



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

Interacción entre
las ondas Kelvin
intraestacionales
y las ondas de
inestabilidad
tropical

Pág. 5

Modelamiento
estadístico para el
pronóstico mensual
de precipitaciones
en Perú

Pág. 14

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 21

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 22

BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 9 n.º 06 Junio 2022



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Vol.9 n.º 06 Junio 2022

CRÉDITOS

Modesto Montoya

Ministro del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz

Director Científico

Ken Takahashi

Director

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Editor:

Kobi Mosquera Vásquez

Diseño y diagramación

Unidad Funcional de Comunicaciones

Carátula: océano Pacífico

Foto: Ekrulila

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, setiembre de 2022

EDITORIAL

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

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

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

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

Uno de los dos artículos que se presentan en este boletín lleva como título *Interacción entre las Ondas Kelvin Intraestacionales y las Ondas de Inestabilidad Tropical*, donde se describe las características de las ondas de Kelvin intraestacionales y las de inestabilidad tropical, así como los trabajos realizados hasta la fecha sobre esta interacción, en especial el que emplea un análisis espacial de campos de datos denominado *Funciones Ortogonales Empíricas Complejas*, investigación que recientemente ha sido publicada en una revista indexada.



Foto: Ekrulila

EDITORIAL

El segundo artículo se titula *Modelamiento estadístico para el pronóstico mensual de precipitaciones en Perú* y en este se describen los detalles del modelo estadístico, así como su *skill* para pronosticar las lluvias del verano en quince regiones del Perú desde junio del año anterior. Este modelo se ha ajustado con información del periodo 1981-2016 para realizar los pronósticos en el periodo 2017-2022.

En la sección correspondiente a el resumen del informe técnico de El Niño, los índices muestran que la temperatura superficial del mar, tanto frente a la costa del Perú como en el Pacífico central, continúan con valores por debajo del rango normal y se mantendrían así hasta julio de 2022 y enero de 2023, respectivamente. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.

Al final de este boletín se incluye el Comunicado Oficial del ENFEN correspondiente a este número, el cual indica que se mantiene en el estado de “Alerta de La Niña costera” debido a que se espera que la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 continúe con valores por debajo de lo normal hasta agosto de 2022, siendo más probable la magnitud fría débil. De la misma manera, en el Pacífico central se espera que La Niña continúe, por lo pronto, hasta octubre.



Foto: Ekrulila

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

INTERACCIÓN ENTRE LAS ONDAS KELVIN INTRAESTACIONALES Y LAS ONDAS DE INESTABILIDAD TROPICAL

Gabriela Escobar-Franco¹

RESUMEN

Se sabe que en el estado promedio del Pacífico ecuatorial existen diferencias entre la zona occidental y oriental. Por un lado, los vientos alisios ecuatoriales, que van de este a oeste, provocan el ascenso de aguas subsuperficiales en la región oriental induciendo a que las aguas superficiales sean más frías que aquellas localizadas en la zona occidental. Por otro lado, esta diferencia de temperaturas provoca cambios de presión atmosférica que, a su vez, contribuyen a mantener los vientos alisios. Este estado promedio puede cambiar, de cuando en cuando, a otra fase denominada El Niño (La Niña), caracterizada por el debilitamiento (aumento) de la intensidad de los alisios, que provoca un incremento (disminución) de la temperatura superficial del mar en la zona oriental por varios meses, lo cual afecta el clima en distintas regiones del mundo, entre ellas la de sudamérica. Estas fases llevan consigo, generalmente, el desarrollo de ondas ecuatoriales largas, donde la que se denomina Kelvin contribuye, también, al cambio de las condiciones promedio del Pacífico ecuatorial y, más aún, la de la costa sudamericana. Además de las ondas Kelvin, en el Pacífico ecuatorial oriental, se forman las ondas de Inestabilidad tropical generadas por el cizallamiento de las corrientes ecuatoriales y el gradiente térmico formado por la lengua fría. Se conoce que las Ondas de Inestabilidad Tropical son la segunda fuente de mayor variabilidad en el Pacífico Sudeste y que guarda una relación no lineal con las fases de El Niño, pudiendo frenar el desarrollo de un evento de La Niña en el Pacífico oriental. Ambas ondas alteran varias variables oceánicas, así como otros procesos físicos, y en esta ocasión se describe la interacción entre la onda Kelvin intraestacional y las ondas de inestabilidad Tropical, basado en un análisis espacial de campos de datos denominado *Funciones Ortogonales Empíricas Complejas*.

Palabras clave: ondas Kelvin, onda de inestabilidad tropical, El Niño, La Niña.

AFILIACIÓN:

1. Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, Université de Toulouse III, CNRS, Toulouse, France.

Citar como: Escobar-Franco, G. (2020). Interacción entre las Ondas Kelvin Intraestacionales y las Ondas de Inestabilidad Tropical. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 9 n.º 06. págs. 5-13.

INTRODUCCIÓN

ONDAS KELVIN

A lo largo de la línea ecuatorial se encuentra un tipo de onda de gravedad no dispersiva, conocida como onda Kelvin, la cual viaja hacia el este del Pacífico, generada, principalmente, por pulsos de vientos en la región occidental del Pacífico (Luther et al., 1983). Las ondas Kelvin son capaces de modificar la estructura térmica, a nivel superficial y subsuperficial, y la energía cinética (Rydbeck et al., 2019), así como el sistema de corrientes en la región ecuatorial, modulando su transporte hacia la costa americana. En el Pacífico ecuatorial se encuentran los vientos predominantes del este (en inglés *Easterlies Winds trades*) que mantienen la termoclina más (menos) profunda en el oeste (este) del Pacífico ecuatorial, permitiendo que el agua más cálida se encuentre en el oeste de la cuenca. Dependiendo de la anomalía del viento, ver Figura 1, se pueden presentar pulsos anómalos del oeste (este) que debilitan (fortalecen) estos vientos predominantes del este, disminuyendo (aumentando) la pendiente de la termoclina y redistribuyendo la energía térmica en el Pacífico ecuatorial. El estrés de los pulsos de vientos anómalos modulan las características de la región ecuatorial, siendo los pulsos anómalos de vientos del oeste (este) los que generan la propagación de ondas Kelvin de hundimiento (afloramiento), aumentando (disminuyendo) el nivel del mar, el contenido de calor sobre la termoclina y la temperatura superficial del mar a lo largo de la línea ecuatorial (Kutsuwada y McPhaden, 2002). Las ondas Kelvin tienen un papel importante en el inicio y desarrollo de eventos El Niño (Picaut et al., 1997; Suarez y Schopf, 1988; Mosquera-Vásquez et al., 2014), siendo más fuertes las ondas Kelvin de hundimiento durante los eventos El Niño que durante La Niña, en donde las ondas Kelvin de afloramiento son más débiles y no atraviesan toda la cuenca ecuatorial, impactando la variabilidad en el sistema acoplado océano-atmósfera a diferentes escalas de tiempo.

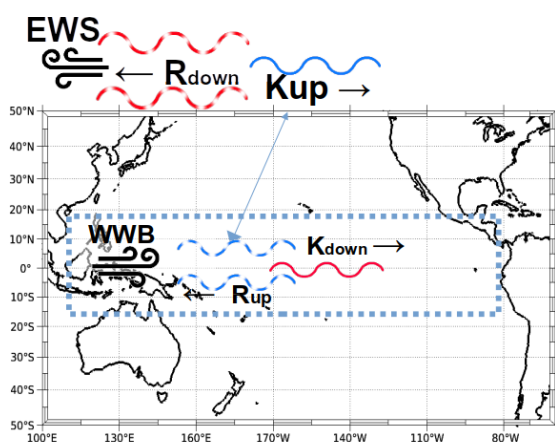


Figura 1. Esquema de la propagación de la onda Kelvin. K_{up}: onda Kelvin de afloramiento; K_{down}: onda Kelvin de hundimiento; R_{up}: onda Rossby de afloramiento; R_{down}: onda Rossby de hundimiento; IKWs: ondas Kelvin intraestacionales; EWB: vientos anómalos del este; WWB: vientos anómalos del oeste.

ONDAS DE INESTABILIDAD TROPICAL

Una segunda fuente de variabilidad intraestacional en el Pacífico oriental son las ondas de Inestabilidad Tropical (Tropical Instabilities Waves en inglés, TIWs), observadas en fuertes gradientes de temperatura superficial, primeramente por Legeckis (1997). Las TIWs son claramente identificadas entre 160°W-90°W y 4°N-4°S (Chelton et al., 2000) como ondas sinusoidales con cúspides y dirección oeste, en el límite norte de la lengua fría, como se observa en la Figura 2. Son generadas por inestabilidades barotrópicas y baroclínicas, con periodos de 15 a 40 días, cuyas longitudes de ondas son de 700 a 1600 km (Philander, 1976; Cox, 1980; Qiao y Weisberg, 1995; Masina et al., 1999; Kennan y Flament, 2000; Lyman et al., 2007). Las inestabilidades barotrópicas son el resultado del cizallamiento meridional entre la Contracorriente Norecuatorial y la Corriente Surecuatorial (Philander, 1978; Cox, 1980; Imada y Kimoto, 2012), y entre la Contracorriente Norecuatorial y la Corriente Ecuatorial Subsuperficial (Luther y Johnson, 1990; Lyman et al., 2007). Por otro lado, las inestabilidades baroclínicas están asociadas a la energía potencial en el frente de densidad meridional (o frente ecuatorial) entre la lengua fría y las masas de aguas cálidas del norte, lo cual puede contribuir en el desarrollo de las TIWs (Yu et al., 1995).

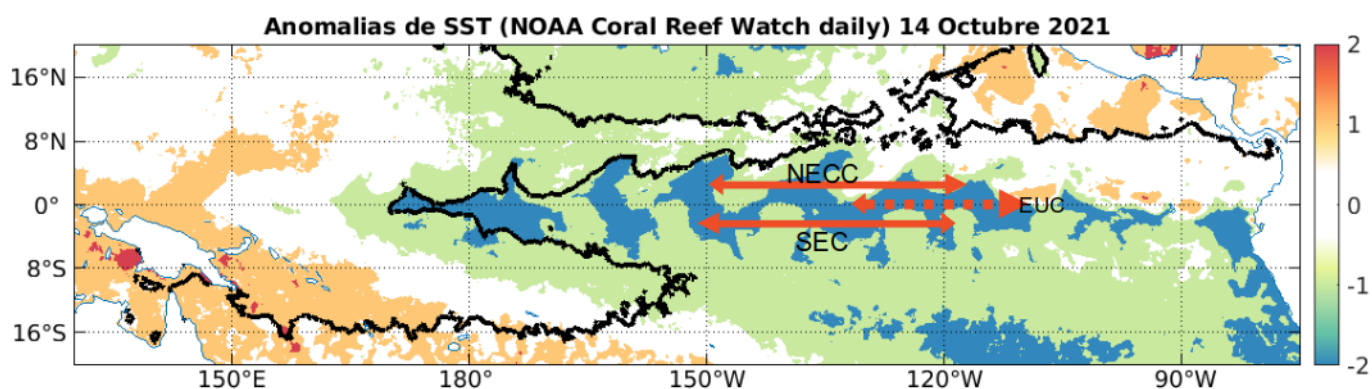


Figura 2. Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) obtenidas de la imagen satelital del 14 de octubre de 2021 (NOAA Coral Reef Watch, 2019). El contorno de la línea negra indica la isoterma de 28 °C del mismo día.

Las TIWs juegan un rol importante en el transporte meridional de calor, siendo más activo durante los eventos La Niña que durante El Niño, se ha demostrado que una fuerte actividad de TIWs puede tener un rol importante en “frenar” o disminuir el desarrollo de La Niña, como en el caso del verano boreal de 2016 (Xue et al., 2020). Los mecanismos por los cuales las TIWs se generan son los siguientes: 1) anomalías positivas de la temperatura superficial incrementan el gradiente superficial meridional de temperatura a lo largo del frente ecuatorial, favoreciendo el desarrollo de inestabilidades baroclínicas, las cuales proporcionan energía para el desarrollo de TIWs por conversión de la energía potencial (en inglés Potencial Energy, PE) turbulenta en energía cinética turbulenta (en inglés Eddy Kinetic Energy, EKE). 2) Las TIWs se pueden generar también por las inestabilidades barotrópicas, en donde los cambios en la energía cinética turbulenta provienen de las inestabilidades del flujo medio por el cizallamiento entre las corrientes ecuatoriales. Sea cual sea el mecanismo de generación de las TIWs, el desarrollo de una fuerte actividad de TIWs puede transportar el calor desde fuera del ecuador hacia la lengua fría, por medio de procesos de mezcla, advección zonal y contribuciones a la termoclina. De este modo, las TIWs pueden modular la asimetría del contenido de calor meridional, contribuyendo con un calentamiento mayor a 0.8 °C/mes durante La Niña y aproximadamente 0.4 °C/mes durante El Niño (Xue et al., 2020), como en el evento de 2016.

ESTUDIOS EXISTENTES SOBRE LA INTERACCIÓN DE LAS ONDAS KELVIN Y DE INESTABILIDAD TROPICAL

Estudios teóricos y casos de estudio con observaciones sugieren que estas dos fuentes de variabilidad, las IKWs y las TIWs, pueden interactuar no linealmente, tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las teorías de interacción entre las ondas Kelvin y TIWs.

Estudio	Teoría y mecanismo
Allen et al. (1995)	Los pulsos anómalos de vientos generan la propagación de ondas Kelvin que se reflejan fuera de la costa Sudamericana como ondas Rossby (o en el frente zonal de estratificación aproximadamente en 120°W, como explican Mosquera-Vásquez et al., 2014), que a su vez modifican la fase y velocidad de las TIWs.
Harrison y Giese (1988) y Giese y Harrison (1991)	El paso de la onda Kelvin afecta el sistema de corrientes zonales en el Pacífico ecuatorial oriental, que a través de cambios en la profundidad de la termoclina contribuye a la advección zonal de calor desde el oeste, modulando la advección meridional de calor de las TIWs.
Holmes y Thomas (2016) (a partir de ahora HT16)	El paso de una onda Kelvin intraestacional puede romper el balance entre las corrientes zonales ecuatoriales e inducir cambios en el balance de la energía cinética turbulenta de las TIWs.

En el estudio de HT16 se analiza la modulación de las TIWs en el Pacífico oriental debido al paso de las ondas Kelvin intraestacionales, por medio del balance de energía cinética de TIWs con simulaciones a 1/4° de resolución, en donde se simula un solo pulso de onda Kelvin para cada experimento de fase de la onda. El paso de una onda Kelvin de afloramiento (hundimiento) intensifica (disminuye) la circulación ecuatorial, incrementando la actividad de las TIWs por medio del mecanismo de producción de cizallamiento lateral generado por las corrientes.

La interacción entre IKWs y las TIWs ha sido también observada por Qiao y Weisberg (1998), entre agosto y diciembre de 1990 en el Pacífico ecuatorial central, en donde se evidenció que el fin de la estación activa de TIWs coincidió con la llegada de fuertes IKWs desde el Pacífico oeste, estos procesos indujeron la reducción del cizallamiento meridional entre las corrientes ecuatoriales que a su vez resulta en una reducción de la intensidad de las TIWs, ejemplificando un evento de interacción entre las TIWs y las ondas Kelvin intraestacionales y su efecto en el balance de energía cinética.

Tomando como referencia el estudio de HT16, se busca comprender los mecanismos de esta interacción a escala intraestacional, utilizando datos diarios del nivel del mar (CMEMS, AVISO; Taburet et al., 2019) desde 1993 hasta el 2018 (Escobar-Franco et al., 2022; a partir de ahora EBD22), con una resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Se calcularon las anomalías intraestacionales del nivel del mar y posteriormente las Funciones Ortogonales Empíricas (EOF) Complejas para analizar las características espacio-temporales de la propagación de ambas ondas.

Se evidenció la existencia de dos modos estadísticamente significativos del acoplamiento entre ambas ondas, a pesar de sus diferentes características, con lo que se explica el 21 % de la varianza total. El patrón espacial de la parte real de los EOF complejos muestra los nodos TIWs, similar al estudio de Xue et al. (2020), siendo mayor la señal en el primer modo, mientras que para la propagación de la onda Kelvin es el segundo modo EOF complejo que muestra la mayor amplitud en el nivel del mar, como se observa en la Figura 3. Por otro lado, se comparó la contribución de los dos modos EOF complejos en la región de TIWs ($3-7^\circ\text{N}$, $165-107^\circ\text{W}$) con índices TIWs (Boucharel y Jin, 2020). Dado que las TIWs pueden observarse en diferentes variables oceánicas como nodos positivos y negativos de anomalías de la temperatura superficial del mar, del nivel del mar y la velocidad zonal (como se observa en la Figura 4), Boucharel y Jin (2020) definieron al índice de TIWs como la sumatoria de las anomalías de temperatura superficial del mar de estos nodos igualmente espaciados y un desfase de 90° entre los nodos positivos y negativos. Además, la cuantificación de la amplitud de las TIWs es definida como la raíz cuadrada del índice de TIWs.

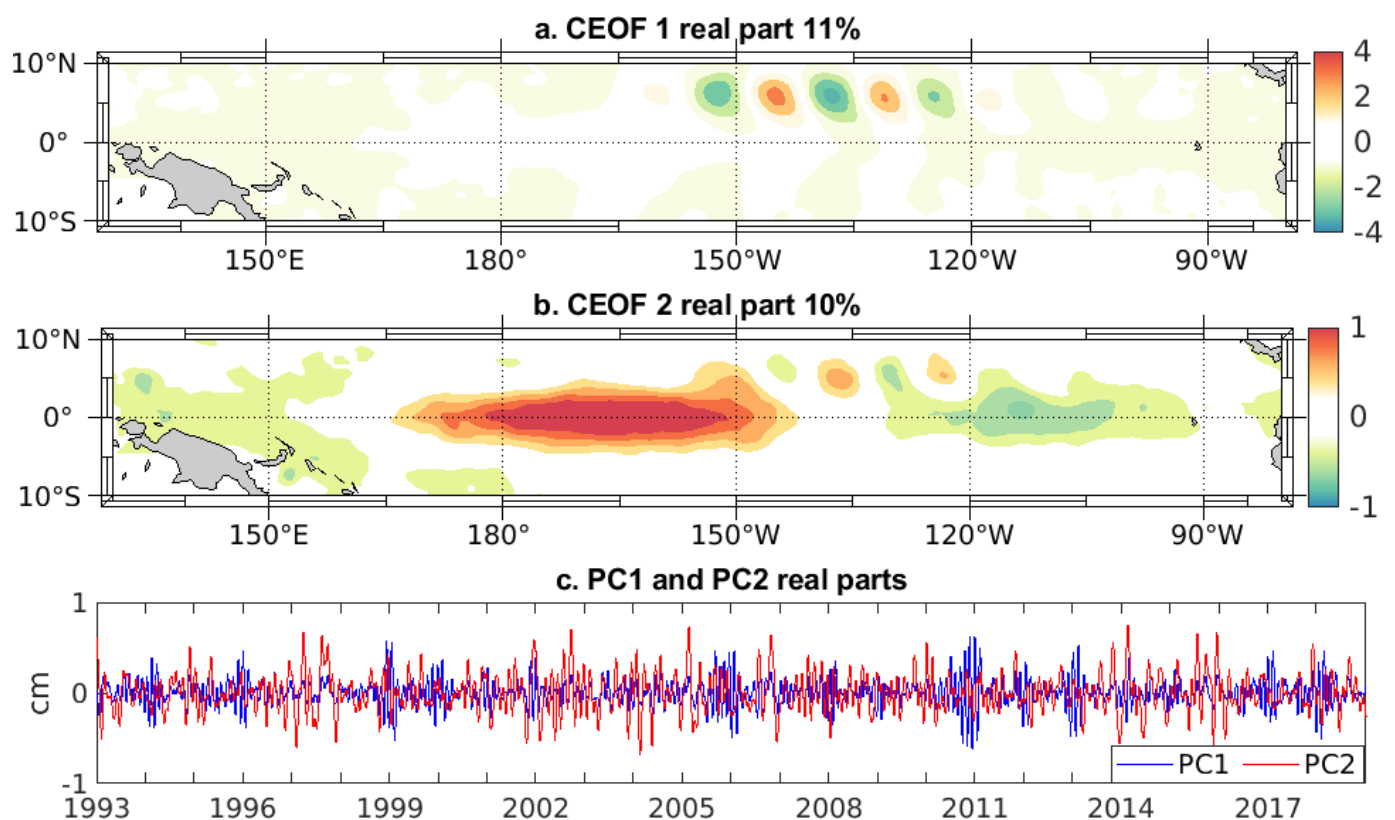


Figura 3. Descomposición EOF complejos de las anomalías intraestacionales del nivel del mar: parte real del primer (a) y segundo (b) modo. (c) Serie temporal de la media corrida de 30 días de los dos primeros componentes principales. Fuente: EBD22.

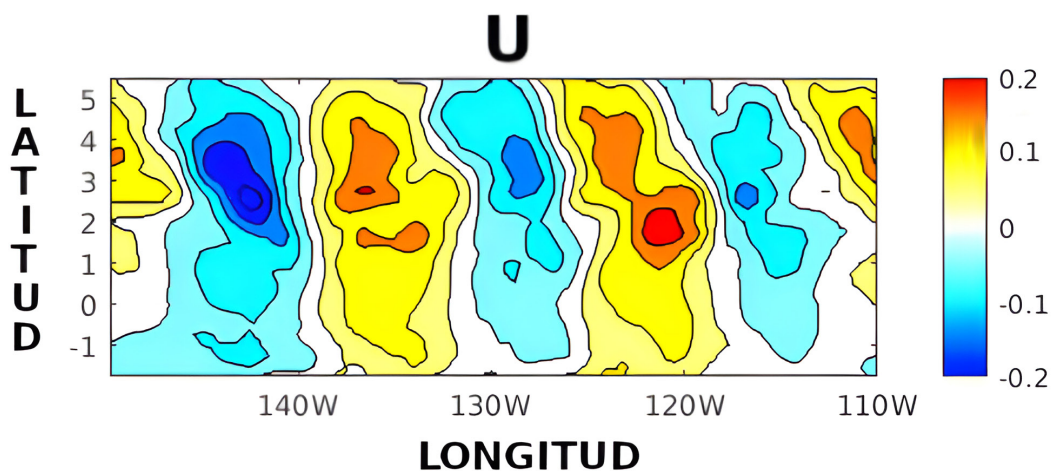


Figura 4. Corriente Zonal Geostrófica (m/s) en la región de TIWs. Datos de AVISO/CMEMS.

Se obtuvieron correlaciones entre 0.5 y 0.7, lo cual confirma que ambos modos estadísticos captan la variabilidad de las TIWs. Ambos modos indicaron tener su pico de actividad durante el verano y otoño, consistentes con la estacionalidad de la interacción entre las ondas Kelvin y TIWs. Particularmente, el segundo modo EOF complejo presenta la mayor señal proyectada de las ondas Kelvin y es el que permite identificar 25 (28) eventos de onda Kelvin de hundimiento (afloramiento) relacionada con la actividad TIWs. El primer modo EOF complejo muestra la interacción de ambas ondas con mayor proyección de las TIWs. Para mayor detalle de la metodología empleada para el diagnóstico de la interacción de las ondas, referirse a EBD22 y para el cálculo de los EOF complejos y su uso en variables oceánicas se pueden revisar los siguientes estudios: Barnett (1983), Stein et al. (2011), Boucharel et al. (2013) y Boucharel et al. (2016).

Además, se utilizaron otros datos de observaciones: la temperatura superficial del mar (OISST, Huang et al., 2020), las corrientes geostóficas (AVISO) y el esfuerzo del viento superficial, calculado a partir de datos del reanalysis ERA5 (Hersbach et al., 2018). Se realizaron compuestos de las perturbaciones de vientos que a su vez fuerzan la propagación de la onda Kelvin en el nivel del mar correspondiente al segundo modo EOF complejo. En la Figura 2 de EBD22, se ilustra a través de compuestos de los 25 eventos positivos (ondas de hundimiento) y 28 eventos negativos (ondas de afloramiento), con retardos y adelantos de 5 días respecto al pico de la interacción, cómo los pulsos y ráfagas de viento del oeste (este) son capaces de iniciar la propagación de una onda Kelvin de hundimiento (afloramiento) y el incremento de la actividad TIWs. Para interpretar la contribución de las IKWs en las anomalías del nivel del mar reconstruido a partir del segundo modo EOF complejo (Figura 2 de EBD22), se proyectaron las anomalías del nivel del mar y del esfuerzo del viento sobre las estructuras meridionales del modo Kelvin, según la aproximación de Cane and Sarachik (1976), para datos satelitales del nivel del mar (Boulanger y Menkes, 1995; Perigaud y Dewitte, 1996), en donde se considera que la mayor variabilidad en el nivel del mar puede ser explicada por el primer modo baroclínico del océano.

A pesar de que el análisis de EOF complejos no permite cuantificar la asimetría en la variabilidad de la interacción entre las ondas, con un nivel de significancia del 90 % basado en un test t-Student, el pasaje de las ondas Kelvin de afloramiento tienden a promover incrementos en la amplitud de las TIWs en un 15 % más que las ondas Kelvin de hundimiento. Este resultado (aunque con una respuesta más débil) es coherente con el estudio anteriormente descrito de HT16, en el cual evidencia que la energía cinética de las TIWs disminuyen (incrementan) un 38 % (42 %) debido al paso de las ondas Kelvin de hundimiento (afloramiento).

Otro aspecto importante a resaltar en la discusión es que las distintas aproximaciones metodológicas muestran diferentes tiempos de respuesta de las TIWs por el paso de ondas Kelvin, siendo más rápidas (10-15 días) en el estudio de EBD22 que en el de HT16 con un retardo de 60 días.

En el caso de los EOF complejos, se observa el efecto de ondas Kelvin consecutivas produciendo un efecto acumulativo en la actividad TIWs que en el caso de analizar el efecto de un solo pulso de onda Kelvin (HT16). Por otro lado, por medio de las observaciones fue posible cuantificar la contribución meridional del término no lineal del contenido de calor (non linear dynamic heating en inglés, NDH) que tiene la fuerte interacción entre IKWs y TIWs hacia la lengua fría, induciendo el calentamiento de 0.8 °C/mes, magnitud comparable con el calentamiento debido a estos términos a escalas estacionales e interanuales, observándose mayor dispersión durante los eventos de onda Kelvin de afloramiento como se observa en el esquema de la Figura 5. Sin embargo, es importante recalcar que el efecto individual de cada IKWs o del tren de IKWs en la respuesta de la actividad TIWs es diverso.

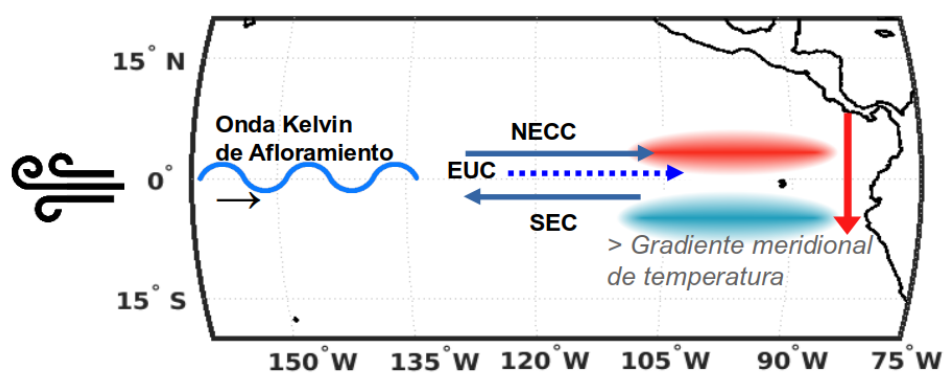


Figura 5. Esquema del calentamiento meridional a través de procesos no lineales debido a la interacción entre las ondas Kelvin y TIWs. NECC: Contracorriente Norecuatorial; EUC: Subcorriente Ecuatorial y SEC: Corriente Surecuatorial.

DESAFÍOS ACTUALES

La advección de la temperatura por parte de las TIWs tiene un impacto en el ciclo climatológico, la temperatura superficial del mar y el estado medio del océano; por lo tanto, existe todavía la necesidad de que los modelos globales representen mejor las características de las TIWs. Como se ha mencionado anteriormente, las TIWs tienen el efecto de disminuir el gradiente meridional de la temperatura por medio de la advección de calor hacia la lengua fría. Maillard et al. (2022) señalan que existe además un efecto de rectificación (de enfriamiento), por el cual las TIWs inducen un debilitamiento y profundización de la corriente ecuatorial subsuperficial, modulando la advección zonal media como contrapeso al efecto directo de las TIWs en la lengua fría, estas aproximaciones y estudios permiten a futuro poder contar con mayor conocimiento para el desarrollo de parametrizaciones que representen mejor las TIWs en los modelos.

Además, estos resultados motivan a profundizar el estudio de la interacción entre las IKWs y TIWs, mediante simulaciones numéricas, con el objetivo poder cuantificar la disipación de las ondas ecuatoriales, los cambios en el balance de energía turbulenta y el impacto que tienen las ondas ecuatoriales a lo largo de la costa de América del Sur.

REFERENCIAS

- Cox, M. D. (1980). Generation and propagation of 30-day waves in a numerical model of the Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 10(8), 1168–1186. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1980\)010<1168:GAPODW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1980)010<1168:GAPODW>2.0.CO;2)
- Escobar-Franco, M. G., Boucharel, J., y Dewitte, B. (2022). On the Relationship Between Tropical Instability Waves and Intraseasonal Equatorial Kelvin Waves in the Pacific From Satellite Observations (1993–2018). *Front. Mar. Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.788908>
- Giese, B. S., y Harrison, D. E. (1991). Eastern equatorial Pacific response to three composite westerly wind types. *J. Geophys. Res.*, 96 (S01), 3239–3248. <https://doi.org/10.1029/90JC01861>
- Harrison, D. E., y Giese, B. S. (1988). Remote westerly wind forcing of the eastern equatorial Pacific; Some model results. *Geophys. Res. Lett.*, 15 (8), 804–807. <https://doi.org/10.1029/GL015i008p00804>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D. y Thépaut, J.-N. (2018): ERA5 hourly data on pressure levels from 1959 to present.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on January 1st, 2020). DOI: 10.24381/cds.bd0915c6
- Holmes, R. M. y Thomas, L. N. (2016). Modulation of Tropical Instability Wave Intensity by Equatorial Kelvin Waves. *J. Phy. Oc.* 46 (9), 2623–2643. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-16-0064.1>
- Huang, B., Liu, C., Banzon, V. F., Freeman, E., Graham, G., Hankins, B., Smith, T. M. y Zhang, H.. (2020). NOAA 0.25-degree Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST), Version 2.1. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.25921/RE9P-PT57>
- Imada, Y. y Kimoto, M. (2012). Parameterization of tropical instability waves and examination of their impact on ENSO characteristics. *J. Climate*, 25, 4568–4581, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00233.1>
- Kennan, S. C. y Flament, P. J. (2000). Observations of a tropical instability vortex. *J. Phys. Oceanogr.*, 30 (9), 2277–2301, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2000\)030<2277:OOATIV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2000)030<2277:OOATIV>2.0.CO;2)
- Kutsuwada, K. y McPhaden, M. (2002). Intraseasonal variations in the upper equatorial Pacific Ocean prior to and during the 1997–98 El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, 32(4), 1133–1149. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2002\)032<1133:IVITUE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2002)032<1133:IVITUE>2.0.CO;2)
- Legeckis, R. (1977). Long waves in the eastern equatorial Pacific Ocean: A view from a geostationary satellite. *Science*, 197 (4309), 1179–1181. DOI: 10.1126/science.197.4309.1179
- Luther, D. S. y Johnson, E. S. (1990). Eddy energetics in the upper equatorial Pacific during the Hawaii-to-Tahiti shuttle experiment. *J. Phys. Oceanogr.*, 20(7), 913–944, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1990\)020<0913:EEITUE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1990)020<0913:EEITUE>2.0.CO;2)
- Luther, D. S., Harrison, D. E. y Knox, R. A. (1983). Zonal winds in the Central Equatorial Pacific and El Niño. *Science*, 222(4621), 327–330. <https://doi.org/10.1126/science.222.4621.327>
- Lyman, J. M., Johnson, G. C. y Kessler, W. S. (2007) Distinct 17- and 33-day tropical instability waves in subsurface observations. *J. Phys. Oceanogr.*, 37(4), 855–872. <https://doi.org/10.1175/JPO3023.1>
- Maillard, L., Boucharel, J. y Renault, L. (2022). Direct and Rectified effects of Tropical Instability Waves on the eastern tropical Pacific mean state in a regional ocean model. *J. Phys. Oceanogr.* <https://doi.org/10.1175/JPO-D-21-0300.1>

Masina, S., S., Philander, G. H. y Bush, A. B. G. (1999). An analysis of tropical instability waves in a numerical model of the Pacific Ocean. Part II: Generation and energetics of the waves. *J. Geophys. Res.*, 104(C12), 29 637-29 661. <https://doi.org/10.1029/1999JC900226>

Mosquera-Vásquez, K., Dewitte, B., y Illig, S. (2014). The Central Pacific El Niño intraseasonal Kelvin wave. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 6605–6621. <https://doi.org/10.1002/2014JC010044>

NOAA Coral Reef Watch. (2019). Updated daily. NOAA Coral Reef Watch Version 3.1 Daily 5 km Satellite Regional Virtual Station Time Series Data for Southeast Florida, Mar. 12, 2013-Mar. 11, 2014. College Park, Maryland, USA: NOAA Coral Reef Watch. Data set accessed 2020-02-05 at <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/data.php>

Perigaud, C. y Dewitte, B. (1996). El Niño–La Niña Events Simulated with Cane and Zebiak’s Model and Observed with Satellite or In Situ Data. Part I: Model Data Comparison. *J. Clim.*, 9(1), 66–84. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<0066:ENNE SW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<0066:ENNE SW>2.0.CO;2)

Philander, S. G. H. (1976). Instabilities of zonal equatorial currents. *J. Geophys. Res.*, 81(21), 3725–3735, <https://doi.org/10.1029/JC081i021p03725>

Philander, S. G. H. (1978). Instabilities of zonal equatorial currents, 2. *J. Geophys. Res.*, 83(C7), 3679–3682, <https://doi.org/10.1029/JC083iC07p03679>

Picaut J., F. Masia y du Penhoat, Y. (1997). An advective-reflective conceptual model for the oscillatory nature of the ENSO. *Science*, 277(5326), 663-666. DOI: 10.1126/science.277.5326.663

Qiao, L. y Weisberg, R. H. (1995). Tropical instability wave kinematics: Observation from the Tropical Instability Wave Experiment. *J. Geophys. Res.*, 100(C5), 8677–8693. <https://doi.org/10.1029/95JC00305>

Qiao, L., y Weisberg, R. H. (1998). Tropical Instability Wave Energetics: Observations from the Tropical Instability Wave Experiment. *J. Phys. Oceanogr.*, 28(2), 345–360. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028<0345:TIWEOF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<0345:TIWEOF>2.0.CO;2)

Rydbeck, A. V., Jensen, T. G. y Flatau, M. (2019). Characterization of Intraseasonal Kelvin Waves in the Equatorial Pacific Ocean. *J. Geophys. Res. Oceans*, 124(3), 2028–2053. <https://doi.org/10.1029/2018JC014838>

Stein, K., Timmermann, A. y Schneider, N. (2011). Phase Synchronization of the El Niño-Southern Oscillation with the Annual Cycle. *Phys. Rev. Lett.*, 107(12), <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.107.128501>

Suarez, M. J. y Schopf, P. S. (1988). A Delayed Action Oscillator for ENSO, *J. Atmos. Scien.*, 45(21), 3283-3287. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1988\)045<3283:ADAOFE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1988)045<3283:ADAOFE>2.0.CO;2)

Taburet, G., Sanchez-Roman, A., Ballarotta, M., Pujol, M.-I., Legeais, J.-F., Fournier, F., Faugere, Y., y Dibarboure, G. (2019). DUACS DT2018: 25 years of reprocessed sea level altimetry products. *Ocean Sci.*, 15, 1207–1224. <https://doi.org/10.5194/os-15-1207-2019>

Xue, A., Jin, F., Zhang, W., Boucharel, J., Zhao, S. y Yuan, X. (2020). Delineating the Seasonally Modulated Nonlinear Feedback Onto ENSO From Tropical Instability Waves. *Geophys. Res. Lett.*, 47(7). <https://doi.org/10.1029/2019GL085863>

Yu, Z., McCreary, J. P. y Proehl, J. A. (1995). Meridional asymmetry and energetics of tropical instability waves. *J. Phys. Oceanogr.*, 25(12), 2997–3007. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1995\)025<2997:MAAEOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1995)025<2997:MAAEOT>2.0.CO;2)

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

MODELAMIENTO ESTADÍSTICO PARA EL PRONÓSTICO MENSUAL DE PRECIPITACIONES EN PERÚ

Aldo S. Moya-Álvarez¹, Gerardo Rivera¹ y Kobi Mosquera¹

RESUMEN

Se construye un modelo estadístico de pronóstico mensual de precipitaciones para Perú, basado en la relación de varios índices climáticos oceánicos y atmosféricos, así como de los índices de la oscilación de Madden-Julian, con la variabilidad estacional de la precipitación en el país, a inicializar en el mes de junio de cada año. Se aplicó la técnica de regresión lineal entre los índices y la precipitación grillada de la fuente de datos de PISCO para el período diciembre-marzo, meses que corresponden a la estación lluviosa en Perú. El modelo se construyó con datos correspondientes al período 1981-2016 y se verificó con los registros de precipitación correspondientes a los años 2017-2022 para 15 zonas dentro de la costa, sierra y selva. El valor del error medio absoluto (MAE, por sus siglas en inglés) fue mejor para la selva, con excepción de los pronósticos para enero en la selva norte. El mejor rendimiento se obtuvo para marzo en la selva sur y central. En cuanto a la sierra, el mejor rendimiento del modelo se obtuvo para la sierra sur y central, en ambos casos para la vertiente Atlántica. Para la selva, el mejor rendimiento se obtuvo en la parte alta. En 8 de las 12 regiones correspondientes a la sierra y la selva, el modelo realizó “pronósticos correctos” en más del 60 % de los casos, y en uno, selva sur baja, muy cercano al 60 %.

Palabras clave: pronóstico de lluvias, modelamiento estadístico, regresión lineal

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Citar como: Moya, A., Rivera G. y Mosquera K. (2022). Modelamiento estadístico para el pronóstico mensual de precipitaciones en Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 9 n.º 06. págs. 14-20.

INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones juegan un papel fundamental en la sociedad y la economía de cada país dada su utilidad como recurso indispensable, tanto para el consumo humano como para su uso en la industria y, fundamentalmente, en el desarrollo agrícola de cualquier nación. Sin embargo, éstas también pueden constituir un peligro cuando exceden su comportamiento normal, que producen eventos lluviosos que frecuentemente dan lugar a inundaciones y al desborde de los ríos, que por lo general provocan la pérdida de cuantiosos recursos económicos y, en ocasiones, hasta de vidas humanas. A veces, estos eventos están relacionados con la fase cálida o fría de El Niño-Oscilación del Sur (Takahashi, 2004; Lagos et al., 2008; Lavado-Casimiro y Espinoza, 2011; Sulca et al., 2017). Por ello, se requiere generar herramientas que apoyen el monitoreo y pronóstico de eventos de lluvias. La mayoría de las lluvias en Perú se concentran en el período comprendido entre septiembre y abril (Silva et al, 2008), definiendo una marcada estacionalidad, con una estación seca entre mayo y agosto (Aceituno, 1989; Vuille et al, 2008; Garreaud, 2009).

En el presente trabajo se construye un modelo estadístico de pronóstico de precipitaciones mensuales para todo el Perú, basado en la relación entre la variabilidad estacional de la lluvia en el Perú y varios índices climáticos oceánicos y atmosféricos, así como de los índices RMM (Real-Time Multivariate MJO). El modelo se construyó aplicando la técnica de regresión lineal entre los mencionados índices y una base de datos grillada de precipitación para el período diciembre-marzo (período de lluvias). El modelo se construyó con datos correspondientes al período 1981-2016, y se inicializó en junio de cada año.

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos de precipitación ("predictando") fueron tomados para diciembre, enero, febrero y marzo, de la base de datos interpolados de las observaciones climatológicas e hidrológicas del SENAMHI (PISCO; Lavado et al., 2018) del período 1981-2016. Los datos de PISCO constituyen una grilla de 26 334 puntos que abarcan todo el Perú, de los cuales 19 617 se ubican sobre tierra. Los predictores (ver Tabla 1) se tomaron también para el período 1981-2016. Se tomó el comportamiento de los predictores durante los 12 meses previos al mes de inicialización del modelo, en este caso, junio.

Foto: Jorge Concha

Tabla 1. Resumen de las teorías de interacción entre las ondas Kelvin y TIWs.

ONI	Índice Oceánico Niño
ICEN	Índice costero El Niño
NAO	Oscilación del Atlántico Norte
AO	Oscilación del océano Ártico
EP/NP	Oscilación del Pacífico Este / Pacífico Norte
WP	Índice del Pacífico Occidental
SOI	Índice de Oscilación del Sur
TSA	Índice del Atlántico Sur Tropical
TNA	Índice del Atlántico Norte Tropical
C y E	Nuevos índices no correlacionados, basados en los EOF principales de la anomalía de la TSM en el océano Pacífico, que dan cuenta respectivamente de los eventos cálidos extremos en el este y los eventos cálidos fríos / moderados en el Pacífico ecuatorial central, correspondientes a regímenes con diferente evolución.
RMM1 y RMM2	Índices Multivariados en tiempo real de la oscilación de Madden-Julian

MÉTODO

Se aplicó la técnica de regresión lineal múltiple en su modalidad de Perfect-Prog (Glahn y Lowry, 1972). Sobre esta base, se construyó una ecuación de regresión múltiple para cada punto de la grilla de PISCO, de manera que el pronóstico de precipitaciones comprende todo el país. Visto así, se construirían 19 617 ecuaciones de pronóstico (modelos).

VERIFICACIÓN

La verificación de los resultados se realizó para 15 regiones, promediando para cada una los resultados de los pixeles correspondientes a cada región, tanto del pronóstico como de la precipitación registrada:

- Coste norte, costa central y costa sur
- Sierra norte occidental y oriental
- Sierra central occidental y oriental
- Sierra sur occidental y oriental
- Selva norte alta y baja
- Selva central alta y baja
- Selva sur alta y baja

Los estadísticos empleados fueron el sesgo (bias) y el error absoluto medio (MAE), los que se calcularon con los resultados obtenidos para la muestra independiente 2017-2022. También se calculó el porcentaje de “pronósticos correctos”, entendiéndose el porcentaje de ocasiones en que el modelo pronosticó por encima/debajo de la media histórica y se cumplió. También se incluyeron como pronósticos correctos a aquellos casos en que el módulo de las anomalías, tanto pronosticada como observada, no rebasó el 10 %.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra la desviación absoluta media del pronóstico respecto a la precipitación registrada para diciembre, enero, febrero y marzo para las regiones consideradas. De forma general, se puede apreciar que el modelo muestra el mejor rendimiento para la selva, donde el valor del MAE estuvo por debajo o cercano al 25 %, con excepción de los pronósticos para enero en la selva norte. En este sentido, hay que resaltar que los mejores resultados se obtuvieron para marzo, tanto en la selva sur como en la selva central.

En relación con la sierra, los mejores rendimientos se obtuvieron para la sierra sur y central, en ambos casos en la vertiente oriental para diciembre, enero y marzo. Los pronósticos para la vertiente del Pacífico de la sierra mostraron bajo rendimiento.

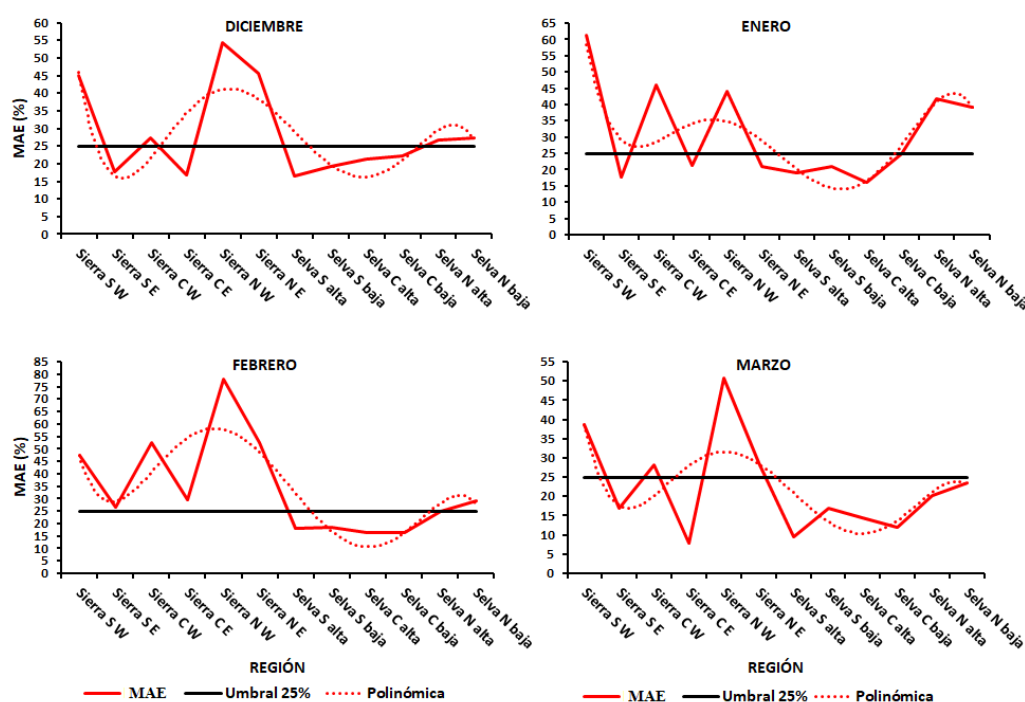


Figura 1. Desviación absoluta media del pronóstico respecto a la precipitación registrada para diciembre, enero, febrero y marzo para todas las regiones consideradas. La curva polinómica es la tendencia de quinto orden aplicada al rendimiento del modelo a través de las regiones mostradas en la gráfica.

En cuanto a la efectividad general del modelo, la Figura 2 muestra el porcentaje general de los pronósticos correctos emitidos para todas las regiones consideradas. En 8 de las 12 regiones correspondientes a sierra y selva el modelo realizó “pronósticos correctos” en más del 60 % de los casos, y en uno, selva sur baja, muy cercano al 60 %. En este sentido, el modelo mostró un rendimiento bajo solo en la sierra norte y en la selva norte baja, con efectividad por debajo del 45 %. Para la selva central baja mostró una efectividad cercana al 80 %.

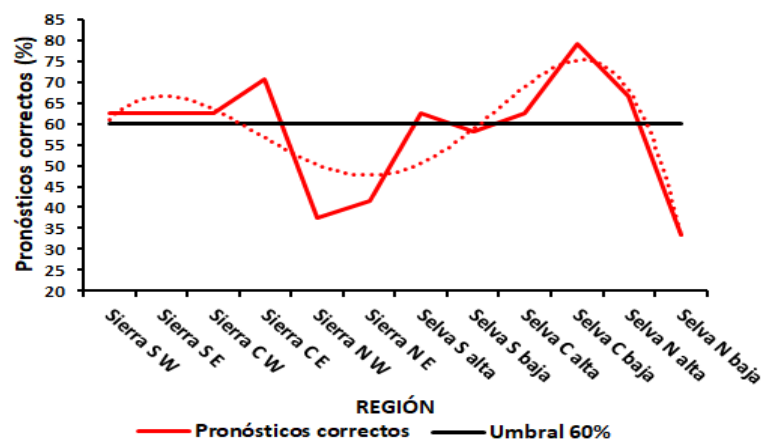


Figura 2. Porcentaje general de pronósticos correctos emitidos para todas las regiones consideradas. La curva punteada es del tipo polinómica.

La Figura 3 resume el comportamiento de la desviación absoluta media del pronóstico respecto a la precipitación registrada para las vertientes del Pacífico y Atlántico de la sierra y para la selva alta y baja. En la figura se observa que el modelo mostró el mejor rendimiento para la vertiente Atlántica de la sierra y para la selva alta. El rendimiento del modelo para la zona costera (no se muestra en el artículo) resultó muy bajo en cuanto al porcentaje de error. De igual forma, el modelo no detectó los eventos lluviosos asociados a los eventos de El Niño 1982-1983 y 1997-1998. Los predictores más informativos fueron los índices WP, NAO, E, AO, TSA y la MJO.

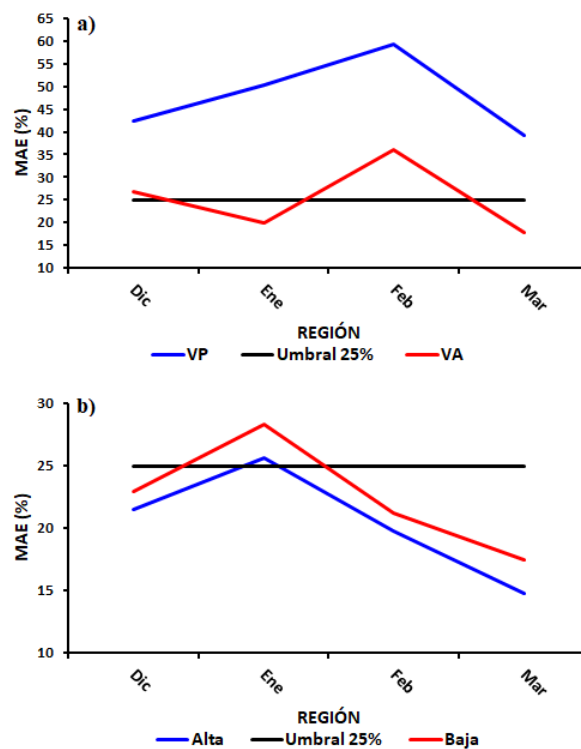


Figura 3. Desviación absoluta media del pronóstico respecto a la precipitación registrada para las vertientes del Pacífico y Atlántico de la sierra (a) y para la selva alta y baja (b).

CONCLUSIONES

Se construyó un modelo estadístico de pronóstico estacional de precipitaciones, basado en la técnica de regresión lineal para 15 zonas de Perú, que cubren costa, sierra y selva. Los resultados fueron los siguientes:

- El modelo muestra el mejor rendimiento para la región de la selva, donde el MAE se comportó por debajo o cerca al 25 %, con excepción de los pronósticos para enero en la selva Norte.
- El mejor rendimiento del modelo se obtuvo para el mes de marzo en la selva sur y selva central.
- Para la sierra, el mejor rendimiento del modelo se obtuvo para la sierra sur y central, en ambos casos para la vertiente Atlántica.
- En 8 de las 12 regiones correspondientes a sierra y selva, el modelo realizó “pronósticos correctos” en más del 60 % de los casos, y en uno, selva sur baja, muy cercano al 60 %.
- Para la sierra el modelo mostró mejor rendimiento en su vertiente atlántica, mientras para la selva, el mejor rendimiento se obtuvo en la parte alta.
- Los predictores más informativos fueron los índices WP, NAO, E, AO, TSA y la MJO.

REFERENCIAS

Aceituno, P. (1989). On the functioning of the southern oscillation in the South American, sector. Part II. Upper-air circulation, J. Clim., 2(4), 341-355, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1988\)116<0505:OTFOTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1988)116<0505:OTFOTS>2.0.CO;2)

Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. Adv. in Geosc., 22, 3-11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>

Glahn, H.R. y Lowry, D.A. (1972). The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting. J. Appl. Meteor. and Clim., 11 (8), 1203-1211. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1972\)011<1203:tuomos>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1972)011<1203:tuomos>2.0.co;2)

Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., y Mosquera, K. (2008). El Niño-related precipitation variability in Perú. Adv. Geosci., 14, 231-237. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-231-2008>

Lavado-Casimiro, W. y Espinoza, J. C. (2014). Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). Rev. bras. meteorol., 29(2), 171-182. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>

Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A. y Obando, O. F. (2016). PISCO: Peruvian interpolated data of the SENAMHI's climatological and hydrological observations. Precipitación v1.0. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, pp. 5.

Silva, Y., Takahashi, K. y Chávez, R. (2008). Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Adv. Geosci.*, 14, 261-264. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-261-2008>

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.C., Vuille, M. y Lavado-Casimiro, W. (2017). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *Int. J. Climatol.*, 38(1), 420-435. <https://doi.org/10.1002/joc.5185>

Takahashi, K. (2004). The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997—1998 and 2002 El Niño events. *Ann. Geophys.*, 22, 3917–3926. <https://doi.org/10.5194/angeo-22-3917-2004>

Vuille, M., Kaser, G. y Juen, I. (2008). Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. *Glob. Planet. Chang.*, 62(1-2), 14-28. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP n.º 068/EL NIÑO-IGP/2022-05



Foto: Sebastian Voortman

Para el mes de abril, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), en la costa peruana se presentó la condición climática fría débil ($-1.10\text{ }^{\circ}\text{C}$), entre tanto los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de mayo ($-1.38\text{ }^{\circ}\text{C}$) y junio ($-1.30\text{ }^{\circ}\text{C}$) indican condiciones frías moderada. Por otro lado, para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de abril ($-1.08\text{ }^{\circ}\text{C}$) corresponde a la condición fría moderada, y los valores temporales (ONI-tmp) de mayo ($-1.00\text{ }^{\circ}\text{C}$) y junio ($-0.80\text{ }^{\circ}\text{C}$), indican la condición fría moderada y fría débil, respectivamente. Según las observaciones, in situ y satelital, el núcleo de la onda de Kelvin cálida habría arribado a la costa sudamericana durante el mes de mayo. Por otro lado, según los resultados de los modelos de ondas, una onda de Kelvin fría estaría próxima a arribar a la costa sudamericana. Finalmente, una onda de Kelvin cálida, según los datos observados, se localiza alrededor de los 140°W .

El promedio de las predicciones de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de junio de 2022— para el Pacífico oriental indica condiciones de frías moderadas a débiles hasta julio, y condiciones neutras de agosto a enero de 2023, aunque aún con valores negativos. Por otro lado, para el Pacífico central, se esperarían condiciones frías débiles hasta el mes de enero de 2023, lo que indicaría, según estos resultados, que La Niña en el Pacífico central se extendería hasta dicha fecha. Esto podría significar, según las investigaciones científicas, la deficiencia de lluvias durante noviembre en los Andes centrales y sur del Perú.

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2022-05 a través del siguiente enlace:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5268>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN n.º 06-2022

CALLAO, 16 DE JUNIO DE 2022

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **ALERTA DE LA NIÑA COSTERA¹**

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado “Alerta de La Niña costera”, debido a que se espera que la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 continúe con valores por debajo de lo normal hasta agosto de 2022; siendo más probable la magnitud fría débil. Por otro lado, se espera que continúe la presencia de La Niña en el Pacífico central, con una mayor probabilidad de magnitud débil entre junio y octubre del presente año.

Se prevé que para el trimestre julio-setiembre de 2022, en promedio, las condiciones de lluvia estén dentro de sus valores normales en gran parte del país. Asimismo, se esperan que las temperaturas extremas del aire presenten valores por debajo de lo normal en la costa centro y sur, debido a las condiciones frías anómalas de la temperatura superficial del mar, así como de los patrones atmosféricos asociados.

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



**ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO “EL NIÑO”**

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

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

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN n.º 06-2022 a través de los siguientes enlaces:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5236>

<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-06-2022/>

Redes IGP:

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

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

 https://twitter.com/igp_peru

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