



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 11 n.º 02 febrero 2024

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

«Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres»

En este boletín

4
pág.

Humedales costeros de Pisco
en el contexto
del cambio climático

13
pág.

Observaciones para la
investigación en física atmosférica
en los Andes centrales del Perú:
Laboratorio de Microfísica
Atmosférica y Radiación (LAMAR)

20
pág.

Resumen del informe técnico de El Niño

21
pág.

Resumen de los comunicados ENFEN



BICENTENARIO
PERÚ
2024



Créditos

Juan Castro Vargas
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz
Director científico

Ken Takahashi Guevara
Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Antonella Condorena Franco
Jefatura de la Unidad Funcional de Comunicaciones

Ivonne Katherine Montes Torres
Ken Takahashi Guevara
Jorge Andrés Concha Calle
Editores

Jorge Andrés Concha Calle
Diseño y diagramación

Carátula: Humedal laguna Morón, Pisco, Ica
Fuente: IGP

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 2024

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 en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceánico-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permita 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 aquellos obtenidos a partir de modelos propios como el de predicción de ondas oceánicas ecuatoriales, y los recientemente desarrollados modelo de inteligencia artificial y modelo 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 de El Niño, así como La Niña y otros fenómenos relacionados. 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, artículos 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/20.500.12816/5356>). 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.

El IGP busca consolidar al Boletín Científico El Niño como una publicación técnica-científica de referencia, tanto para la comunidad científica y académica, así como para instituciones y autoridades vinculadas a la gestión del riesgo de desastres ávidas de conocimientos e información actualizada sobre El Niño, sus impactos y procesos asociados.

Puede consultar la colección completa de Boletines Científicos El Niño en este enlace: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4974>

HUMEDALES COSTEROS DE PISCO EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Lucy Giráldez¹, Diana Ruiz¹,
Adelaida Aranibar¹, Harold
Llauca²

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

² Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas, Lima, Perú



Lucy Giráldez es ingeniera agrónoma y magíster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Realizó estudios en agroclimatología en el Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst). Actualmente, se desempeña como parte del equipo del Instituto Geofísico del Perú, en el Observatorio Geofísico de Huancayo. Su labor se enfoca en analizar y comprender los impactos de la variabilidad climática y los eventos meteorológicos extremos, contribuyendo al conocimiento y la gestión de riesgos climáticos.

Palabras clave: Pisco, clima, cambio climático, humedales costeros

Citar como Giráldez, L., Ruiz, D., Aranibar, A., & Llauca, H. (2024). Humedales costeros de Pisco en el contexto del cambio climático. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 02, págs. 4-12.

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

La investigación refleja la creciente fragilidad de los humedales de Pisco frente al cambio climático, la degradación por cambio de uso del suelo, la contaminación y una gestión inadecuada. Por ello, los tomadores de decisiones deben elaborar un registro exhaustivo y actualizado de los humedales de Pisco. Asimismo, es crucial fortalecer las políticas y herramientas de gestión a nivel local y regional, fomentar la investigación sobre la variabilidad climática y sus repercusiones en los humedales, y llevar a cabo acciones urgentes de mitigación y adaptación al cambio climático teniendo en cuenta las proyecciones de aumento de temperatura y reducción de precipitaciones.

Resumen

Los humedales de Pisco, esenciales en la lucha contra el cambio climático, enfrentan una creciente vulnerabilidad ante sus efectos. La presente investigación aborda dos aspectos fundamentales. En primer lugar, se evaluó la dinámica climática utilizando datos de cinco estaciones meteorológicas y productos derivados (p. ej., PISCOp), lo que permitió identificar brechas en la información disponible.

En segundo lugar, se realizó un análisis exhaustivo de los instrumentos de gestión locales y regionales relevantes para la protección de estos ecosistemas. Los resultados muestran que la degradación de los humedales de Pisco se atribuye principalmente al cambio en el uso de suelo, la contaminación y los impactos del cambio climático, lo que dificulta su gestión adecuada debido a la falta de un inventario integral y preciso. La zona presenta un clima árido, con una temperatura promedio de 20.3 °C, y escasas

precipitaciones (<20 mm/año). La temperatura está influenciada por las fluctuaciones en la temperatura superficial del mar de la zona Niño 1+2. Durante los eventos El Niño, se observa un incremento en las temperaturas, con más días y noches cálidas; en tanto, durante La Niña, las temperaturas disminuyen, y aumentan los días y noches frías. Además, se ha registrado un aumento constante de las temperaturas, especialmente en las mínimas, con un incremento de +0.2 °C por década, con tendencia a incrementarse los días y noches cálidas, así como las temperaturas extremas máximas, lo que sigue patrones coherentes con el cambio climático global. Las proyecciones son alarmantes. Estas indican un aumento de las temperaturas entre +2.0 y +2.4 °C, así como una disminución de hasta 45 % en la precipitación para el año 2050. La escasez de investigaciones sobre la variabilidad y el cambio climático en los humedales de Pisco resalta la urgencia de ampliar el conocimiento científico en este campo. Además, la protección de estos ecosistemas requiere una mejora significativa en las políticas e instrumentos de gestión a nivel local y regional.

1. Introducción

Los humedales de Pisco brindan valiosos servicios ecosistémicos, tales como suministro de agua, alimentos, purificación del agua y regulación del clima. Estos humedales costeros, al igual que otros ecosistemas, desempeñan un papel clave en la mitigación del cambio climático al capturar y almacenar carbono atmosférico (Ore, 2019; Salimi et al., 2021). Sin embargo, el desequilibrio en el balance del carbono podría convertirlos en fuentes de gases de efecto invernadero (Meng et al., 2016; Ore, 2019; Salimi et al., 2021). Actualmente, se ha observado que estos ecosistemas costeros también enfrentan amenazas por el cambio climático que podrían acelerar su degradación, lo que causaría problemas como eutrofización y acidificación (Moya et al., 2005; Quispe, 2020; Salimi et al., 2021; Tabilo-Valdivieso et al., 2021).

En tal sentido, este estudio busca realizar un diagnóstico climático mediante la exploración de la variabilidad, patrones y tendencias climáticas, el análisis de investigaciones previas, así como de instrumentos locales y regionales relevantes, con el fin de promover una gestión orientada a la protección de estos valiosos ecosistemas.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

Los humedales de Pisco se localizan en la provincia de Pisco, departamento de Ica, en las costas del mar peruano, entre las coordenadas geográficas de 13°30' y 13°50' latitud sur, y 75°55' y 76°15' longitud oeste (Instituto Geofísico del Perú, 2022). Abarca los distritos de Pisco, San Clemente, Independencia y Túpac Amaru Inca. El área de interés del presente estudio incluye los humedales adyacentes al litoral y los humedales de la margen derecha e izquierda del río Pisco (Figura 1).

2.2 Datos

Los datos utilizados en el estudio provienen de mediciones de temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), precipitación (P), humedad relativa (HR) y caudal medio diario (Q) recopilados entre 1981 y 2021. Estos datos provienen de cuatro estaciones meteorológicas convencionales del Senamhi (Hacienda BERNALES-HBL, Letrayoc-LET, Fonagro-FON y Conta-COT, así como de una estación meteorológica aeronáutica de Corpac (Aeropuerto Pisco-AEP). Además, se utilizó información de productos derivados de PISCO (Aybar et al., 2020; Huerta et al., 2018) y RAIN4PE (Fernandez-Palomino et al., 2022) para el periodo 1981-2015.

2.3 Metodología

Para asegurar la fiabilidad de los datos, primero se llevó a cabo un proceso de control de calidad utilizando la herramienta Rclimindex desarrollada en R (Zhang et al., 2018). Luego, se procedió a realizar un análisis exploratorio de datos diarios de precipitación (P), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) provenientes de estaciones meteorológicas, así como de los productos PISCO y RAIN4PE, ambos con una resolución espacial de 10 km.

Para este estudio, solo fue posible completar los datos para temperatura mínima y máxima, las cuales se complementaron con el producto PISCO. Las series de precipitación no fueron completadas. A fin de calcular el promedio mensual, se estableció como criterio que el mes no debía contener más de 5 días sin información.

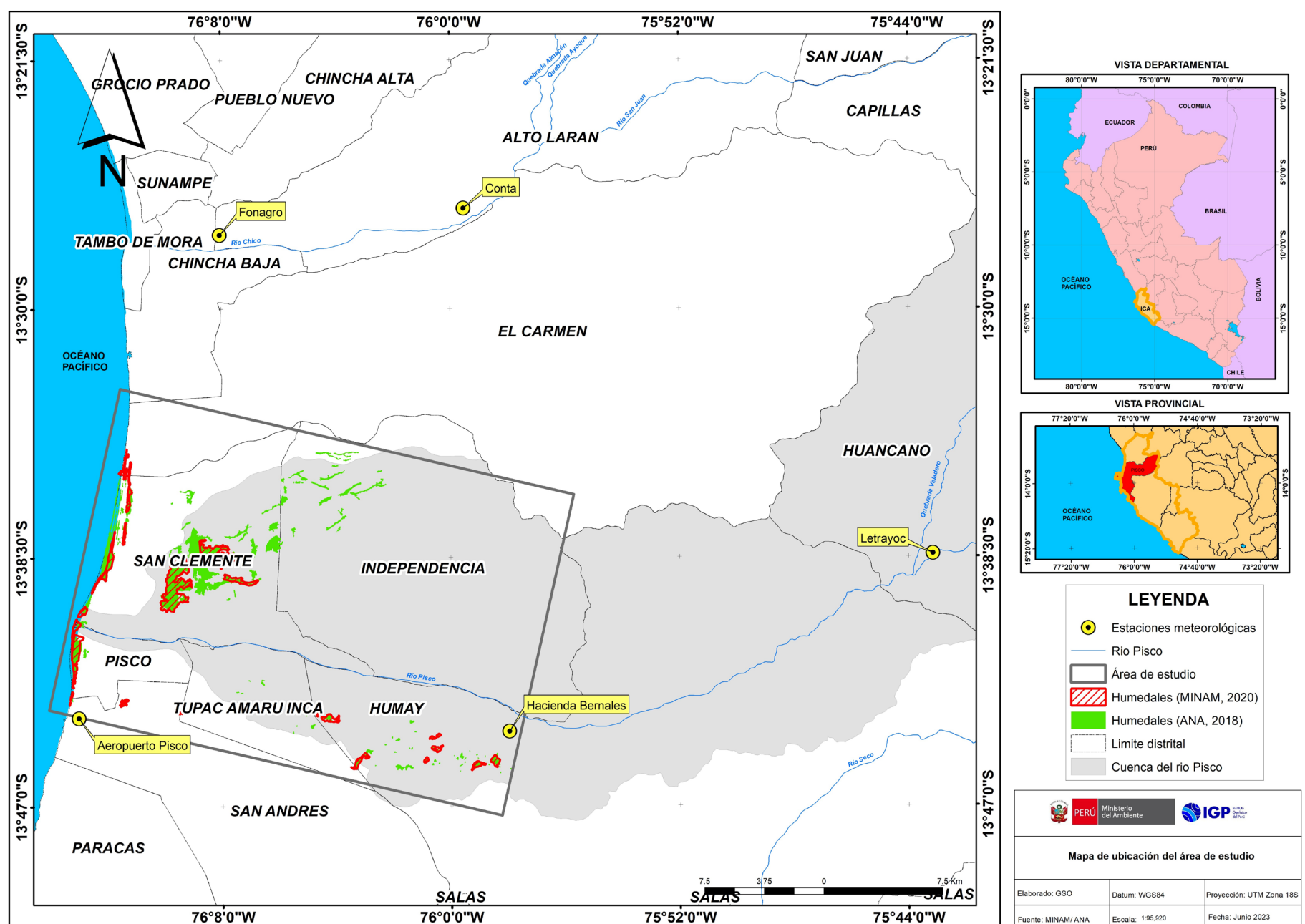


Figura 1. Localización del área de estudio. El área verde representa los humedales inventariados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018), mientras que el área achurada de rojo corresponde a los humedales inventariados por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2020). Los puntos amarillos representan las estaciones meteorológicas de Senamhi y Corpac. Fuente: ANA (2018), MINAM (2020).

En cuanto al cálculo de los valores promedio anuales, se requirió que los 12 meses estuvieran completos. Este enfoque garantiza una evaluación precisa y coherente de los datos climáticos.

El análisis de la variabilidad climática se realizó en diversas escalas temporales. Se examinó el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés) a lo largo de un periodo de 12 meses para identificar tanto los periodos secos como los húmedos. Además, se utilizó la metodología del SPI con la variable caudal (Q) para calcular el Índice de Caudal Estandarizado (SQI, por sus siglas en inglés) también a lo largo de 12 meses. Para analizar tendencias climáticas, se empleó el método no paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945), respaldado por el método de Sen (Sen, 1968). Además, se exploraron los extremos climáticos con

nueve índices de temperatura (Klein et al., 2009). Adicionalmente, se identificaron posibles escenarios futuros para los humedales de Pisco con base en el estudio de escenarios de cambio climático centrados en 2050 (Llacza et al., 2021).

3. Resultados y discusión

3.1 Condiciones climáticas en los humedales de Pisco

Los humedales de Pisco tienen un clima árido, con temperatura promedio anual de $20.3^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, con un pico máximo en febrero ($28.3\text{-}30^{\circ}\text{C}$) y un mínimo en julio y agosto (11.8 y 14.3°C). En zonas de mayor elevación (al este), las temperaturas tienden a ser más bajas, mientras que, hacia el litoral (al oeste),

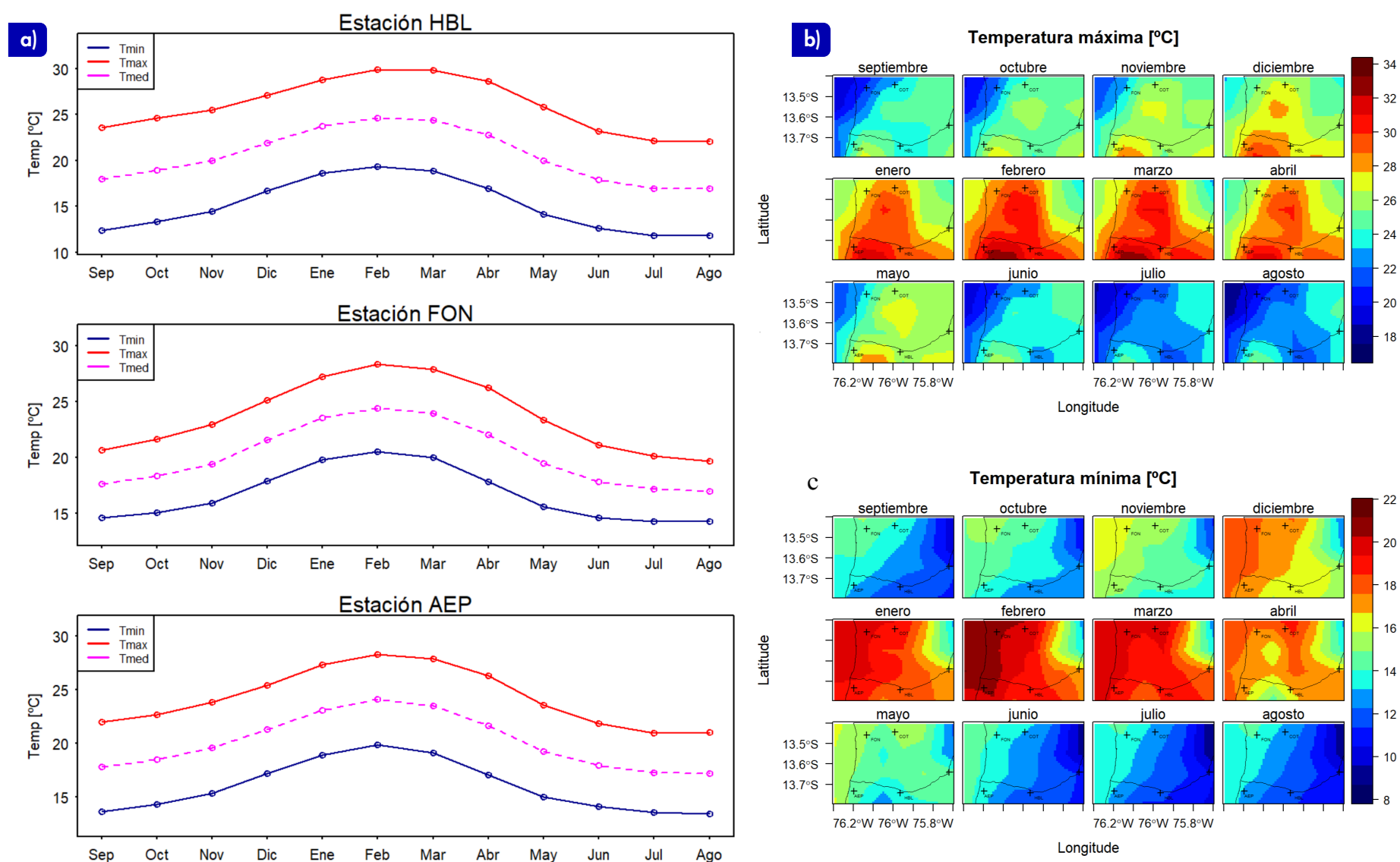


Figura 2. a) Promedio de la temperatura media (Tmed), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) mensual (1981-2021). b) Climatología mensual grillado de la temperatura máxima durante el periodo 1981-2016. c) Climatología mensual de la temperatura mínima durante el periodo 1981-2016.

las temperaturas son más altas (Figura 2).

Las precipitaciones son escasas, no superan los 2.0 mm mensuales, y varían anualmente entre 0.8 mm (AEP) y 10.6 mm (FON). Las estaciones HBL y FON tienen un régimen bimodal, con picos en febrero y junio.

La humedad relativa promedio anual es del 81.4 %. El régimen hidrológico es unimodal. Los caudales medios mensuales oscilan entre 1.9 y 67.9 mm/mes. La temporada de avenidas abarca desde enero hasta abril; en tanto, la época de estiaje, se extiende de mayo a agosto.

La velocidad del viento, a una altura de 2 metros sobre la superficie, muestra una variación estacional. Es así que, durante septiembre a marzo, se registran las tasas más altas de velocidad de viento (3.5 m/s). Estos vientos más fuertes predominan en el sector suroeste de la zona analizada. Por otro lado, durante los meses de mayo y junio, se registran las velocidades más bajas.

3.2 Variabilidad interanual de la temperatura, precipitación y caudal

Los registros anuales de anomalías de temperatura muestran picos máximos en 1983 y 1997 en todas las estaciones climáticas (Figura 3). Estos picos indican periodos de temperaturas inusualmente altas, asociados con los eventos El Niño extraordinario. Respecto a la precipitación, la disponibilidad de los datos observados son insuficientes para realizar un análisis adecuado de su variación anual en el área de estudio.

La variabilidad interanual de los caudales del río Pisco, basada en los datos recopilados de la estación LET, muestra la presencia de años húmedos (1984, 1986 y 1998) y años secos (1990, 1992 y 1997). Además, se ha observado una relación entre los años húmedos, como 1984 y 1998, en la cuenca del río Pisco y las anomalías positivas de la TSM de años anteriores (Figura 4). Esto denota la importancia de considerar los datos hidrológicos locales y los factores

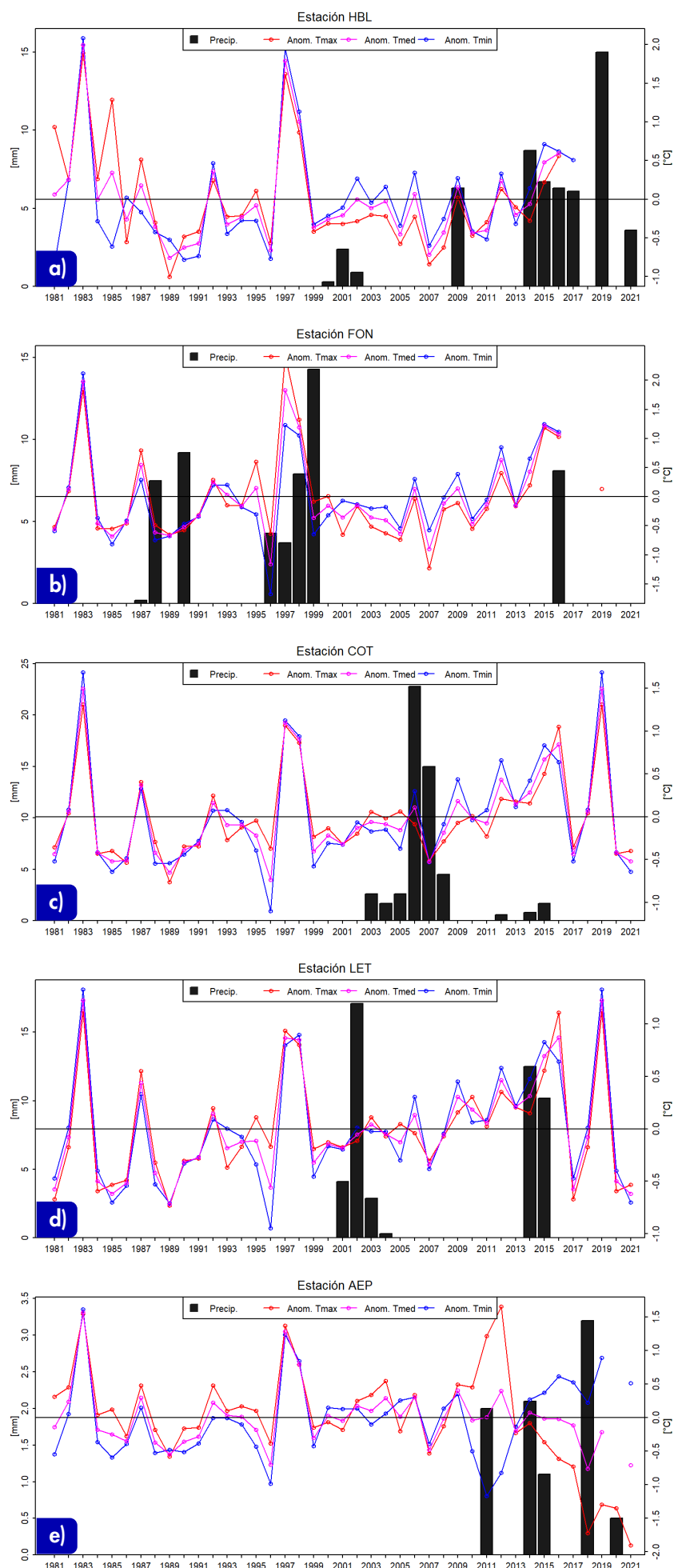


Figura 3. Variabilidad interanual de la precipitación y anomalías anuales de la temperatura mínima, máxima y media del aire en la estación a) HBL, b) FON, c) COT, d) LET y e) AEP

climáticos regionales para comprender la variabilidad del caudal del río Pisco. Cabe señalar que la falta de datos de caudales a partir de 2017 limita el análisis durante el periodo 2017-2021.

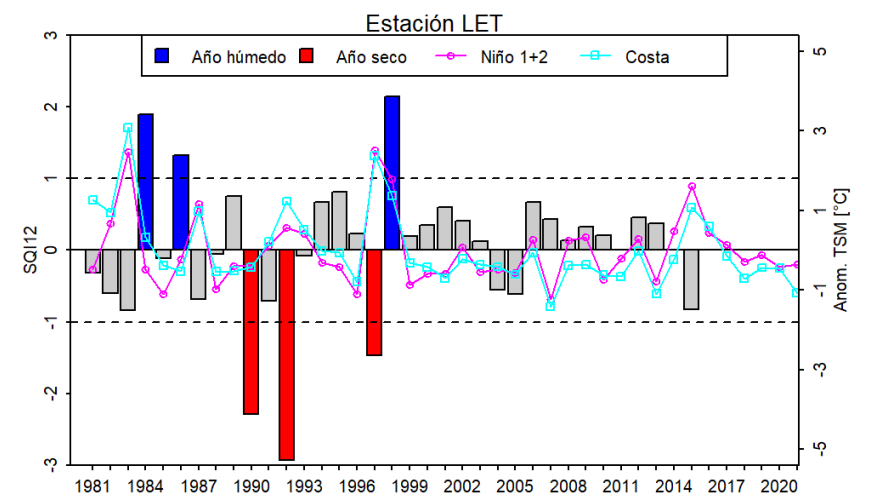


Figura 4. Índice de Caudal Estandarizado (SQI) de 12 meses (1982-2016) en la estación LET, anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2 (línea magenta) y promedio de los píxeles sobre las costas del área de estudio (línea cyan). Las barras en gris indican el SQI 12 dentro de lo normal (entre -1 y 1).

3.3 Tendencias climáticas de la temperatura y la precipitación

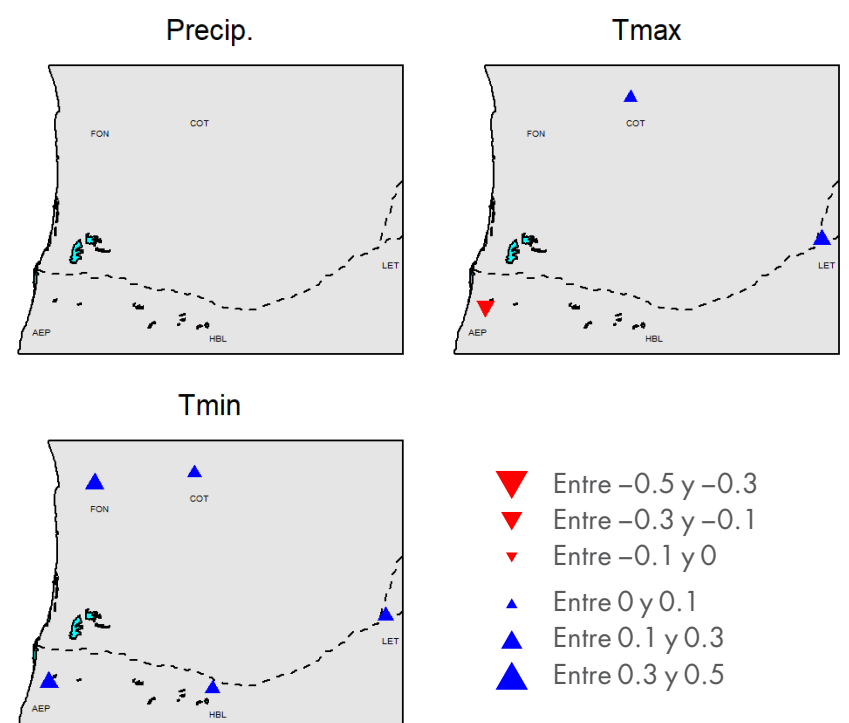


Figura 5. Índice de tendencia lineal (Tau) a nivel anual para las variables de precipitación, y temperatura máxima y mínima del aire (1981-2021).

En general, las series anuales de precipitación no presentan tendencia lineal significativa para las estaciones en el dominio de estudio (Figura 5, Tabla 1). Sin embargo, se encontraron tendencias significativas en las series anuales de temperatura. La Tmax en zonas aledañas a los humedales muestra una tendencia positiva, con un aumento gradual de +0.1 a +0.2 °C por década; en tanto, en la zona más cercana

Tabla 1. Tendencia anual de la precipitación y la temperatura (Tmax y Tmin) en estaciones ubicadas en los humedales de Pisco. Índice de tendencia lineal (Tau), nivel de significancia estadística (p-value) y magnitud de la tendencia (Sen).

Periodo	Estación	Precipitación			Temperatura (Tmax)			Temperatura (Tmin)		
		Tau	p-value	Sen [mm/año]	Tau	p-value	Sen [°C/año]	Tau	p-value	Sen [°C/año]
1981-2021	HBL	0.360	0.178	0.829	-0.108	0.361	-0.007	0.219	0.058	0.017
	FON	0.429	0.174	1.202	0.096	0.410	0.010	0.279	0.017	0.019
	COT	-0.229	0.461	-0.185	0.187	0.088	0.011	0.204	0.062	0.016
	LET	-0.067	0.352	-0.600	0.262	0.017	0.016	0.231	0.035	0.017
	AEP	0.298	0.266	0.012	-0.266	0.015	-0.024	0.294	0.008	0.019

Valores estadísticamente significativos (p-value ≤ 0.10)

a los humedales, la Tmax disminuye a una tasa de -0.2 °C por década . El incremento de la Tmin es aún más notable en los humedales de Pisco, con +0.2 °C por década (Figura 5, Tabla 1), lo cual está relacionado con el cambio climático global y podría tener implicancias importantes en la estructura y función de los humedales.

A nivel estacional, las Tmin tienden a ser más cálidas a lo largo del tiempo, excepto en primavera. En contraste, la Tmax y la P no muestran tendencias claras.

3.4 Índices climáticos extremos de temperatura

Los eventos El Niño y La Niña modulan las temperaturas extremas. Durante los eventos El Niño (1983, 1998, 2016 y 2019), es notable el incremento de las noches cálidas (TN90p) y días cálidos (TX90p), superando más del 20 %. Además, se registra un porcentaje inferior al 5 % de días fríos (TX10p) y noches frías (TN10p), lo que denota la escasez de temperaturas frías en estos períodos. Asimismo, existe una alta probabilidad de alcanzar valores máximos históricos de Tmax (TXx) y Tmin (TNx). Durante los eventos La Niña (1988, 1996, 2007 y 2010), se observan mayores porcentajes de noches frías (TN10p) y días fríos (TX10p). Además, existe una probabilidad elevada de registrar temperaturas máximas y mínimas excepcionalmente bajas (TXn y TNn).

La mayor incidencia de noches y días cálidos se asocia a las anomalías positivas de la TSM de la región Niño 1+2 (Tabla 2), mientras que, las noches y días fríos, se asocian a las anomalías negativas de la TSM en dicha región.

Tabla 2. Coeficientes de correlación lineal de Pearson (R) entre los índices de extremos climáticos calculados para las estaciones meteorológicas y la anomalía de la TSM en la región Niño 1+2.

Índice	TSM [°C] Niño 1+2				
	HBL	FON	COT	LET	AEP
P [mm]	0.32	-0.46	-0.24	0.55	0.13
DTr [°C]	-0.29	0.12	-0.47	-0.33	-0.19
TN90p [%d]	0.68	0.61	0.55	0.53	0.45
TN10p [%d]	-0.65	-0.77	-0.74	-0.72	-0.56
TX90p [%d]	0.47	0.63	0.49	0.52	0.24
TX10p [%d]	-0.56	-0.78	-0.67	-0.62	-0.44
TNn [°C]	0.58	0.68	0.68	0.64	0.45
TNx [°C]	0.44	0.58	0.55	0.56	0.26
TXn [°C]	0.75	0.8	0.52	0.6	0.68
TXx [°C]	0.38	0.37	0.42	0.5	0.06

Las tendencias indican un incremento de las noches y días cálidos del 2-3 % y 2-5 % por década, respectivamente, y una disminución de las noches frías entre -0.5 y -2.1 % por década; sin embargo, los días fríos no muestran una tendencia clara.

Los valores máximos de las temperaturas nocturnas y diurnas se incrementan de 0.2-0.8 y 0.4-1.2 grados Celsius por década, respectivamente. En cambio, las temperaturas mínimas nocturnas y diurnas muestran tendencias variables. Estas tendencias son consistentes con los efectos del cambio climático global.

3.5 Condiciones futuras al 2050

Se proyecta un escenario futuro de incremento sostenido de la temperatura en Perú para 2050 (Llacza et al., 2021). Tanto los valores máximos (Tmax) como los mínimos (Tmin) mostrarán un incremento de 2.0-2.4 °C (Figura 6).

Se anticipa una disminución general de la precipitación anual para 2050 en los humedales de Pisco. La Figura 7 ilustra esta disminución y muestra variaciones en intensidad según la ubicación geográfica. En San Clemente, la disminución es aún más marcada (-45 %). Este cambio proyectado en la precipitación tiene el potencial de impactar

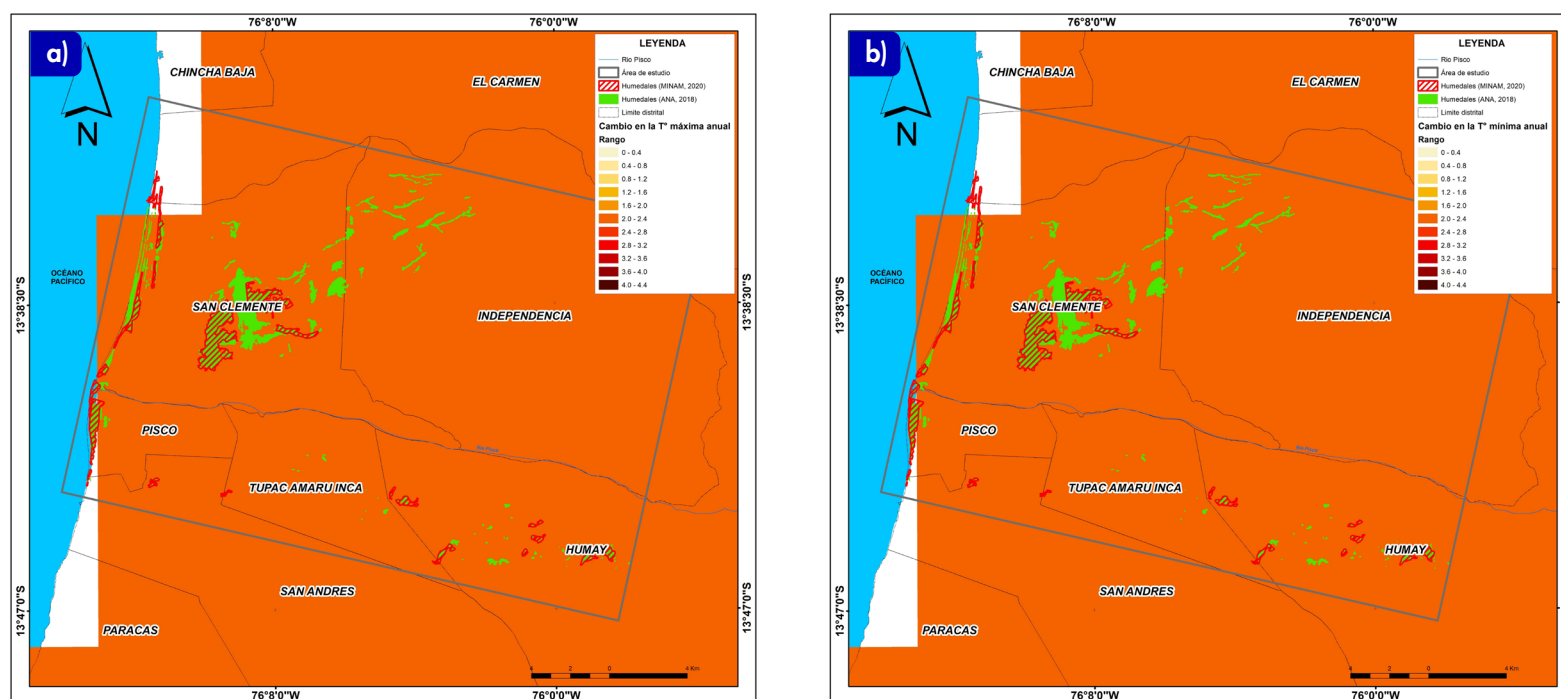


Figura 6. a) Cambios proyectados en la Tmax anual (°C) centrados al 2050 respecto al periodo 1981-2005. b) Cambios proyectados en la Tmin anual (°C) centrados al 2050 respecto al periodo 1981-2005.

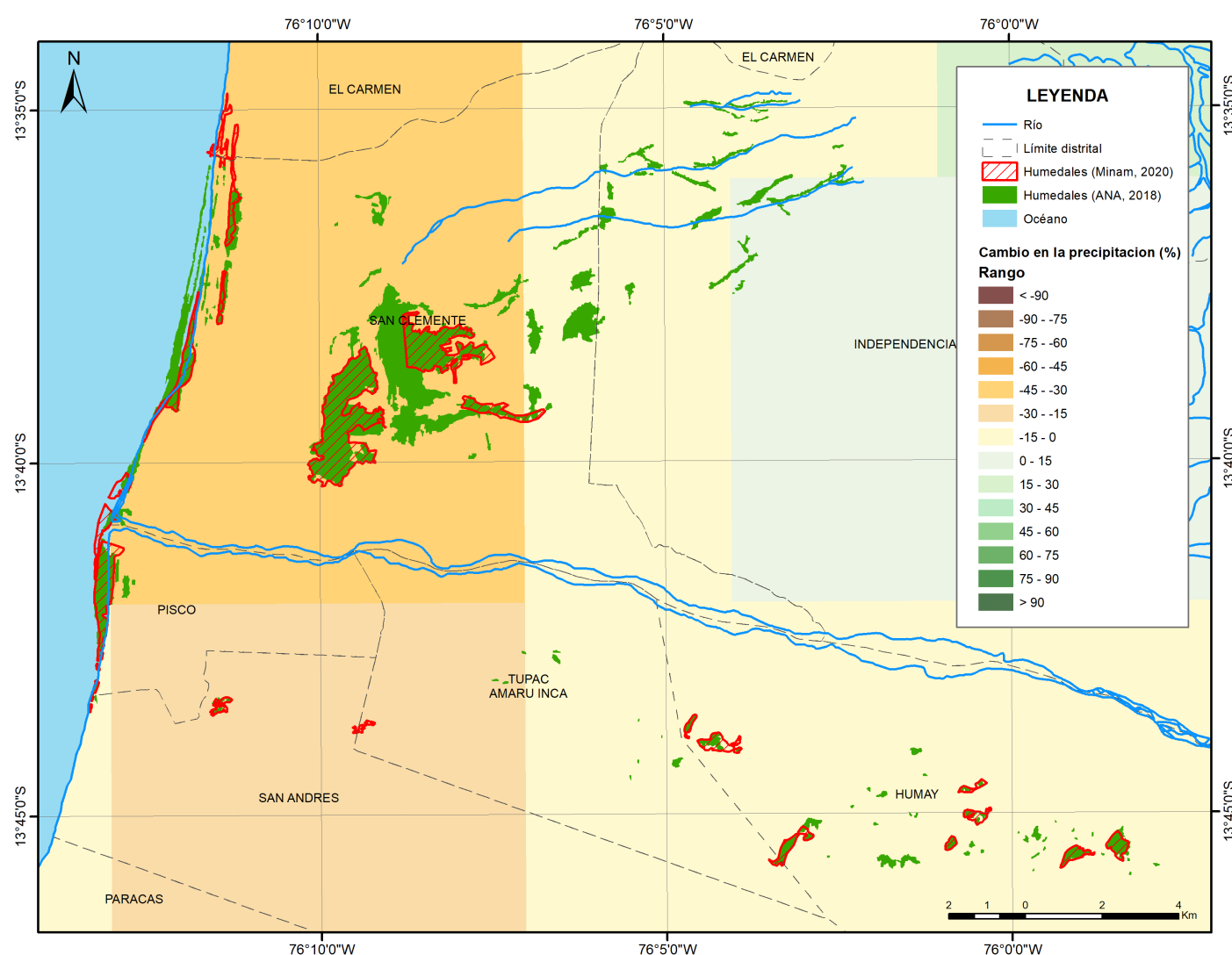


Figura 7. Cambios proyectados en la precipitación anual (%) centrados al 2050 respecto al periodo 1981-2005.

negativamente en la gestión del agua y en la sostenibilidad de los ecosistemas y comunidades vinculadas a los humedales de Pisco.

3.6 Brechas de conocimiento relacionadas a la variabilidad y el cambio climático en los humedales de Pisco

La respuesta de los humedales de Pisco al cambio climático es incierta; además, se carece de estudios exhaustivos a nivel nacional (Moya et al., 2005; Romero-Mariscal et al., 2023). Para garantizar la sostenibilidad de los humedales y maximizar su capacidad de mitigar el cambio climático, se requiere implementar estrategias de gestión sostenible respaldadas por investigaciones científicas. Por ello, entre los temas de investigación clave para la gestión y conservación efectiva de los humedales de Pisco en el contexto del cambio climático, se debería incluir el balance hídrico, los escenarios climáticos futuros, el análisis de la dinámica del suelo y la biodiversidad, la evaluación del riesgo, la dinámica del carbono, el monitoreo atmosférico, y la calidad del agua y valoración económica.

3.7 Gestión del cambio climático a nivel regional y local

El cambio climático, siendo global y a largo plazo, demanda adaptaciones locales para abordar impactos directos, especialmente debido a la implementación de políticas a nivel local cercanas al territorio y ciudadanos (Cash et al., 2006; Feliu et al., 2015). Por lo tanto, la salvaguarda de los humedales de Pisco frente al cambio climático depende, en gran medida, de políticas e instrumentos locales y regionales.

De la revisión de los instrumentos de gestión locales y regionales en Pisco e Ica, se revela la falta de enfoque específico en los humedales, lo que resulta en una limitada conciencia pública sobre su valor. El interés de la sociedad civil y las organizaciones por conservar estos humedales debería reflejarse en estos instrumentos de gestión para identificar, priorizar y ejecutar acciones específicas para la protección de estos ecosistemas. Para asegurar la efectividad en la elaboración o actualización de planes y estrategias de conservación, se enfatiza la necesidad de que los gobiernos regionales y locales se respalden en información técnico-científica actualizada de fuentes

oficiales, así como de la asistencia técnica del MINAM.

La buena gobernanza, con flexibilidad, transparencia, inclusividad y la integración de nuevos conocimientos, es esencial para la gestión exitosa de los humedales. Fortalecer los roles gubernamentales, y fomentar la colaboración y la coordinación, contribuirán a una protección más efectiva y a la promoción de la conciencia pública sobre el valor de los humedales en la región.

4. Conclusiones

La gestión sostenible de los humedales de Pisco es esencial considerando la complejidad de factores que afectan estos ecosistemas valiosos y vulnerables. La degradación de estos humedales se atribuye a la contaminación, el cambio de uso de suelos debido al desarrollo urbano acelerado y a la expansión agrícola que es exacerbada por el cambio climático. Aunque se han logrado avances en el inventario de humedales costeros de Pisco, aún persiste la falta de información precisa debido a la extensión y cantidad de estos ecosistemas.

El clima en los humedales de Pisco es árido y muestra temperaturas medias de 20.3 °C, variaciones estacionales notables, precipitaciones escasas y patrones interesantes en su distribución. La temperatura está fuertemente influenciada por la TSM de la región Niño 1+2, la cual propicia un incremento (o disminución) de la temperatura durante los eventos El Niño (o La Niña). Se observa un aumento sostenido en las temperaturas, especialmente durante la noche, coherente con patrones típicos del cambio climático global. Los escenarios climáticos son preocupantes, ya que proyectan un aumento significativo de temperaturas (entre +2.0 y +2.4 °C) y una disminución considerable de la precipitación, hasta un 45 %, en los humedales de Pisco para el año 2050. La escasez de estudios sobre la variabilidad y cambio climático en los humedales de Pisco destaca la urgencia de priorizar investigaciones para garantizar su sostenibilidad basada en el conocimiento científico. La protección efectiva de los humedales de Pisco ante el cambio climático requiere la implementación efectiva de políticas e instrumentos de gestión a nivel local y regional.

Cabe señalar que la presente investigación forma parte del segundo volumen del informe técnico especial sobre los humedales costeros del Perú: Pisco-

Ica, (Instituto Geofísico del Perú, 2023). Para mayor información, puede consultar la versión completa del documento en el siguiente enlace: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5508>

Referencias

- Autoridad Nacional del Agua (2018). *Estudio Piloto: Inventario de Humedales en el Ámbito de la ALA Pisco*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3310>
- 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(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Cash, D. W., Adger, W. N., Berkes, F., Garden, P., Lebel, L., Olsson, P., Pritchard, L., & Young, O. (2006). Scale and Cross-Scale Dynamics: Governance and information in a Multilevel World. *Ecology and Society*, 11(2), 8. <https://doi.org/10.5751/es-01759-110208>
- Feliu, E., García, G., Gutiérrez, L., Abajo, B., Mendizabal, M., Tapia, C., Alonso, A. (2015). *Guía para la elaboración de planes locales de adaptación al cambio climático*. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/guia_local_para_adaptacion_cambio_climatico_en_municipios_espanoles_tcm30-178446.pdf
- Fernandez-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega-Jácome, F., Lavado, W., Santini, W., Aybar, C., & Bronstert, A. (2022). A Novel High-Resolution Gridded Precipitation Dataset for Peruvian and Ecuadorian Watersheds: Development and Hydrological Evaluation. *Journal of Hydrometeorology*, 23(3), 309–336. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>
- Huerta, A., Aybar, C., & Lavado-Casimiro, W. (2018). *PISCO temperatura v. 1.1 (PISCO t v 1.1)*. SENAMHI - DHI-2018: Vol. 1.1. http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/.pisco/.PISCOt_report.pdf
- Instituto Geofísico del Perú (2022). *Humedales costeros del Perú: Pisco - Ica. Volumen I*. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5347>
- Instituto Geofísico del Perú (2023). *Humedales costeros del Perú: Pisco - Ica. Volumen II*. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5508>
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods. Charles Griffin.
- Klein, A. M. G., Zwiers, F. W., & Zhang, X. (2009). *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Climate Data and Monitoring. Issue WCDMP-No. 72). World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/records/item/48826-guidelines-on-analysis-of-extremes-in-a-changing-climate-in-support-of-informed-decisions-for-adaptation>
- Llacza, A., Acuña, D., Jácome, G., De la Cruz, G., Paredes, J., Bruno, J., Alvarez, E., Flores, W., Urdanivia, F., & Sulca, S. (2021). *Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1470>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Meng, L., Roulet, N., Zhuang, Q., Christensen, T. R., & Frolking, S. (2016). Focus on the impact of climate change on wetland ecosystems and carbon dynamics. *Environmental Research Letters*, 11(10), 1–4. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/100201>
- MINAM. (2020). *Identificación, delimitación y tipificación de los humedales costeros de los departamentos de Lima e Ica*.
- Moya, B. V., Hernández, A. E., & Elizalde Borrell, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas*, 37, 127–132. <https://doi.org/10.14198/ingeo2005.37.07>
- Ore, E. (2019). *Estimación de la captura de CO₂ en el humedal Caucato del área de conservación regional de Ica*. [tesis de Doctorado en Gestión Ambiental, In Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio Institucional Universidad Nacional San Luis Gonzaga. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/80b5e86f-dbf4-4d49-8f40-02f10c06a878>
- Quispe, M. A. (2020). *Valoración económica del servicio de ecoturismo en los humedales de Pisco, a partir del método de valoración contingente*. [tesis de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4398>
- Romero-Mariscal, G., Garcia-Chevesich, P. A., Morales-Paredes, L., Arenazas-Rodriguez, A., Ticona-Quea, J., Vanzin, G., & Sharp, J. O. (2023). Peruvian Wetlands: National Survey, Diagnosis, and Further Steps toward Their Protection. *Sustainability*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15108255>
- Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.2307/2285891>
- Tabilo-Valdivieso, E., & Chávez-Villavicencio, C. (2021). Percepción de los pobladores de Caleta El Toro sobre los recursos de la desembocadura del río Limarí (Chile) y su contribución para convertirse en Sitio Ramsar. *Arnaldoa*, 28(2), 397–408. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2413-32992021000200397&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Zhang, X., Feng, Y., & Chan, R. (2018). *Introduction to RClimDex v1.9*. Environment and Climate Change Canada, Climate Research Division. <https://usermanual.wiki/Document/manual.2056401896.pdf>

OBSERVACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN EN FÍSICA ATMOSFÉRICA EN LOS ANDES CENTRALES DEL PERÚ: LABORATORIO DE MICROFÍSICA ATMOSFÉRICA Y RADIACIÓN (LAMAR)

Yamina Silva¹, Miguel Saavedra¹, Luis Suárez¹, René Estevan¹, José Flores¹, David Guizado¹ y Lucy Giraldez¹

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

Palabras clave: Precipitación, radiación, mantaro, BSRN, aeronet, radares meteorológicos

Citar como Silva, Y., Saavedra, M., Suárez, L., Estevan, R., Flores, J.L., Guizado, D., & Giraldez, L. (2024). Observaciones para la investigación en física atmosférica en los Andes centrales del Perú: Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR). *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 02, págs. 13-19.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para la comunidad científica?

Este artículo permite identificar la diversidad de instrumentos del Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR), cuyos datos puede ser usados por la comunidad científica y académica para generar conocimiento y mejorar los modelos de predicción del tiempo y de eventos extremos en el Perú, tan necesarios para los sistemas de alerta temprana, y de escenarios de cambio climático. De esta forma, se fomenta la continuidad de las investigaciones en LAMAR, además de promoverse colaboraciones científicas y el acceso a esta valiosa información, lo que permitirá una mejor comprensión y preparación frente a eventos meteorológicos extremos en los Andes peruanos.

Resumen

El Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR), implementado en el Observatorio Geofísico de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y ubicado en los Andes centrales peruanos, es un recurso esencial para la investigación, monitoreo y generación de capacidades en temas relacionados con la atmósfera y su interacción con la superficie terrestre en los Andes peruanos. LAMAR, establecido con el propósito de

generar información que permita comprender los procesos físicos asociados a los eventos meteorológicos extremos, cuenta con una variedad de instrumentos, desde los convencionales hasta los sofisticados, como los radares meteorológicos, los sensores de radiación, precipitación y aerosoles. Los datos generados por LAMAR han contribuido a mejorar el conocimiento sobre los procesos físicos de la atmósfera en los Andes, lo cual ayuda a mejorar los modelos de predicción del tiempo en el Perú, así como el conocimiento

sobre los aerosoles atmosféricos y su impacto en la radiación solar. Sin duda, la información recopilada en LAMAR representa un recurso único en el contexto peruano y pronto estará al alcance de la comunidad científica y académica. En este artículo presentamos los instrumentos más relevantes de LAMAR, así como las publicaciones que se generaron en torno a ellos, con el propósito de incentivar futuras investigaciones y colaboraciones científicas.

1. Introducción

El Observatorio Geofísico de Huancayo está situado sobre los Andes centrales del Perú, cerca del poblado de Huayao ($12^{\circ}02'18''S$, $75^{\circ}19'22''W$, 3313 m s. n. m.), en la provincia de Chupaca, región Junín (Figura 1a). Es la cuna del Instituto Geofísico del Perú (IGP), inaugurado en 1922 como Observatorio Magnético de Huancayo por la Institución Carnegie de Washington (EE. UU.) debido a su proximidad al ecuador magnético. Desde sus inicios, ha desempeñado un papel fundamental en la medición de parámetros atmosféricos. Un ejemplo destacado es la estación meteorológica de Huayao, la cual lleva realizando mediciones de temperatura del aire y precipitación desde 1921, y cuenta con una serie de datos climáticos única en los Andes peruanos. Estos datos han permitido numerosos estudios e investigaciones sobre la variabilidad climática regional de los Andes centrales. En la última década, con el fin de mejorar la comprensión del clima, su variabilidad y los procesos físicos relacionados con los eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro, se han instalado diversos instrumentos especializados en el Observatorio Geofísico de Huancayo, lo que ha dado origen al Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR).

El objetivo de LAMAR es generar datos atmosféricos y ampliar el conocimiento sobre los procesos físicos y dinámicos en la atmósfera, con el propósito de explicar la variabilidad climática y los eventos meteorológicos extremos característicos de los Andes peruanos, tales como lluvias intensas, heladas, veranillos, tormentas y granizadas. Este conocimiento es crucial para mejorar la capacidad de los modelos físico-matemáticos utilizados en la predicción del tiempo y del clima, así como para evaluar los posibles impactos del cambio climático en el futuro. Los datos generados por LAMAR también se emplean para evaluar técnicas de sensoriamiento remoto. La contribución de LAMAR

no solo se limita a la comprensión del clima regional, sino que también ofrece recursos valiosos para la investigación y generación de capacidades.

LAMAR cuenta con instrumentos de tecnología avanzada que proporcionan información detallada sobre parámetros atmosféricos. Forma parte del Baseline Surface Radiation Network (BSRN) que mide las componentes radiativas y permite determinar el balance de energía en la superficie, además del programa AERONET (AErosol RObotic NETwork), red de detección remota de aerosoles en tierra establecidas por la NASA. Asimismo, realiza mediciones de precipitación, evaporación y evapotranspiración para calcular el balance de agua. Por otro lado, los disdrómetros y el radar de nubes y precipitación permiten conocer la microestructura vertical de la nube y la precipitación, así como su variación en el tiempo. Por tanto, este avance de investigación presenta los principales instrumentos de LAMAR y sirve como preámbulo a un documento posterior que describirá la base de datos, la cual estará disponible para la comunidad científica. Esto se realiza con la finalidad de contar con una base sólida para la generación de conocimiento científico sobre los procesos físicos de la atmósfera en nuestra región andina.

2. Descripción general

El Observatorio Geofísico de Huancayo tiene un área aproximada de 300 m x 300 m. Está cubierto principalmente por pasto, además de algunos árboles frutales y eucaliptos. Asimismo, cuenta con algunas viviendas usadas como centros de mediciones y oficinas. Los instrumentos y las estaciones están localizados en diferentes espacios, teniendo en consideración la dirección predominante de los vientos o la puesta y salida del sol, así como la ubicación de las viviendas y árboles a fin de que no influyan en las mediciones. En la Figura 1b se muestran las zonas donde se ubican los instrumentos: la parcela de observación meteorológica (1); la torre de gradiente con una altura de 30 m (2); la torre de flujos de 4 m (3); el radar perfilador de vientos y precipitación-CLAIRE (4); el radar perfilador de nubes y precipitación-MIRA 35C, las cámaras de cielo y el fotómetro solar de la red AERONET (5); el etalómetro y el medidor de ozono troposférico (6); el radar de capa límite-BLTR (7); la estación de la red de radiación solar-BSRN (8) y el radiómetro de UV (9).

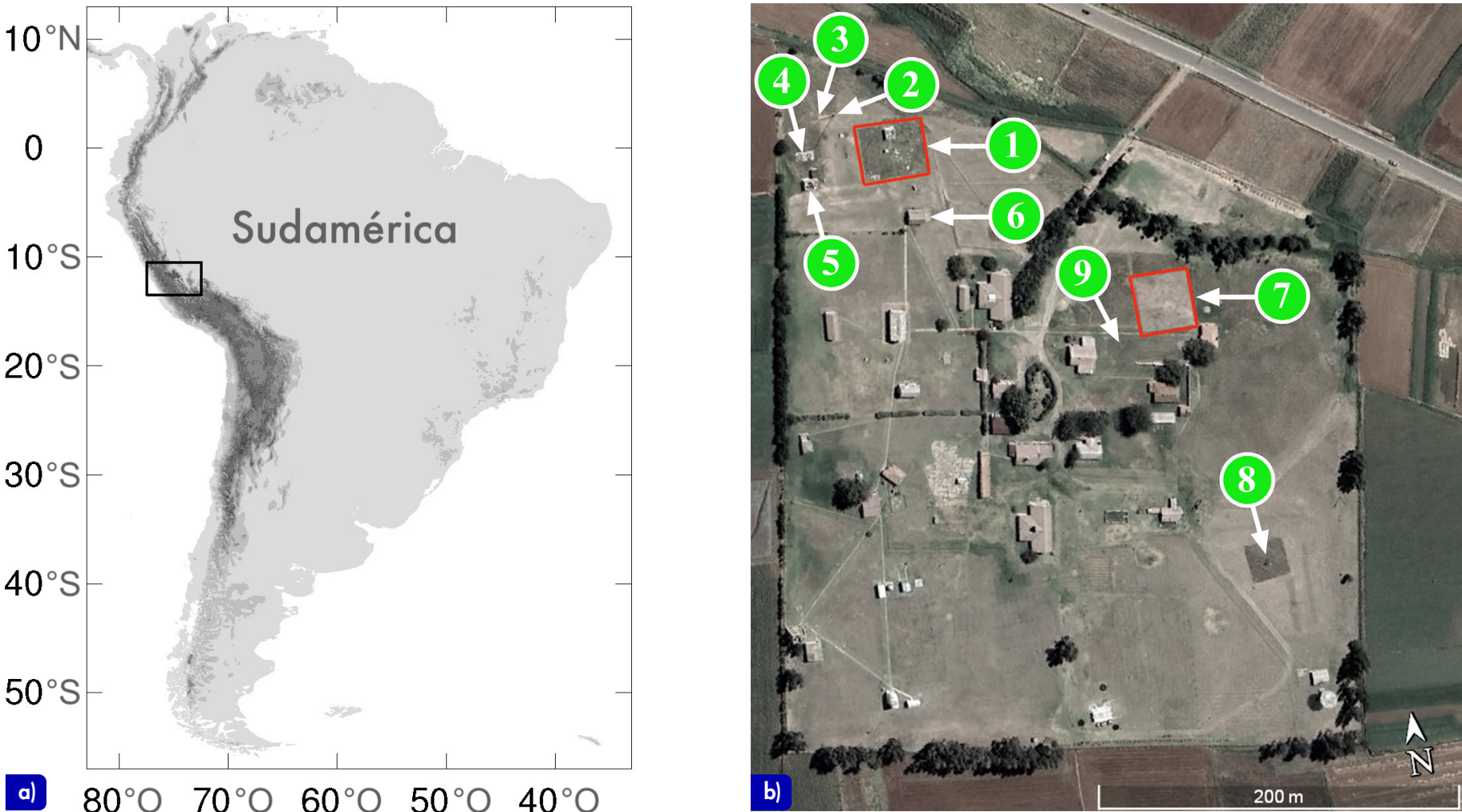


Figura 1. a) Referencia de la ubicación del Observatorio Geofísico de Huancayo en Sudamérica (cuadro negro). b) Vista aérea (Google Earth) del Observatorio Geofísico de Huancayo donde se indican las áreas ocupadas por instrumentos del LAMAR.

Dentro de la parcela de observación meteorológica (1) se encuentran ubicados los siguientes instrumentos: la estación climatológica de Huayao, con instrumental convencional (1A), operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del

Perú (Senamhi) según normas de la OMM (2021); la estación meteorológica automática (1B); el disdrómetro Parsivel 2 (1C); el pluviómetro de peso Pluvio2 S (1D) y el colector de agua de lluvia (1E) (Ver Figura 2).



Figura 2. Algunos instrumentos y estaciones de LAMAR según la distribución presentada en la Figura 1.

3. Tipos de instrumentos y sensores de LAMAR

Los instrumentos de LAMAR se pueden clasificar en tres grupos:

a) Instrumentos con sensores únicos

En ese grupo de instrumentos contamos con el disdrómetro y pluviómetro, los que miden las precipitaciones con diferentes principios. Además,

se dispone de un colector de lluvia que permite tomar muestras para analizar los compuestos isotópicos del agua de lluvia; dos cámaras de cielo (diurna y nocturna) con un ángulo de 360° que permiten visualizar el cielo para evaluar la formación de nubes; un fotómetro solar para medición de aerosoles; un medidor de ozono; un etalómetro para medición de carbono negro en la atmósfera y un radiómetro para medición de la radiación ultravioleta. En la Tabla 1 se detallan algunos principios de medición, las variables que se obtienen y los artículos publicados usando los datos de estos instrumentos.

Tabla 1. Resumen de instrumentos del LAMAR, sus principios de medición, las variables que se obtienen y los artículos que fueron publicados usando los datos de estos instrumentos.

n.º Fig. 1 y 2	Equipo	Principio de Medición	Variable medida	Artículo publicado
1C	Disdrómetro óptico (OTT, modelo PARSIVEL 2)	Óptico, por dispersión de luz láser	- Tasa de lluvia (mm. hr⁻¹) - Velocidad de las gotas (m.s⁻¹) - Reflectividad del radar (dBZ) - Concentración de gotas (log (m³.mm⁻¹))	Valdivia et al. (2022)
1D	Pluviómetro de peso OTT Pluvio2 S	Pesaje mediante una celda de carga	Cantidad e intensidad de la precipitación	
1E	Colector de agua de lluvia	Análisis Isotópicos	Análisis Isotópicos oxígeno 18 y deuterio (VSMOW)	Apaestegui et al. (2023)
5B	Cámara de cielo nocturno OCULUS	Fotografía	Cobertura de nubes	
5C	Fotómetro solar (CIMEL, modelo CE318-T)	Medición de la irradiancia solar y de cielo, en ocho longitudes de onda, modelo 318T de Cimel (Francia)	- AOD 440 y 500 nm (adimensional) - Exponente de Angstrom 440-870 nm (adimensional) - Masa óptica (adimensional) - Agua precipitable (mm de H₂O) - Columna total de ozono (unidades Dobson) - Columna total de dióxido de Nitrógeno (unidades Dobson)	Estevan et al. (2019 a) Estevan et al. (2019 b) Victoria & Estevan (2021) Flores et al. (2021) Cazorla et al. (2024)
6A	Medidor de ozono troposférico	Medición por fotometría UV, modelo 49i de Thermo Scientific de EE.UU.	Concentración de ozono troposférico (ug.m ⁻³)	Suárez-Salas (2021)
6B	Etalómetro	Óptico, por absorción de luz láser en siete longitudes de onda	Concentración de carbono negro en la atmósfera (ng.m ⁻³)	Suárez et al. (2017) Villalobos-Puma et al. (sometido)
9	Radiómetro de radiación ultravioleta (GUV)	Radiómetro de filtro multicanal, modelo GIUV511 de Biospherical Inc. (EE.UU.)	- Irradiancia UV a 305, 320, 340 y 380 nm (uW.cm²) - Radiación PAR (400-700nm) (uE/(cm².sec)) - Índice UV (adimensional)	Suárez et al. (2017)

b) Estaciones y torres con grupo de sensores

Aquí están consideradas las estaciones o torres que cuentan con un conjunto de sensores que, de manera individual o complementaria, permiten la medición

de diferentes variables atmosféricas y de superficie. La torre de gradiente y la torre de flujos permiten evaluar el intercambio de humedad y energía entre el suelo y la atmósfera. En tanto, la BSRN, con todos sus sensores, permite evaluar el balance de energía en la superficie. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Instrumentos de LAMAR agrupados en torres y estaciones.

n.º Fig. 1 y 2	Equipo	Sensores	Variable medida	Referencias
1B	Estación meteorológica automática	- Pluviómetro (Campbell S, modelo CS700) - Termohigrómetro (Vaisala, modelo HMP45) - Barómetro (Setra, modelo CS100) - Anemómetro (Young, modelo 01513V) - Termómetro (CampbellS, modelo 107-L) - Termómetro (Apogee, modelo SI-111) - Piranómetro (Kipp-Zonnen, modelo CMP11) - Pirgeómetro (Kipp-Zonnen, modelo CGR3)	- Precipitación (mm) - Temperatura del aire a 2m (°C) - HR del aire a 2m (%) - Presión atmosférica (hPa) - Velocidad del viento 10 m (ms⁻¹) - Dirección del viento 10 m (°). - Temperatura del aire a 10 cm. - Temperatura de superficie (°) - Radiación solar incidente (Wm⁻²) - Radiación infrarroja incidente (Wm⁻²) - Humedad, temperatura y conductividad 50, 30, 10, 5 y 2 cm (m³/m³, °C, mS/cm)	Callañaupa et al. (2021); Saavedra & Takahashi (2017)
2	Torre de gradiente, 30 metros	06 termohigrómetros (Campbell Scientific, modelo HMP60) 06 anemómetros de cazoletas (Campbell Scientific, modelo 3101) 02 Veletas (Met One, modelo 024A) 01 placa de flujo de calor (Campbell Scientific, modelo HFP01)	- Temperatura (°C), humedad relativa (%) y velocidad del viento (m/s) a 2, 6, 12, 18, 24 y 29 m - Dirección del viento (grados) a 18 y 29 m - Flujo de calor superficial (w/m²) a 8 cm de profundidad del suelo	Flores-Rojas et al. (2019) Flores-Rojas et al. (2021b)
3	Torre de flujos, 4 metros	Higrómetro de criptón (modelo KH2O) y anemómetro sónico (modelo 81000) de Campbell Si., EE.UU. Técnica de Eddy Covariance	Evapotranspiración, flujo de calor sensible y calor latente	Callañaupa et al. (2021)
8	Estación BSRN	03 piranómetros (KIPP&ZONEN, CMP21) 02 pirgeómetros (KIPP&ZONEN, CGR4) 01 pirheliómetro (KIPP&ZONEN, CHP 1)	- Radiación de onda corta incidente y reflejada (W.m⁻²) - Radiación de onda larga incidente y reflejada (W.m⁻²) - Radiación solar directa (W.m⁻²) - Radiación de onda corta difusa (Wm⁻²)	Flores-Rojas et al. (2021a)

c) Radares meteorológicos

LAMAR cuenta con tres radares perfiladores de vientos, nubes y precipitación (Tabla 3). Estos permiten el registro continuo de datos con una distribución

vertical que alcanza hasta los 11 kilómetros de altura. Gracias a ellos, se ha podido explicar la formación y desarrollo de nubes de tormenta, lo que ha contribuido a mejorar el análisis de los modelos atmosféricos. Estos datos son únicos en el Perú.

Tabla 3. Lista de los radares meteorológicos que forman parte del LAMAR, incluyendo los principios de medición, las variables medidas y las publicaciones científicas que hicieron uso de los datos registrados por estos instrumentos.

n.º Fig. 1 y 2	Nombre del equipo y fabricante	Principio de medición	Variable medida	Referencias
4	Radar perfilador de vientos y precipitación-CLAIRE (IGP, Perú)	Emisión de radiación electromagnética en banda UHF (445 MHz)	Perfil vertical del viento y la precipitación	Oscanoa et al. (2017) Valdivia J. (2018) Valdivia et al. (2020) Flores-Rojas et al. (2021a)
5A	Radar perfilador de nubes y precipitación: MIRA 35C (METEK, Alemania)	Emisión de radiación electromagnética en banda Ka (35 GHz)	• Reflectividad (mm6.m-3) • Razón de despolarización línea (LDR) • Velocidad radial (m.s-1) • SNR (Db)	Valdivia et al. (2022) Kumar et al. (2020) Valdivia et al. (2020)
7	Radar de capa límite y tropósfera-BLTR (Genesys Software Pty, Australia)	Emisión de radiación electromagnética en la frecuencia de 10 KHz	Perfil vertical de las componentes zonal, meridional y vertical del viento	Prado J. (2021) Valdivia et al. (2020) Flores-Rojas et al. (2021a)

3. Perspectivas futuras de LAMAR

Durante la última década, el IGP ha realizado esfuerzos significativos para fortalecer el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR), consolidándose como un referente en la medición de parámetros atmosféricos con tecnología avanzada. Este laboratorio es operado y mantenido por personal científico y técnico del IGP en el Observatorio Geofísico de Huancayo, desde donde se ha convertido en un centro crucial para la investigación atmosférica de la región.

LAMAR promueve la colaboración científico-técnica y está abierto a la integración de nuevos instrumentos que permitan un mejor registro de datos atmosféricos para investigar los procesos físicos y dinámicos en la región de los Andes centrales, la evaluación y mejora de modelos numéricos globales y regionales, la realización de investigaciones de intercomparación, entre otros aspectos. Por tanto, LAMAR está abierto a recibir propuestas para incorporar tecnologías específicas que refuercen las mediciones de precipitación y otros parámetros, lo que fomentará la sinergia y el intercambio de conocimientos. Este

enfoque colaborativo refuerza la posición de LAMAR como recurso invaluable para la comunidad científica y académica.

Entre las perspectivas futuras de LAMAR, se contempla su evolución hacia un observatorio GLAFO (The GEWEX Land-Atmosphere Feedback Observatory, https://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1583952472Feb2020.pdf), integrándose como parte fundamental para entender el sistema Tierra desde mediciones locales.

Referencias

Apaéstegui, J., Romero, C., Vuille, M., Sulca, J., & Ampuero, A. (2023). Moisture Sources and Rainfall $\delta^{18}\text{O}$ Variability over the Central Andes of Peru—A Case Study from the Mantaro River Basin. *Water*, 15(10), 1867. <https://doi.org/10.3390/w15101867>

Callañaupa, S., Segura, H., Saavedra, M., Flores, J., Silva, Y., & Cuxart, J. (2021). Seasonal variability of daily evapotranspiration and energy fluxes in the Central Andes of Peru using eddy covariance techniques and empirical methods. *Atmospheric Research*, 261, 105760. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105760>

- Cazorla, M., Giles, D.M., Herrera, E. Suárez, L., Estevan, R., Andrade, M., Bastidas, A. (2024). Latitudinal and temporal distribution of aerosols and precipitable water vapor in the tropical Andes from AERONET, sounding, and MERRA-2 data. *Scientific Reports* 14(1), 897. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51247-9>
- Estevan, R., Martínez-Castro, D., Suarez-Salas, L., Moya, A., & Silva, Y. (2019a). First two and a half years of aerosol measurements with an AERONET sun photometer at the Huancayo Observatory, Peru. *Atmospheric Environment: X*, 3, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100037>
- Estevan, R., Moya Álvarez, A. S. , Suárez Salas, L. F., Álvarez Tolentino, D., Silva Vidal, Y. (2019b). Caracterización de los aerosoles durante las temporadas de quema de biomasa para el período 2015-2018 en el Observatorio de Huancayo, Perú. En L. Á. Ruiz Fernández, J. Estornell Cremades, A. Calle, J. C. Antuña Sánchez (Eds.), *Teledetección: hacia una visión global del cambio climático* (pp. 193-196). Ediciones Universidad de Valladolid. http://www.aet.org.es/congresos/xviii/Libro_ACTAS_XVIII_AET.pdf
- Flores-Rojas, J. L., Silva, Y., Suárez-Salas, L., Estevan, R., Valdivia-Prado, J., Saavedra, M., Giraldez, L., Piñas-Laura, M., Scipión, D., Milla, M., Kumar, S., & Martinez-Castro, D. (2021a). Analysis of Extreme Meteorological Events in the Central Andes of Peru Using a Set of Specialized Instruments. *Atmosphere*, 12(3), 408. <https://doi.org/10.3390/atmos12030408>
- Flores-Rojas, J. L., Moya-Álvarez, A. S., Valdivia-Prado, J. M., Piñas-Laura, M., Kumar, S., Karam, H. A., Villalobos-Puma, E., Martínez-Castro, D., & Silva, Y. (2021b). On the dynamic mechanisms of intense rainfall events in the central Andes of Peru, Mantaro valley. *Atmospheric Research*, 248, 105188. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105188>
- Flores-Rojas, J. L., Cuxart, J., Piñas-Laura, M., Callañaupa, S., Suárez-Salas, L., Kumar, S., Moya-Álvarez, A. S., & Silva, Y. (2019). Seasonal and Diurnal Cycles of Surface Boundary Layer and Energy Balance in the Central Andes of Peru, Mantaro Valley. *Atmosphere*, 10(12), 779. <https://doi.org/10.3390/atmos10120779>
- Kumar, S., Del Castillo-Velarde, C., Valdivia, J. M., Flores, J. L., Callañaupa, S. M., Moya, A. S., Martínez-Castro, D., & Silva, Y. (2020). Rainfall characteristics in the Mantaro basin over tropical Andes from a vertically pointed profile rain radar and in-situ field campaign. *Atmosphere*, 11 (3), 248. <https://doi.org/10.3390/atmos11030248>
- Oscanoa, J., Castillo, C., & Scipión, D. (2017). *CLAIRE: An UHF wind profiler radar for turbulence and precipitation studies*. 2016 IEEE XXIII International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), 1-6 August 2016, Piura, Peru. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2016.7815577>
- Prado, J. J. (2021). *Caracterización de la capa límite atmosférica en el Valle del Mantaro empleando radiosondas y sensores remotos* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental). Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4990>
- Saavedra, M., & Takahashi, K. (2017). Physical controls on frost events in the central Andes of Peru using in situ observations and energy flux models. *Agricultural and Forest Meteorology*. 239, 58-70 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.019>
- Suárez-Salas, L. (2021). Influencia de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la variación de la capa de ozono en la región andina central del Perú. *Boletín Científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, 8(06), 14-20. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5335>
- Suárez, L. F., Flores, J. L., Pereira, A. J., & Karam, H. A. (2017). Ultraviolet solar radiation in tropical central Andes (12.0°S). *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16 (6), 954-971. <https://doi.org/10.1039/c6pp00161k>
- Suarez, L., Torres, C., Helmig, D., Hueber, J., 2017. Medición y análisis del aerosol de carbono negro en el Observatorio de Huancayo, Perú. *Revista Boliviana de Física* 30, 9–17. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232017000100003&lng=es&tlng=es
- Valdivia, J. M. (2018). *Cuantificación de lluvias usando el radar perfilador de banda Ka MIRA 35C* [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental, Un Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4276>
- Valdivia, J. M., Gatlin, P. N., Kumar, S., Scipión, D., Silva, Y., & Petersen, W. A. (2022). The GPM-DPR Blind Zone Effect on Satellite-Based Radar Estimation of Precipitation over the Andes from a Ground-Based Ka-band Profiler Perspective. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 61(4), 441-456. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-20-0211.1>
- Valdivia, J. M., Scipión, D. E., Milla, M., & Silva, Y. (2020). Multi-instrument rainfall-rate estimation in the Peruvian Central Andes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37(10), 1811–1826. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-19-0105.1>
- Victoria, C., Estevan, R. (2021). Comportamiento de los aerosoles atmosféricos en el Observatorio de Huancayo durante los eventos de quema de biomasa del año 2019. *Revista de Investigación de Física* 24(1), 40-54, <https://10.15381/rif.v24i1.20246>
- Villalobos-Puma, E., Suarez, L., Gillardoni, S., Zubieta, R., Martinez-Castro, D., Miranda, A., Bonasoni, P., & Silva, Y. (Año pendiente de publicación). Atmospheric black carbon observations and its valley-mountain dynamics: Eastern Cordillera of the Central Andes of Peru. *Environmental Pollution*. Enviado para su revisión.

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2024-01

Publicado el 16 de febrero de 2024

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), en diciembre se presentó la condición climática cálida moderada (1.61 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de enero (1.12 °C) y febrero (0.64 °C) corresponden a condiciones cálida moderada y cálida débil, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de diciembre (1.97 °C) indica la condición cálida fuerte. Los valores temporales (ONI-tmp) de enero (1.80 °C) y febrero (1.48 °C), corresponden a condiciones cálida fuerte y cálida moderada.

Según los datos observados, se espera el arribo de paquete de ondas de Kelvin frías a la costa peruana en los siguientes días. La onda de Kelvin cálida, que se habría formado por pulsos de viento del oeste que se desarrollaron entre fines de enero e inicios de febrero en la zona occidental y central, de mantener su energía, arribaría a partir de marzo, aunque a la fecha es de una magnitud relevante.

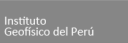
Los resultados mayoritarios del conjunto de modelos de pronóstico, nacionales e internacionales, indican que El Niño en el Pacífico central y El Niño costero mantienen una tendencia a finalizar en los siguientes meses —en mayo y marzo, respectivamente— esto a pesar del incremento de la temperatura del mar observado en las últimas semanas en dichas regiones. Si bien los pronósticos de los modelos indican luego una tendencia a condiciones frías que en el Pacífico central alcanzaría características de un evento La Niña, hay que tener en

cuenta que los pronósticos de los modelos más allá de abril no son muy confiables.

El informe técnico completo se encuentra disponible en <https://bit.ly/InfTecnElNino2024-01IGP>



PERÚ
Ministerio
del Ambiente



Instituto
Geofísico del Perú



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

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° PpR/El Niño-IGP/2024-01

16/02/2024

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

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), en diciembre se presentó la condición climática cálida moderada (1.61 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de enero (1.12 °C) y febrero (0.64 °C) corresponden a condiciones cálida moderada y cálida débil, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de diciembre (1.97 °C) indica la condición cálida fuerte. Los valores temporales (ONI-tmp) de enero (1.80 °C) y febrero (1.48 °C), corresponden a condiciones cálida fuerte y cálida moderada.

Según los datos observados, se espera el arribo de paquete de ondas de Kelvin frías a la costa peruana en los siguientes días. La onda de Kelvin cálida, que se habría formado por pulsos de viento del oeste que se desarrollaron entre fines de enero e inicios de febrero en la zona occidental y central, de mantener su energía, arribaría a partir de marzo, aunque a la fecha es de una magnitud relevante.

Los resultados mayoritarios del conjunto de modelos de pronóstico, nacionales e internacionales, indican que El Niño en el Pacífico central y El Niño costero mantienen una tendencia a finalizar en los siguientes meses —en mayo y marzo, respectivamente— esto a pesar del incremento de la temperatura del mar observado en las últimas semanas en dichas regiones. Si bien los pronósticos de los modelos indican luego una tendencia a condiciones frías que en el Pacífico central alcanzaría características de un evento La Niña, hay que tener en cuenta que los pronósticos de los modelos más allá de abril no son muy confiables.



www.igp.gob.pe

Calle Badoz N° 169
Urb. Mayrazgo IV Etapa
Ate, Lima 15012 - Perú.
(51) 13172300



Con
PUNTE
Perú



BICENTENARIO
PERÚ
2024

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

ENFEN n.º 03-2024



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 febrero de 2024

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado de "Alerta de El Niño Costero", ya que es más probable que El Niño costero (región Niño 1+2, Figura 1) continúe hasta fines de verano, como consecuencia de la evolución de El Niño en el Pacífico central y a la variabilidad de las condiciones climáticas regionales recientemente desarrolladas.

Conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados, así como de los pronósticos de los modelos climáticos internacionales que se tienen hasta la fecha, en la región Niño 1+2 son más probables las condiciones cálidas débiles hasta marzo, mientras que a partir de abril serían más probables las condiciones neutras (Figura 2).

Conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados, así como de los pronósticos de los modelos climáticos internacionales que se tienen hasta la fecha², en la región Niño 1+2 son más probables las condiciones cálidas moderadas en febrero y cálidas débiles en marzo. En abril se espera una transición de

condiciones cálidas débiles a normales. A partir de mayo es más probable un escenario de condiciones neutras (seguidas de condiciones frías), por lo pronto, hasta agosto (Figura 2).

Por otro lado, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1) es más probable que las condiciones cálidas se mantengan hasta abril variando de moderadas a débiles. En mayo y junio son más probables las condiciones neutras, mientras que en julio y agosto, las condiciones frías (Figura 2).

El pronóstico vigente para febrero-abril 2024³ indica la persistencia de las temperaturas del aire por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y centro. Por otro lado, es más probable que las lluvias en la costa norte registren valores normales con eventos puntuales de lluvia de moderada intensidad; mientras que en la sierra norte las lluvias estarían entre valores normales y sobre lo normal. En la región sur andina se prevén lluvias de normal a bajo lo normal, sin descartar lluvias moderadas.

¹ Alerta de El Niño costero: Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENtmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero. Al inicio del texto del CO se indicará un rango de magnitudes tentativas y su posible duración, así como una indicación sobre los posibles impactos en la lluvia y temperaturas.

² Hay que tomar en cuenta que los pronósticos de los modelos climáticos son menos confiables desde abril para adelante, esto como consecuencia de la barrera de predictibilidad (<https://doi.org/10.1002/joc.3513>). Esta situación mejorará cuando los pronósticos se realicen a partir de mayo o junio.

³ Perspectivas climáticas febrero-abril 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-43.pdf>

Entre febrero y mayo se prevén caudales en condiciones hidrológicas normales en los ríos de la zona noroccidental del país, con la posible ocurrencia de crecidas, principalmente, en febrero y marzo. En la zona centro-occidental, se espera en promedio caudales normales, sin descartar eventos de crecidas repentinas que podrían afectar las actividades en los ríos y áreas aledañas, además de posibles activaciones de quebradas. Se prevén caudales en el rango normal a debajo de lo normal en ríos de la región hidrográfica del Pacífico sur y Titicaca. Asimismo, es probable que predominen caudales en condiciones normales en los ríos de la región hidrográfica del Amazonas⁴.

En cuanto a los recursos pesqueros pelágicos, de mantenerse las condiciones actuales, para las próximas semanas, se espera que continúe la declinación progresiva del desove de la anchoveta. Las especies transzonales caballa y jurel mantendrán su disponibilidad para la flota artesanal, principalmente en la zona costera. En relación con los recursos demersales, para las próximas semanas, se espera que se mantenga la disponibilidad y la distribución de la merluza a niveles similares a los observados durante enero de 2024. Asimismo, se espera que el calamar gigante o pota mantenga su disponibilidad a la pesquería, especialmente frente a la costa norte y centro.

Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los posibles escenarios de riesgo, de acuerdo con el pronóstico estacional vigente y las proyecciones hasta agosto, con la finalidad de que se adopten las acciones que correspondan para la reducción del riesgo y la preparación para la respuesta.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el viernes 01 de marzo de 2024.

- Para mayor información, consultar el Informe Técnico Mensual en el siguiente enlace: <https://bit.ly/InfTecENFEN03-2024>
- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace: <https://bit.ly/comunicadoENFEN03-2024>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN



⁴ Pronóstico hidrológico a nivel nacional febrero-junio 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-42.pdf>



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