

Variaciones espaciotemporales de vegas y glaciares en la alta montaña de los Andes Centrales argentinos (30-37° S) entre 1986 y 2020

Spatiotemporal variations of meadows and glaciers in the highmountains of the Argentine Central Andes (30-37° S) between 1986 and 2020

Laura Viviana Zalazar

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Instituto Argentino de Nivología y Glaciología
Coordinadora Inventario Nacional de Glaciares
Argentina

 <https://orcid.org/0000-0002-0440-4745>
 lzalazar@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

La zona de alta montaña de los Andes Centrales de Argentina (30-37°S y 69,5°-70,5°W) es un sector de aproximadamente 40.000 km², ubicado sobre 2.500-3.000 m s.n.m., y escasamente poblado. Esta región es muy valorada por las poblaciones locales por ser productora de aguas superficiales y subterráneas que abastecen de este recurso a millones de habitantes ubicados aguas abajo. En este contexto, los humedales de gran altitud, localmente conocidos como vegas, y los glaciares representan componentes destacados del ciclo hidrológico de la zona de alta montaña, afectados por un clima cambiante y cuyas problemáticas han sido abordadas por separado en la mayoría de las investigaciones locales. Sin embargo, ambas coberturas terrestres están conectadas hidrológicamente en ciertas áreas. Por lo tanto, en la búsqueda de una comprensión más integral de los ecosistemas de alta montaña, en esta tesis se investigó comparativamente la distribución espacial actual (año 2020) y la evolución espaciotemporal reciente (1986-2020) de humedales y glaciares y su relación con las fluctuaciones de temperatura y precipitación. Las geotecnologías, constituyeron la base metodológica de esta tesis. Se utilizaron los índices NDVI y NDSI en la identificación y caracterización del área cubierta por humedales

y glaciares de hielo limpio respectivamente. El estudio de la situación actual (2020) se realizó con imágenes de Sentinel 2 y la evolución espaciotemporal reciente (1986-2020) con escenas Landsat (5, 7, 8). Los análisis relacionados con la temperatura y la precipitación se basaron en el procesamiento del producto TerraClimate. La mayor parte de la información fue obtenida y procesada, inicialmente, en Google EarthEngine, una plataforma de datos geoespaciales, que permite a los investigadores procesar virtualmente datos en diferentes escalas espaciotemporales. Los análisis se completaron con el uso de herramientas estadísticas y estadísticas espaciales. Como resultado, se pudo identificar un área de 475 km² de humedales y 1260 km² de glaciares (550 km² y 710 km² de hielo limpio y hielo cubierto respectivamente) para 2020. Entre los años 1986 y 2020 se observó un aumento significativo de temperatura y especialmente a partir del año 2010 un descenso significativo de las precipitaciones. En este contexto, el área cubierta por humedales no cambió significativamente pero el área glaciar disminuyó significativamente en alrededor del 36%. La franja comprendida entre los 34°S y 35°S al oeste de la región, fue identificada como la zona donde los humedales y los glaciares se encuentran más cercanos entre sí y donde esta proximidad y la mayor disponibilidad de agua, producto del deshielo, ha tenido un impacto positivo en la productividad de los humedales ubicados aproximadamente a 5 km de estos glaciares.

Palabras clave: glaciares, vegas, alta montaña, sensores remotos

ABSTRACT

The high mountain area of the Central Andes of Argentina (30-37°S and 69.5°-70.5°W) is a sector of approximately 40,000 km², located between 2,500-3,000 m a.s.l., and sparsely populated. This region is highly valued by local populations for being producers of surface and underground water which provide a water source for millions of inhabitants located downstream. In this context, high altitude wetlands, locally known as vegas, and glaciers represent two standing components of the hydrological cycle of the high mountain area, affected by a changing climate and whose problems have been addressed separately in most of the local investigations. However, both land covers are hydrologically connected in certain areas. Therefore, in the search for a more comprehensive understanding of high mountain ecosystems, in this thesis was investigated comparatively the current spatial distribution (year 2020) and recent spatiotemporal evolution (1986-2020) of wetlands and glaciers and their relationship to fluctuations in temperature and precipitation. Geotechnologies constituted the methodological foundation of this thesis. The indices NDVI and NDSI were used in the identification and characterization of the area covered by wetlands and clean-ice glaciers respectively. The study of the current situation (2020) was performed with Sentinel 2 images and the recent spatiotemporal evolution (1986-2020) with Landsat (5, 7, 8) scenes. The analysis related to temperature and precipitation were based in the processing of the product TerraClimate. Most of the information was obtained and processed, initially, in Google Earth Engine, a platform of geospatial data, which allow researchers to virtually process data at different spatiotemporal scales. The analyses were completed with the use of statistical tools and spatial statistics. As a result, it was possible to identify an area of 475 km² of wetlands and 1260 km² of glaciers (550

km² and 710 km² of clean-ice and covered ice respectively) for 2020. Between the years 1986 and 2020 was observed a significant increase in temperature and particularly from year 2010 a significant decrease in precipitation. In this context the area covered by wetlands did not change significantly but the glaciated area diminished significantly in around 36%. The strip between 34°S and 35°S to the west of the region, was identified as the area where wetlands and glaciers are closest to each other and where this proximity and the greater availability of water, as a result of the melting ice, has had a positive impact on the productivity of wetlands located approximately 5 km away from these glaciers.

Keywords: glaciers, wetlands, high mountains, remote sensing

Resumen de tesis doctoral¹

La presente tesis doctoral se focalizó en el estudio de la alta montaña de los Andes Centrales argentinos (30-37°S y 69,5°-70,5°O) con énfasis en las variaciones espaciotemporales (1986-2020) de dos de sus componentes hidrológicos principales: humedales de altura, conocidos localmente como vegas altoandinas, y glaciares. Este interés se originó en el rol de la alta montaña como proveedora y reserva de recursos hídricos, no solo localmente sino también para las áreas circundantes y en las transformaciones que está experimentando debido al cambio climático. Este rol adquiere mayor relevancia por tratarse de un área semiárida sometida a sequías recurrentes. Desde el punto de vista metodológico el trabajo se apoyó en el crecimiento exponencial de datos geoespaciales y en el desarrollo de una serie de herramientas que permiten la visualización, consulta y procesamiento de los mismos a diferentes escalas espaciotemporales directamente a través de internet, como Google Earth Engine.

Teniendo en cuenta estas consideraciones temáticas y metodológicas, la tesis tuvo como objetivo general aportar un mayor conocimiento acerca de las vegas altoandinas, los glaciares y sus relaciones en la alta montaña de los Andes Centrales de Argentina, profundizando en el análisis de patrones de distribución

¹ La presente tesis doctoral fue defendida en la Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo en el mes de diciembre del año 2023 y dirigida por el Dr. Director: Dr. Mariano Masiokas

espacial actual (año 2020) así como la evolución espaciotemporal reciente (1986-2020) y cómo estos se vinculan con las variaciones de la temperatura y la precipitación, mediante el uso de geotecnologías.

El trabajo se estructuró en 8 capítulos comenzando la numeración en la introducción. En el capítulo 2 se desarrolló el marco teórico y conceptual en el que se sustentó la tesis, en donde se destacó el estudio de las montañas en la geografía y las principales características de las vegas altoandinas y los glaciares, así como sus cambios recientes en el contexto del cambio climático. Seguidamente, se describió el aporte de las geotecnologías al estudio de la alta montaña y sus componentes y la creciente cantidad de datos geoespaciales que amplía las posibilidades de análisis espaciotemporales al mismo tiempo que genera nuevos desafíos en cuanto a su procesamiento.

En el capítulo 3 se detallaron los principales aspectos metodológicos que subyacen en los análisis realizados a lo largo de la tesis, que luego fueron profundizados en los capítulos siguientes. Las fuentes principales de información fueron imágenes satelitales, grillas de temperatura y precipitación, modelos digitales de elevación y, en casos específicos, datos de caudales y de población. Los índices de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) y de hielo/nieve (NDSI), obtenidos a partir del procesamiento de imágenes satelitales, constituyeron la base en la identificación y caracterización del área de vegas y del hielo descubierto de los glaciares respectivamente entre los años 1986 y 2020. El rango temporal fue seleccionado en función de la disponibilidad de imágenes satelitales en el área. En la identificación de patrones espaciales que resultaran estadísticamente significativos se empleó la técnica estadística Getis-Ord G_i^* . Debido a la extensión del área de estudio y el rango temporal de análisis, el trabajo requirió el procesamiento de miles de imágenes satelitales y datos ráster que fueron obtenidos y procesados inicialmente en Google EarthEngine. En los análisis estadísticos globales, estadística espacial y representación gráfica de los resultados se empleó el programa R, mientras que en los análisis de distancia, geoprocесamientos y elaboración de cartografía se utilizó QGIS.

En el capítulo 4 se abordaron los pasos seguidos en la delimitación del área de estudio, en la que se emplearon geoprocesamientos basados fundamentalmente en datos de elevación, hidrología y distribución de los cuerpos de hielo (glaciares y glaciares de escombros). A partir de esta delimitación se describieron sus características ambientales más importantes y su relevancia para las poblaciones que se distribuyen mayormente aguas abajo. El área quedó conformada por las cuencas altas de los ríos San Juan, Mendoza y Tunuyán en el norte (elevaciones superiores a los 3000 msnm) y Diamante, Atuel, Malargüe y Colorado en el sur (cotas por encima de los 2500 msnm). A partir de esta delimitación se realizó una caracterización climática del área de estudio considerando valores medios de temperatura y precipitación en las últimas cuatro décadas, y se describieron sus variaciones espaciales en función de la latitud y la elevación. También, se analizaron tendencias desde el año 1986 en cuanto a temperatura, precipitación y caudales de los principales ríos. Al mismo tiempo se consideró la evolución de la población que depende de la alta montaña y la creciente presión de proyectos agroindustriales, mineros, turísticos e inmobiliarios en las inmediaciones y en la alta montaña.

A continuación, en el capítulo 5 se describió la metodología empleada para analizar la situación actual de las vegas altoandinas (2016-2020) en relación con su distribución espacial y altitudinal y para reconstruir la evolución espaciotemporal (1986-2020) en el área y valores de NDVI y su vínculo con variables climáticas. A partir de este trabajo se logró determinar por primera vez en la región la superficie cubierta por vegas altoandinas y su distribución espacial así como las variaciones espaciotemporales.

En el capítulo 6 se realizó un estudio de los glaciares, de manera similar al realizado con las vegas altoandinas, considerando la situación actual (2020) y la evolución temporal reciente (1986-2020) del área y los valores de NDSI y su vínculo con variables climáticas. Este análisis permitió actualizar la superficie cubierta por glaciares y su distribución espacial en la región. Al mismo tiempo se logró reconstruir la variación interanual de la superficie con hielo descubierto y cada cinco años en el hielo cubierto y cómo estas se vinculan con los cambios en la precipitación y la temperatura.

En el capítulo 7 se aborda un análisis espaciotemporal comparativo de vegas altoandinas y glaciares a la vez que se exploran las posibles conexiones entre la disminución de la superficie con hielo descubierto y la evolución de la biomasa de las vegas altoandinas, incorporando la distancia como variable explicativa en la variación de los valores de NDVI entre 1986 y 2020.

Finalmente, en el capítulo 8 se exponen las conclusiones generales del trabajo en donde se destaca desde el punto de vista metodológico la contribución de las geotecnologías, que permitió analizar comparativamente, por primera vez en la alta montaña de los Andes Centrales de Argentina, las variaciones espaciotemporales de las vegas altoandinas y los glaciares y su interacción con el clima entre los años 1986 y 2020. Además, permitió establecer relaciones entre el crecimiento en la biomasa de las vegas, analizada a través del NDVI, y la distancia al hielo descubierto de los glaciares. A partir de este trabajo se obtuvo, asimismo, el primer mapa de vegas altoandinas de la región y se actualizó la superficie con glaciares.

Los resultados obtenidos brindan información inédita para el estudio de vegas altoandinas y glaciares y se espera que sean de utilidad al momento de tomar decisiones con respecto al futuro de la alta montaña, un sector clave desde el punto de vista ambiental para la vida de millones de habitantes en una región de características semiárida.