

Policy brief

Diálogos académicos:
Aportes de la Academia a Nuestro Desafío Climático (NDC)



ADAPTACIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL: ¿DÓNDE Y A QUÉ ADAPTARNOS?



GRUPO IMPULSOR DE
**ACCIÓN CLIMÁTICA
DE LA ACADEMIA**

Con el apoyo de:



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

ADAPTACIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL: ¿DÓNDE Y A QUÉ ADAPTARNOS?

Jaime Aguilar-Lome¹, Raúl Espinoza-Villar², Jhan-Carlo Espinoza³,
Joel Rojas-Acuña¹, Bram Leo Willems⁴, Walter-Martín Leyva-Molina^{1,4}

1 Laboratorio de Teledetección, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

2 Laboratorio de Planeamiento Modelamiento y Ordenamiento Territorial, Facultad de Ing. Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

3 Univ. Grenoble Alpes, IRD, CNRS, Grenoble INP, Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE, UMR 5001), 38000 Grenoble, France

4 Centro de Competencias del Agua (CCA), Lima, Perú

1. Descripción del problema

En la región andina peruana faltan datos para un seguimiento más completo de los cambios en el clima, que permita hacer un análisis en cada zona o piso altitudinal de los Andes. La disponibilidad limitada de datos de estaciones meteorológicas revela varios patrones de cambio climático en los Andes tropicales durante el siglo XX, los estudios revelan que la temperatura del aire se está incrementando entre 0.009 y 0.024 ° C / año dependiendo de la región analizada o el periodo de tiempo, según los registros de las estaciones (Vuille y Bradley, 2000; Vuille et al., 2003 y 2008; IGP, 2005).

Estos cambios en la temperatura del aire podrían modificar significativamente el ciclo hidrológico en las montañas (Nijssen et al., 2001). Así, en los Andes tropicales, se ha reportado una disminución significativa en el balance de masa de los glaciares y muchos glaciares podrían desaparecer en las próximas décadas, especialmente aquellos por debajo de 5400 msnm (Rabatel et al., 2013; Yarleque et al., 2018). El retroceso de los glaciares en los Andes es más evidente durante los años de El Niño, lo que induce temperaturas del aire más altas de lo normal (Rabatel et al., 2013). Del mismo modo pueden ser afectados todos los ecosistemas altoandinos como los bofedales y además sistemas de las cabeceras de cuencas las cuales proveen agua a las grandes ciudades aguas abajo.

Dada la complejidad geográfica del territorio peruano, aún se desconocen los cambios futuros a los que tendremos que adaptarnos y en cuánto tiempo pueden llegar dichos cambios. Además, es muy importante identificar dónde aplicar determinadas políticas de adaptación, considerando las particularidades climáticas en el territorio peruano.

2. Hallazgos

En el presente trabajo se realizó el análisis del incremento de la temperatura en la región andina central (Figura 1) en base a los datos satelitales de temperatura de superficie del suelo (LST) obtenidos por el sensor MODIS con una resolución espacial de 1km, esto con la finalidad de tener una serie de datos de toda la superficie de la zona de estudio desde el año 2000 al 2017 (año en que se realizó la investigación).

Los datos LST MODIS ya han sido validados en diferentes estudios en muchas regiones del planeta (Vancutsem et al., 2010; Shen y Leptoukh, 2011; Zhang et al., 2016; Yang et al., 2017) indicando que la LST y la temperatura del aire tienen una estrecha relación debido al intercambio

de calor entre la tierra y el aire. También han sido usados para estudios en la región andina (Delbart et al., 2015; Cornwell et al., 2016; Saavedra et al., 2018).

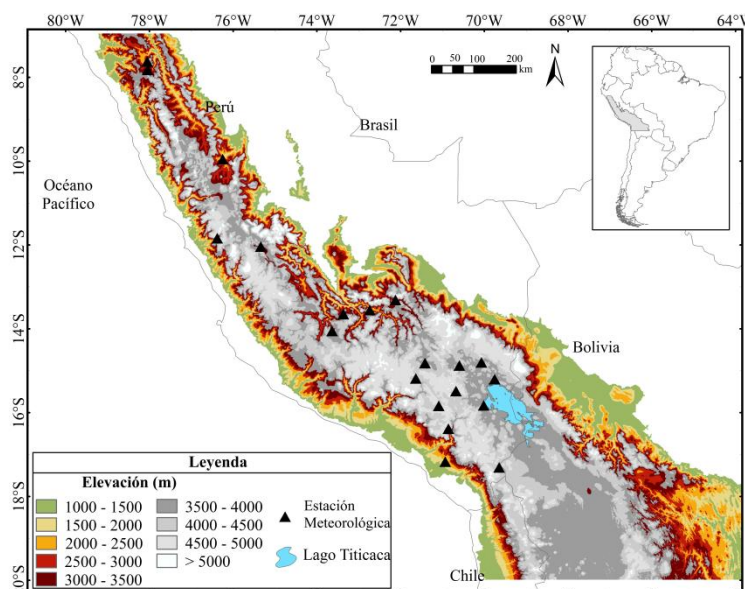


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Sobre los 1000msnm). Los colores muestran la altitud en msnm, Los triángulos negros indican las estaciones meteorológicas con datos de temperatura

En el presente estudio se compararon los datos LST MODIS con los datos de temperatura de las estaciones meteorológicas para diferentes zonas y coberturas de suelo, encontrando una significancia estadística entre estos datos ($0.57 \leq R \leq 0.82$, $p < 0.01$). En la Figura 2a se muestra el mapa de incremento de temperatura (LST) diurna para los meses de Junio, Julio y Agosto (invierno austral) en diferentes colores. Las zonas en gris (sin datos) se deben a datos filtrados por presencia de nubes, cambio de la cobertura del suelo o en regiones donde la tendencia de la temperatura no es significativa ($p > 0.05$). En la Figura 2a podremos observar en colores más rojos las zonas donde el calentamiento es más intenso. También se observa pequeñas zonas con una tendencia LST negativa entre los límites de las zonas con una influencia de la nubosidad costera a aproximadamente 1200-1500 msnm.

Las Figuras 2b y 2c muestran un corte transversal a los andes donde se puede observar el incremento de LST juntamente con el incremento de la altitud, tanto para los andes centrales del Perú (Lima y Pasco) como para la región del altiplano (lago Titicaca).

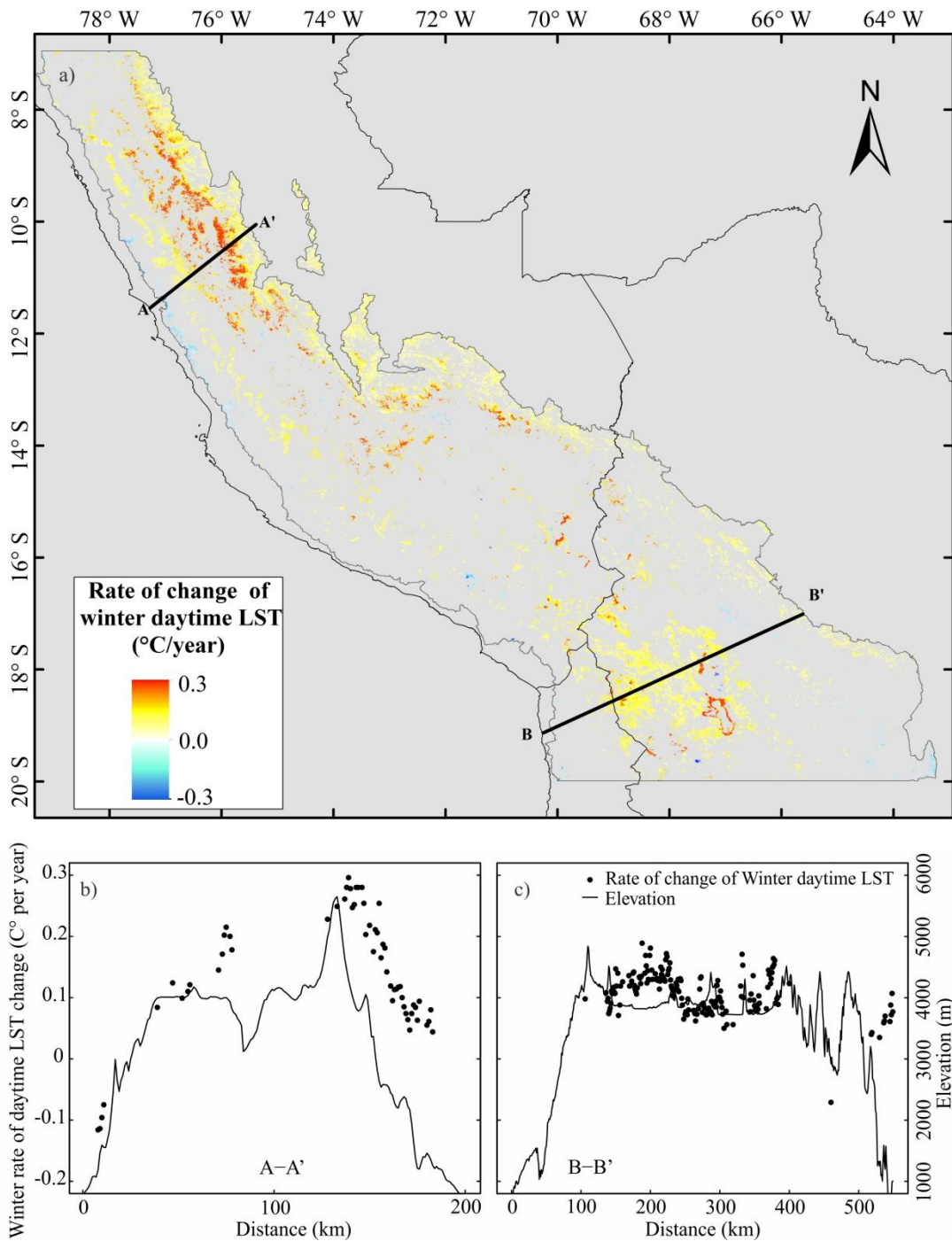


Figura 2. (a) Distribución espacial de la tendencia diaria de LST ($^{\circ}\text{C} / \text{año}$) de invierno, para el periodo 2000-2017, con 95% ($p \leq 0.05$) de significancia obtenida. Se han eliminado las áreas con cambios en la cobertura del suelo. En (b) A-A' y (c) B-B', se muestran gráficamente dos transectos de variación de temperatura (puntos) y altitud (líneas).

En la Figura 3 se muestran en barras los diferentes incrementos de LST en diferentes pisos altitudinales (intervalos de 500 m). El incremento de la temperatura está ocurriendo en toda la zona de los Andes centrales, pero con mayor intensidad en las zonas más altas. Entre los 1000 y 1500 msnm se observa un calentamiento de $0.05^{\circ}\text{C}/\text{año}$, pero por encima de los 5000 msnm el calentamiento es aún mayor, alcanzando $0.18^{\circ}\text{C}/\text{año}$, para el periodo 2000 a 2017. Este

fenómeno ha sido identificado como un calentamiento dependiente de la altitud, lo cual puede tener severas implicaciones para el abastecimiento de agua y los ecosistemas de alta montaña.

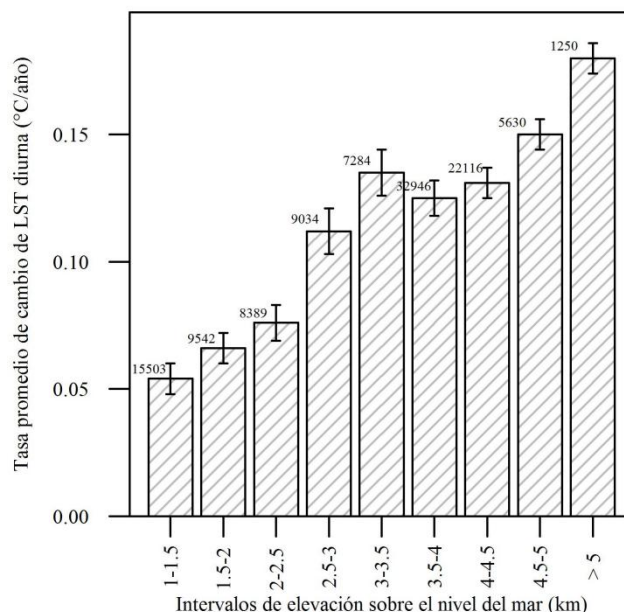


Figura 3. Promedios de las tendencias LST diurnas de invierno para todas las áreas de estudio, a intervalos de 500 m, en los Andes tropicales. Los valores en la parte superior de las barras son el número de píxeles MODIS en cada rango de elevación. Las barras de error representan la desviación estándar de la tendencia LST para cada rango de 500 m, multiplicada por 0,1 para ser visible.

3. Opciones de acción

Este estudio dio a conocer los cambios observados en la temperatura del suelo para el periodo 2000-2017, lo cual da una nueva perspectiva sobre las políticas de adaptación y protección con un enfoque regional. Esto contribuye a identificar dónde y a qué adaptarnos en el contexto del cambio climático y cambio global. Sin embargo, aún existen altas incertidumbres sobre las proyecciones de las condiciones climáticas futuras. En este sentido, es importante implementar una política de investigación científica para el desarrollo de programas de investigación con el objetivo de evaluar la evolución futura del calentamiento identificado en este estudio.

Desde un punto de vista de la productividad económica y los impactos sobre las poblaciones, es necesario identificar las regiones con más alto riesgo, sensibles a la evolución futura de los cambios observados en este estudio. Mientras que este estudio ofrece un panorama estratégico sobre las regiones afectadas, los resultados necesitan ser complementados con información de poblaciones afectadas y procesos productivos impactados por los cambios de temperatura identificados. En las regiones identificadas como críticas se necesitarán políticas de protección y adaptación particulares considerando el mayor riesgo sobre los ecosistemas dominantes. En tal sentido, investigaciones sobre la adaptación de posibles cultivos resultan indispensables para combatir los efectos adversos del cambio climático en los Andes.

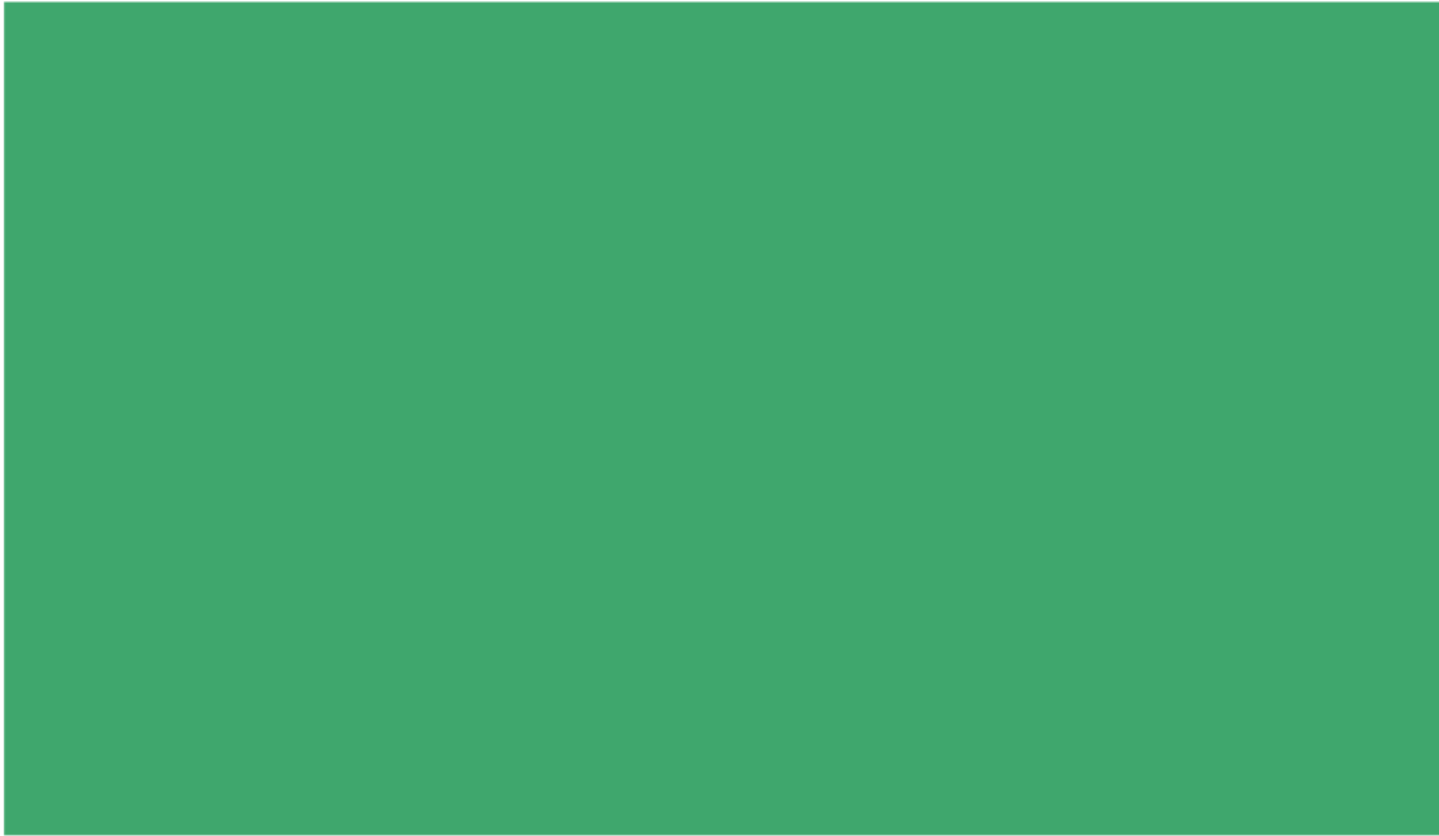
Los cambios identificados en este estudio se encuentran también asociados a cambios en el ciclo hidrológico regional y local, afectando por ejemplo los glaciares (que contribuyen recursos

hídricos a las cuencas principalmente en época de estiaje) y a la vegetación (que desempeña un papel clave en la infiltración del escurrimiento y en la evapotranspiración). Por ende, es indispensable incrementar nuestro conocimiento sobre la evolución futura de los recursos hídricos considerando el calentamiento global y los cambios de uso de suelo.

4. Literatura citada

- Cornwell, E., Molotch, N.P., McPhee, J., 2016. Spatio-temporal variability of snow water equivalent in the extra-tropical Andes Cordillera from distributed energy balance modeling and remotely sensed snow cover. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20 (1), 411.
- Delbart, N., Dunesme, S., Lavie, E., Madelin, M., Goma, R., 2015. Remote sensing of Andean mountain snow cover to forecast water discharge of Cuyo rivers. *J. Alpine Res. Revue de géographie alpine* 103–112.
- Instituto Geofísico del Perú, 2005b. Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro Vol. III Fondo Editorial CONAM, Lima, Perú.
- Nijssen, B., O'Donnell, G.M., Hamlet, A.F., Lettenmaier, D.P., 2001. Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. *Clim. Change* 50, 143–175.
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.E., Huggel, C., Scheel, M., 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere* 7, 81–102.
- Saavedra, F.A., Kampf, S.K., Fassnacht, S.R., Sibold, J.S., 2018. Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000–2016. *Cryosphere* 12 (3), 1027.
- Shen, S., Leptoukh, G.G., 2011. Estimation of surface air temperature over central and eastern Eurasia from MODIS land surface temperature. *Environ. Res. Lett.* 6 (4), 045206
- Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T., Connor, S.J., 2010. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. *Remote Sens. Environ.* 114 (2), 449–465.
- Vuille, M., Bradley, R.S., 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophys. Res. Lett.* 27, 3885–3888.
- Vuille, M., Bradley, R.S., Werner, M., Keimig, F., 2003. 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Clim. Change* 59 (1–2), 75–99.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B., Bradley, R., 2008. Climate change and tropical Andean Glaciers: past, present and future. *Earth-Science Review* 89, 79–96.
- Yang, Y.Z., Cai, W.H., Yang, J., 2017. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate near-surface air temperature in northeast China. *Remote Sens.* 9 (5), 410.
- Yarleque, C., Vuille, M., Hardy, D.R., Timm, O.E., De la Cruz, J., Ramos, H., Rabatel, A., 2018. Projections of the future disappearance of the Quelccaya ice cap in the Central Andes. *Sci. Rep.* 8 (1), 15564.

- Zhang, H., Zhang, F., Zhang, G., He, X., Tian, L., 2016. Evaluation of cloud effects on air temperature estimation using MODIS LST based on ground measurements over the Tibetan Plateau. *Atmos. Chem. Phys.* 16 (21), 13681–13696.



**Diálogos académicos:
Aportes de la Academia a Nuestro Desafío Climático (NDC)**



**GRUPO IMPULSOR DE
ACCIÓN CLIMÁTICA
DE LA ACADEMIA**

Con el apoyo de:



PERÚ

Ministerio
del Ambiente