. URL <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/24/5117>.