

# MAPEO MULTITEMPORAL DE CUERPOS DE AGUA Y ÁREA URBANAS EN LOS ANDES DEL PERÚ USANDO IMÁGENES LANDSAT EN LA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE, PERIODO 1984-2018

Efrain Yury Turpo Cayo <sup>1,3</sup>, Espinoza Villar Raul Arnaldo <sup>1,2</sup>, Sandra Ríos Cáceres<sup>3</sup>, Catherine Nicole Moreno Flores<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina, Programa de Doctorado en Recursos Hídricos (PDRH), Av. La Molina s/n La Molina, Lima-Perú, efra\_abdias@hotmail.com; <sup>2</sup>Instituto Geofísico del Perú, Lima-Perú, Calle Badajoz N° 169 Urb. Mayorazgo IV Etapa Ate, Lima-Perú, respinozavillar@gmail.com; <sup>3</sup>Instituto del Bien Común, Jirón Mayta Capac 132, Jesús María 15072, srios.ibc@gmail.com, cnicolemorenoflores@gmail.com.

## RESUMEN

Los glaciares andinos son reservas y fuentes de agua dulce para poblaciones cuenca abajo, además son excelentes indicadores del clima y se encuentran en un proceso de retroceso glacial, lo cual puede traer grandes problemas en la disponibilidad del recurso hídrico. El objetivo de este estudio es analizar las tendencias de las extensiones superficiales de cuerpos de agua, glaciares y áreas urbanas en región andina o sierra del Perú, en un período de 35 años desde 1984 hasta 2018, con el soporte de la plataforma de Google Earth Engine (GEE) para el procesamiento imágenes Landsat. Para la separación de las coberturas se utilizó; árboles empíricos de clasificación basados en la mezcla espectral, índices compuestos y un índice topográfico. Este estudio muestra las relaciones espaciales y temporales entre las tres coberturas estudiadas, destacando el uso de GEE como herramienta de procesamiento de imágenes a escala regional y temporal.

**Palabras-claves** — Glaciares, Cuerpos de Agua, Áreas Urbanas, Andes, Landsat, *Earth Engine*.

## ABSTRACT

*The Andean glaciers are reserves and sources of fresh water for downstream populations, and they are also excellent indicators of climate and are in a process of glacial retreat, which can cause major problems in the availability of water resources. The purpose of this study is to analyze the trends of surface extensions of water bodies, glaciers and urban areas in the Andean region or the sierra of Peru, in a period of 35 years from 1984 to 2018, with the support of the Google Earth Engine (GEE) platform for Landsat image processing. For differentiation of the land covers; empirical classification trees based on the spectral mixture, compound indices and a topographic index were used. This study shows the spatial and temporal relationships between the three coverages studied, highlighting the use of GEE as a tool for image processing at a regional and temporal scale.*

**Key words** — Glacier, water bodies, urban areas, Andes, Landsat, *Earth Engine*.

## 1. INTRODUCCION

El territorio peruano está dividido en 3 regiones naturales; costa, sierra y selva, en la región sierra se ubican el 71% de los glaciares tropicales del mundo [1], por ende, son también cabeceras de las cuencas hidrográficas peruanas, lo que significa que el resto de las regiones dependen hídricamente de la zona alto andina o sierra del Perú. Los glaciares cumplen un papel importante; son los reguladores del régimen hidrológico, varias ciudades del Perú dependen su abastecimiento de esos glaciares [1,2]. Es evidente el proceso de retroceso glacial, y viene provocando cambios del paisaje y el apareamiento de nuevos cuerpos de agua de origen glacial (*proglacial*) [3].

Varios estudios y publicaciones muestran el uso de las imágenes de satélite Landsat en la dinámica de los glaciares y cuerpos de agua en los Andes en áreas específicas [4], Las imágenes Landsat han demostrado ser útiles para comprender las tendencias de la cobertura global en diferentes escalas de tiempo [4–6]. Pero a la vez la información en percepción remota (PR), cada día va aumentando y tiende a escala *petabyte*, nace la necesidad de desarrollar nuevos algoritmos, plataformas y técnicas para procesamiento masivo [7].

*Google Earth Engine* (GEE), es una plataforma de escala planetaria para el análisis de datos de (PR), ofrece las herramientas y la potencia computacional necesarias para analizar y extraer información multi-temporal a escala *petabyte* [7], GEE viene siendo utilizado en diferentes ecosistemas y escalas, un claro ejemplo es el proyecto MAPBIOMAS en Latinoamérica [6,8,9].

Este estudio busca cuantificar las extensiones superficiales de glaciares, cuerpos de agua y áreas urbanas, de toda la cordillera de los andes (región sierra) del Perú, basado en la plataforma GEE, en el periodo de 1984 al 2018.

## 2. MATERIAIS Y MÉTODOS

### 2.1. Área estudios

El área de estudio, es la región andina del Perú, que se ubica en la regional natural sierra, de color naranja en la **Figura 1**. Su extensión superficial aproximada de 358654.96 km<sup>2</sup>, representa aproximadamente el 27 % del total de la extensión superficial de Perú.

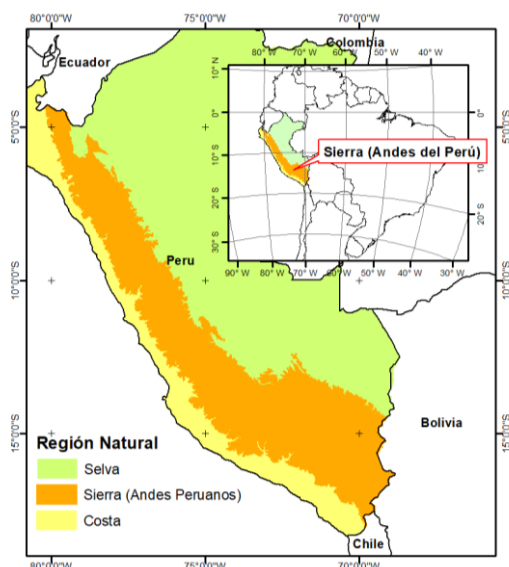


Figura 1. Mapa de ubicación de los andes peruanos.

## 2.2. Metodología

El procedimiento de pre-procesamiento, procesamiento para el mapeo multi-temporal de los Andes, se basó en la metodología de proyecto Mapbiomas Brasil [8] **Figura 2**, con árboles de decisión empíricas **Figura 5** y en la plataforma GEE, a través de rutinas desarrolladas en JavaScript.

Como primer paso, se creó una colección de mosaicos de imágenes anuales de pixel mediana (Años 1984-2017, entre meses de abril a octubre) de las imágenes de satélite Landsat según la **Tabla 01**. Para el enmascaramiento de nubes y sobras de nube se utilizó el algoritmo CFMask [10], que viene incorporado en la colección de imágenes.

Tabla 01. Colecciones de imágenes utilizadas.

Sensor	ID Colección en GEE
Landsat 5 TM	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR
Landsat 7 ETM+	LANDSAT/LE07/C01/T1_SR
Landsat 8 OLI	LANDSAT/LC08/C01/T1_SR

En base a los mosaicos anuales fueron creados otras bandas como los índices espectrales y fracciones de mezcla espectral (ME). La ME se basó en el modelo lineal y los miembros finales vegetación verde (GV), vegetación no fotosintética (NPV), suelo (Soil), nieve (Snow) y sombra (Shade).

Para la detección multi-temporal de áreas urbanas se utilizó el Índice Normalizado Compuesto de Áreas Urbanas (NUACI) [9], que depende de la calibración de los índices de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) [11], Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) [12], Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) [13] e información histórica de presencia de luces nocturnas de *Defense Meteorological Satellite Program-Operational Line-scan System* (DMSP-OLS) [14].

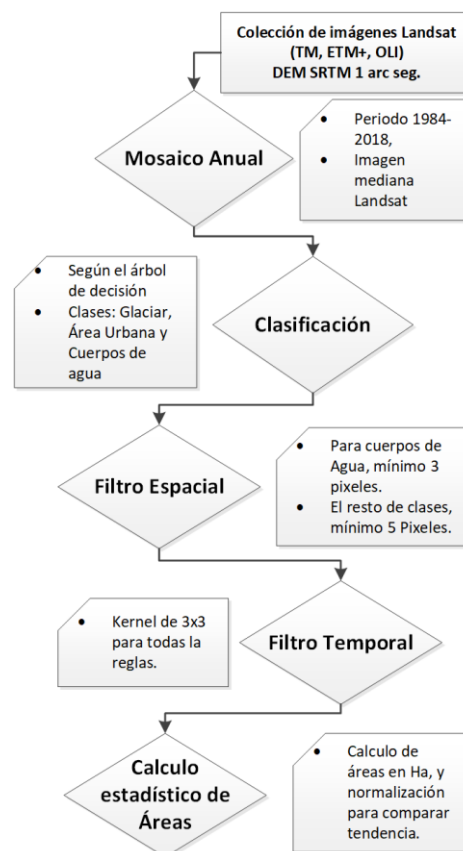


Figura 2. Esquema metodológico de pasos Fuente: Adaptación de Mapbiomas Brasil [8]

$$NDWI = (Green - NIR)/(Green + NIR) \dots (1)$$

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \dots (2)$$

$$NDBI = (SWIR - NIR)/(SWIR + NIR) \dots (3)$$

$$NUACI = U_{NTL} * (1 - \sqrt{(NDWI_i - a_{NDWI})^2 + (NDVI_i - a_{NDVI})^2 + (NDBI_i - a_{NDBI})^2})$$

Donde:

Green: Reflectancia en la banda verde

NIR: Reflectancia en la banda de infrarrojo cercano

SWIR: Reflectancia en la banda de infrarrojo de onda corta

$U_{NTL}$ : Representa la máscara binaria obtenida de DMSP-OLS,  $U_{NTL} = 0$  y  $U_{NTL} = 1$  que significa ausencia y presencia de área urbana respectivamente.

$a_{NDWI}$ ,  $a_{NDVI}$  y  $a_{NDBI}$ : Son los valores promedio de los índices en las áreas urbanas, para los Andes se utilizó los siguientes valores:

$$a_{NDWI}: 0.05$$

$$a_{NDVI}: 0.1$$

$$a_{NDBI}: 0.1$$

Para mejorar la separación de sombra de relieve y cuerpos de agua, se utilizó en el árbol: shademask2 (mapa de sombras enmascarado) y el índice de Posición Relativa de Pendiente (SLPPOST) [15].

$$slp_{post} = \left[ \frac{z(s) - z(s)_v}{z(s)_r - z(s)_v} \right] * 100 + 0.5$$

Donde:  $z(s)$ : Elevación,  $z(s)_v$ : Elevación de Valle y  $z(s)_r$ : Elevación de Cresta

El mapa de pendientes (Slope) se generó con el DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission - v03*).

Los umbrales utilizados en el árbol de decisión fueron aproximados en base a muestreo de píxeles representativos en el ambiente GEE. En el filtro espacial se consideró el número mínimo de píxeles contiguas, en caso del filtro temporal se utilizaron las reglas de la **Tabla 02**.

**Tabla 02.** Reglas de filtro temporal utilizadas. A: Cuerpos de agua, AUR: Área urbana, GLC: Glaciar y N: otras clases.

Tipo	Kernel	Año 1	Año 2	Año 3	Resultado
Reglas de ultimo año	3	A	A	N	A
	3	AUR	AUR	N	AUR
	3	GLC	GLC	N	GLC
Reglas de primer año	3	N	A	A	A
	3	N	AUR	AUR	AUR
	3	N	GLC	GLC	GLC
Reglas de años intermedios	3	A	N	A	A
	3	AUR	N	AUR	AUR
	3	GLC	N	GLC	GLC
	3	A	AUR	A	A
	3	AUR	GLC	AUR	AUR
	3	GLC	A	GLC	GLC

### 3. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación son un avance, de una investigación mayor, a continuación, se muestra los primeros resultados:

Se tiene varias colecciones de datos liberadas:

Asset de clasificaciones iniciales:

- “users/sigyury/SBSR\_2019/clasificacion”

Asset de clasificaciones filtro especial:

- “users/sigyury/SBSR\_2019/clasificacion\_fs”

Asset clasificaciones con filtro temporal:

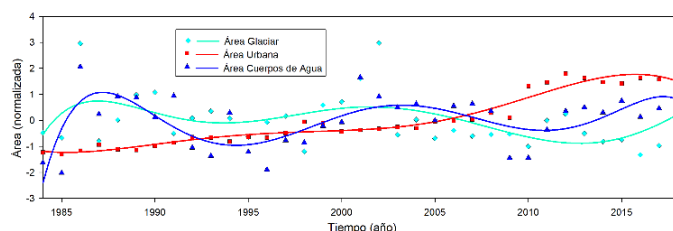
- “users/sigyury/SBSR\_2019/AT\_Andes\_Costa”

Se pueden visualizar los resultados mediante el acceso en el siguiente link de GEE:

Script de visualización de resultados:

<https://code.earthengine.google.com/8f1366c29fb6f4b220da7d1ce5d6fa82>.

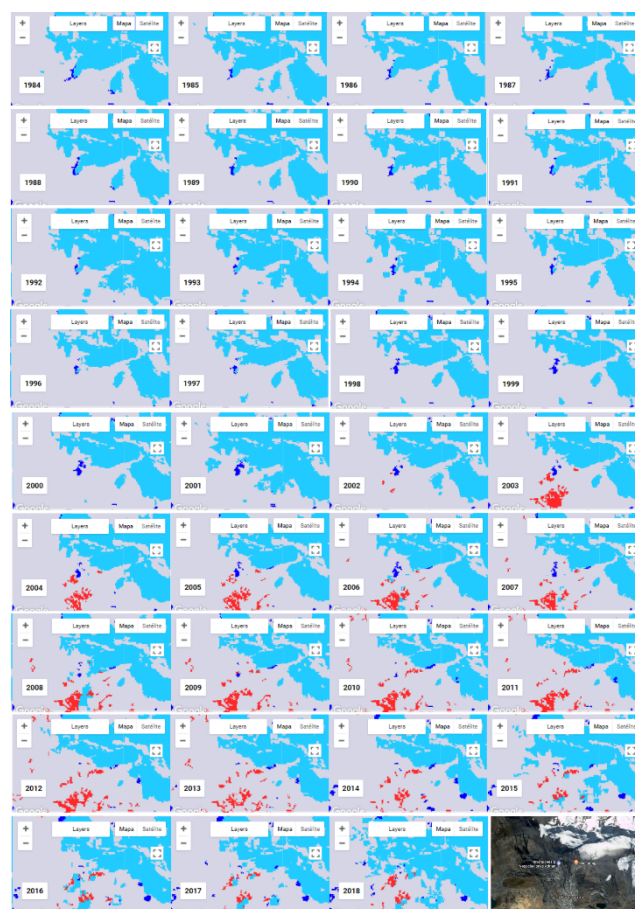
Se realizó el cálculo de las áreas multi-temporales de glaciares, cuerpos de agua y áreas urbanas, se sumó de todo el ámbito y se normalizó para compararlas **Figura 3**. Las líneas representan una tendencia polinómica de orden 6. En las **Figuras 4**, se muestra los resultados del script visor, De color rojo el área urbana, los cuerpos de agua de color azul y de color celeste los glaciares.



**Figura 3.** Área normalizada de cuerpos de agua, glaciar y áreas urbanas.

### 4. DISCUSSÃO

En la **Figura 3**, se muestra la comparación de las tendencias de áreas de las sumas totales, se puede apreciar el aumento de las áreas urbanas, en 816 has por año, lo que implica mayor demanda de los servicios, especialmente agua que, en su mayoría de proveniencia del deshielo de los glaciares, o de acuíferos por la infiltración de agua en las altas montañas con presencia glaciar.



**Figura 4.** Evolución del área urbana y glaciar del centro poblado de la Rinconada Puno-Perú periodo 1984-2018.

En contraparte se encontró una leve tendencia negativa de los glaciares, esto posiblemente al análisis global en todo los Andes, se pudo apreciar en áreas más pequeñas los cambios con mayor contraste y mayor tendencia. Indicaría que no todos los glaciares tropicales andinos del Perú, tienen la misma dinámica o velocidad de retroceso. Lo que demanda el análisis por condiciones climáticas como el propuesto por Sagredo y Lowell [16]. Llama una especial atención el ciclo de 15 años de aumento y disminución, entre el año 1985-1988, 2000 -2002 y 2018, se aprecia el incremento o la recuperación de los glaciares en el periodo estudiado, mientras en los años 1994 y 2013 se tiene una tendencia negativa.

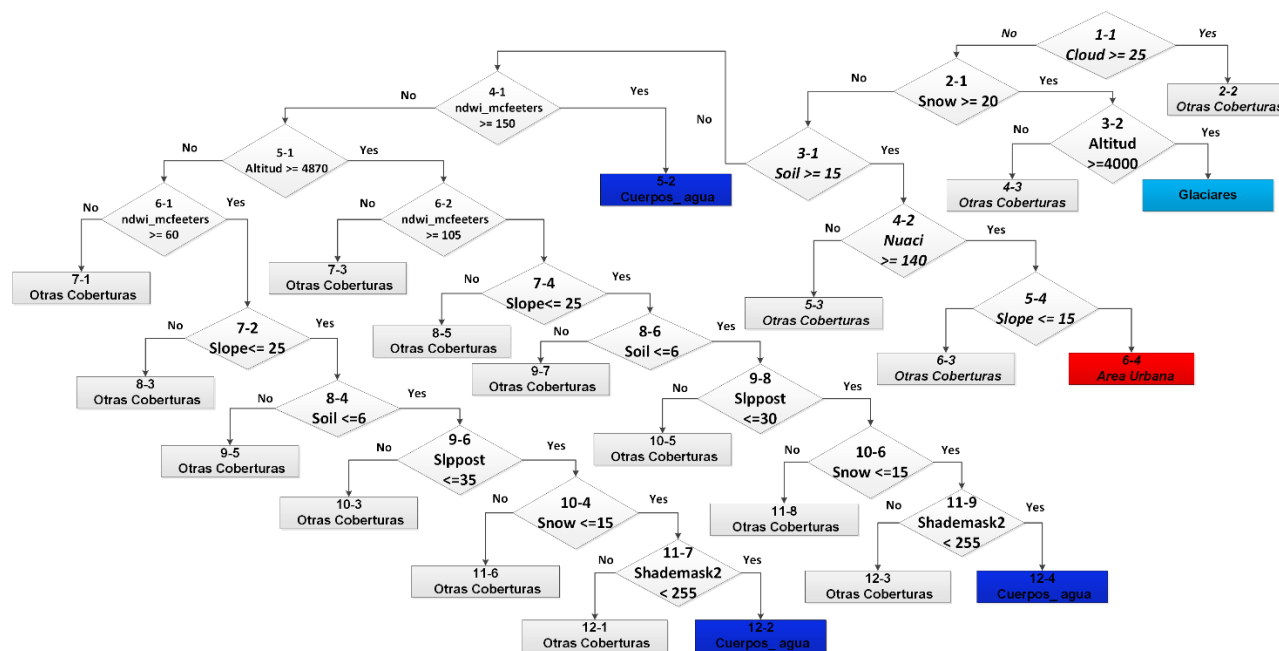


Figura 5. Árbol de decisión empírica para Andes

Esas fluctuaciones podrían tener relación con el fenómeno del niño y la niña como sugiere otros estudios [4]. Los cuerpos de agua tienen un leve incremento, esto causado por el derretimiento de los glaciares que dieron origen a nuevas lagunas de origen glaciar según ya fueron verificados por varios estudios [2,17] por ende la alta correlación temporal con los glaciares.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudio cuantificó las extensiones superficiales de glaciares, cuerpos de agua y áreas urbanas, de toda la cordillera de los andes (región sierra) del Perú, en la plataforma GEE, en el periodo de 1984 al 2018. Se destaca la eficiencia de GEE en el procesamiento masivo de imágenes.

Se encontró una leve tendencia negativa global en los glaciares, pero una alta relación con los cuerpos de agua. Se concluye que hay retrocesos diferenciados en los glaciares, mientras un incremento significativo de las áreas urbanas que dependen de los glaciares en su abastecimiento de agua.

Se hace disponible a la comunidad científica, la primera versión los *Assets* de datos, para que sean analizadas en áreas específicas de interés en los Andes peruanos.

Como primera presentación, aun no se consideró la validación temática de los resultados, por lo que serán los próximos pasos a seguir, y se recomienda utilizar la metodología en otros ámbitos.

**Agradecimientos:** A Mapbiomas-RAISG y IBC-Perú

## 6. REFERÊNCIAS

[1] KASER, G.; OSMASTON, H. **Tropical glaciers**. [s.l.] Cambridge Univ. Press, 2002.  
 [2] VEETIL, B. K. Study of 40-year glacier retreat in the northern region of the Cordillera Vilcanota, Peru, using satellite images: preliminary

results. **Remote Sensing Letters**, v. 8, n. 1, p. 78–85, 2017.

[3] MARK, B. G.; SELTZER, G. O. Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962-1999): Spatial distribution of mass loss and climatic forcing. **Quaternary Science Reviews**, v. 24, n. 20–21, p. 2265–2280, 2005.

[4] VEETIL, B. K. et al. Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 77, 2017.

[5] SANKEY, T. et al. Multi-scale analysis of snow dynamics at the southern margin of the North American continental snow distribution. **Remote Sensing of Environment**, v. 169, p. 307–319, 2015.

[6] PEKEL, J.-F. et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, v. 540, n. 7633, p. 1–19, 2016.

[7] GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, n. 2016, 2017.

[8] MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 9 aug. 2017.

[9] LIU, X. et al. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, n. February, p. 227–239, 2018.

[10] FOGA, S. et al. Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. **Remote Sensing of Environment**, v. 194, p. 379–390, 2017.

[11] MCFETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1996.

[12] ROUSE, W.; HAAS, R. H.; DEERING, D. W. MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS. **3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium**, v. 1, p. 309–313, 1973.

[13] ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003.

[14] PANDEY, B.; ZHANG, Q.; SETO, K. C. Comparative evaluation of relative calibration methods for DMSP/OLS nighttime lights. **Remote Sensing of Environment**, v. 195, p. 67–78, 2017.

[15] EVANS, J. S. Topographic variable descriptions. [s.d.].

[16] SAGREDO, E. A.; LOWELL, T. V. Climatology of Andean glaciers: A framework to understand glacier response to climate change. **Global and Planetary Change**, v. 86–87, n. February, p. 101–109, 2012.

[17] COOK, S. J. et al. Glacier change and glacial lake outburst: flood risk in the Bolivian Andes. **Cryosphere**, v. 10, n. 5, p. 2399–2413, 2016.