



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
PERÚ 2021

Oceanografía
del océano
Pacífico sudeste:
Avances y
perspectivas

Pág. 5

Caracterización
de la vegetación
en los Andes
durante El Niño
costero de 2017

Pág. 12

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 20

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 21

BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 8 n.º 05 Mayo 2021



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Vol. 8 n.º 05 Mayo 2021

CRÉDITOS

Gabriel Quijandría Acosta

Ministro del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz

Director Científico

Ivonne Montes Torres

Directora

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Equipo editorial:

James Apaéstegui Campos

Kobi Mosquera Vásquez

Diseño y diagramación

Unidad Funcional de Comunicaciones

Carátula: vista del mar peruano frente a la región sur del país

Foto: Rolando Chijcheapaza

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal n.º 068 "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres

Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012.

Teléfono: 51-1-3172300

Lima, agosto de 2022

EDITORIAL

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"- PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El presente ejemplar suma dos artículos de investigación. El primero, titulado "Oceanografía del océano Pacífico sudeste: Avances y perspectivas", narra los aportes científicos a favor de la exploración del océano Pacífico a fin de conocer sus características y, especialmente, describir las contribuciones desarrolladas por el IGP en el campo de la oceanografía.



EDITORIAL

El segundo artículo, titulado “Caracterización de la vegetación en los Andes durante El Niño costero de 2017”, presenta la evaluación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con el objetivo de evaluar el impacto producido por las lluvias asociadas a la ocurrencia de El Niño costero del año 2017 en la vegetación andina. Los resultados presentan diferencias significativas de los impactos tanto de la región oriental como occidental de los Andes peruanos.

En este boletín se presenta también el resumen del informe técnico de El Niño, documento que forma parte de los compromisos asumidos por el IGP en el marco del PPR 068. El informe indica que en la actualidad el valor del índice de El Niño costero presenta una condición climática neutra. Por otro lado, en el Pacífico central se muestran condiciones frías débiles. Según el promedio de las predicciones numéricas de los seis modelos climáticos de NMME, inicializados con información oceánica y atmosférica del mes de mayo de 2021, habrían condiciones climáticas dentro del rango neutral frente a la costa peruana hasta noviembre de 2021. En el Pacífico central los modelos indican que las condiciones frías débiles registradas en mayo pasarán a condiciones neutras en junio de 2021. Finalmente, desde julio hasta noviembre, las condiciones frías débiles pasarían a condiciones frías moderadas.

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta “No Activo” debido a que las temperaturas del mar en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, se mantendría dentro de su rango normal hasta agosto del 2021. Respecto a las temperaturas del aire a nivel costero, se mantendrían en rangos normales a lo largo de la costa norte y por ligeramente por debajo de lo normal en la costa centro y sur. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.



DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

OCEANOGRAFÍA DEL OCÉANO PACÍFICO SUDESTE: AVANCES Y PERSPECTIVAS

Ivonne Montes¹

RESUMEN

El presente texto narra los aportes científicos a favor de la exploración del océano Pacífico a fin de conocer sus características y, especialmente, describir las contribuciones desarrolladas por el IGP en el campo de la oceanografía.

Palabras clave: Oceanografía, modelos numéricos, OMZ, océano Pacífico sudeste

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

Citar como: Montes, I. (2021). Oceanografía del océano Pacífico sudeste: Avances y perspectivas. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 8 n.º 05, págs. 5 -11.

INTRODUCCIÓN

Según se evidencia en las fotografías tomadas desde el espacio, más del 70 % de la superficie del planeta está ocupada por el océano, de ahí la denominación de Planeta Azul. Pero lo que vemos en la superficie es, en realidad, un volumen de agua que tiene una profundidad promedio de aproximadamente 3700 m, pudiendo tener zonas muy profundas. Por ejemplo, en la fosa de Perú-Chile, la profundidad registrada hasta el momento alcanza los 8000 m. Sin embargo, nuestro conocimiento del océano se limita a la capa superior (es decir, los primeros 500 metros), aquella que interactúa con la atmósfera y que regula el clima por medio de procesos físicos.

DATOS Y METODOLOGÍA

Si nos referimos al océano Pacífico tropical, la investigación y exploración del océano han estado ligadas al desarrollo tecnológico. Por ejemplo, entre los años 1950 y 1980, la recolección de datos mediante barcos mercantes, navales y de investigaciones internacionales fueron los medios más frecuentes para obtener información oceanográfica (Brainard y McLain, 1987). Estos barcos utilizaron una variedad de instrumentos de muestreo, incluyendo botellas hidrográficas, batitermógrafos mecánicos (MBT), batitermógrafos consumibles (XBT) y sondas electrónicas de conductividad-temperatura-profundidad (CTD, por sus siglas en inglés) para obtener perfiles de datos oceanográficos desde la superficie hasta el fondo en zonas estratégicas, y conocer así sus características. A partir de la década de los 90 se desarrolló, a nivel internacional, un sistema de observación denominado TAO (Tropical Atmosphere Ocean Project). Este sistema es un conjunto de boyas que están distribuidas estratégicamente para obtener información entre los 10°S y 10°N y hasta aproximadamente los 500 metros de profundidad. En los últimos treinta años, una serie de satélites dedicados a la observación meteorológica y oceanográfica han generado una amplia base de datos para monitorizar y estudiar las características superficiales del océano, así como los procesos de interacción entre el océano y la atmósfera, tal como el fenómeno El Niño.

Más recientemente, el uso de vehículos o plataformas autónomas proporcionan información oceanográfica por debajo de los 500 metros. Un grupo de estos incluye a los flotadores ARGO, instrumentos que obtienen información de alta resolución vertical (típicamente de 1 o 2 dbar), desde la superficie hasta los 1000 o 2000 metros, en un periodo de 5 a 10 días, aproximadamente (dependiendo de la programación que tengan). Las variables que miden son, principalmente, temperatura, salinidad, presión y, en los últimos tiempos, oxígeno, así como otras del tipo bioquímicas. Estos datos son enviados en tiempo real a



una base de datos que es accesible a la comunidad científica internacional.

En el Perú, las entidades científicas utilizan la información de los flotadores ARGO para el monitoreo de la temperatura subsuperficial del mar. En el caso particular del IGP, desde el año 2014 se procesa la información de estos instrumentos para el monitoreo de las ondas Kelvin en el Pacífico ecuatorial para prever el tiempo de llegada de estas ondas hacia al extremo oriental y el posible impacto que podría tener en la costa peruana.

Una herramienta importante para suplir la carencia espacio-temporal de datos observacionales es el modelado numérico. Para el caso de la geofísica, el modelado numérico es, en general, una representación matemática de las propiedades físicas de la Tierra y sus interacciones (basado en leyes fundamentales de la naturaleza, p. ej. conservación de energía, masa y momentum). Dependiendo de la complejidad de las ecuaciones (es decir del caso de estudio), estas pueden tener soluciones analíticas, requiriendo desde tan sólo lápiz y papel hasta computadores personales. Sin embargo, si se quiere modelar el sistema climático o alguno de sus componentes, se requerirá resolver muchas ecuaciones en el dominio del espacio y tiempo necesitando supercomputadores que permiten hacer una gran cantidad de cálculos. Esta herramienta numérica permite generar una serie de escenarios sobre situaciones observadas e ideales, a fin de ganar entendimiento y contribuir a la solución de problemas en muchas áreas del conocimiento. Hay que considerar también que, dependiendo del caso de estudio, esta herramienta requiere de datos observados para realizar la experimentación, calibrar las ecuaciones y/o validar los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para el caso del océano Pacífico sudeste, el modelado numérico ha sido clave para el entendimiento de procesos oceanográficos que se desarrollan en diferentes escalas de tiempo (Figura 1). Se sabe que esta región presenta una dinámica compleja como consecuencia del fuerte acoplamiento entre el océano y la atmósfera, y que además tiene gran influencia en la variabilidad del clima del Perú y el mundo. En particular, el océano frente a las costas de Perú es principalmente dominado por la variabilidad local de los vientos que soportan el afloramiento costero (Garçon et al., 2019). Sin embargo, al ser el único sistema de borde oriental en proximidad y conexión directa con la zona ecuatorial, la región oceánica frente a las costas de Perú es afectada por la variabilidad remota ejercida por la dinámica ecuatorial en varias escalas de tiempo (p. ej., intraestacional, interanual, decadal) a través de ondas y advección de masas de agua. Mediante el modelado numérico, también, se ha podido determinar, por ejemplo, que la advección es principalmente desarrollada por las corrientes ecuatoriales subsuperficiales (EUC: Corriente Ecuatorial Subsuperficial; pSSCC: Contracorriente Subsuperficial Sur primaria; sSSCC: Contracorriente Subsuperficial Sur secundaria), que contribuyen, al final, a la Corriente Subsuperficial de Perú-Chile - PCUC (Montes et al., 2010). Esta corriente, que fluye hacia el polo a lo largo de las costas de Perú y Chile sobre la plataforma y el talud continental, es la fuente principal de agua para el afloramiento costero.

El afloramiento costero es el proceso físico que provoca el ascenso de masas de agua subsuperficiales frías y ricas en nutrientes que, a su vez, son pobres en oxígeno. Las pobres o bajas concentraciones de oxígeno se deben a una circulación oceánica lenta y a las tasas altas o moderadas de descomposición de materia orgánica que consume oxígeno disuelto (Breitburg et al., 2018), desarrollando lo que conocemos como la Zona de Mínima de Oxígeno (OMZ, por sus siglas en inglés) del océano Pacífico sudeste (ESP, por sus siglas en inglés).

A partir de la experimentación con modelos numéricos regionales acoplados físicos-biogeoquímicos (Montes et al., 2014; Vergara et al., 2016), se ha determinado que el equilibrio de estos procesos físicos y biogeoquímicos puede variar en diferentes escalas de tiempo. Debido a la geometría de la costa, que es favorable para la transmisión de energía de las ondas planetarias, la OMZ del ESP está fuertemente influenciada por la variabilidad remota generada en el Pacífico ecuatorial (es decir, El Niño en sus diferentes facetas) que modula el afloramiento costero impulsado por la divergencia en el transporte de Ekman y la actividad de mesoescala.

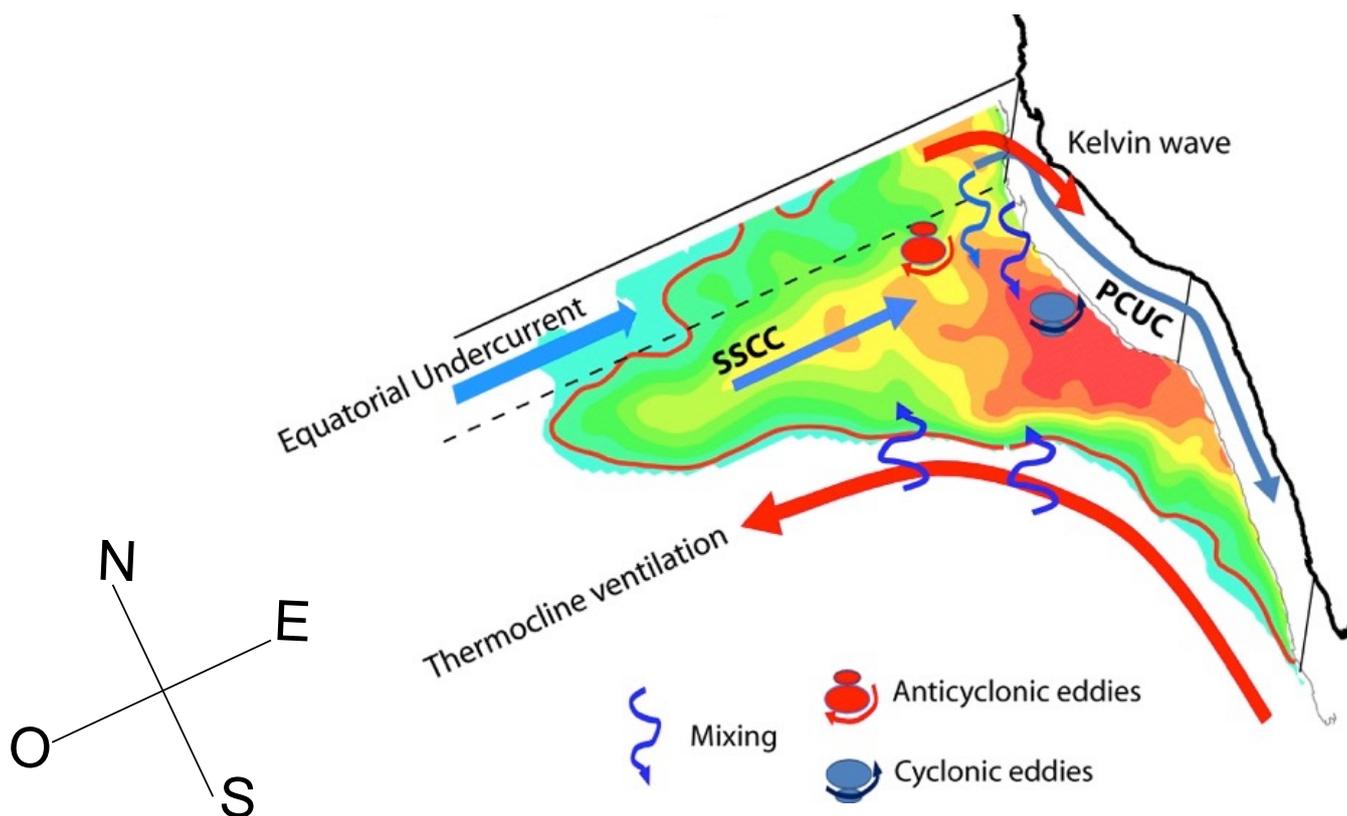


Figura 1. Esquema de los procesos físicos involucrados en el mantenimiento de la OMZ del ESP. Contorno coloreados representan las concentraciones de oxígeno (escala logarítmica), el contorno rojo más oscuro corresponde a concentraciones de oxígeno $< 1 \text{ ml l}^{-1}$ a 300 m (datos CARS, www.cmar.csiro.au/cars). Las flechas de color azul claro ilustran a las corrientes subsuperficiales ecuatoriales. Los remolinos anticiclónicos (ciclónicos) están en rojo (azul). La flecha larga roja gruesa que se curva de sur a oeste representa la ventilación de la termoclina, es decir, en su visión conceptual, el transporte subsuperficial hacia el ecuador de masas de agua a través de la conservación de la vorticidad potencial desde la superficie en las latitudes medias y altas. A lo largo de esta vía de masa de agua, el límite OMZ puede erosionarse a través de la mezcla diapícnal (flechas onduladas azules).

En términos de circulación promedio, las aguas transportadas por el Sistema de Corrientes Ecuatoriales son importantes en la dinámica de la OMZ porque suministran aguas de diferente contenido de oxígeno en la OMZ del ESP. Las estimaciones desde los resultados de la modelación numérica indican que el principal contribuyente a los cambios en los flujos de oxígeno al sistema costero proviene de la EUC ($\sim 300 \times 10^3 \text{ mol s}^{-1}$); mientras que el pSSCC ($\sim 70 \times 10^3 \text{ mol s}^{-1}$) y el sSSCC ($> \sim 20 \times 10^3 \text{ mol s}^{-1}$) solo contribuyen marginalmente (Montes et al., 2014). Estas estimaciones son consistentes con las observaciones disponibles (p. ej., Stramma et al., 2010), las que indican que la OMZ del ESP está ventilada por chorros zonales (p. ej., pSSCC y sSSCC), ricos en nutrientes pero bajos en oxígeno (p. ej., Llanillo et al., 2013), que contribuyen a la reducción de los niveles medios de oxígeno de la OMZ. En términos de variabilidad en la OMZ, la varianza en la advección es un orden de magnitud mayor que la varianza en los procesos biogeoquímicos. La advección es particularmente fuerte a través de los límites de la OMZ donde se encuentran los mayores gradientes de oxígeno (particularmente en las cercanías de la oxiclina y cerca de la costa). La advección no lineal también contribuye a gradientes locales transitorios (es decir, no estables) de oxígeno, los que están asociados con procesos aeróbicos biogeoquímicos locales (como la descomposición óxica y nitrificación en la región de la oxiclina) o la actividad de mesoescala de alta frecuencia que genera gradientes de oxígeno dentro de un flujo promedio de mayor escala (Montes et al., 2014).

En particular, los límites de la OMZ del océano Pacífico sudeste se caracterizan por fuertes gradientes en el contenido de oxígeno y la presencia de zonas altamente turbulentas (Montes et al., 2014; Vergara et al., 2016), donde las estructuras de mesoescala juegan un papel doble (Bettencourt et al., 2015). A profundidades entre ~ 400 y ~ 600 m, los modelos indican que los remolinos y frentes de mesoescala actúan como barreras para la entrada de oxígeno en el núcleo de la OMZ. Aquí, los remolinos sirven para modular la difusión de oxígeno a través de los límites de la OMZ y, por lo tanto, mantienen la separación de las aguas ricas y pobres en oxígeno. Sin embargo, esporádicamente, los remolinos pueden introducir aguas con alto contenido de oxígeno a través de las fronteras de la OMZ.

Asimismo, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es el principal impulsor de la OMZ del ESP. Garçon et al. (2019) reportaron una asimetría en la respuesta de la OMZ del ESP a los diferentes tipos de El Niño, donde los eventos de El Niño en el Pacífico Oriental producen una mayor reducción de la OMZ, mientras que los eventos de El Niño en el Pacífico Central están asociados a una OMZ intensificada que puede favorecer condiciones de agua más desoxigenadas. Cabe señalar que durante el ENOS (es decir, en cualquier fase de El Niño y La Niña) se experimenta una modulación en la energía cinética de los remolinos (EKE) en el ESP (Conejero et al., 2020). La EKE tiende a aumentar durante los fuertes eventos de El Niño a lo largo de la costa peruana, mientras que apenas cambia durante los eventos de El Niño y La Niña en el Pacífico Central. Sin embargo, la magnitud de los cambios de EKE durante los fuertes eventos de El Niño en el ESP no es proporcional a su fuerza. En particular se destaca el evento de El Niño de 1972/1973 como un evento extremo en términos de aumento de EKE frente a Perú, alcanzando una amplitud tres veces mayor a la observada durante el evento El Niño 1997/1998. Durante El Niño 2015/2016 se obtuvo un impacto débil en EKE.

Así, los procesos potencialmente importantes en el forzamiento de la OMZ se han documentado en base a modelos regionales (Grant et al., 2021) y globales que revelan una dependencia significativa en la parametrización y resolución del modelo. Los pocos conjuntos de datos de alta resolución disponibles sugieren que la degradación de la materia orgánica dentro de la OMZ juega un papel importante en la variabilidad de alta frecuencia (p. ej., Bretagnon et al., 2018), un proceso que no se considera adecuadamente en los modelos actuales. Por lo tanto, es necesario un enfoque que combine el análisis de datos oceánicos y atmosféricos, la implementación y, también, la experimentación con modelos numéricos regionales.

PERSPECTIVAS

En aporte a la expansión del sistema de observación oceanográfico frente a las costas de Perú, actualmente se viene desarrollando el proyecto “Circulación del Pacífico Este a partir de Flotadores ARGO” (SEPICAF), que proporcionará información oceánica periódica no solo para el monitoreo sino también para abordar problemas científicos claves e implementar sistemas de pronósticos regionales. Especialmente, permitirá soportar las actividades de monitoreo del ENFEN (Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno de “El Niño”). Además, SEPICAF contribuirá a las actividades de monitoreo de los programas ARGO y TPOS2020 (Tropical Pacific Observing System 2020 project), siendo este último una iniciativa de la comunidad científica internacional que tiene como objetivo principal ampliar y rediseñar el sistema de observación océano-atmósfera en la región del Pacífico ecuatorial, zona en la que se desarrolla el fenómeno El Niño/La Niña. Ello a través de la implementación y despliegue de un total de 17 flotadores ARGO entre 2021 y 2023 frente a las costas de Perú y Chile —9 y 8, respectivamente— para asegurar una cobertura suficiente para aplicaciones oceanográficas y climáticas (p. ej., producción de *reanalysis* confiable a través de la asimilación de los datos), y para proporcionar observaciones que permitan la validación de modelos físico-biogeoquímico regionales, así como el estudio de la circulación oceánica y la dinámica de OMZ.

A la fecha, 3 boyas ya han sido liberadas frente a la región centro-norte de Chile gracias a la colaboración de la expedición científica de la Fundación TARA Oceans a bordo de un velero instrumentado con equipos oceanográficos y tripulado por personal científico. Se espera que en el marco de colaboración con entidades públicas (p. Ej., Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DIHIDRONAV) y privadas (por ejemplo, empresa pesquera TASA) se inicie, a partir de finales del presente año, el despliegue de los flotadores frente al Perú.



REFERENCIAS

Brainard, R.E., & McLain, D.R. (1987). Seasonal and interannual subsurface temperature variability off Peru, 1952 to 1984. In D. Pauly and I. Tsukayama (eds.). *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: Three decades of change*. ICLARM Studies and Reviews 15, 14-45.

Bretagnon, M., Paulmier, A., Garçon, V., Dewitte, B., Illig, S., Leblond, N., ... Scouarnec, L. (2018). Modulation of the vertical particle transfer efficiency in the oxygen minimum zone off Peru. *Biogeosciences*, 15, 5093-5111. doi.org/10.5194/bg-15-5093-2018

Bettencourt, J.H., López, C., Hernández-García, E., Montes, I., Sudre, J., Dewitte, B., ... Garçon, V. (2015). Boundaries of the Peruvian Oxygen Minimum Zone shaped by coherent mesoscale dynamics. *Nature Geoscience*, 8, 937-940. doi:10.1038/ngeo2570

Breitburg, D., Levin, A., Oschlies, A., Grégorie, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., ... Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359, doi:10.1126/science.aam7240

Conejero, C., Dewitte, B., Garçon, V., Sudre, J., Montes, I. (2020). ENSO diversity driving low-frequency change in mesoscale activity off Peru and Chile. *Scientific Report*, 10, 17902. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74762-x>

Garçon, V., Dewitte, B., Montes, I., & Goubanova, K. (2019). *Land-Sea-Atmosphere interactions exacerbating ocean deoxygenation in Eastern Boundary Upwelling Systems (EBUS)*, in *Ocean Deoxygenation: Everyone's problem, Causes, impacts, consequences and solutions*, Eds D. Laffoley and J.M. Baxter, IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Report, Gland, Switzerland), pp 171-186.

Grant, P., Aguirre-Velarde, A., Breitburg, D., Cardich, J., Carstensen, J., Conley, J.D., ... Zhu, Z. (2021). System controls of coastal and open ocean oxygen depletion. *Progress in Oceanography*. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102613>

Montes, I., Dewitte, B., Gutknecht, E., Paulmier, A., Dadou, I., Oschlies, A., & Garçon, V. (2014). High-resolution modeling of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone: Sensitivity to the tropical oceanic circulation. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 119, 5515–5532. doi:10.1002/2014JC009858

Montes I., Schneider, W., Colas, F., & Blanke, B. (2010). On the pathways of the Equatorial Subsurface Currents in the Eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru-Chile Undercurrent. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 115(C09003). doi:10.1029/2009JC005710

Stramma, L., Johnson, G.C., Firing, E., & Schmidtko, S. (2010). Eastern Pacific oxygen minimum zones: Supply paths and multidecadal changes. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 115, C09011. <https://doi.org/10.1029/2009JC005976>

Vergara, O., Dewitte, B., Montes, I., Garçon, V., Ramos, M., Paulmier, A., & Pizarro, O. (2016). Seasonal Variability of the Oxygen Minimum Zone off Peru in a high-resolution regional coupled. *Biogeosciences*, 13, 4389-4410. doi:10.5194/bg-13-4389-2016

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN LOS ANDES DURANTE EL NIÑO COSTERO DE 2017

Ricardo Zubieta¹, Fernando Prudencio¹ y Juan Sulca¹

RESUMEN

El desarrollo de la vegetación presente en los Andes del Perú está asociado al régimen interanual de las lluvias. Existe una interacción directa entre el clima y la vegetación. No obstante, los estudios de la vegetación de regiones de alta montaña son escasos. El objetivo de esta investigación es caracterizar el desarrollo de la vegetación durante el evento El Niño 2016-2017 usando herramientas de percepción remota. Para ello, se recopilieron datos del sensor MODIS del satélite Terra (producto MOD09A1, resolución espacial y temporal de 500 m y 8 días, respectivamente) durante el período 2002-2020 y se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Los resultados sugieren que las lluvias severas entre enero y marzo 2017 no condujeron a un incremento sostenido del NDVI en el sector oriental de los Andes, y, por tal, al desarrollo de la vegetación. Esto pudo ser debido a que la mayor parte de la lluvia se perdía por escorrentía durante eventos de lluvia extrema, ya que se considera que una lluvia más uniforme y distribuida durante el periodo de lluvia favorece el desarrollo de la vegetación.

Palabras clave: Lluvia, satélite, vegetación, El Niño, NDVI

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú.

Citar como: Zubieta, R., Prudencio, F., Sulca, J. (2021). Caracterización de la vegetación en los Andes durante El Niño costero del 2017. *Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú*, Vol. 8 n.º 05, págs. 12-19.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de las lluvias sobre los Andes peruanos depende parcialmente de los eventos de El Niño-Oscilación del Sur (Lavado y Espinoza, 2014). Los eventos El Niño identificados en el Pacífico oriental, generalmente, producen lluvias intensas en altitudes bajas de la vertiente del Pacífico (Lavado y Espinoza, 2014). Asimismo, se asociaría a menos lluvias y temperaturas más altas de lo normal en regiones encima de los 2000 m s. n. m. (Garreaud, 2009).

Adicionalmente, está documentado que el incremento de la temperatura superficial del mar en el Atlántico tropical y las condiciones en el Pacífico central, asociadas a los eventos El Niño, podrían generar condiciones atmosféricas anormales que pueden favorecer la ocurrencia de sequías extremas en los Andes centrales (Sulca et al., 2021). En general, estas condiciones secas apuntan a la disminución de los recursos hídricos en escalas local y regional, lo que conlleva a un menor desarrollo y degradación de la vegetación (Fernández et al., 2011).

La región andina experimentó, entre enero y marzo de 2017, una serie de eventos de lluvias extremas e inundaciones con cientos de víctimas humanas y miles de millones de dólares en pérdidas económicas (Son et al., 2017). Estas precipitaciones anómalas se caracterizaron por el calentamiento muy superficial (entre 20 y 40 m de profundidad) del mar en la costa norte del Perú, en comparación a otros eventos, y un rol limitado de ondas Kelvin ecuatoriales (ENFEN, 2017), lo que sugiere la interacción de varios factores ambientales y, aparentemente, con similitudes al evento ocurrido en el año 1925 (Takahashi y Martínez, 2017).

La variabilidad interanual de las lluvias está fuertemente asociada a la actividad vegetativa en algunas regiones de los Andes del Perú (Vega, 2019). Esto es debido a que la superficie terrestre (suelo y vegetación) depende directamente de las interacciones climáticas (p. ej., lluvia, evapotranspiración) (Suescún et al., 2017). No obstante, los estudios de la vegetación de regiones de alta montaña son escasos. En consecuencia, para gestionar los recursos forestales ante impactos climáticos, la vegetación debe ser monitoreada. La vegetación puede caracterizarse por su capacidad fotosintética (Asner et al., 2004). Para ello, un índice ampliamente utilizado, como indicador del verdor de la vegetación y su desarrollo, es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, siglas en inglés) (Rouse et al., 1974). Ante el incremento de lluvias en la región andina durante el fenómeno El Niño costero 2017, existe incertidumbre acerca de su impacto en el desarrollo de la vegetación. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es caracterizar la vegetación mediante el NDVI en el periodo 2016-2017.



ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la región andina del Perú, entre 1500 y 4000 m s. n. m. (Fig. 1). La cobertura vegetal predominante son los pastizales (desde 2500 a más de 4800 m s. n. m.), los cuales se utilizan comúnmente para el pastoreo (Oliveras et al., 2014). La precipitación promedio anual es menor a 1000 mm y presenta valores máximos entre enero y marzo, y sus mínimos entre junio y julio (Zubieta et al., 2019).

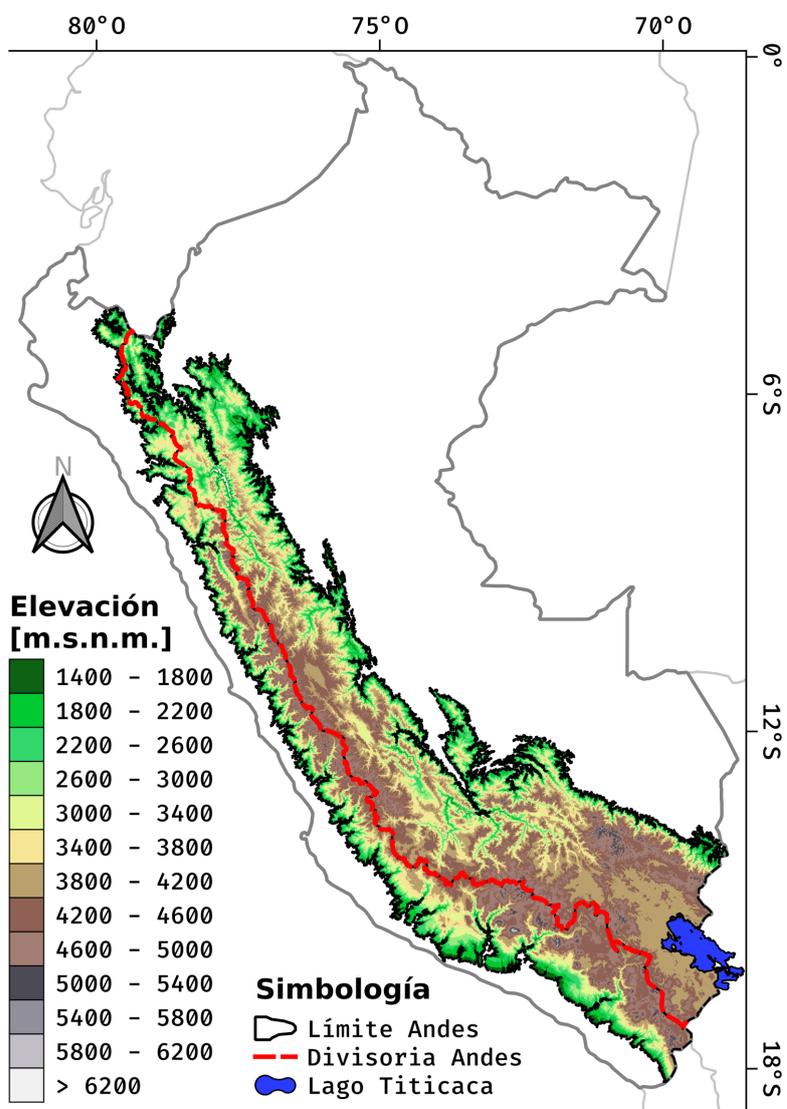


Figura 1. Mapa de ubicación de Andes peruanos, la zona de estudio propuesta se encuentra entre 1500 y 4000 m s. n. m. La línea roja indica el límite entre la vertiente del Pacífico y el Atlántico.

ÁREA DE ESTUDIO

Para evaluar las condiciones biofísicas de la vegetación, se recopilaron datos grillados del producto MOD09A1 (colección-006) del sensor MODIS-Terra para el período 2002-2020. Este producto es un compuesto de 8 días, a 500 m de resolución espacial, y contempla valores de reflectividad absoluta de superficie (Bandas 1-7). Para minimizar el ruido espectral en los datos MODIS, el cual es causado por la concentración de gases aerosoles y vapor de agua, los datos fueron sometidos previamente a un proceso de corrección atmosférica (Vermote et al., 2015).

MÉTODO

Las bandas 1 y 2 del producto MOD09A1 corresponden a las longitudes de onda del rojo (RED, 620-670 nm) e infrarrojo cercano (NIR, 841-876 nm), respectivamente. Estas bandas fueron usadas para calcular el NDVI (Rouse et al., 1974). El resultado de la estimación del NDVI (Ecuación 1) oscila entre -1 y 1 . Asimismo, estos datos fueron espacialmente filtrados a partir de la banda de calidad (StateQA) a fin de evitar que se vean sesgados por valores inferiores a 0.2 (sombras, nubes o cuerpos de agua).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Regiones andinas orientales y occidentales por encima de 1400 m s. n. m. fueron analizadas por separado (Figs. 2 y 3, respectivamente). Por razones de comparación, la estimación de NDVI se realizó para la condición promedio 2002-2020 (Fig. 2a) y lo acontecido en el evento El Niño costero (Fig. 2b).

Durante un año promedio, a altitudes entre 1400 y 2000 m s. n. m. en la región oriental, se manifiesta el mayor desarrollo de la vegetación en bosques de montaña expresado en niveles altos de NDVI ($\sim 0.6-0.9$). Asimismo, se observa una débil estacionalidad de estos valores (Fig. 2a). En contraste, entre 2000 y ~ 4000 m s. n. m. se observa un cambio más diferenciado de valores NDVI entre los periodos enero-junio (0.5-0.8) y julio-noviembre (0.2-0.5). Esto es consistente con la marcada diferenciación entre el periodo de lluvias y estiaje en los Andes peruanos (Espinoza et al., 2009), que impacta en el desarrollo de vegetación altoandina.

No obstante, para el periodo 2016-2017, el desarrollo de la vegetación no habría sido caracterizado por incrementos en niveles del NDVI a pesar de las lluvias intensas que ocasionaron inundaciones durante El Niño 2017 (Fig. 2b). Esto puede ser debido a la irregularidad de la lluvia (*i. e.*, grandes cantidades de lluvia que precipitan en pocos días y se pierden por escorrentía (Zubieta et al., 2019). En efecto, la lluvia provista en láminas de riego más uniforme y distribuida sobre los pastizales mejora la absorción de nutrientes y así un mayor desarrollo foliar y radicular, traduciéndose en mayor crecimiento (Guevara et al., 2017; López y Once, 2018). Estos resultados evidencian que la irregularidad o la alta concentración de lluvia en pocos días durante El Niño costero de 2017 no favoreció a un mayor desarrollo de la vegetación.

Por otro lado, la vegetación altoandina por encima de 4000 m s. n. m. tiene un régimen estacional similar al de las precipitaciones. Por ejemplo, los niveles más bajos del índice NDVI coincide con el inicio de la temporada de lluvias (septiembre-noviembre) ($\sim 0.1-0.3$) y aumentan de enero a abril ($\sim 0.3-0.5$). Por lo contrario, entre 2000 y 3500 m s. n. m., el NDVI para 2016 se redujo drásticamente de ~ 0.7 a ~ 0.4 durante el inicio de la temporada de lluvias (Fig. 2b).

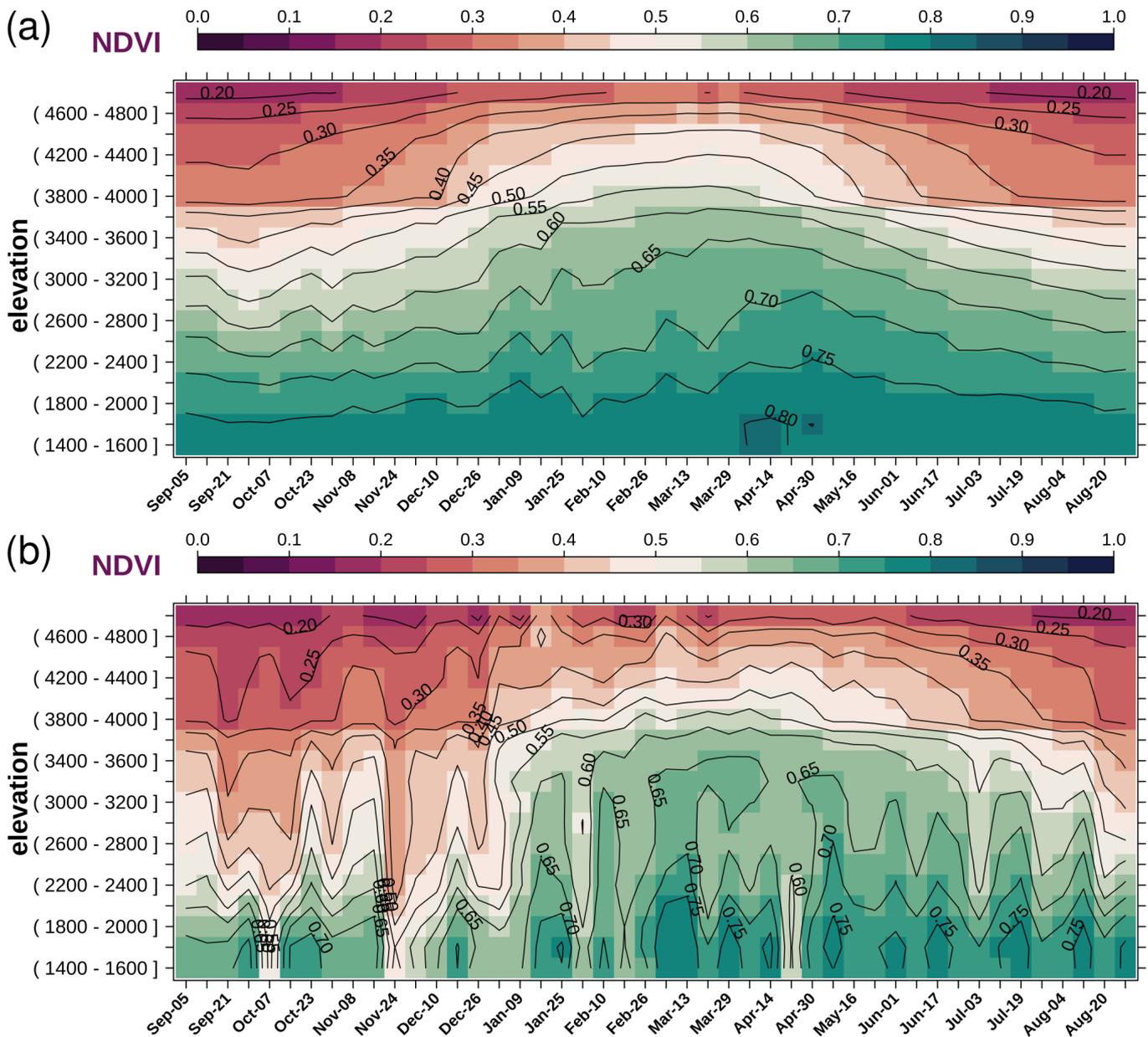


Figura 2. a) Variación promedio anual (2002-2020) de NDVI por intervalos de elevación. b) Variación promedio anual de NDVI para el periodo 2016-2017 para los Andes orientales.

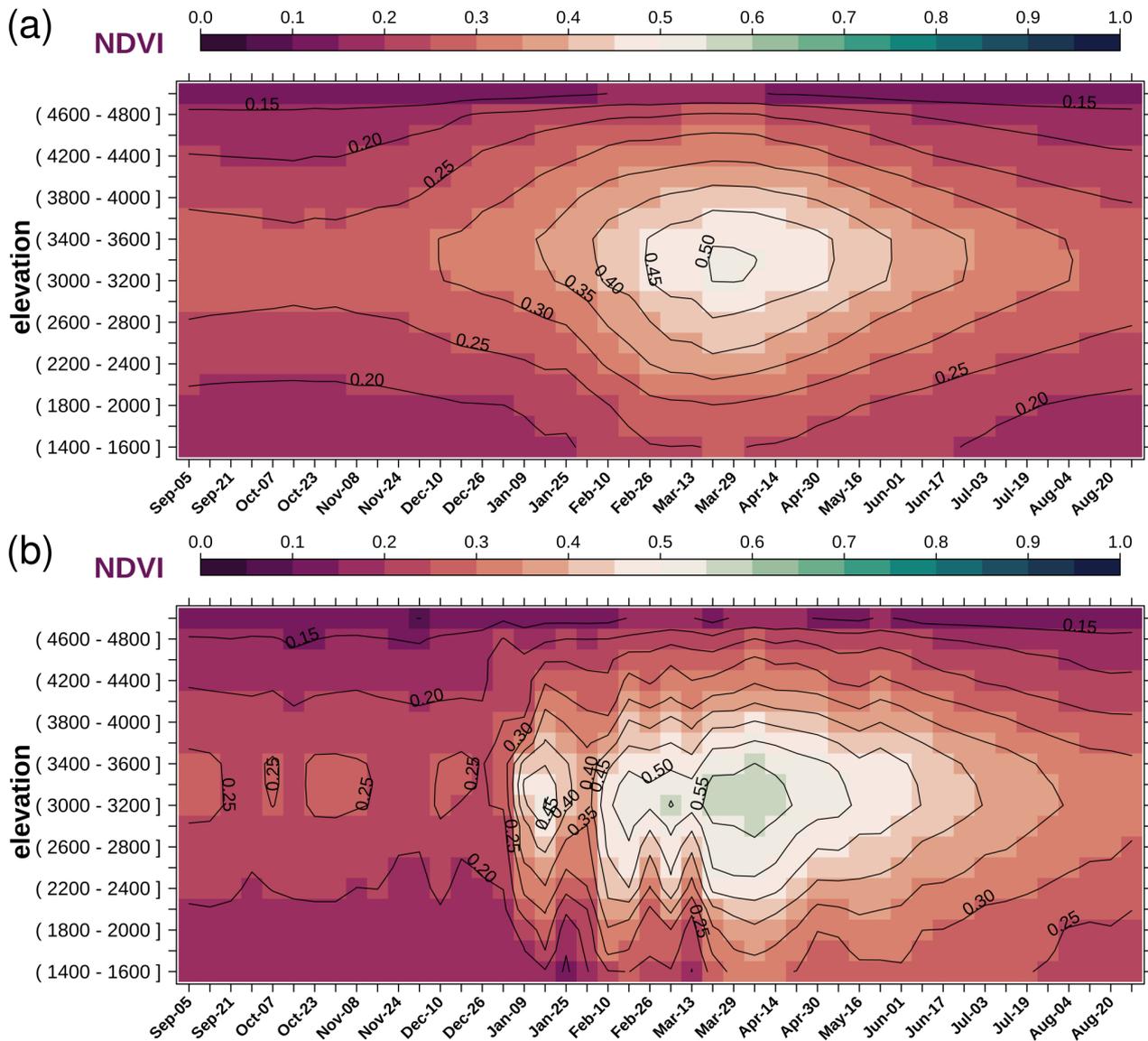


Figura 3. a) Variación promedio anual (2002-2020) de NDVI por intervalos de elevación. b) Variación promedio anual de NDVI para el periodo 2016-2017 para los Andes occidentales.

Finalmente, el NDVI en la región occidental, aquella que drena al océano Pacífico, presenta similitud entre las condiciones promedio 2000-2020 y las condiciones presentadas durante El Niño costero de 2017 (Figs. 3a, b). No obstante, entre enero y abril de 2017 se habría presentado un ligero aumento de niveles NDVI (0.4 a 0.5) alrededor de 3000 m s. n. m. Estos resultados nos sugieren un ligero impacto positivo de El Niño costero de 2017 en el desarrollo de la vegetación.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Se analizaron las condiciones físicas de la vegetación a partir del índice NDVI y datos del sensor MODIS-TERRA, para los Andes peruanos.

Las lluvias severas durante el evento El Niño costero de 2017 no condujeron a un incremento estacional en el índice de vegetación en el sector oriental de los Andes, y, por tal, al desarrollo de la vegetación. Esto puede ser debido a que la mayor parte del recurso se pierde por escorrentía, ya que se considera que la lluvia más uniforme y distribuida en el tiempo favorece la mejora de la absorción de nutrientes y el incremento del desarrollo de la vegetación (Guevara 2017; Lopez y Once; 2018).

REFERENCIAS

Asner, G.P., Nepstad, D., Cardinot, G., Ray, D. (2004). Drought stress and carbon uptake in an Amazon forest measured with spaceborne imaging spectroscopy, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(16), 6039–6044, doi:10.1073/pnas.0400168101.

ENFEN (2017). Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017. Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”.

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., ... Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal Climatology*. 29:1574–1594. doi:10.1002/joc.1791

Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather, *Advances in Geosciences*, 22(22), 3-1

Guevara, R., Lopez, D., Once, M., Torres, M., Guevara, G., Nieto, P., Ayala, L. (2017). Comportamiento del pastizal como respuesta a la fertilización y el riego en ganaderías de la sierra ecuatoriana. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, [S.l.], v. 1, n. 2, mayo 2018. ISSN 2602-8220.

Lavado W, Espinoza J. C. (2014) Impact of El Niño and La Niña events on Rainfall in Peru. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, 171-182.

López D.A., Once M.A. (2018). Factores de agrotécnia y manejo del pastizal en la zona oriental del Azuay. *Trabajo para a la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista Universidad de Cuenca -Ecuador*.

Fernandes, K., Baethgen, W., Bernardes, S., Defries, R., Dewitt, D.G., Goddard, L.,... Uriarte, M. et al (2011). North tropical Atlantic influence on western Amazon fire season variability. *Geophysical Research Letters*, 38, L12701.

- Oliveras, i., Girardin, C., Doughty, C.E., Cahuana, N. (2014). Andean grasslands are as productive as tropical cloud forests. *Environmental Research Letters*, 9 11501.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Washington, D.C.*, pp. 309-317.
- Son, R., Wang, SY.S., Tseng, W.L., Barreto, C., Becker, E., Yoon, J. (2020). Climate diagnostics of the extreme floods in Peru during early 2017. *Climate Dynamics*, 54, 935–945
- Suescún, D., Villegas, J.C., León, J.D., León, J.D., Florez, C.P, Garcia, V., Correa-Londoño, G. (2017). Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 17, 827–839.
- Sulca, J., Vuille, M., Timm, O.E., Dong, B., & Zubieta, R. (2021). Empirical-statistical downscaling of austral summer precipitation over South America during extreme El Niño episodes, with a focus on the central Andes of Peru and the equatorial Amazon basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 60, 65–85.
- Takahashi, K., Martínez, A G. (2017) The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52, 7389–7415.
- Vega, F. (2019). *Respuesta de la vegetación a diferentes escalas temporales de sequía en los Andes Peruanos*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI. Dirección de Hidrología –DHI.
- Vermote, E.F, Roger, J.C., Ray, J.P. (2015). *MODIS Surface Reflectance User's Guide Collection 6*. MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility, 1.4, 16-20.
- Zubieta, R., Saavedra, M., Espinoza, J. C., Ronchail, J., Sulca, J., Drapeau, G., et al. (2019). Assessing precipitation concentration in the Amazon Basin from different satellite-based data sets. *International Journal of Climatology*. 39(7), 3171–3187.

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP n.º 068/EL NIÑO-IGP/2021-04

El valor del Índice Costero El Niño de marzo ($-0.81\text{ }^{\circ}\text{C}$) y los valores temporales del ICEN para abril y mayo representan una condición climática neutra. Por otro lado, para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de marzo de 2021 ($-0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$) indica una condición fría débil, la cual se extendería, según los valores temporales del ONI, hasta mayo.

En la región del Pacífico ecuatorial oriental, según la información observada, una onda de Kelvin cálida habría impactado la costa del Perú durante abril e inicios de mayo. También, se observa la presencia de una onda de Kelvin fría, acercándose a la costa americana, seguida de otra onda de Kelvin cálida, que se localiza actualmente entre 130°W . Estas ondas deben arribar a la costa americana entre mayo y junio.

El promedio de las predicciones numéricas de los seis modelos climáticos de NMME, inicializados con la información oceánica y atmosférica de mayo, sigue indicando que frente a la costa peruana se mantendrían hasta noviembre las condiciones climáticas dentro del rango neutral. En el Pacífico central, la mayoría de los resultados de los modelos de NMME indican que las condiciones frías débiles se mantendrían hasta mayo de 2021 para pasar, luego, a condiciones neutras en junio 2021. Finalmente, desde julio hasta noviembre, las condiciones pasarían de frías débiles a frías moderadas. Según estos resultados numéricos, el evento La Niña 2020-2021 terminaría en mayo, pero iniciaría otro evento frío en julio. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los pronósticos de estos modelos más allá de abril o mayo son menos precisos, como consecuencia de la "barrera de predictibilidad".

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2021-04 en el siguiente link:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4955>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN n.º 05 -2021

14 DE MAYO DE 2021

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **NO ACTIVO**¹

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado del “Sistema de alerta ante El Niño y La Niña Costeros” como “No activo”, debido a que la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, se mantendría, en promedio, dentro de su rango normal, al menos hasta agosto de 2021.

Las temperaturas del aire en la costa, en promedio, se mantendrían dentro de sus rangos normales en la costa norte y ligeramente por debajo de lo normal en la costa centro y sur, por lo menos hasta julio de 2021.

Por otro lado, se prevé que las condiciones oceánicas en el Pacífico ecuatorial central continúen alrededor de lo normal, por lo menos hasta agosto de 2021.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas y atmosféricas, y actualizando sus perspectivas.



Foto: Roman Odintsov



ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO “EL NIÑO”

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO “EL NIÑO” (ENFEN)
DECRETO SUPREMO n.º 007-2017-PRODUCE

¹El Estado del Sistema de Alerta “No Activo” se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costera están próximos a finalizar.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN n.º 05-2021 en el:
<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-05-2021/>
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4941>

Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>

 <https://web.facebook.com/igp.peru>

 https://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/IGP_videos