



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 13 n.º 04 abril 2026

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

"Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres"

En este boletín

- Dinámicas del cambio de uso y cobertura terrestre en la cuenca del río Piura: Asociaciones con la precipitación, la temperatura y El Niño | **Pág. 4**
- Evaluación de datos satelitales MODIS para representar humedad en pastizales altoandinos de la cuenca del río Illpa | **Pág. 13**
- Resumen del informe técnico de El Niño | **Pág. 18**
- Resumen de comunicado ENFEN | **Pág. 19**



Créditos

Nelly Paredes del Castillo
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera Huarache
Jefe institucional

James Apaéstegui Campos
Director de Ciencias de la Atmósfera, Hidrósfera y Cambio Climático

Lina Godoy Encarnación
Coordinadora de la Unidad Funcional de Comunicaciones

Fey Yamina Silva Vidal de Millones
Ken Takahashi Guevara
Joel Anicama Díaz
Editores

Roberto Carlos Encinas Colan
Diseño y diagramación

Carátula: Fotografía del río Piura
Fuente: NorteSostenible.com

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, abril de 2026

Puedes acceder a la colección completa de los [boletines científicos El Niño](#) escaneando el siguiente código QR.



Introducción

Los eventos El Niño y La Niña corresponden, a grandes rasgos, a situaciones en las que la temperatura de la superficie del mar está por encima o por debajo del promedio en el océano Pacífico ecuatorial. Estas fluctuaciones están fuertemente influenciadas por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es uno de los modos de variabilidad climática más importantes en el océano Pacífico que ejerce una gran influencia sobre el clima a nivel global y regional. La fase cálida de ENOS se puede denominar El Niño “global”.

En el Perú, los impactos de El Niño y La Niña son particularmente complejos debido a que recibimos influencias tanto costeras, asociadas a las fluctuaciones en el mar peruano en el Pacífico oriental, así como influencias remotas a través de teleconexiones atmosféricas desde el Pacífico central. En particular, El Niño en el Pacífico oriental o Costero puede producir lluvias y altas temperaturas en la costa y alterar el ecosistema marino-costero, mientras que El Niño en el Pacífico central o global puede reducir las precipitaciones e incrementar la temperatura en los Andes y en la Amazonía. Por el contrario, La Niña tendría efectos aproximadamente opuestos. Así, El Niño en el Pacífico oriental es el que causa mayores impactos para el Perú, ya que tiene el potencial de provocar grandes daños a infraestructuras, actividades económicas y, más importante, la seguridad y bienestar de las personas, además de sus medios de vida.

El Perú, como parte de la estrategia de gestión pública para enfrentar los peligros naturales, especialmente respecto a El Niño, establece el Programa Presupuestal por Resultados (PPR) 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir de 2014, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), al igual que otras instituciones que conforman la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), participa en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”. Este consiste en la entrega oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceánico-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones de las autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”, la cual incluye la síntesis y evaluación de los modelos de pronóstico de El Niño generados internacionalmente, como es el caso de los modelos climáticos globales, así como de aque-

llos obtenidos a partir de modelos propios como el de predicción de ondas oceánicas ecuatoriales, el modelo de inteligencia artificial y el recientemente desarrollado modelo de Sistema Tierra regional de pronóstico para el territorio peruano y el océano Pacífico (IGP RESM-COW v1). Asimismo, incluye el desarrollo de investigaciones y estudios científicos que permiten entender la variabilidad climática y los procesos asociados al cambio climático, a fin de fortalecer, en forma continua, las capacidades para el pronóstico de El Niño.

En esta línea, el IGP ha estructurado y desarrollado el Boletín científico El Niño, un producto que contiene, en gran medida, los aportes científicos en el estudio y vigilancia del ENOS, con énfasis en El Niño. El Boletín, que se publica mensualmente desde 2014, cuenta con aportes nacionales e internacionales en diversos temas asociados a El Niño, sus impactos, procesos vinculados, temas asociados y otros igual de relevantes, que se presentan en las secciones de Divulgación Científica y Avances Científicos. De igual forma, se comparte en el Boletín una versión resumida del informe técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068 (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4974>). Dicho informe contiene información actualizada operativamente que el IGP proporciona como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será entregada a los usuarios. Finalmente, el Boletín presenta los comunicados ENFEN publicados durante el periodo correspondiente.

DINÁMICAS DEL CAMBIO DE USO Y COBERTURA TERRESTRE EN LA CUENCA DEL RÍO PIURA: ASOCIACIONES CON LA PRECIPITACIÓN, LA TEMPERATURA Y EL NIÑO

Fiorela Castellón^{1,2*}, Pedro Rau¹,
Luc Bourrel³ y Frédéric Frappart⁴

¹ Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA), Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTECH), Lima, Perú

² Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima, Perú

³ GET, UMR 5563, Université de Toulouse, CNRS-IRD-OMP-CNRS, Toulouse, Francia

⁴ ISPA, UMR 1391 INRAE, Bordeaux Sciences Agro, París, Francia

*Autor de correspondencia: fv.castillon@gmail.com



Magister en Ingeniería Civil por la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTECH, Perú). Investigadora en formación interesada en el estudio del sistema climático mediante modelos numéricos. Ha participado en proyectos de hidroclimatología y modelamiento océano-atmósfera en el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECH) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Su labor científica se centra en las interacciones entre océano, atmósfera y superficie terrestre.

Palabras clave: cuenca del río Piura; cambio cobertura terrestre; MODIS; ESA-CCI; teledetección; análisis de intensidad.

Citar como: Castellón, F., Rau, P., Bourrel, L., Frappart, F. (2026). Dinámicas del cambio de uso y cobertura terrestre en la cuenca del río Piura asociados al clima y El Niño. Boletín Científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, vol. 13 n.º 04, págs. 4-12.

¿Cuál es la contribución de esta investigación para los tomadores de decisiones?

Esta investigación muestra cómo cambió la cobertura terrestre de la cuenca del río Piura entre 2001 y 2022, y evidencia la pérdida de cultivos y expansión de suelos desnudos, particularmente en la cuenca media-baja. Al comparar los productos satelitales MODIS y ESA-CCI, permite distinguir fluctuaciones de corto plazo de transformaciones más persistentes e identificar zonas con pérdidas de cultivo y vegetación o aumento del suelo desnudo. En la práctica, esta información puede fortalecer el monitoreo ambiental, la planificación territorial y la identificación de áreas vulnerables a la degradación del suelo, las sequías y las inundaciones. Asimismo, se orienta a los tomadores de decisiones sobre la conveniencia de contrastar más de una fuente satelital y complementarla con información local antes de diseñar medidas de gestión.

Resumen

Se analizaron los cambios de uso y cobertura terrestre (LULC) en la cuenca del río Piura entre 2001 y 2022 mediante los productos satelitales globales MODIS (MCD12Q1) y ESA-CCI. Sus categorías se clasificaron en seis macroclases: bosque, vegetación no boscosa, cultivos, suelo desnudo, cuerpos de agua y áreas urbanas). Se aplicó un análisis de intensidad en tres niveles —intervalo, categoría y transición— y además, se calcularon correlaciones de Pearson entre las coberturas, la precipitación, las temperaturas máxima y mínima, y los índices E, C e ICEN. Se reportaron las asociaciones estadísticamente con un nivel de confianza del 95 %. Los dos productos satelitales ofrecieron resultados

distintos: MODIS detectó cambios en el 32.8 % del territorio con cambios, mientras ESA-CCI los registró en el 6.8 %. Esta diferencia refleja que ambos captan de manera distinta las fluctuaciones de corto y largo plazo. A pesar de ello, coincidieron en identificar una pérdida sostenida de cultivos y una expansión de suelo desnudo, especialmente en la cuenca media-baja. Los resultados sugieren que ciertos cambios se intensificaron después del 2011, en un contexto de mayor frecuencia de eventos cálidos en el Pacífico oriental. Las correlaciones mostraron el papel modulador de El Niño, la precipitación y las temperaturas extremas sobre la variabilidad de la cobertura, con respuestas diferenciadas entre la cuenca alta, más sensible a la temperatura, y la cuenca media-baja, más sensible a la precipitación y los índices costeros de El Niño.

1. Introducción

La cobertura vegetal, como componente de la cobertura terrestre, cumple un papel central en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, como la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y la captura de carbono (Yapp et al., 2010). Los cambios en la cobertura terrestre, los cuales incluyen el cambio en el uso de suelo y la cobertura vegetal, impulsados por eventos climáticos o actividades humanas, pueden alterar significativamente estas funciones ecosistémicas y afectar directamente a las comunidades locales (Aber et al., 2001; Dale, 1997). En regiones áridas y semiáridas, como la cuenca del río Piura en el norte del Perú, estos cambios resultan particularmente críticos debido a la vulnerabilidad del territorio ante factores de estrés ambiental y presiones socioeconómicas. Comprender estas dinámicas es esencial para una adecuada gestión del paisaje y para el diseño de estrategias de conservación efectivas (Barboza et al., 2024; Otivo Meza, 2015).

En 2021, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021) señaló que el cambio climático está modificando la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como sequías, inundaciones y olas de calor. Estos eventos continúan generando impactos significativos sobre la exposición al riesgo y la vulnerabilidad, y plantean desafíos para la gestión del riesgo, a pesar de los avances recientes en estrategias de adaptación climática (Kreibich et al., 2022). En Sudamérica, El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) se relaciona con lluvias intensas al noroeste del continente, inundaciones en la costa y sequías en los Andes y la Amazonía (Cai et al., 2020).

La cuenca del río Piura ha sido particularmente afectada por eventos asociados al ENSO. Por ejemplo, El Niño de 1997-1998 provocó inundaciones generalizadas que afectaron la infraestructura y los medios de vida locales, sobre todo en el sector agrícola (Atarama y Rashid, 2019; Rubiños y Anderies, 2020). La agricultura, principal actividad económica de la cuenca y altamente dependiente del riego (Mills-Novoa, 2020), es sensible a cambios de temperatura y precipitación (CONAM, 2006; Torres Ruiz de Castilla, 2010). La vulnerabilidad de la región a estos eventos climáticos (Rau et al., 2017), combinada con la presión humana, refuerza la necesidad de estudiar las tendencias de largo plazo de la cobertura vegetal y su relación con variables hidrometeorológicas.

Diversos estudios han analizado los impactos del ENSO y los cambios en el uso del suelo sobre la dinámica de la vegetación en el Perú, particularmente en ecosistemas de bosques secos tropicales (p. ej., Móstiga et al., 2024a; Muenchow et al., 2013). Sin embargo, aún se conoce poco sobre cómo estas dinámicas varían a lo largo del gradiente altitudinal de la cuenca del río Piura. La cobertura del suelo interviene en la regulación de múltiples procesos ecológicos, como el ciclo hidrológico y el balance radiativo (Song et al., 2018). A su vez, puede influenciar la variabilidad climática y los procesos hidrológicos, interacciones particularmente relevantes en regiones áridas (Eltahir y Bras, 1996; Rau et al., 2018, 2019). Sin embargo, aún se conoce poco sobre cómo esta relación varía entre la cuenca alta y la cuenca media-baja del río Piura (Otivo Meza, 2015; Salazar et al., 2018).

Este estudio analiza las dinámicas espaciales y temporales de la cobertura vegetal en la cuenca del río Piura en las últimas dos décadas, con énfasis en las diferencias entre las zonas altas y bajas. La investigación examina los patrones de cambio en la cobertura del suelo y su relación tanto con forzantes climáticos, como el ENSO (Bourrel et al., 2015; Córdova et al., 2023). Asimismo, interpreta estas transformaciones considerando las actividades humanas documentadas en la cuenca (Barboza et al., 2024; Yglesias-González et al., 2023). Con ello, busca contribuir a comprender cómo los ecosistemas áridos y semiáridos del Perú responden a presiones naturales y antrópicas. Este artículo presenta una adaptación de la investigación de Castillón et al. (2025), publicada originalmente en *Frontiers in Remote Sensing*.

2. Datos y metodología

La cuenca del río Piura se ubica en el noroeste peruano, entre los 4.71 °S y 6.01 °S de latitud y los 79.45 °W y 81.03 °W de longitud, con una elevación máxima de 3 470 m.s.n.m. (Figura 1). Su clima presenta una estacionalidad marcada: una estación húmeda entre diciembre y mayo, y una seca entre junio y noviembre. Entre 1981 y 2020, la temperatura media mensual osciló entre 19.3 °C y 31.2 °C, con una precipitación media cercana a 24 mm/mes. La dinámica hídrica de la cuenca está influida por los ríos, las lagunas y la infraestructura de riego. En la estación hidrológica Puente Sánchez Cerro, el caudal máximo ocurre entre febrero y abril, y el mínimo, entre septiembre y noviembre.

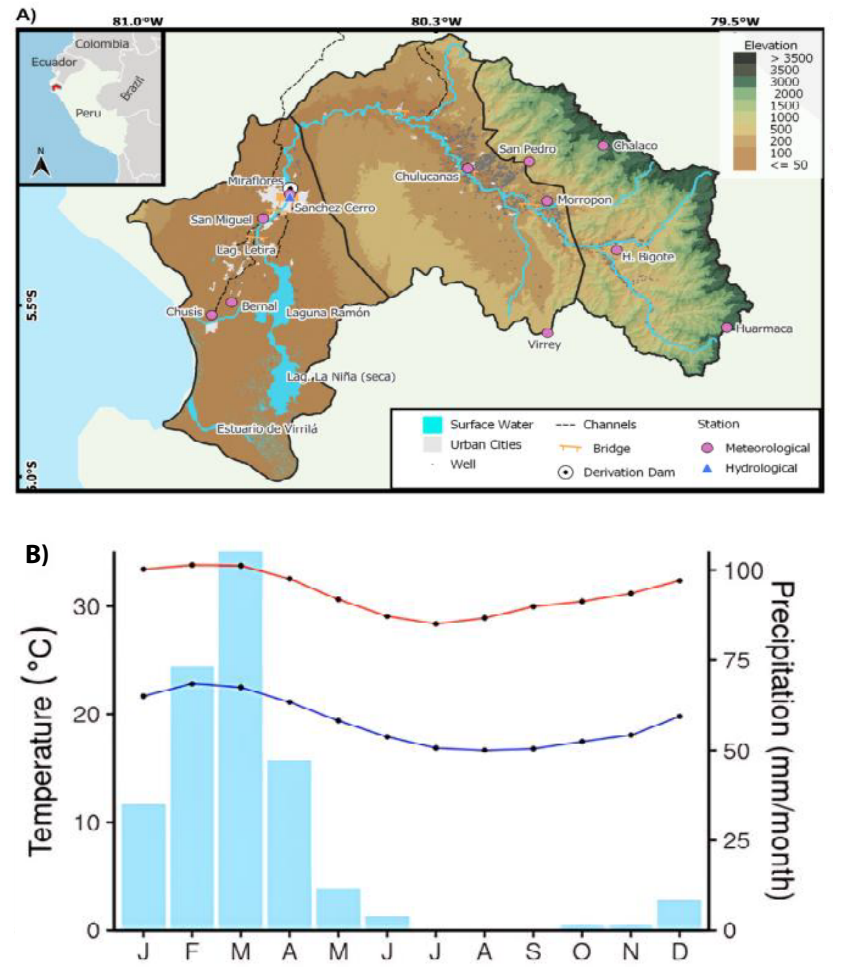


Figura 1. (A) Ubicación de la cuenca del río Piura y de las estaciones climatológicas; las líneas negras delimitan las subcuencas alta, media y baja, de este a oeste. (B) Climatología de la cuenca durante el periodo 1981-2020: climograma con temperaturas mínimas (azul) y máximas (rojo) y de la precipitación (barras celestes), elaborado con datos de las estaciones convencionales de San Miguel, Miraflores y Morropón. Adaptado de Castillón et al. (2025).

La cuenca alta, ubicada a mayor altitud, está dominada por ecosistemas de montaña como los bosques montanos relictos y el páramo. Las partes media y baja, más próximas a la costa, concentran bosques estacionalmente secos y áreas agrícolas, representativas de los ecosistemas áridos y semiáridos del norte peruano (MINAM, 2019). Los bosques montanos cumplen un rol clave en la estabilización de suelos y la reducción del escurrimiento. En cambio, los bosques secos de la cuenca media-baja son altamente susceptibles a la desertificación, un proceso que puede intensificarse durante las anomalías climáticas asociadas a El Niño.

La producción agrícola de la cuenca alta es diversa e incluye arroz, maíz y frijol para los mercados locales y regionales, así como mango, plátano y cacao para exportación (Autoridad Nacional del Agua, 2014). Esta producción depende mayoritariamente de prácticas tradicionales de riego empleadas por pequeños agricultores (Mills-Novoa, 2020). En la zona ubicada aguas arriba de la cuenca media, el distrito de San Lorenzo cuenta con un reservorio construido por el Estado peruano en la década de 1950, con apoyo del Banco Mundial, en el marco de la Reforma Agraria peruana (Lynch, 2019). Este reservorio sustenta la producción de mango, con 16 634 ha, y limón, con 5 176 ha, destinados a la exportación por pequeños productores (ANA, 2014; Lynch, 2019). Las partes media y baja han experimentado una fuerte expansión agrícola (Mills-Novoa, 2020): las tierras irrigadas pasaron de 19 140 ha a 28 210 ha (47 %) entre 2006 y 2013 (Junta de Usuarios: Medio-Bajo Piura, 2011, 2014), impulsadas por inversiones agroindustriales en viñedos de mesa a gran escala (ANA, 2012, 2014, 2015, 2016). Paralelamente, la cuenca baja pasó de su histórica producción de algodón al cultivo de arroz, maíz y frijol para el mercado interno. Su extensa infraestructura de drenaje y riego permite dos cosechas por año.

La cuenca también enfrenta fuertes presiones socioeconómicas debido a la expansión de las actividades agrícolas y urbanas, asociadas con transformaciones en la cobertura vegetal durante las últimas décadas. Según estudios previos, estas presiones, junto con la influencia de fenómenos climáticos como El Niño, pueden contribuir a la degradación del suelo y a la pérdida de vegetación, especialmente en áreas vulnerables como los bosques estacionalmente secos (Móstiga et al., 2024a; Muenchow et al., 2013). Diversos estudios identifican la expansión de las tierras agrícolas y la urbanización como factores clave en la deforestación y de los cambios de cobertura del suelo en la región. Estos procesos se relacionan con la fragmentación de hábitats, la disminución de la biodiversidad y una mayor vulnerabilidad ante inundaciones (Móstiga et al., 2024b; Rau et al., 2022; Rubiños y Anderies, 2020; Torres Ruiz de Castilla, 2010).

3. Datos y métodos

Para analizar los cambios de cobertura, se combinaron tres fuentes: dos productos satelitales globales: MODIS MCD12Q1, con una resolución 500 m y frecuencia anual (Friedl y Sulla-Menashe, 2022), ESA-CCI Land Cover, con una resolución 300 m y frecuencia anual; (ESA, 2017), y el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MNE), con una resolución 30 m, como referencia local para contrastar las clasificaciones (MINAM, 2019). A diferencia de los dos productos globales, el MNE es un mapa estático y no permite analizar la evolución anual de la cobertura.

Aunque MODIS y ESA-CCI representan categorías similares, difieren en sus métodos de clasificación y en su sensibilidad a los cambios. MODIS aplica un algoritmo de Random Forest a series de reflectancia suavizadas, lo que aumenta la sensibilidad a las variaciones interanuales. Por su parte, ESA-CCI emplea una clasificación basada en probabilidades y un filtro temporal de dos años, por lo que prioriza los cambios persistentes. Para hacer comparables ambos productos, las categorías originales se agruparon en seis macroclases: bosque, vegetación no boscosa, cultivos, urbes, cuerpos de agua y suelo desnudo. Esta reclasificación se basó en la correspondencia de Herold et al. (2008) y se contrastó con el MNE.

Para analizar los patrones de cambio, se aplicó el análisis de intensidad propuesto por Aldwaik y Pontius (2012), implementado con el paquete OpenLand (Exavier y Zeilhofer, 2020). Este método expresa los cambios como tasas anuales en porcentaje, no como áreas absolutas, y separa el tamaño del cambio (km²) de su intensidad (%). En cada nivel, la intensidad observada se compara con una intensidad uniforme de referencia (U), que representa el cambio esperado si este se distribuyera de forma homogénea: cuando la intensidad observada supera a U, el cambio es más rápido o activo de lo esperado, y cuando es menor, más lento o pasivo. El análisis comprende tres niveles: el nivel de intervalo, que mide qué porcentaje del territorio cambia cada año e identifica los períodos de cambio más acelerado; el nivel de categoría, que mide qué porcentaje de cada categoría de cobertura se gana o pierde por año respecto de su propia superficie; y la transición, que identifica hacia o desde qué categoría de cobertura se dirigen esos cambios con mayor intensidad que la esperada. En este boletín se presenta la Figura 3, correspondiente al nivel de intervalo con resolución anual: cada barra es el % del área que cambia en ese año, la línea discontinua marca U y el color distingue los cambios rápidos (rosado, por encima de U) de los lentos (verde, por debajo); los niveles de categoría y transición se resumen en el texto y sus figuras completas se encuentran en Castillón et al. (2025). El período de estudio se dividió en dos intervalos: 2001-2011 y 2011-2022. Esta división permitió comparar periodos de duración semejante para capturar el incremento en la frecuencia de eventos cálidos costeros después de 2014 reportado por ENFEN (2024).

Finalmente, se calcularon correlaciones de Pearson (95 % de confianza) entre las proporciones de cada clase de cobertura y variables hidroclimáticas. Las variables incluyeron la precipitación (Aybar et al., 2020) y temperaturas mínima y máxima (Huerta et al., 2023), obtenidas de los conjuntos de datos del producto PISCO-SENAMHI. También se incluyeron los índices ENSO: E, asociado con el Pacífico oriental, y C, asociado con el Pacífico central, definidos por Takahashi et al. (2011), así como el Índice Costero El Niño (ICEN), calculado con la climatología de 1990-2020 (ENFEN, 2024). Las correlaciones se calcularon por separado para la estación húmeda, entre diciembre y mayo, y la estación seca, entre junio y septiembre. También se consideraron desfases de hasta dos años (leads y lags) para determinar si las asociaciones aparecían antes, durante o después de los cambios observados en la cobertura.

4. Resultados y discusión

4.1. Dos productos, dos sensibilidades distintas

En términos generales, la vegetación no boscosa ocupa la mayor superficie de la cuenca durante todo el período de estudio, aunque ESA-CCI muestra una ligera predominancia

del suelo desnudo en la cuenca media-baja. Los dos productos satelitales difieren notablemente en la magnitud del cambio detectado (Figura 2). MODIS identifica transiciones en 32.8 % de los píxeles, mientras que ESA-CCI los registra en sólo el 6.8 %. Además, el 3.6 % del territorio, concentrado en la cuenca alta cerca de la sección curva de la divisoria, presenta más de cinco cambios en MODIS, una dinámica que ESA-CCI no registra.

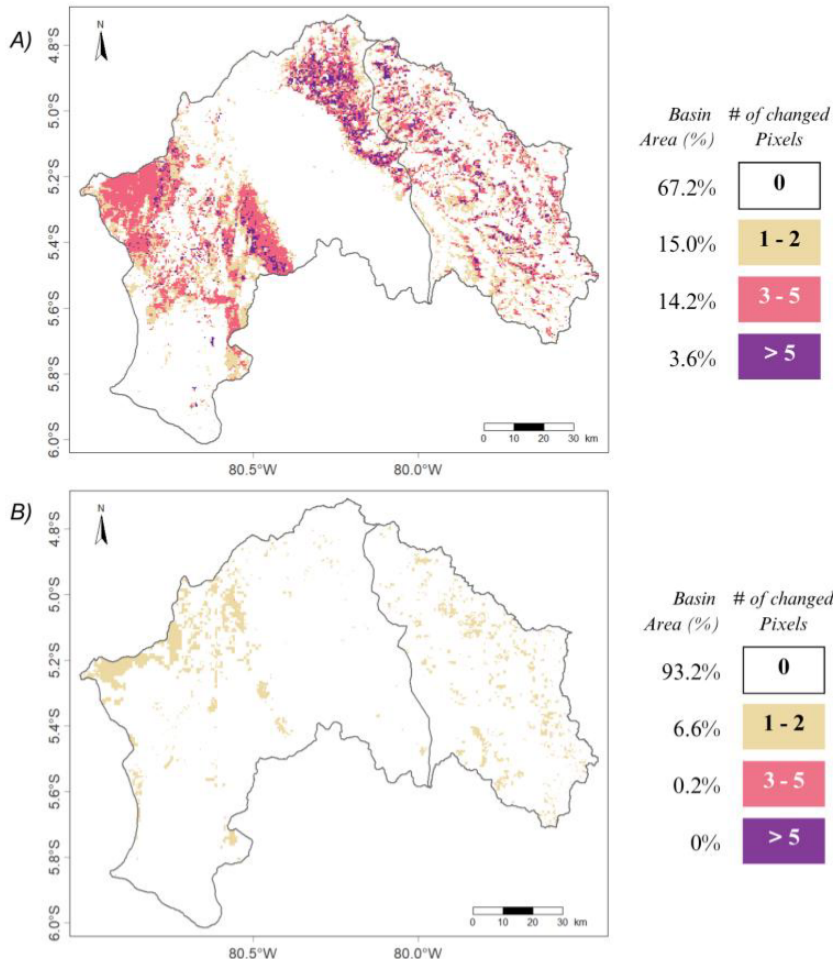


Figura 2. Número de cambios anuales detectados de clase de cobertura en cada píxel entre 2001 y 2022, y porcentaje del área de la cuenca correspondiente a cada cantidad de cambios, según los productos (A) MODIS y (B) ESA-CCI. Tomado de Castellón et al. (2025).

Estas discrepancias se relacionan con los distintos métodos de clasificación y las sensibilidades de cada producto. MODIS utiliza clasificaciones anuales y sin filtro temporal, capta fluctuaciones transitorias, incluidas variaciones en la condición de la vegetación que no necesariamente implican un cambio de clase (Wulder et al., 2018). ESA-CCI, en cambio, aplica un filtro temporal de dos años, por lo que prioriza las transiciones persistentes y reduce el ruido estacional (Hansen et al., 2013; Song et al., 2018). A ello se suma el efecto de la cobertura nubosa sobre ambos productos: el norte peruano es una región influenciada por sistemas convectivos de mesoescala que generan densa nubosidad durante la estación lluviosa (Goldberg et al., 1987; Horel y Cornejo-Garrido, 1986; Jaramillo et al., 2017). Esta condición puede reducir la disponibilidad de datos válidos y aumenta el riesgo de clasificación errónea.

Pese a sus diferencias, ambos productos coinciden en tendencias clave. En la cuenca alta, las dos registran una pérdida sostenida de cultivos y una ligera expansión del bosque, particularmente en ESA-CCI. En la cuenca media-baja, ambos productos registran pérdida de vegetación no boscosa y de cultivos, junto con un aumento de suelo desnudo. En este contexto, el análisis de intensidad (Aldwaik y Pontius, 2012) resulta clave para diferenciar cambios sistemáticos de fluctuaciones transitorias, un aspecto relevante en regiones

semiáridas, donde la variabilidad climática influye de manera marcada sobre la vegetación.

4.2. El quiebre de 2011 y la firma de los eventos El Niño

El análisis de intensidad a nivel de intervalo muestra diferencias importantes entre los productos. En la cuenca alta, MODIS reporta una tasa anual uniforme de cambio (U) de 4.9 %, diez veces superior al 0.4 % reportado por ESA-CCI (Figura 3). Pese a esta diferencia, ambos productos identifican 2008–2009 como un período de cambio rápido y coinciden en una pérdida neta sostenida de cultivos.

En la cuenca media-baja, MODIS reporta $U = 4.7\%$ frente a $U = 0.3\%$ de ESA-CCI. Ambos productos identifican 2002–2003 y 2016–2017 como periodos de cambio acelerado, coincidentes con períodos de precipitaciones intensas en la costa norte asociadas a anomalías cálidas en el Pacífico oriental. Durante esos intervalos, el cambio es intenso, pero está dominado por pérdidas de vegetación no boscosa y cultivos, más que por una ganancia inmediata de suelo desnudo, cuya expansión más marcada aparece con posterioridad (2018-2021; ver Figura Suplementaria 3 de Castellón et al., 2025).

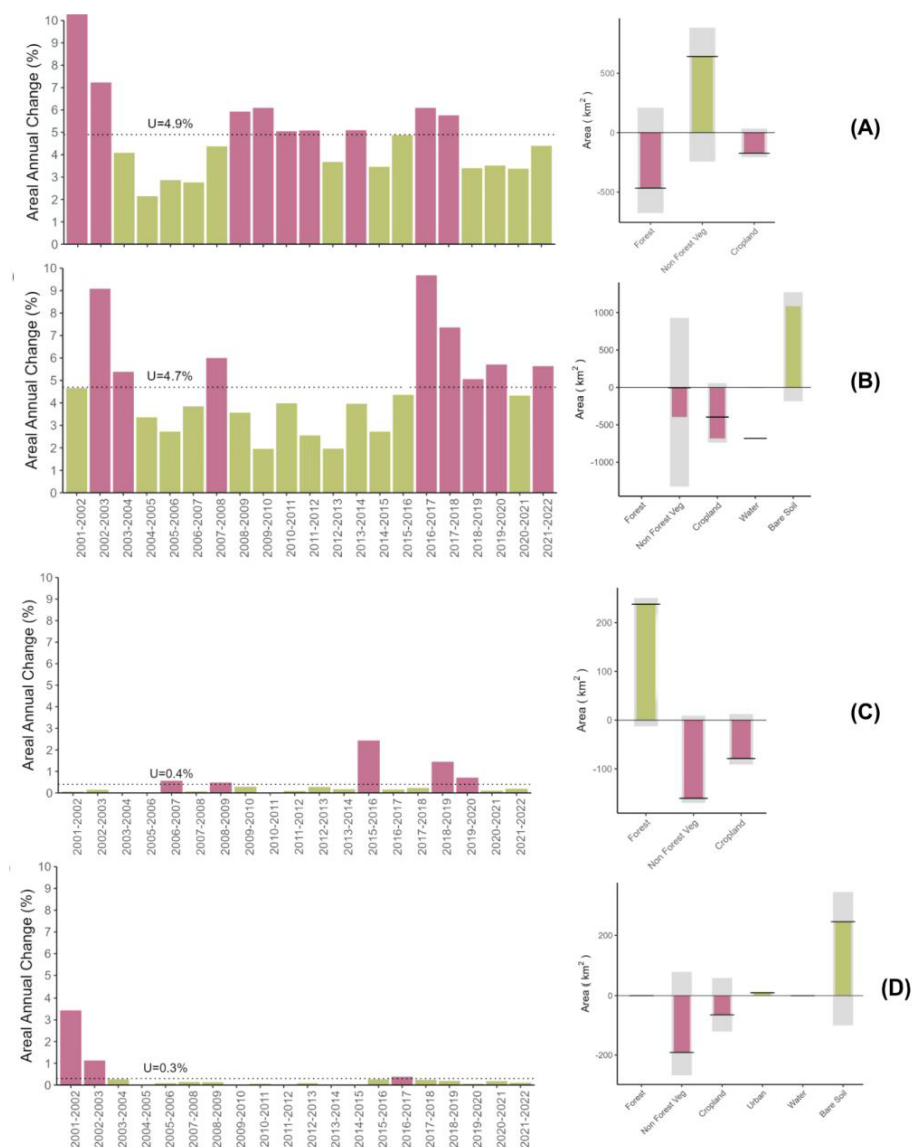


Figura 3. Tasas anuales de cambio de cobertura durante 2001-2022 en (A) la cuenca alta con MODIS, (B) la cuenca media-baja con MODIS, (C) la cuenca alta con ESA-CCI y (D) la cuenca media-baja con ESA-CCI. Las barras representan el porcentaje anual de cambio del área; el rosado indica los cambios rápidos y el verde, cambios lentos. La línea discontinua representa la intensidad de cambio anual uniforme (U). Adaptado de Castellón et al. (2025).

Este patrón resulta consistente con el incremento en la frecuencia de eventos cálidos después de 2014 (ENFEN, 2024). El evento 2015-2016 fue un evento El Niño de magnitud fuerte a escala global (Pacífico oriental y central) y no un Niño costero: el calentamiento simultáneo del Pacífico central-occidental contrarrestó el efecto del calentamiento frente a la costa, de modo que la lluvia y el caudal costeros fueron menores de lo esperable por la magnitud del índice Niño 1+2, prevaleciendo condiciones cercanas a la normal en la costa norte (Takahashi y Martínez, 2019; Cai et al., 2020). De manera consistente, el análisis de intensidad no evidencia una expansión intensa de suelo desnudo asociada específicamente a 2015-2016 en la cuenca media-baja. Asimismo, las fases de recuperación posteriores al Niño Costero de 2017 son compatibles con incrementos en vegetación no boscosa, lo que sugiere rebrotes temporales tras las lluvias extremas (Yglesias-González et al., 2023). Por otra parte, algunos episodios de La Niña intensos (2007, 2013, 2021-2022) parecen estar asociados con reducciones de cultivos y aumentos de suelo desnudo. En fases neutrales o de La Niña, la costa norte queda dominada por el anticiclón del Pacífico sur y la corriente de Humboldt, lo que favorece condiciones áridas y es concordante con el posible abandono de tierras (Cai et al., 2020; Salazar Zarzosa, 2018; Rodríguez-Morata et al., 2018). En conjunto, estos patrones son consistentes con el rol modulador del ENSO sobre la dinámica de la cobertura del norte peruano.

4.3. Contraste altitudinal: la firma climática cambia con la elevación

La heterogeneidad espacial de la cuenca es fundamental para interpretar las dinámicas observadas. Los análisis de correlación muestran asociaciones estadísticamente significativas que difieren entre la cuenca alta y la cuenca media-baja. En la cuenca media-baja, los datos MODIS muestran una correlación positiva entre el área de los cultivos y la precipitación de la estación húmeda ($r = 0.78$, sin desfase). El área cubierta por suelo desnudo presenta una correlación negativa con un desfase de un año ($r = -0.60$), lo que evidencia un desfase temporal en la respuesta de la cobertura. El área de los cuerpos de agua responde al índice E con $r = 0.64$, un patrón consistente con inundaciones y embalsamientos temporales durante eventos cálidos. El área correspondiente a la categoría bosque se correlaciona positivamente con ICEN con un año de adelanto ($r = 0.94$ en MODIS), lo que sugiere una respuesta anticipada del componente forestal a la señal costera de El Niño.

En la cuenca alta, las correlaciones con las temperaturas máxima y mínima son más numerosas que las observadas con la precipitación. Los cultivos presentan correlaciones negativas con la temperatura máxima con valores de r entre -0.47 y -0.57 . Las áreas urbanas detectadas por ESA-CCI

muestran correlaciones positivas con múltiples variables térmicas. Estos resultados sugieren una asociación estadística entre urbanización y condiciones térmicas locales. El suelo desnudo, por su parte, se correlaciona positivamente con el índice E y con ICEN ($r \approx 0.47$ y 0.44 , respectivamente), reforzando el vínculo entre condiciones cálidas costeras y pérdida temporal de cobertura también en la parte alta de la cuenca. Las diferencias entre ambas zonas podrían estar relacionadas con los distintos regímenes de precipitación de la cuenca: la lluvia orográfica y temperaturas más estables tienen mayor relevancia en la parte alta, mientras que la cuenca baja presenta una alta sensibilidad a la variabilidad inducida por ENSO (Bourrel et al., 2015).

4.4. Validación con el Mapa Nacional de Ecosistemas

La comparación con el MNE revela diferencias sistemáticas entre las clases representadas por cada producto. La clasificación de urbano y vegetación no boscosa de MODIS muestran una mayor similitud con el MNE, mientras que la clase cultivos de ESA-CCI coincide mejor con las áreas agrícolas de referencia. Solo ESA-CCI detecta un ligero aumento de áreas urbanas en la cuenca alta (0.53 %) y media-baja (0.14 %). En esta última zona, el resultado es compatible con el crecimiento poblacional reportado para la ciudad de Piura, de 2.3 % entre 2013 y 2017 (Zucchetti y Freundt, 2018). MODIS podría detectar menos cambios urbanos debido a su resolución espacial más gruesa de 500 m, especialmente considerando que en Piura aproximadamente 70 % del suelo urbanizado está ocupado por construcciones informales o espontáneas distribuidas en parches fragmentados (Fernandez y Schroeder, 2023).

La discrepancia más marcada aparece en la extensión de suelo desnudo, significativamente mayor en MODIS y ESA-CCI que en el MNE. Esta diferencia puede relacionarse tanto con la resolución espacial, el MNE trabaja a 30 m, frente a los 300-500 m de los productos globales, como de diferencias metodológicas. La categoría “desierto costero” del MNE incluye sectores de vegetación dispersa que MODIS y ESA-CCI clasifican como suelo desnudo. Esta diferencia puede producir una sobreestimación aparente de dicha clase en los productos globales (Giri et al., 2013; Hansen et al., 2013).

5. Conclusiones y perspectivas

La cuenca del río Piura presenta dinámicas de cobertura diferenciadas entre su parte alta y su parte media-baja. Estas diferencias se relacionan, con el gradiente altitudinal, las actividades humanas y la variabilidad climática asociada al ENSO. Los productos MODIS y ESA-CCI no ofrecen estimaciones equivalentes, sino complementarias: MODIS permite captar mejor la variabilidad de corto plazo, mientras que ESA-CCI ofrece una representación más estable de los cambios persistentes.

Los resultados sugieren que, después de 2011, aumentó la intensidad de ciertos cambios de cobertura, especialmente en la cuenca media-baja, donde la expansión de suelo desnudo y la pérdida de cultivos coinciden con eventos climáticos extremos. En conjunto, estos hallazgos muestran que la cobertura vegetal de la cuenca responde tanto a forzantes

climáticos como a presiones antrópicas, y que esa respuesta no es homogénea dentro de la cuenca.

A futuro, será importante combinar estos productos con sensores de mayor resolución espacial, reforzar la verificación en campo e incorporar el ICEN y otras variables climáticas en modelos específicos de cambio de cobertura. Estas acciones permitirán examinar con mayor precisión la relación entre el ENSO y las transformaciones del territorio y aportar evidencia más sólida para el monitoreo ambiental y la gestión territorial en una cuenca altamente vulnerable. A nivel de toma de decisiones en la planificación territorial, los resultados muestran la conveniencia de contrastar más de un producto satelital y de complementarlo con información regional de mayor resolución, pues cada fuente de información puede ofrecer estimaciones diferentes de los cambios.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto ePIURA N.º 084-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU PROCENCIA. Los autores agradecen al equipo del proyecto ePIURA por sus valiosos comentarios durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

Aber, J., Neilson, R. P., McNulty, S., Lenihan, J. M., Bachelet, D., & Drapek, R. J. (2001). Forest processes and global environmental change: predicting the effects of individual and multiple stressors. *BioScience*, 51(9), 735–751. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0735:FPAGE-C\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0735:FPAGE-C]2.0.CO;2)

Aldwaik, S. Z., & Pontius, R. G. (2012). Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106(1), 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.010>

Atarama, E., & Rashid, M. M. (2019). Integral management for Piura River basin in Peru. En *E-Proceedings of the 38th IAHR World Congress—“Water: Connecting the World”* (Vol. 38, pp. 1621-1631). The International Association for Hydro-Environment Engineering and Research. <https://doi.org/10.3850/38WC092019-1006>

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2012). Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura, Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca Chira Piura, 1–339.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2014). Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica Cuenca Chira-Piura: Periodo 2014–2015. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica Cuenca Chira-Piura: Periodo 2014–2015. Piura, Perú: Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica Cuenca Chira-Piura: Periodo 2014–2015. Piura, Perú: Consejo de Recursos

Hídricos de la Cuenca Chira-Piura.

Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65, 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>

Barboza, E., Bravo, N., Cotrina-Sanchez, A., Salazar, W., Gálvez-Paucar, D., Gonzales, J., Saravia, D., Valqui-Valqui, L., Cárdenas, G. P., Ocaña, J., Cruz-Luis, J., & Arbizu, C. I. (2024). Modeling the current and future habitat suitability of *Neltuma pallida* in the dry forest of northern Peru under climate change scenarios to 2100. *Ecology and Evolution*, 14(8), e70158. <https://doi.org/10.1002/ece3.70158>

Bourrel, L., Rau, P., Dewitte, B., Labat, D., Lavado, W., Coutaud, A., Vera, A., Alvarado, A., & Ordoñez, J. (2015). Low-frequency modulation and trend of the relationship between ENSO and precipitation along the northern to centre Peruvian Pacific coast. *Hydrological Processes*, 29(6), 1252–1266. <https://doi.org/10.1002/hyp.10247>

Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H.-S., Marengo, J. A., Alves, L. M., Osman, M., Li, S.,... Vera, C. (2020). Climate impacts of the El Niño-Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 215–231. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>

Castillón, F., Rau, P., Bourrel, L., & Frappart, F. (2025). Dynamics and patterns of land cover change in the Piura River Basin (Peruvian Pacific slope and coast) in the last two decades. *Frontiers in Remote Sensing*, 6, Article 1529044. <https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1529044>

Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN). (2024). Definición operacional de los eventos El Niño costero y La Niña costera en el Perú (Nota Técnica 01–2024). Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño”. <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-y-la-nina-costera-en-el-peru/>

Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). (2006). El cambio climático: impactos y oportunidades para Piura. Consejo Nacional del Ambiente, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cambio-climatico-impactos-oportunidades-piura-documento-politica>

Córdova, M., Rau, P., Bourrel, L., & Sosa, J. (2023). El Niño impacts from large to local scale on Peruvian rivers. In *Proceedings of the 40th IAHR World Congress* (pp. 2927–2936). Vienna: International Association for Hydro-Environment Engineering and Research. https://doi.org/10.3850/978-90-833476-1-5_iahr40wc-p0407-cd

Dale, V. H. (1997). The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Applications*, 7(3), 753–769. <https://doi.org/10.2307/2269433>

Eltahir, E. A. B., & Bras, R. L. (1996). Precipitation recycling. *Reviews of Geophysics*, 34, 367–378. <https://doi.org/10.1029/96RG01927>

[g/10.1029/96RG01927](https://doi.org/10.1029/96RG01927)

European Space Agency (ESA). (2017). Land Cover CCI Product User Guide Version 2. European Space Agency.

Exavier, R., & Zeilhofer, P. (2021). OpenLand: software for quantitative analysis and visualization of land use and cover change. *The R Journal*, 12(2), 21. <https://doi.org/10.32614/rj-2021-021>

Fernandez, T. & Schroeder, S. (2023). GIS for Sustainable Urban Transformation in Countries With Emerging Economies: The Case of Piura in Peru. *International Journal of E-Planning Research (IJEPR)*, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.4018/IJEPR.319733>

Friedl, M., & Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061 [Conjunto de datos]. NASA LP DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>

Giri, C., Zhu, Z., & Reed, B. (2013). A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. *Remote Sensing of Environment*, 92(1), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.09.005>

Goldberg, R. A. G., Tisnado, M., & Scofield, R. A. (1987). Characteristics of extreme rainfall events in northwestern Peru during the 1982–1983 El Niño period. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13), 14225–14241. <https://doi.org/10.1029/JC092iC13p14225>

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

Herold, M., Mayaux, P., Woodcock, C. E., Baccini, A., & Schmullius, C. (2008). Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2538–2556. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.013>

Horel, J. D., & Cornejo-Garrido, A. G. (1986). Convection along the coast of northern Peru during 1983: Spatial and temporal variation of clouds and rainfall. *Monthly Weather Review*, 114, 2091–2105. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1986\)114<2091:catcon>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1986)114<2091:catcon>2.0.co;2)

Huerta, A., Aybar, C., Imfeld, N., Correa, K., Felipe, O., Rau, P., Drenkhan, F., & Lavado-Casimiro, W. (2023). High-resolution grids of daily air temperature for Peru - the new PISCOt v1.2 dataset. *Scientific Data*, 10, 847. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02777-w>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Jaramillo, L., Poveda, G., & Mejía, J. F. (2017). Mesoscale convective systems and other precipitation features over the

tropical Americas and surrounding seas as seen by TRMM. *International Journal of Climatology*, 37, 380–397. <https://doi.org/10.1002/joc.5009>

Junta de Usuarios: Medio-Bajo Piura. (2011). Evolución del Plan de Cultivo y Riego en los Últimos 5 Años (Has): 2006–2010. Piura, Perú: ANA.

Junta de Usuarios: Medio-Bajo Piura. (2014). Evolución del Plan de Cultivo y Riego en los Últimos 5 Años (Has): 2009–2013. Piura, Perú: ANA.

Kreibich, H., Van Loon, A. F., Schröter, K., Ward, P. J., Mazzoleni, M., Sairam, N., Abeshu, G. W., Agafonova, S., AghaKouchak, A., Aksoy, H., Alvarez-Garreton, C., Aznar, B., Balkhi, L., Barendrecht, M. H., Biancamaria, S., Bos-Burginger, L., Bradley, C., Budiyo, Y., Buytaert, W., & ... Di Baldassarre, G. (2022). The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. *Nature*, 608(7921), 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04917-5>

Lynch, B. D. (2019). What Hirschman's hiding hand hid in San Lorenzo and Chixoy. *Water*, 11(3), 415. <https://doi.org/10.3390/w11030415>

Mills-Novoa, M. (2020). Making agro-export entrepreneurs out of Campesinos: the role of water policy reform, agricultural development initiatives, and the specter of climate change in reshaping agricultural systems in Piura, Peru. *Agriculture and Human Values*, 37(3), 667–682. <https://doi.org/10.1007/s10460-019-10008-5>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>

Móstiga, M., Armenteras, D., Vayreda, J., & Retana, J. (2024a). Two decades of accelerated deforestation in Peruvian forests: a national and regional analysis (2000-2020). *Regional Environmental Change*, 24, 42. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02189-5>

Móstiga, M., Armenteras, D., Vayreda, J., & Retana, J. (2024b). Decoding the drivers and effects of deforestation in Peru: a national and regional analysis. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04638-x>

Muenchow, J., von Wehrden, H., Rodríguez, E. F., Rodríguez, R. A., Bayer, F., & Richter, M. (2013). Woody vegetation of a Peruvian tropical dry forest along a climatic gradient depends more on soil than annual precipitation. *Erdkunde*, 67, 241–248. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2013.03.03>

Otovo Meza, J. L. (2015). Aportes para un manejo sostenible del ecosistema bosque tropical seco de Piura. Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral - AIDER. Piura, Perú. <https://aider.com.pe/publicaciones/Aportes-al-conocimiento-del-ecosistema-bosque-tropical-seco-de-Piura.pdf>

Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., & Felipe, O. (2017). Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology*, 37, 143–158. <https://doi.org/10.1002/joc.4693>

[g/10.1002/joc.4693](https://doi.org/10.1002/joc.4693)

Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Frappart, F., Ruelland, D., Lavado, W., Dewitte, B., & Felipe, O. (2018). Hydroclimatic change disparity of Peruvian Pacific drainage catchments. *Theoretical and Applied Climatology*, 134, 139–153. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2263-x>

Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Ruelland, D., Frappart, F., Lavado, W., Dewitte, B., & Felipe, O. (2019). Assessing multi-decadal runoff (1970-2010) using regional hydrological modelling under data and water scarcity conditions in Peruvian Pacific catchments. *Hydrological Processes*, 33, 20–35. <https://doi.org/10.1002/hyp.13318>

Rau, P., Callan, N., Abad, W., & Visitacion, K. (2022). Stormwater runoff assessment under climate change scenarios using remote sensing products. A case study in Piura, Peru. En *Proceedings of the 39th IAHR World Congress* (pp. 7139–7146). <https://doi.org/10.3850/iahr-39wc2521711920221794>

Rodríguez-Morata, C., Ballesteros-Canovas, J. A., Rohrer, M., Espinoza, J. C., Beniston, M., & Stoffel, M. (2018). Linking atmospheric circulation patterns with hydro-geomorphic disasters in Peru. *International Journal of Climatology*, 38(2), 3388–3404. <https://doi.org/10.1002/joc.5507>

Rubiños, C., & Anderies, J. M. (2020). Integrating collapse theories to understand socio-ecological systems resilience. *Environmental Research Letters*, 15(7), Article 075008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7b9c>

Salazar, P. C., Navarro-Cerrillo, R. M., Ancajima, E., Duque Lazo, J., Rodríguez, R., Ghezzi, I., & Mabres, A. (2018). Effect of climate and ENSO events on *Prosopis pallida* forests along a climatic gradient. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 91, 552–562. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy014>

Salazar Zarzosa, P. C. (2018). Variabilidad funcional de *Prosopis pallida* frente a factores climáticos y edáficos en un gradiente ambiental en la costa norte de Perú [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. <http://hdl.handle.net/10396/16300>

Song, X.-P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560, 639–643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>

Takahashi, K., & Martínez, A. G. (2019). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52, 7389–7415. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>

Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38, Article L10704. <https://doi.org/10.1029/2011GL047364>

Torres Ruiz de Castilla, L. (2010). Análisis económico del cambio climático en la agricultura de la región Piura - Perú. Caso: principales productos agroexportables. Consorcio de Investigación Económica y Social - Universidad de Piura. <https://cies.org.pe/investigacion/analisis-economi>

co-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-la-2/

Wulder, M. A., White, J. C., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Belward, A. S., Cohen, W. B., Fosnight, E. A., Shaw, J., Masek, J. G., & Roy, D. P. (2016). The global Landsat archive: status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*, 185, 271-283. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.032>

Yapp, G., Walker, J., & Thackway, R. (2010). Linking vegetation type and condition to ecosystem goods and services. *Ecological Complexity*, 7(3), 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.04.008>

Yglesias-González, M., Valdés-Velásquez, A., Hartinger, S. M., Takahashi, K., Salvatierra, G., Velarde, R., Contreras, A., Santa María, H., Romanello, M., Paz-Soldán, V., Bazo, J., & Lescano, A. G. (2023). Reflections on the impact and response to the Peruvian 2017 Coastal El Niño event: looking to the past to prepare for the future. *PLoS One*, 18(9), e0290767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290767>

Zucchetti, A., y Freundt, D. (2018). Ciudades del Perú: Primer Reporte Nacional de Indicadores Urbanos con un enfoque de sostenibilidad y resiliencia. Periferia y WWF. Lima, Perú. <https://www.wwf.org.pe/?341474/Primer-Reporte-Nacional-de-Indicadores-Urbanos-2018>

EVALUACIÓN DE DATOS SATELITALES MODIS PARA REPRESENTAR HUMEDAD EN PASTIZALES ALTOANDINOS DE LA CUENCA DEL RÍO ILLPA

José Sinticala^{1,2}, Ricardo Zubieta¹, Wilber Laqui ² y Yerson Ccanchi^{1,3}

¹ Dirección de Ciencias de la Atmósfera, Hidrósfera y Cambio Climático, Instituto Geofísico del Perú

² Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Perú

³ Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Palabras clave: MODIS, pastizales, humedad del combustible vivo, vegetación, incendios forestales

Citar como: Sinticala, J., Zubieta, R., Laqui, W. & Ccanchi, Y. (2026). Capacidad de datos satelitales MODIS para representar humedad en pastizales altoandinos. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 13 n.º 04 págs. 13-17.

¿Cuál es la contribución de esta investigación para los tomadores de decisiones?

Esta investigación manifiesta la utilidad de datos de sensores remotos MODIS para caracterizar la distribución espacial y temporal del contenido de humedad en la vegetación. Ante insuficientes datos observacionales de la humedad de la vegetación en distintos ecosistemas, la información satelital puede ser considerada una alternativa útil para monitorear el déficit hídrico en la vegetación. Un parámetro altamente relevante para la caracterización del peligro de incendios forestales en el Perú.

Resumen

Los incendios forestales en las zonas altoandinas se han incrementado en las últimas décadas. Ante el limitado monitoreo de factores de peligro de incendios forestales en el Perú. Este artículo evalúa cuatro índices espectrales de vegetación GVMI, NDVI, NDWI y NDII derivados de datos satelitales del producto MOD09A1 de MODIS para representar el contenido de humedad del combustible vivo (HCV) en pastizales entre mayo de 2024 y abril de 2025 en la cuenca del río Illpa, Puno. Para ello, se recolectaron 432 muestras de pastizales mediante cosecha manual. El HCV de pastizales se determinó por la diferencia porcentual de peso entre la vegetación fresca y la materia seca, tras el secado en horno. La relación temporal entre el HCV y los índices se evaluó mediante un modelo regresión lineal. Los resultados muestran que el HCV sigue el régimen estacional de lluvias. Asimismo, los hallazgos muestran que el modelo de regresión a partir de GVMI y NDVI derivados de MODIS puede ser adecuado para representar el HCV (60.3 %) en la cuenca del río Illpa. En conjunto, nuestros resultados respaldan el uso potencial de los datos MODIS para complementar el monitoreo de la humedad en pastizales y aportar información relevante para la prevención de incendios forestales.

1. Introducción

Los incendios forestales han aumentado drásticamente en las últimas dos décadas en los Andes peruanos (Zubieta et al., 2023). El sur del Perú presenta un mayor peligro de recurrencia de incendios forestales (Manta et al., 2018). Esta

recurrencia se atribuye usualmente al uso del fuego en la agricultura (SERFOR, 2018). Asimismo, según la muestra de datos compilados por Manta (2017), el 98 % de los incendios forestales registrados en la sierra peruana corresponden a causas antrópicas. El aumento de incendios forestales en el Perú coincide con sequías extremas (2005, 2010 y 2016), durante las cuales se registró un aumento de hasta un 400 % en el número de reportes de emergencia, con afectaciones principalmente de pastizales (Ccanchi, 2021). Kunst et al. (2015) señalan que la rápida pérdida de humedad en los pastizales está asociada con condiciones de sequía. Esta pérdida de humedad durante periodos secos y prolongados puede contribuir a la rápida propagación de las quemaduras. Las quemaduras, consideradas una costumbre y una necesidad (Álvarez, 2022), suelen realizarse como parte del proceso previo a la siembra, ya sea para eliminar residuos agrícolas o limpiar terrenos (Manta, 2017). Para contribuir a la prevención de incendios forestales, es prioritario disponer de información precisa sobre la humedad del combustible vivo (HCV) en ecosistemas propensos a incendios a fin de evaluar el riesgo de que el mismo se suscite (Yebra et al., 2013). No obstante, en ecosistemas extensos, el monitoreo espacial y temporal de humedad en la vegetación podría resultar costoso y complejo. En ese sentido, la teledetección puede constituir una alternativa clave para el monitoreo de las variaciones espaciales y temporales de la vegetación (Ceccato et al., 2002). El producto satelital MOD09A1 del sensor MODIS proporciona datos globales de reflectividad de superficie (Roger et al., 2022). El uso de datos satelitales, a través de los índices espectrales de vegetación (IE), puede contribuir para comprender la dinámica de la humedad en la vegeta-

ción. El estudio tiene como objetivo evaluar la capacidad de los índices de vegetación derivados de MODIS para estimar el contenido de humedad del combustible vivo en pastizales en la cuenca del río Illpa en Puno, al sur del Perú.

2. Datos y Metodología

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Illpa, que abarca 4 distritos de la provincia y región Puno (Figura 1). Se recopilieron datos del producto MOD09A1 de MODIS, que proporciona información de reflectividad de superficie con una

resolución espacial de 500 m y temporal de 8 días. La recolección de muestras de la especie vegetal, se realizó durante un año, de mayo 2024 a abril 2025. Se recolectaron 432 muestras de campo en las partes altas, media y baja de la cuenca, correspondientes a los sectores de Mañazo, Tiquillaca y Paucarcolla, respectivamente (Figura 1). Para hallar el porcentaje de contenido de agua de los pastizales, se empleó la diferencia porcentual de peso (gr) entre la vegetación fresca y la materia seca (% HCV); las muestras se secaron previamente en horno (Marino et al., 2020).

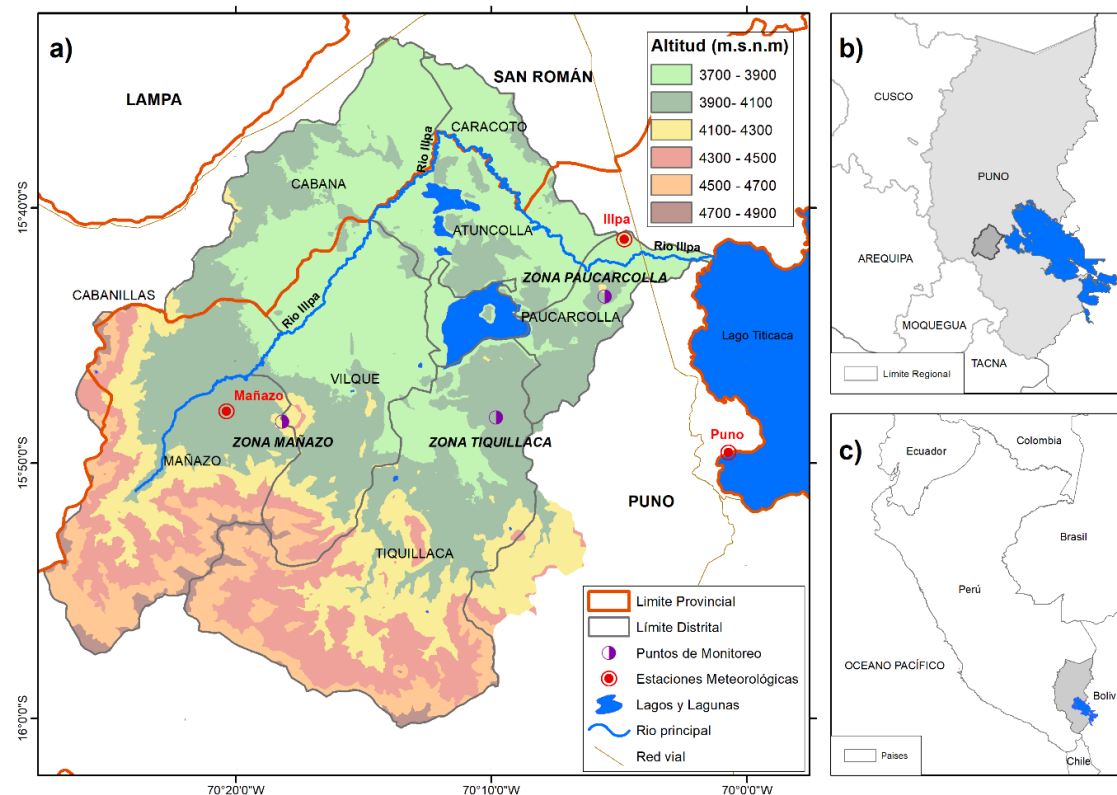


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Illpa, Puno, Perú.

Para analizar las imágenes satelitales, se utilizaron datos de las bandas espectrales 1, 2, 5 y 6 de MODIS. Estas bandas corresponden a regiones del espectro electromagnético desde la región visible hasta el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Se evaluaron los siguientes índices espectrales: GVMI (Global Vegetation Moisture Index) (Ceccato et al., 2002), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) desarrollado por Rouse et al. (1974), NDWI (Normalized Difference Water Index) (Gao, 1996) y el índice NDII (Normalized Difference Infrared Index) (Hunt y Rock, 1989), en relación con la variación temporal de la HCV. Para ello, se realizó un análisis descriptivo de la ganancia y pérdida de humedad del combustible vivo mediante gráficos de líneas y regresión lineal.

3. Resultados y discusión

En la Figura 2a, la serie temporal de GVMI en Mañazo presenta un comportamiento similar al de la HCV, con un descenso continuo desde mediados de junio hasta septiembre. Sin embargo, a inicios de septiembre se observa un pequeño incremento en ambas series. El ligero incremento en la serie del GVMI podría asociarse con los periodos de lluvia registrados entre septiembre y octubre (Figura 2a). Cabe resaltar que no se dispone de datos del GVMI entre febrero y marzo debido a la nubosidad constante del territorio estudiado. A partir de finales de marzo se observa un descenso de humedad tanto en el GVMI y de la HCV medida en campo. Yebra (2008) también empleó imágenes MODIS para estimar la variabilidad del contenido de HCV en pastizales. Esto sugiere que los datos de las bandas SWIR

empleados para la estimación de GVMI (Ceccato et al., 2002) pueden ser más útiles para caracterizar la absorción de agua en la vegetación.

La serie temporal del NDII presenta un comportamiento similar al de la HCV: ambas disminuyen gradualmente desde mediados de junio hasta agosto y muestran ligeros incrementos en septiembre y octubre (Figura 2b). Andreatta et al. (2022) señalan que el NDII es sensible a la disponibilidad hídrica en ecosistemas como pastizales y matorrales. En la Figura 2c, la serie de GVMI presenta un comportamiento similar al HCV en Tiquillaca, con una ligera disminución desde mediados de junio hasta noviembre e incrementos puntuales de humedad en los meses de junio y septiembre. A partir de inicios de diciembre se observa un incremento paulatino de la HCV que llega a su máximo a inicios de marzo (HCV = 50 %) seguido de un descenso continuo (Figura 2c). Del mismo modo, en la Figura 2d, el NDII muestra un comportamiento similar a lo mostrado por GMVI, llegando a detectar ligeros incrementos de humedad medido en campo debido al inicio de temporada de lluvias. La Figura 2b-d muestra que el NDII puede representar la HCV. Esta correspondencia es compatible con los resultados de Yang et al. (2025) y Yebra et al. (2018).

Finalmente, en Paucarcolla (Figura 2e-f) se observa un patrón similar al comportamiento tanto de GVMI y NDII en Mañazo y Tiquillaca (Figura 2a-d). NDII y GVMI pueden ser buenos indicadores para la estimación de la HCV en pastizales. Este comportamiento podría relacionarse con el

uso de las bandas 2 (NIR) y banda 6 (infrarrojo de onda corta SWIR), que registran la capacidad de absorción de agua en esta región del espectro electromagnético (Klein et al., 1998). Los índices GVMI y NDII reflejan la sensibilidad a la precipitación (Brown y Davis, 1973) ya que los combustibles finos se equilibran rápidamente ante variaciones ambientales (Bianchi et al., 2014).

El índice NDVI (no mostrado) no detecta adecuadamente cambios intraestacionales de la HCV, en comparación, NDII y GVMI detectan de mejor manera la HCV ($r^2 = 0.6 - 0.7$) en periodos intraestacionales (Figura 2). Este resultado podría relacionarse con el uso de datos de la banda 6 (SWIR) en el cálculo de los índices NDII y GVMI (Hunt y Rock, 1989; Ceccato et al., 2001). Nuestros resultados sugieren que los datos de NDVI presentarían limitaciones para contribuir al monitoreo operativo de los cambios de la HCV. Finalmente, NDWI (no mostrado) también podría resultar apropiado

para monitorear HCV ($r^2 = 0.65$) ya que las medidas de absorción de clorofila son atribuidas a la utilidad de la banda 5 - MODIS (Dennison et al., 2005).

4. Conclusiones

El modelo propuesto a partir de la combinación de los índices de vegetación GVMI y NDVI derivados de MODIS presentan un adecuado rendimiento (60.3 %) para representar el contenido de humedad del combustible vivo (HCV) a nivel de la cuenca del río Illpa. Como era esperado, la HCV de pastizales es similar al régimen estacional de lluvias. No obstante, aunque NDVI obtuvo resultados similares a GVMI y NDII, este no representa adecuadamente cambios intra-estacionales de HCV en pastizales. Nuestros resultados respaldan que el uso de datos de los índices de vegetación de sensores remotos puede ser una herramienta útil para monitorear la humedad de pastizales.

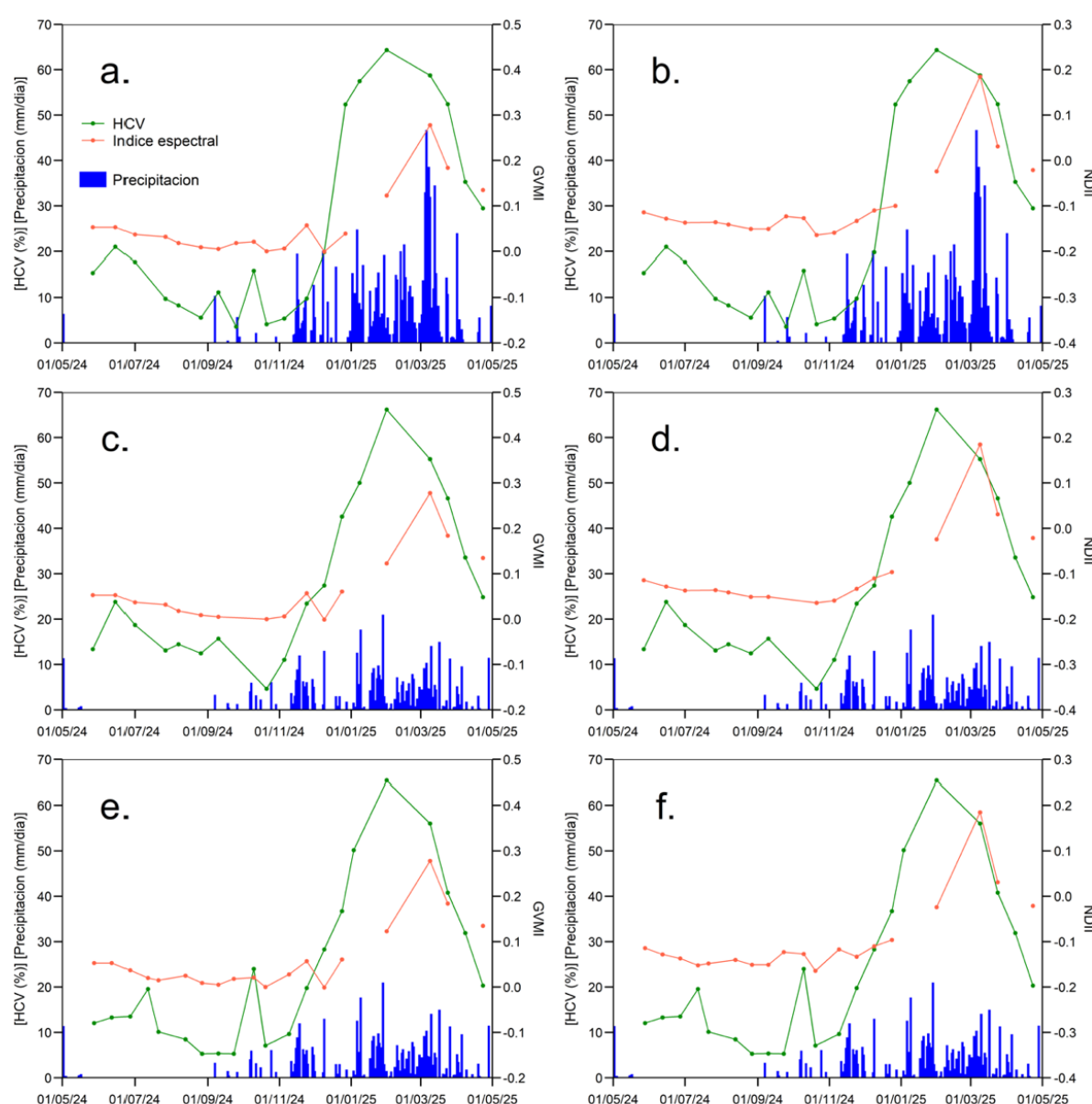


Figura 2. Porcentaje de humedad de combustible vivo (HCV), Índices GVMI y NDII para zonas: Mañazo (a-b), Tiquillaca (c-d) y Paucarcolla (e-f), respectivamente.

Referencias

Álvarez, S. (2022). Percepción frente a la ocurrencia de incendios forestales en los pobladores de la comunidad Chanka, Huanoquite-Paruro y del centro poblado Arín-Huarán, Calca-Calca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7125>

Andreatta, D., Gianelle, D., Scotton, M., Vescovo, L., & Dalponte, M. (2022). Detection of grassland mowing frequency using time series of vegetation indices from Sentinel-2 imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 481–500. <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2036055>

Bianchi, L., Defossé, G., Dentoni, M., Kunst, C., Ledesma, R., & Bravo, S. (2014). Dinámica de la humedad de los combustibles y su relación con la ecología y el manejo de fuego en la región chaqueña occidental (Argentina) I: Conceptos básicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(2), 154–164. <http://ref.scielo.org/kppdfw>

- Brown, A. A., & Davis, K. P. (1973). *Forest fire: control and use* (2.º ed.). McGraw-Hill. <https://www.frames.gov/catalog/1316>
- Ccanchi, Y. J. (2021). Evaluación de sequías y del riesgo potencial a la ocurrencia de incendios forestales en ecosistemas altoandinos mediante uso de sensores remotos [Tesis de licenciatura, Universidad Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5195>
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J. M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77(1), 22–33. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2)
- Ceccato, P., Flasse, S., & Grégoire, J. M. (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82(2–3), 188–197. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00037-8)
- Colombo, R., Busetto, L., Meroni, M., Rossini, M., & Panigada, C. (2018). Optical remote sensing of vegetation water content. En M. Thenkabail, J. G. Lyon, & A. Huete (Eds.), *Hyperspectral Indices and Image Classifications for Agriculture and Vegetation* (pp. 183–200). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315159331-7>
- Dennison, P. E., Roberts, D. A., Peterson, S. H., & Reche, J. (2005). Use of normalized difference water index for monitoring live fuel moisture. *International Journal of Remote Sensing*, 26(5), 1035–1042. <https://doi.org/10.1080/0143116042000273998>
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Hunt, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near-infrared and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43–54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1)
- Klein, A. G., Hall, D. K., & Riggs, G. A. (1998). Improving snow cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model. *Hydrological Processes*, 12. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1085\(199808/09\)12:10<11%3C1723::aid-hyp691%3E3.0.co;2-2](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1085(199808/09)12:10<11%3C1723::aid-hyp691%3E3.0.co;2-2)
- Kunst, C., Ledesma, R., Bravo, S., Defosse, G., Godoy, J., Navarrete, V., & Jaime, N. (2015). Dinámica del contenido de humedad de pastos y su relación con la ecología del fuego en región chaqueña occidental (Argentina). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41(1), 83–93. <http://ref.scielo.org/n8kfz5>
- Manta, M. I. (2017). Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4302>
- Manta, M. I., Kometter, R., & Navia, A. (2018). Evaluation of wildfire danger in the Peruvian Andes: First step for its reduction and adaptation. In D. X. Viegas (Ed.), *Advances in forest fire research 2018* (pp. 44–56). Imprensa da Universidade de Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_4
- Marino, E., Yebra, M., Guillén-Climent, M., Algeet, N., Tomé, J. L., Madrigal, J., Guijarro, M., & Hernando, C. (2020). Investigating live fuel moisture content estimation in fire-prone shrubland from remote sensing using empirical modelling and RTM simulations. *Remote Sensing*, 12(14), 2251. <https://doi.org/10.3390/rs12142251>
- Roger, J. C., Ray, J. P., & Vermote, E. F. (2022). MODIS surface reflectance user's guide (Collection 6.1, Version 1.7). NASA MODIS Land Team. <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac-contact-us/>
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. En *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium: Vol. 1. Technical presentations* (NASA SP-351, pp. 309–317). National Aeronautics and Space Administration. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2018). Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales (Resolución de Dirección Ejecutiva N.º 284-2018-MINA-GRI-SERFOR). <https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/1122794-plan-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgos-de-incendios-forestales>
- Yang, S., Chen, R., He, B., & Zhang, Y. (2025). Low-variance estimation of live fuel moisture content using VIIRS data through radiative transfer model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 104311. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2024.104311>
- Yebra, M. (2008). Estimación del contenido de humedad de vegetación mediterránea a partir de imágenes MODIS [Tesis doctoral, Universidad de Alcalá]. Biblioteca Digital Universidad de Alcalá. <http://hdl.handle.net/10017/2508>
- Yebra, M., Dennison, P. E., Chuvieco, E., Riaño, D., Zylstra, P., Hunt, E. R., Danson, F. M., Qi, Y., & Jurdao, S. (2013). A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products. *Remote Sensing of Environment*, 136, 455–468. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.029>
- Yebra, M., Quan, X., Riaño, D., Rozas Larraondo, P., van Dijk, A. I. J. M., & Cary, G. J. (2018). A fuel moisture content and flammability monitoring methodology for continental Australia based on optical remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 212, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.053>
- Zubieta, R., Ccanchi, Y., Martínez, A., Saavedra, M., Norabuena, E., Alvarez, S., & Ilbay, M. (2023). The role of drought conditions on the recent increase in wildfire occurrence in the high Andean regions of Peru. *International Journal of Wildland Fire*, 32(4), 531–544. <https://doi.org/10.1071/WF21129>

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2026-03

Publicado el 23 de abril de 2026

Las temperaturas del mar frente a la costa peruana se mantienen con valores por encima de lo normal. La información, in situ y remota, como la de los modelos de ondas, indican que a partir de mayo es muy probable el arribo de un paquete de ondas de Kelvin cálidas a la costa peruana, extendiendo su influencia hasta junio, por lo pronto, con un impacto principalmente en las temperaturas subsuperficiales. La magnitud de este impacto dependerá de la energía con la que las ondas lleguen a la región.

A una escala mayor, los modelos de NMME sugieren, por un lado, la posible extensión de El Niño costero hasta mediados del verano 2027 y, por otro, el desarrollo de un evento El Niño en el Pacífico central a partir de mayo. No obstante, la presencia de la barrera de predictibilidad podría limitar la confiabilidad de estos pronósticos más allá de abril.

El informe técnico completo se encuentra disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12816/5827>



PERÚ
Ministerio
del Ambiente



Instituto
Geofísico del Perú - IGP



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

PP 068 "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres"

Producto: "Estudios para la estimación de los riesgos de desastres"

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

Instituto Geofísico del Perú

INFORME TÉCNICO N° Pp/El Niño-IGP/2026-03

23/04/2026

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

Resumen

Las temperaturas del mar frente a la costa peruana se mantienen con valores por encima de lo normal. La información, in situ y remota, como la de los modelos de ondas, indican que a partir de mayo es muy probable el arribo de un paquete de ondas de Kelvin cálidas a la costa peruana, extendiendo su influencia hasta junio, por lo pronto, con un impacto principalmente en las temperaturas subsuperficiales. La magnitud de este impacto dependerá de la energía con la que las ondas lleguen a la región.

A una escala mayor, los modelos de NMME sugieren, por un lado, la posible extensión de El Niño costero hasta mediados del verano 2027 y, por otro, el desarrollo de un evento El Niño en el Pacífico central a partir de mayo. No obstante, la presencia de la barrera de predictibilidad podría limitar la confiabilidad de estos pronósticos más allá de abril.

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

COMUNICADO OFICIAL

EFEN n.º 07 – 2026



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA
DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" – ENFEN
Decreto Supremo n.º 007-2017-PRODUCE

Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero¹**

Publicado el 16 de abril de 2026

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN), tras analizar las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas hasta la fecha, así como los nuevos resultados de los pronósticos climáticos nacionales e internacionales para la región Niño 1+2 (Figura 1), mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero". Esto debido a que es más probable que El Niño costero continúe hasta enero de 2027 con una magnitud débil, pudiendo alcanzar una magnitud moderada entre junio y julio del presente año.

Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1), es más probable que predomine la condición neutra entre mayo y junio de 2026. A partir de julio, por lo pronto tiene mayor probabilidad el desarrollo del evento El Niño hasta enero 2027. Es posible que el evento de magnitud débil alcance su mayor intensidad entre noviembre y diciembre por ahora.

El pronóstico para los meses de abril – junio³, indica lluvias desde normales a superiores en la costa norte, principalmente en abril. No obstante, al encontrarnos en el término del periodo de lluvias, se prevén sólo episodios localizados. Asimismo, persistirán temperaturas del aire por encima de lo normal en toda la costa. En cuanto al pronóstico hidrológico, se anticipa que los caudales de los ríos de la Región Hidrográfica del Pacífico presenten caudales dentro del rango normal, con la posibilidad de incrementos puntuales en los ríos de la zona norte. En cuanto a los recursos pesqueros, se prevé que en las próximas semanas la anchoveta del stock norte-centro presente una distribución principalmente dentro de las 30 millas de la costa. Por otro lado, es probable que el bonito continúe disponible a lo largo del litoral. Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los escenarios de riesgo basados en los avisos meteorológicos³ y pronósticos estacionales⁴, a fin de adoptar las medidas correspon-

¹ Alerta de El Niño Costero: De acuerdo al análisis de las condiciones oceánicas y atmosféricas observadas y de la predicción de los modelos climáticos, la Comisión ENFEN considera que El Niño Costero es inminente, ya se ha iniciado o continuará en los siguientes meses. Al inicio del texto del CO se indicará la magnitud más probable del evento y su posible duración. (Nota Técnica ENFEN 02-2026; <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen-02-2026sistema-de-alerta-ante-el-nino-costero-y-la-nina-costera/?wpdmdl=1988&refresh=698e1316b93ee1770918678>)

² Las condiciones mensuales para la región Niño 1+2, que abarca el mar peruano al norte de los 10° S, se establecen en base al valor del ICEN. En el caso de la condición cálida débil, esta corresponde cuando el valor del ICEN es mayor o igual que +0,5 y menor o igual que +1,3 (Nota Técnica ENFEN 01-2024 <https://enfen.imarpe.gob.pe/download/nota-tecnica-enfen01-2024-definicion-operacional-de-los-eventos-el-nino-costero-y-la-nina-costera-en-el-peru/>)

³ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-70.pdf>

⁴ <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-68.pdf>

dientes para la reducción del riesgo de desastres, así como acciones de preparación para la respuesta ante peligros inminentes, emergencias o desastres. Por otro lado, se exhorta a la población a mantenerse informada a través de las fuentes oficiales del ENFEN. La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando la evolución de las condiciones oceánicas, hidrológicas, atmosféricas y biológicas-pesqueras, y actualizando las perspectivas. La emisión del próximo Comunicado Oficial ordinario será el jueves 30 de abril de 2026. Para más información, consultar el Informe Técnico en el siguiente enlace:

<https://enfen.imarpe.gob.pe/download/informe-tecnico-en-fen-ano-12-n07-al-14-de-abril-de2026/?wpdmdl=2041&refresh=69e1f7ae287841776416686>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN





-  @igp.peru
-  @igp_peru
-  @igp.peru
-  @igp_videos
-  @institutogeofisicodelperu
-  @igp.peru