



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



Programa Presupuestal por Resultados N° 068
"Reducción de vulnerabilidad y atención de
emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación
del riesgo de desastres"

BOLETÍN TÉCNICO

Foto: Proyecto GOES NASA

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

**Influencia de ENOS en los eventos
extremos de precipitación en los Andes
centrales peruanos durante el verano**

VOL. 6 N° 1 ENERO 2019

Contenido

3 - 4	Introducción
5 - 9	Artículo de Divulgación Científica
10 - 12	Avances científicos
13 - 16	Resumen del Informe Técnico
17 - 19	Comunicados Oficiales del ENFEN

Créditos

Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación del riesgo de desastres".
Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño".

Fabiola Muñoz
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP

Danny Scipión
Director Científico IGP

Yamina Silva
Directora de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Kobi Mosquera
Responsable de la elaboración del Boletín
El Niño - IGP

Equipo científico: Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura, Gerardo Rivera

Edición: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Imagen satelital del territorio peruano
Foto: Proyecto GOES NASA

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
IV Etapa - Ate
Teléfono (511) 3172300

Impreso por:
INVERSIONES IAKOB S.A.C.
Telf. (051-1) 2963911
Dirección: Av. Iquitos 1481 – La Victoria

Lima, febrero de 2019

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional
del Perú N° 2014-02860

Introducción

El Programa Presupuestal por Resultados (PPR) es una estrategia de gestión pública que vincula la asignación de recursos a productos y resultados medibles a favor de la población. Dichos resultados se vienen implementando progresivamente a través de los programas presupuestales, las acciones de seguimiento del desempeño sobre la base de indicadores, las evaluaciones y los incentivos a la gestión, entre otros instrumentos que determina el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) a través de la Dirección General de Presupuesto Público, en colaboración con las demás entidades del Estado.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres", que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural océano-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones a 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 pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

El presente Boletín tiene como objetivo difundir conocimientos científicos, avances científicos y noticias relacionadas a este tema, con la finalidad de mantener informados a los usuarios y proporcionarles las herramientas para un uso óptimo de la información presentada. Además, comparte una versión resumida del Informe Técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068. Dicho Informe contiene información actualizada operativamente y proporcionada por el IGP como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será diseminada a los usuarios. Se advierte que, en caso de discrepancias, el Informe Técnico del ENFEN prevalecerá.

Los resultados de esta actividad están disponibles en: <http://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrito al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

En el marco de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), el IGP rutinariamente aporta información experta sobre modelos y pronósticos relacionados con El Niño y fenómenos asociados.



ENFEN

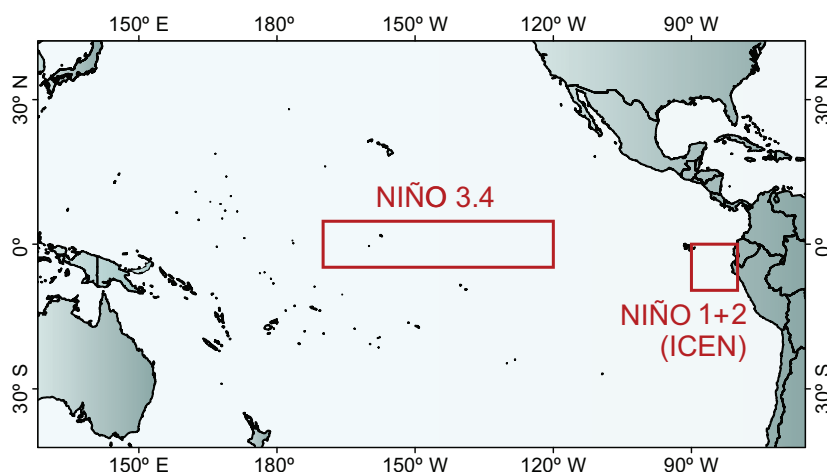
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Esta Comisión es de naturaleza permanente, depende del Ministerio de la Producción y tiene por objeto la emisión de informes técnicos de evaluación y pronóstico de las condiciones atmosféricas, oceanográficas, biológico-pesqueras, ecológico marinas e hidrológicas que permitan mejorar el conocimiento del Fenómeno "El Niño" para una eficiente y eficaz gestión de riesgos (Decreto Supremo N° 007-2017-PRODUCE).

Para este fin, el ENFEN realiza el pronóstico, monitoreo y estudio continuo de las anomalías del océano y la atmósfera del mar peruano y a nivel global, a través de la elaboración de estudios y análisis científicos basados en la información proveniente de diversas redes de observación y modelos de variables oceanográficas, meteorológicas, hidrológicas y biológico-pesqueras. También, emite mensualmente pronunciamientos que son preparados colegiadamente, acopiando la mejor información científica disponible y de competencia de cada institución respecto de su sector y genera la información técnica para su difusión a los usuarios.

Además, un objetivo central del ENFEN es estudiar el Fenómeno El Niño, con el fin de lograr una mejor comprensión del mismo, poder predecirlo y determinar sus probables consecuencias, lo cual se desarrolla mediante la investigación científica.

El ENFEN es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados



El mapa muestra las dos regiones que definen los principales índices de temperatura superficial del mar utilizadas para monitorizar El Niño y La Niña. La región Niño 1+2 (90°-80°W, 10°S-0°), en la que se basa el Índice Costero El Niño (ICEN), se relaciona con impactos en la costa peruana, mientras que la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) se asocia a impactos remotos en todo el mundo, incluyendo los Andes y Amazonía peruana.

Influencia de ENOS en los eventos extremos de precipitación en los Andes centrales peruanos durante el verano



Juan Carlos Sulca

INVESTIGADOR
ASOCIADO
DEL INSTITUTO
GEOFÍSICO DEL
PERÚ (IGP)

MSc. en Ciencias de la University at Albany-SUNY en New York, EE.UU. y Físico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Actualmente es investigador asociado en la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del IGP. Es autor de 'artículos publicados en revistas internacionales, y, recientemente, su investigación está enfocada en los impactos del ENOS en las lluvias de América del Sur a través de teleconexiones atmosféricas.



Mathias Vuille, Ph.D.

PROFESOR ASOCIADO DE LA UNIVERSIDAD DE ALBANY-SUNY EN NEW YORK, EE.UU.



Dra. Yamina Silva

DIRECTORA DE LA SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA E HIDRÓSFERA DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP)



Ken Takahashi, Ph.D.

PRESIDENTE EJECUTIVO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI)

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Mantaro (CM) está ubicada en los Andes centrales del Perú ($10^{\circ}34'-13^{\circ}35'S$, $73^{\circ}55'-76^{\circ}40'W$) y cubre un área aproximada de 34 550 km²; su topografía es compleja y tiene altitudes que varían entre 500 y 5350 msnm. El periodo de lluvias se presenta durante el verano del hemisferio sur (diciembre-marzo) y está asociado con los vientos del este en los niveles altos de la tropósfera; mientras que los meses secos se asocian con los vientos del oeste (IGP, 2005a). Ocasionalmente, la CM registra episodios secos o húmedos de corta duración (i.e., algunos días), con impactos negativos en la población y la economía local, tales como inundaciones, daños

en los cultivos y en la infraestructura vial. Sin embargo, el conocimiento sobre los mecanismos físicos que ocasionan estos eventos extremos de precipitación en la CM aún es limitado.

La mayoría de los trabajos se han centrado en analizar las tendencias de los eventos extremos de precipitaciones en algunas regiones del Perú. Por ejemplo, Haylock et al. (2006) indican una tendencia de aumento de episodios lluviosos en el Ecuador y el norte del Perú, mientras que, en la región sur de este último, se observa una disminución. Para la CM, Silva et al. (2008), en el periodo 1971- 2000 encontraron una tendencia negativa del 2% década⁻¹ para la precipitación anual y de un 4% década⁻¹ para la temporada húmeda. Sin

embargo, ninguno de estos estudios realizaron un análisis de la relación entre los episodios extremos de lluvia y la circulación de gran escala.

El impacto del ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) en la variabilidad estacional de las precipitaciones en los Andes centrales del Perú es mejor comprendida. Por ejemplo, Silva et al. (2008) resaltaron que la fase positiva del ENOS (El Niño) inhibe las precipitaciones sobre la CM mientras que la fase negativa del ENOS (La Niña) favorece las precipitaciones. Por otro lado, existen pocos estudios sobre los impactos de las diferentes fases del ENOS en los eventos extremos de lluvias en los Andes centrales del Perú tales como la frecuencia de ocurrencia. Este conocimiento sobre la vinculación entre eventos extremos de lluvias en la CM y forzantes de gran escala, como el ENOS, podrían permitir el desarrollo de modelos de pronóstico a corto plazo.

Por ello, el objetivo central de este estudio es caracterizar los patrones de circulación atmosférica durante los episodios secos y lluviosos en época de verano en la cuenca del río Mantaro y su relación con el ENOS. La principal expectativa de nuestro estudio es que los resultados contribuyan al mejoramiento y desarrollo de técnicas de pronóstico de los eventos de lluvias extremas en los Andes centrales del Perú.

DATA Y METODOLOGÍA

Para este trabajo se usan datos grillados para el periodo 1965–2002 de viento horizontal, velocidad vertical, humedad específica, radiación de onda larga saliente (OLR, por sus siglas en inglés) y altura geopotencial a 850 hPa y 200 hPa del *reanalysis* NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996), con una resolución horizontal de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$. Para caracterizar los patrones de precipitación sobre el hemisferio sur durante el periodo 1979–2002, se utilizaron datos grillados de precipitación en pentadas (promedio de 5 días consecutivos) de la CPC *Merged Analysis of Precipitation* (CMAP; Xie and Arkin, 1997), el cual tiene una resolución de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$.

Las condiciones ENOS son definidas de acuerdo al índice oceánico El Niño de la NOAA. Por lo cual, cada año es categorizado como Neutral, El Niño o La Niña (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).

Por último, se usa el criterio de compuestos para identificar los patrones de circulación atmosférica y de precipitación asociados con eventos extremos de lluvias en la CM. Se aplicó el *Student's t-test* (Wilks, 2011) para establecer la significancia estadística de los compuestos.

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LOS EVENTOS EXTREMOS DE LLUVIAS EN VERANO EN LA CM

Durante el periodo de estudio se identificaron 58 episodios secos y 43 episodios lluviosos en la CM con una duración promedio de 7.24 y 3.54 días, respectivamente.

Los resultados de los compuestos para los episodios secos y lluviosos en la CM incluyen patrones de anomalías de vientos a 200 y 850 hPa; humedad específica a 850 hPa; y OLR, los cuales son mostrados en la Figura 1. La Figura 1a muestra que los episodios secos en la CM se caracterizan por presentar un dipolo de OLR con anomalías positivas sobre el área de estudio, asimismo, existen anomalías negativas de OLR sobre el noreste de Brasil (NEB). Las anomalías positivas también muestran que las condiciones secas y reducción de actividad convectiva afectan a una región más grande. Por lo tanto, los episodios secos están relacionados con anomalías de la circulación de gran escala, al mismo tiempo que inducen una mayor actividad convectiva sobre NEB, potencialmente relacionada con un cambio de la posición de la Zona de Convergencia del Atlántico del Sur (ZCAS) hacia el noreste. Durante los episodios lluviosos (Fig. 1b), las anomalías de la OLR se invierten, aunque el área de mayor actividad convectiva es más extensa y afecta a toda la región de los Andes centrales, desde Colombia hasta el norte de Argentina. Nuevamente, se puede observar un polo de anomalías positivas de OLR al este de Brasil, que se extiende sobre la ZCAS.

Las anomalías de OLR en ambos tipos de episodios están claramente vinculadas con anomalías del viento zonal de gran escala en la tropósfera alta sobre los Andes peruanos. La Figura 1b muestra que las anomalías del viento del oeste prevalecen sobre los Andes centrales a 200 hPa durante los episodios secos en la CM, evidenciando un debilitamiento de la Alta de Bolivia (BH, siglas en inglés). Al mismo tiempo que las anomalías positivas de altura geopotencial y vientos del sur son observados en la baja del noreste (NL, por sus siglas en inglés), las cuales están asociadas con un aumento de la actividad convectiva en el NEB. La circulación ciclónica anómala con centro en 15°S y 50°W , junto con las anomalías anticiclónicas en el Atlántico tropical y la convergencia de vientos en el Atlántico, son características de una ZCAS intensificada (Carvalho et al., 2004). Durante episodios lluviosos, los vientos sobre la CM se invierten esencialmente (Fig. 1d), mientras que las anomalías negativas de altura geopotencial y una circulación anticiclónica anómala prevalecen sobre la NEB. Estas anomalías de circulación observadas durante los episodios secos y lluviosos en la CM son consistentes con un debilitamiento e intensificación

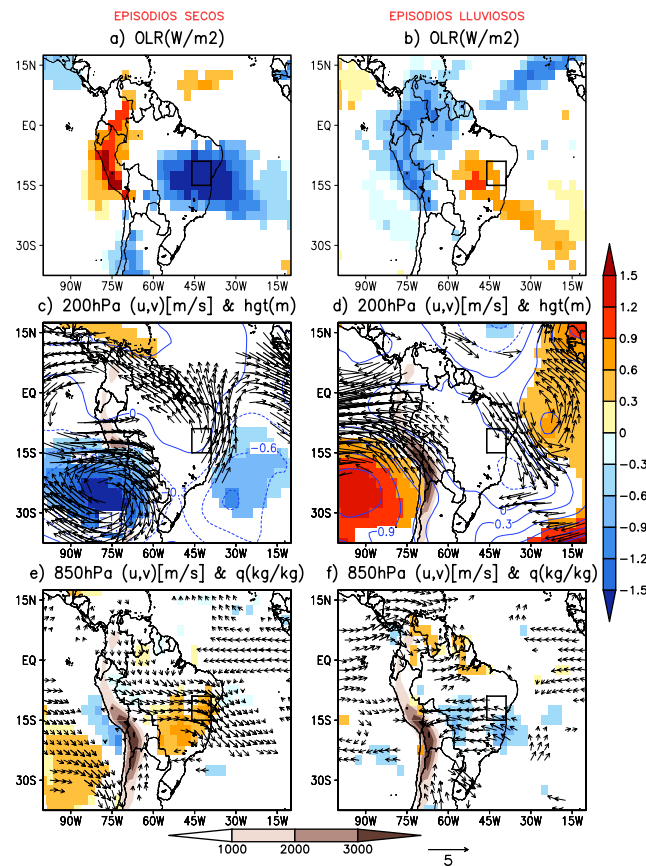


Figura 1. Compuestos asociados a (a, c y e) episodios secos y (b, d y f) lluviosos en la cuenca del río Mantaro durante el verano: (a y b) anomalías de OLR (W/m^2), (c y d) anomalías de vientos (m/s) y altura geopotencial (m) a 200 hPa, y (e y f) anomalías de vientos y humedad específica a 850 hPa. Vectores en negrita representan anomalías de vientos estadísticamente al 95% de nivel de confianza. Sombras de colores representan anomalías de OLR, altura geopotencial y humedad específica estadísticamente al 95% de nivel de confianza. Anomalías de OLR (W/m^2) han sido escalado por un factor de 0.1. Círculo negro (Caja negra) representa la localización de la CM (NEB). Sombras grises representan la topografía de los Andes. Adaptado de Sulca et al. (2016).

del sistema Alta de Bolivia-baja del Noreste (BH-NL), respectivamente (Chen et al., 1999).

Las anomalías del viento del oeste durante los periodos secos todavía son evidentes a 500 hPa (Figura no mostrada) y se extienden a lo largo de Sudamérica

hacia el Atlántico tropical sur. Las anomalías de OLR se reflejan en las anomalías de humedad específica a los 500 hPa, donde nuevamente resalta la señal del dipolo entre la CM y el NEB (Figura no mostrada). Todos los resultados para la CM son respaldados por estudios previos acerca de las anomalías de la circulación

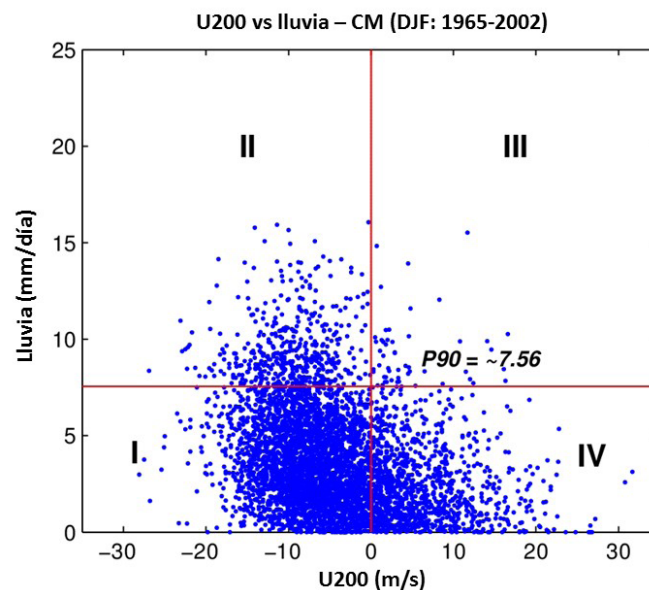


Figura 2. Relación entre el viento zonal (200 hPa) (m/s) en $12^{\circ}S$ y $75^{\circ}W$, y lluvias ($mm/día$) en la cuenca del río Mantaro. Análisis basado en datos diarios para el periodo 1965-2002. Adaptado de Sulca et al. (2016).

atmosférica, que están relacionadas con episodios secos y lluviosos en el Altiplano boliviano (Vuille, 1999; Garreaud, 1999; Garreaud et al., 2003), sugiriendo que estos mismos mecanismos de gran escala, los cuales controlan el transporte de humedad, también operan sobre los eventos extremos de precipitación en la CM. Sin embargo, curiosamente, también parece haber una relación entre los eventos extremos en la CM y la circulación de bajo nivel (i.e., 850 hPa) hacia el este (Figs. 1e, 1f). Durante los episodios secos en la CM, anomalías del viento del noroeste prevalecen sobre el sureste de la cuenca Amazónica, al este de los Andes centrales del Perú. Por el contrario, durante los episodios lluviosos en la CM, a 850 hPa las anomalías del viento del sureste prevalecen al sureste de la cuenca del río Amazonas.

Cabe destacar que la lluvia en la CM no tiene relación lineal simple con el viento zonal a 200 hPa (Fig. 2), como sí se encontró para el Altiplano boliviano (Garreaud et al. 2003). Claramente, las precipitaciones en la CM se pueden generar durante periodos de anomalías de vientos del este y oeste en los niveles troposféricos superiores. Los episodios lluviosos extremos (8mm/día, percentil 90), están casi exclusivamente vinculados a anomalías del viento del este en los niveles superiores (sector II), mientras que los episodios de vientos fuertes del oeste suprimen los periodos húmedos (sector III). Pero este análisis también muestra que existen muchos periodos de fuertes vientos del este en los niveles troposféricos altos, donde no se producen fuertes precipitaciones extremas (sector I). En consecuencia, los vientos del este en los niveles altos de la troposfera pueden ser un requisito, aunque no son un forzamiento suficiente, para generar episodios lluviosos en la cuenca del Mantaro.

lluvia en gran parte de los Andes centrales, mientras que las anomalías del signo opuesto se observan sobre el NEB. Sin embargo, son evidentes algunos signos tropicales adicionales, donde destacan las teleconexiones de gran escala de estos episodios secos. En el océano Pacífico, se registran anomalías negativas de lluvia en la parte occidental de la cuenca, mientras que un dipolo de precipitación se extiende de noroeste al sureste sobre el Pacífico Sur indicando una intensificación y un desplazamiento hacia el este de la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (ZCPS). La actividad convectiva reducida que es observada en el océano Pacífico occidental está de acuerdo con la relación positiva significativa entre el número de eventos secos por año y el índice Niño 3.4 durante el verano ($r = 0.474$, $p < 0.05$).

En consecuencia, los años El Niño favorecen la ocurrencia de episodios secos en la CM. Las anomalías de precipitación de gran escala observadas en los trópicos durante los eventos secos en la CM son consistentes con estudios previos, donde ambas configuraciones del África y el Pacífico inducen un debilitamiento del sistema BH-NL (por ejemplo, Chen et al., 1999; Hagos y Cook, 2005). Una simple estratificación de la frecuencia de ocurrencia de los episodios secos por año en la CM en cada fase del ENOS (Tabla 1) muestra que es más probable que ocurran durante las condiciones El Niño (2.20 eventos por año) en comparación con las condiciones La Niña (0.76 eventos por año). Por otro lado, la frecuencia de episodios lluviosos en la CM, pueden ocurrir más del doble de veces durante los eventos de La Niña que durante El Niño, pero no son significativos estadísticamente en ambas fases del ENOS.

IMPACTO DEL ENOS EN LA OCURRENCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE LLUVIAS EN LA CM DURANTE EL VERANO

	El Niño (eventos por año)	La Niña (eventos por año)
CM eventos secos	2.2	0.76
CM eventos lluviosos	0.6	1.35

El compuesto de lluvia tropical (Fig. 3) que utiliza el CMAP (en pentadas) confirma que los episodios secos en la CM están asociados a anomalías negativas de

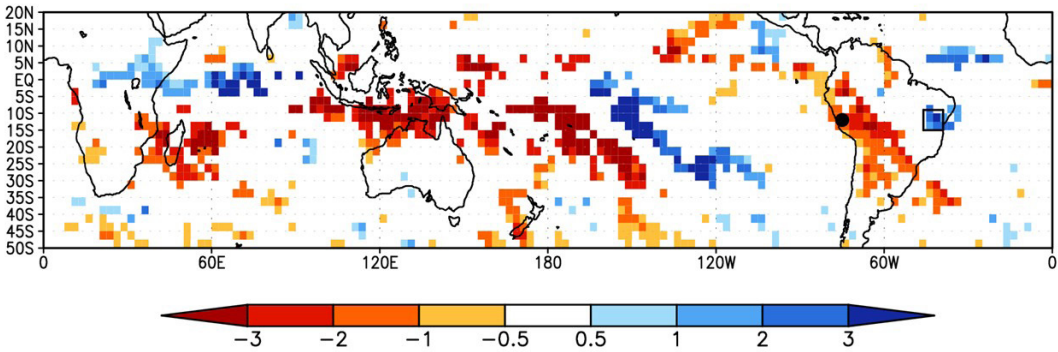


Figura 3. Anomalías de precipitación (mm/día) de verano (DJFM) durante episodios secos en la Cuenca del río Mantaro. Sombras de colores representan anomalías de precipitación significativas estadísticamente al 90% de nivel de confianza basado en la prueba t-Student. Círculo negro (Caja negra) representa la localización de la CM (NEB). Análisis basado en el periodo 1979-2002. Adaptado de Sulca et al. (2016).

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que los eventos extremos de lluvias (episodios secos y lluviosos) en la cuenca del río Mantaro en el periodo de verano están asociados a cambios de la intensidad del sistema BH-NL en los niveles altos de la troposfera de América del Sur. Por ejemplo, los episodios secos (lluviosos) en la CM están asociadas con una debilitamiento (intensificación) del flujo humedad de la Amazonía hacia los Andes centrales del Perú por la presencia de anomalías de vientos del oeste (este) en todos los niveles troposféricos sobre los Andes centrales peruanos, evidenciando el debilitamiento (intensificación) del sistema BH-NL sobre América del Sur. Sin embargo, la existencia de anomalías del vientos del este sobre la CM en la alta troposfera no son condición suficiente para la ocurrencia de eventos extremos lluviosos, mientras que las anomalías de vientos del oeste sobre la CM en la alta troposfera inhiben las precipitaciones y nunca generarán un episodio lluvioso extremo. Estos resultados son consistentes con la aparente relación entre los vientos a niveles bajos al este de los Andes y los eventos extremos de precipitación en la CM.

Por otro lado, El Niño induce episodios secos en la CM y al mismo tiempo El Niño favorece la ocurrencia de episodios secos en una proporción doble que los eventos lluviosos. Por el contrario, La Niña favorece los episodios lluviosos en una proporción doble que los eventos secos, pero estas proporciones no son significativas estadísticamente.

A pesar que estos resultados son nuevos insumos para el desarrollo de pronósticos a corto tiempo de los eventos extremos de lluvias en la CM, todavía es necesario realizar más estudios para entender los procesos físicos regionales y locales asociados a los eventos extremos de lluvias en la CM para la estación de verano.

REFERENCIAS

- Carvalho, LMV, Jones C and B, Liebmann. 2004. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J. Climate*, 17, 88–108, doi:10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI.2.0.CO;2.
- Chen, T.-S., S.-P. Weng, and S, Schubert. 1999. Maintenance of austral summertime upper-tropospheric circulation over tropical South America: The Bolivian high–Nordeste low system. *J. Atmos. Sci.*, 56, 2081–2100, doi:10.1175/1520-0469(1999)056,2081:MOASUT.2.0.CO;2.
- Instituto Geofísico del Perú. 2005. Atlas climatológico de precipitaciones y temperaturas en la Cuenca del Río Mantaro. Fondo Editorial del CONAM, Lima, Perú, 107 pp. [Available online at http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2000_2007/Atlas_Climatico.pdf.]
- Garreaud, R. D. 1999. Multiscale analysis of the summertime precipitation over the central Andes. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 901–921, doi:10.1175/1520-0493(1999)127,0901:MAOTSP.2.0.CO;2.
- Garreaud, R. D., M. Vuille, and A. C. Clement. 2003. The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 194, 5–22, doi:10.1016/S0031-0182(03)00269-4.
- Hagos, S. M., and K. H. Cook. 2005. Influence of surface processes over Africa on the Atlantic marine ITCZ and South American precipitation. *J. Climate*, 18, 4993–5010, doi:10.1175/JCLI3586.1.
- Haylock, M. R., and Coauthors. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, 19, 1490–1512, doi:10.1175/JCLI3695.1.
- Kalnay, E., and Coauthors. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–472, doi:10.1175/1520-0477(1996)077,0437:TNYRP.2.0.CO;2.
- Silva, Y., K. Takahashi, and R. Chavez. 2008. Dry and wet rainy seasons in the Mantaro River basin (central Peruvian Andes). *Adv. Geosci.*, 14, 261–264, doi:10.5194/adgeo-14-261-2008.
- Vuille, M. 1999. Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.*, 19, 1579–1600, doi:10.1002/(SICI)1097-0088(19991130)19:14,1579::AID-JOC441.3.0.CO;2-N.
- Wilks, S. D. 2011. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 3rd ed. International Geophysics Series, Vol. 100, Academic Press, 676 pp.
- Xie, P., and P. A. Arkin. 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539–2558, doi:10.1175/1520-0477(1997)078,2539:GPAYMA.2.0.CO;2.

Detección de remolinos de mesoescala empleando anomalías del nivel del mar de los productos de SSALTO/DUACS

*Fernando Campos
Instituto Geofísico del Perú*

INTRODUCCIÓN

Los remolinos de mesoescala son estructuras coherentes lagrangianas, cuasi-circulares e intrínsecas presentes en todas las cuencas oceánicas (Stammer et al., 1997 y Stammer et al., 1998). Estas estructuras pueden tener tamaños de 250 km de radio en la horizontal y 1000 m de profundidad. El tiempo de vida de estas estructuras varía desde algunos días hasta incluso ser considerados permanentes. La importancia de su estudio radica en el transporte de propiedades tanto físicas (temperatura, salinidad, vorticidad, etc.) como biogeoquímicas (oxígeno, nitratos, clorofila, etc.) desde las regiones donde se han formado, principalmente en las zonas costeras, hacia mar adentro. Esta característica permite la lenta mezcla de las masas de aguas oceánicas (Chelton et al., 2011). Además, se sabe que los mecanismos de generación de estas estructuras son muy variados, factores como la intensidad de los vientos (Pares-Sierra et al., 1993), la cercanía a las costas (Batteen, 1997), la variabilidad interanual (Zamudio et al., 2001), entre otros (Willet et al., 2006).

Las principales propiedades de estos remolinos se conocen debido al uso de diversos algoritmos de detección y seguimiento aplicados tanto a datos observacionales (Chaigneau et al., 2008; Chelton et al., 2011) como a resultados de modelos numéricos

(Merchesiello et al., 2003; Kurian et al., 2011). Si bien la gran mayoría de estos métodos han mostrado buenos resultados; es necesario resaltar que, los basados en las propiedades geométricas de las líneas de corrientes (Chaigneau et al., 2008) o de las anomalías del nivel del mar (ANM, Chelton et al., 2011) han mostrado mejores resultados comparados con los que emplean las propiedades físicas como por ejemplo el parámetro de Okubo Weiss (Okubo, 1970; Weiss, 1991). Con esta consideración, en Campos (2018) se elaboró un algoritmo basado en las propiedades geométricas de las líneas de corrientes el cual permitió detectar remolinos de mesoescala en un modelo numérico para la región norte del Pacífico. Una modificación a este algoritmo, permitió la detección de remolinos en el campo de las ANM tomados de datos satelitales.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al emplear la base de datos satelitales SSALTO/DUACS y el algoritmo de detección de remolinos modificado para la región de Perú.

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos de las ANM fueron extraídos de la base de datos de Copernicus (<http://marine.copernicus.eu/>) la cual engloba todas las misiones satelitales hasta el momento realizadas y homogenizadas respecto a una

misión de referencia la cual actualmente es Jason 3. Esta base de datos cubre desde 1993 hasta la actualidad con datos diarios, resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y con referencia al período climatológico 1993-2012. Posteriormente, se procedió a filtrar la variabilidad de mayor escala. Para ello se siguió la metodología empleada en Chaigneau et al. (2008) y Chelton et al. (2011) los cuales emplean un filtro lanczos de paso bajo (Thomson & Emery, 2014) lo que permitió producir una cuadrícula con solamente la variabilidad de mesoescala. Finalmente, para la detección de los remolinos de mesoescala en el campo de la ANM se realizó una modificación al algoritmo elaborado en Campos (2018) el cual se resume de la siguiente forma:

1. Se obtiene una cantidad fija de contornos de las ANM, en este caso se tomó contornos que van de -0.4 a 0.4 m con incrementos de 0.001 m.
2. Del paso anterior, se mantienen los contornos que son cerrados y que tengan una longitud de arco comprendida entre 160 y 1600 km, las cuales representan a remolinos con radios entre 25 y 250 km.
3. De los contornos que quedaron, se debe mantener los que son convexos. Para analizar la convexidad de los contornos se crean dos vectores ($\mathbf{r1}$ y $\mathbf{r2}$) que recorrerán todos los puntos pertenecientes al contorno. Para un punto perteneciente al contorno se crea el vector $\mathbf{r1} = [\text{lon}(i) - \text{lon}(i-1); \text{lat}(i) - \text{lat}(i-1)]$ y el vector $\mathbf{r2} = [\text{lon}(i+1) - \text{lon}(i); \text{lat}(i+1) - \text{lat}(i)]$. El producto vectorial

de ambos vectores resulta en un vector ortogonal ($\mathbf{S}$) a los dos anteriores con valor positivo o negativo (en caso extremo cero). Al emplear este método en cada punto perteneciente al contorno se obtiene los valores de $\mathbf{S}$ para cada punto. Si todos los $\mathbf{S}$ tienen la misma dirección se ha encontrado un polígono convexo. Para ser considerado contorno de un remolino, el 95 % de los valores del producto vectorial deben ser positivos o negativos (se le asigna un porcentaje de error al método).

4. Los contornos que cumplieron con las condiciones anteriores se agrupan en zonas donde cada una de ellas representa un remolino (ciclónico o anticiclónico). De los contornos aglomerados en una determinada zona, el que tenga mayor área va a representar el borde de un remolino. Los demás contornos son eliminados por el algoritmo.

5. Para analizar el tipo de remolino detectado por el método, es decir si es ciclónico o anticiclónico, se analizan los valores del contorno de la ANM los cuales pueden tomar valores positivos (remolinos ciclónicos) o valores negativos (remolinos anticiclónicos). Esto último, va a depender del hemisferio en el cual se está realizando el análisis.

RESULTADOS

La figura 1 representa los resultados obtenidos mediante el método de detección de remolinos para el 5 de mayo

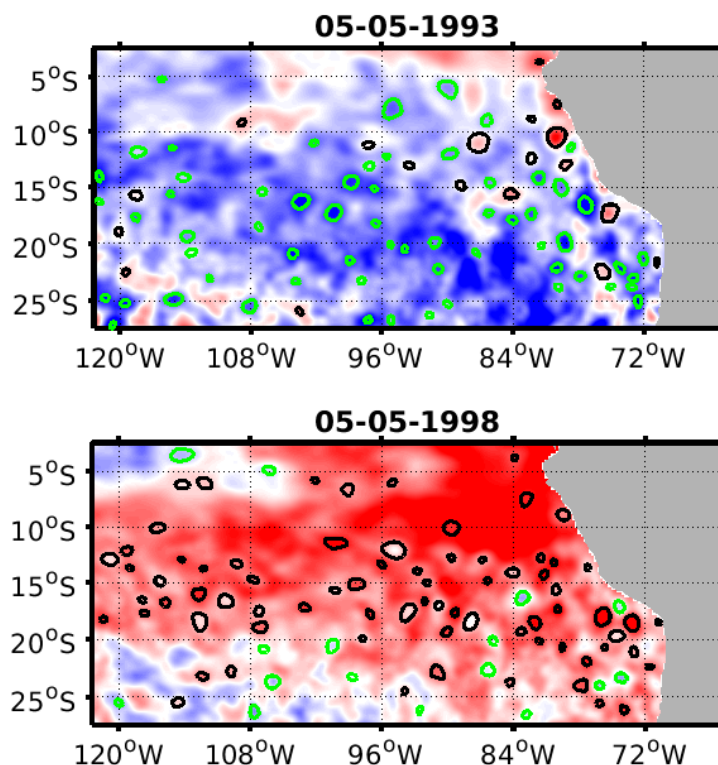


Figura 1. Campo de las ANM previamente filtradas la variabilidad de gran escala. Los contornos verdes y negros representan a los remolinos anticiclónicos y ciclónicos detectados por el algoritmo de Campos (2015) modificado para emplear datos de satélite.

de 1993 (figura superior) y 1998 (figura inferior). Estos resultados muestran diferencias notables en la cantidad de remolinos ciclónicos y anticiclónicos detectados. Asimismo, en 1993 hubo una mayor cantidad de remolinos anticiclónicos detectados (62 anticiclones y 19 ciclones) mientras que en 1998 la mayor cantidad fue de remolinos ciclónicos detectados (16 anticiclones y 74 ciclones). Esto indica que la actividad de El Niño tiene fuerte influencia en la producción de remolinos principalmente de sentido ciclónico. Este resultado contrasta con lo visto en Chaigneau et al., (2008) para las costas de Perú y Zamudio et al., (2001) en la zona del Pacífico norte. Sin embargo, es necesario realizar un análisis de las trayectorias de estos remolinos detectados para ver regiones donde tengan un tiempo de vida más largo, un mayor tamaño u otras propiedades interesantes para posteriores trabajos.

REFERENCIAS

- Batteen, M. L. (1997). Wind-forced modeling studies of currents, meanders, and eddies in the California Current system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C1), 985-1010.
- Campos, F. E. (2018). Propiedades de los remolinos de mesoescala al sur de Baja California: un análisis numérico (tesis de maestría). CICESE, Ensenada-Baja California, México.
- Chaigneau, A., Gizolme, A., & Grados, C. (2008). Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 106-119.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., & Samelson, R. M. (2011). Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 91(2), 167-216.
- Kurian, J., Colas, F., Capet, X., McWilliams, J. C., & Chelton, D. B. (2011). Eddy properties in the California current system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C8).
- Marchesiello, P., McWilliams, J. C., & Shchepetkin, A. (2003). Equilibrium structure and dynamics of the California Current System. *Journal of physical Oceanography*, 33(4), 753-783.
- Okubo, A. (1970). Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularities such as convergences. In *Deep sea research and oceanographic abstracts* (Vol. 17, No. 3, pp. 445-454). Elsevier.
- Pares-Sierra, A., White, W. B., & Tai, C. K. (1993). Wind-driven coastal generation of annual mesoscale eddy activity in the California Current. *Journal of Physical Oceanography*, 23(6), 1110-1121.
- Stammer, D. 1997. Global characteristics of ocean variability estimated from regional TOPEX/POSEIDON altimeter measurements. *Journal of Physical Oceanography* 27:1,743-1,769.
- Stammer, D. 1998. On eddy characteristics, eddy transports, and mean flow properties. *Journal of Physical Oceanography* 28:727-739.
- Thomson, R. E., & Emery, W. J. (2014). *Data analysis methods in physical oceanography*. Newnes.
- Weiss, J. (1991). The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 48(2-3), 273-294.
- Willett, C. S., Leben, R. R., & Lavín, M. F. (2006). Eddies and tropical instability waves in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 218-238.
- Zamudio, L., Leonardi, A. P., Meyers, S. D., & O'Brien, J. J. (2001). ENSO and eddies on the southwest coast of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 28(1), 13-16.

Resumen del Informe Técnico

PP N° 068 / El Niño-IGP/2018-12

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). El pronunciamiento colegiado 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), basado en los datos de ERSSTv3 para el mes de noviembre de 2018, la condición climática para la costa peruana es Cálida Débil (ICEN = 0,54 °C), mientras que el valor estimado con datos de OISSTv2 indicaron que la condición climática es Neutra (ICENOI = -0,34 °C). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) para los meses de diciembre 2018 y enero 2019, coinciden en mostrar condiciones Cálidas Débiles. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que en noviembre de 2018 se tuvo una condición Cálida Débil (0,87 °C); según los estimados temporales, para el mes de diciembre la condición sería Cálida Débil.

En base al análisis de los datos y resultados de los modelos numéricos, se espera que continúe la actividad de la onda Kelvin cálida hasta el mes de enero en el extremo oriental, además se espera el arribo de una onda Kelvin fría a finales de enero e inicios de febrero. Finalmente, entre fines de febrero e inicios de marzo, se espera que arribe la onda Kelvin cálida.

Según el promedio de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con condiciones del mes de enero de 2019, se esperan condiciones Cálidas Débiles a condiciones Neutras para el Pacífico oriental hasta el mes de julio de 2019.

En la región del Pacífico central ecuatorial, el promedio de los modelos de NMME indican condiciones Cálidas Débiles entre los meses de enero y mayo de 2019.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2; actualizados hasta el mes de diciembre de 2018 del producto ERSST v3b, generados por el Climate Prediction Center (CPC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, EEUU); se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de noviembre de 2018 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1. El valor de noviembre corresponde a una condición Cálida Débil.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2018	Junio	-0.60	Neutra
2018	Julio	-0.57	Neutra
2018	Agosto	-0.35	Neutra
2018	Setiembre	-0.18	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN (ERSST v3b).
(Descarga: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>)

Los valores del ICENOItmp estimados para diciembre de 2018 y enero de 2019 corresponden a condiciones Cálidas Débiles. El ICENOI de diciembre será confirmado cuando se disponga del valor de OISSTv2 para el mes de enero de 2019.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

En la región Niño 3.4, según los datos observados (IR, MW, OSTIA) las anomalías de la TSM diaria, continuaron dentro de las condiciones cálidas débiles, manteniéndose en el orden de 0.8 a 1.0 °C, descendiendo a valores cercanos a 0.7 °C en los primeros días del mes de enero. Para la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM indicó valores entre 0.8 a 0.4 °C.

El promedio mensual de las anomalías de esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central (160°E-160°W; 5°S-5°N), para el mes de diciembre, mostró anomalías del este según los datos ASCAT ($1.6 \times 10^{-2} \text{Nm}^{-2}$). En la primera semana de diciembre se observaron anomalías positivas poco intensas en el Pacífico oeste (180°-150°W) y en la segunda semana se observaron anomalías negativas en la región (180°-140°W). A fines del mes de diciembre se observaron anomalías positivas intensas entre 130°E y 155°E, según los datos ASCAT, asimismo, en la primera semana de enero se observó una anomalía de vientos del oeste alrededor de 160°E (Figura 1). La inclinación de la termoclina ecuatorial muestra menor inclinación en relación a su promedio, y el contenido de calor indica valores alrededor de su normal. Además, se observa la isoterma de 20°C en su posición climatológica (95°W, 2°S-2°N).

En el Pacífico ecuatorial según los datos de ARGO, se puede apreciar una secuencia de ondas Kelvin cálidas, desde el este al oeste: Una onda cálida al este de 110°W; una onda fría, entre 160° y 120°W y una onda cálida, entre 160°E y 160°W. La información de altimetría según el producto DUACS muestra una onda Kelvin cálida intensa entre 160°E y 160°W.

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

Se espera que la onda Kelvin fría arribe al extremo occidental a fines de enero e inicios de febrero (Figura 1). Mientras que las proyecciones teóricas indican que la onda Kelvin cálida, formada por pulsos de viento del oeste en el extremo occidental debe arribar a fines de febrero e inicios de marzo (Figura 1).

PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), según los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, GFDL_CMC2.1, GFDL_FLOR, NASA_GEOSv2, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2), con condiciones iniciales

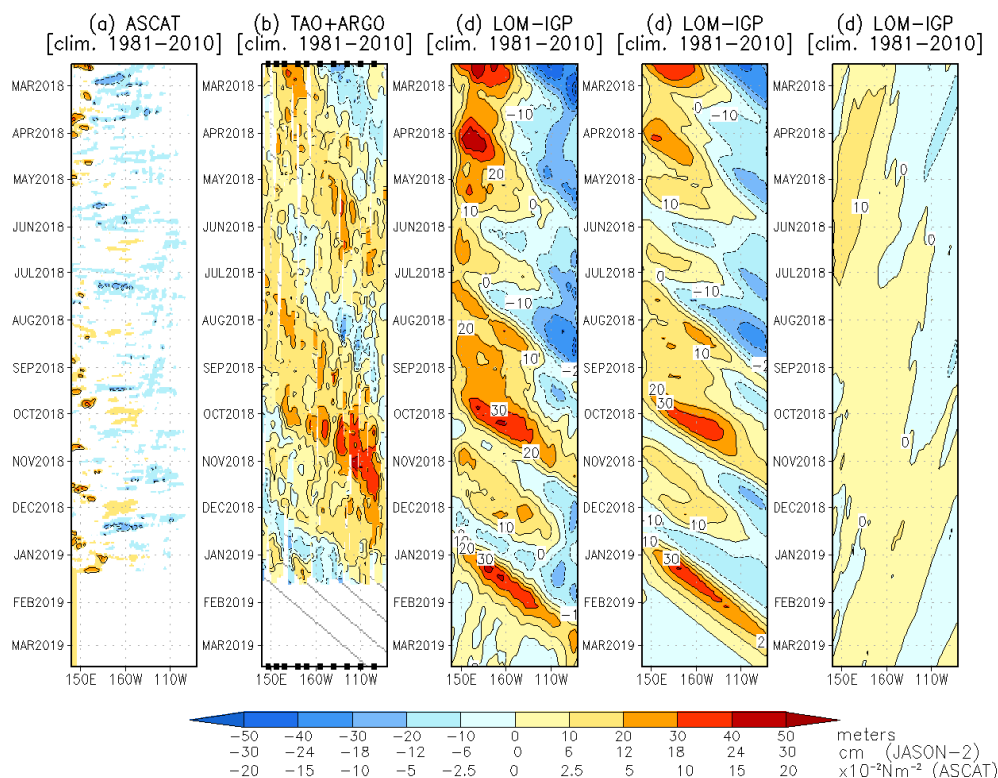


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)

del mes de enero de 2019, se indica, en promedio, condiciones Cálidas Débiles para el mes de enero y condiciones Neutras para el periodo de febrero a julio de 2019, solo los modelos CMC1 y CMC2 indican condiciones Cálidas Débiles hasta marzo de 2019 (Fig. 2).

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en enero, el promedio de los 7 modelos indican condiciones Cálida Débiles de enero a mayo.

CONCLUSIONES

1. El ICEN (SSTOI) para noviembre de 2018 fue de 0.34 (Neutro) y el ICENTmp para diciembre y enero fueron 0.48 y 0.44 respectivamente (condiciones Cálida Débil). Usando ERSSTv3 mensual para el cálculo (ICEN), los valores correspondientes son 0.54 (Cálida Débil), y los temporales para diciembre y enero son cálidos débiles 0.68 y 0.60, respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para noviembre es 0.57 (Cálida Débil) y los temporales están dentro del rango de Cálidas Débiles (0.66 y 0.53).

2. En el Pacífico central, el ONI (No oficial) de noviembre (OND) es 0.87 y corresponde a condiciones Cálida Débil y el estimado para diciembre también sería de condición Cálida Moderada.

3. Según ASCAT, entre la segunda quincena del mes de diciembre 2018 y la primera quincena del enero de 2019, se desarrollaron anomalías de viento del oeste alrededor de 140°E y la línea de cambio de fecha.

4. Basado en los datos de ARGO, la termoclina ecuatorial muestra una inclinación menor a su promedio, y el contenido de calor indica valores dentro de su normal.

5. Según los datos de ARGO, se puede apreciar una secuencia de ondas kelvin cálidas, desde el este al oeste: Una onda cálida al este de 110°W; una onda fría, entre 160° y 120°W y una onda cálida, entre 160°E y 160°W. Esto coincide con los resultados de los modelos numéricos.

6. La información de altimetría muestra una onda Kelvin cálida intensa entre 160°E y 160°W.

7. Se espera que la onda Kelvin fría arribe al extremo occidental a fines de enero e inicios de febrero.

8. Las proyecciones teóricas indican que la onda Kelvin cálida, formada por pulsos de viento del oeste en el extremo occidental debe arribar a fines de febrero e inicios de marzo.

9. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME con condiciones iniciales de

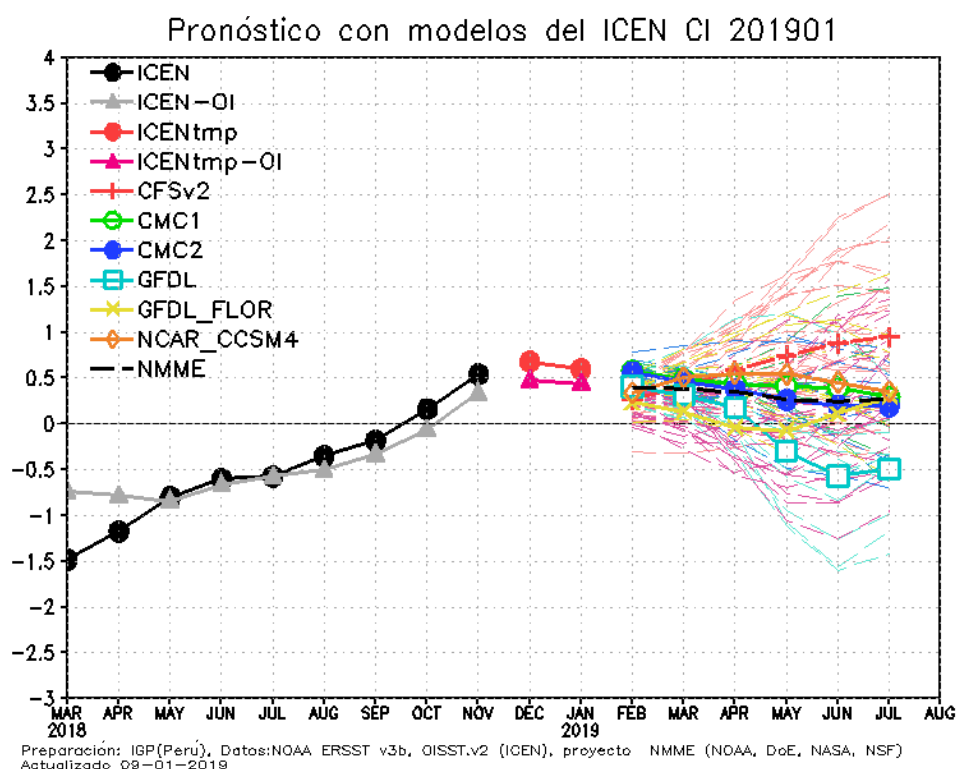


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2) y sus valores temporales (ICENTmp, rojo con círculo lleno y ICENTmp-OI, rojo con triángulos llenos). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA_GEOSv2 GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de enero de 2019. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

enero en promedio indican condiciones neutras de febrero a julio de 2019. Solo los modelos CMC1 y CMC2 indican condiciones Cálidas Débiles hasta marzo de 2019.

10. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indican condiciones Cálidas Débiles de enero a mayo de 2019.

BIBLIOGRAFÍA

Aparco, J., K, Mosquera y K, Takahashi. 2014. Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y., Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A. 2016. First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [http://tpos2020.org/first-report]

DiNezio, P. 2016. Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.

ENFEN 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.

ENFEN 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.

Huang, B., Thorne, P.W, Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., Zhang, H.-M., 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I. 2009. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. J. Climate 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.

Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C., 2014: Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), Revista Brasileira de Meteorologia, 29 (2), 171-182.

Meehl, G., Hu, A., Teng, H. 2016. Initialized decadal prediction for transition to positive phase

of the Interdecadal Pacific Oscillation. Nature Communications, doi: 10.1038/ncomms11718

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., and Guyot, J. L. 2017. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). Scientific Reports, v. 7, No. 1, p. 11947 DOI:10.1038/s41598-017-12220-x.

Mosquera, K. 2009. Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos. 2010. Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.

Mosquera, K. 2014. Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7

Reupo, J., y Takahashi, K. 2014. Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 8-9.

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.C., Vuille, M. and 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. Doi:10.1002/joc.5185

Takahashi, K. 2017. Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 4 (8), 8-9.

Takahashi, K., Martínez, A. G. 2016. The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. Climate Dynamics, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.

Thoma, M., Greatbatch, R., Kadow, C., Gerdes, R., 2015. Decadal hindcasts initialized using observed surface wind stress: Evaluation and prediction out to 2024. Geophys. Res. Lett. doi:10.1002/2015GL064833

Comunicado oficial ENFEN



COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" - ENFEN

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 01-2019 Estado del sistema de alerta: Vigilancia de El Niño

La Comisión Multisectorial ENFEN activa el estado de Alerta de El Niño, de magnitud débil, debido a la persistencia de las anomalías positivas de la temperatura del mar en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte de Perú y a las condiciones favorables, para su permanencia en lo que resta el verano.

Asimismo, entre enero y febrero, para la costa norte de Perú se prevé como escenario más probable la ocurrencia de lluvias dentro del rango normal a superior; sin descartar para el mes de marzo la ocurrencia de lluvias más intensas de lo normal, más no extraordinarias como en los años 1983, 1998 o 2017.

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar la información de las condiciones atmosféricas, oceanográficas, biológico- pesqueras e hidrológicas actualizadas hasta el 31 de diciembre de 2018.

La temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial se mantiene con anomalías positivas, para diciembre en la región central (Niño 3.4) con $+1,0^{\circ}\text{C}$ y el extremo oriental (Niño 1+2) que incluye la costa norte de Perú con $+0,8^{\circ}\text{C}$, en promedio.

El Índice Costero El Niño (ICEN¹) temporal para los meses de noviembre y diciembre indican condiciones neutras y cálidas débiles, respectivamente.

En el Pacífico ecuatorial central, las anomalías de los vientos zonales oeste y este en los niveles bajos y altos de la atmósfera, respectivamente, se intensificaron con relación al mes anterior, en particular con mayor intensidad en niveles bajos de la atmósfera de la región occidental, a partir de la quincena del mes. Esto posiblemente asociado a la presencia ondas atmosféricas ecuatoriales, pero no como resultado del acoplamiento entre el océano y atmósfera, propio de El Niño Oscilación Sur (ENOS).

En el Pacífico ecuatorial, a mediados del mes de diciembre, se presentaron anomalías del viento del este, entre 180° y

150° W, las cuales se proyectaron en una onda Kelvin fría, tal como se observa en la información de temperatura subsuperficial. Contrariamente, las anomalías de viento del oeste que se desarrollaron en el extremo occidental, según los datos observacionales y modelos numéricos, habrían forzado una onda Kelvin cálida.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) en diciembre se configuró zonalmente, con una proyección al sureste de su posición habitual, predominando anomalías positivas de presión frente a la costa de Perú. Los vientos costeros se presentaron variables en el mes, siendo más intensos en la zona norte y más débiles en la zona centro y sur.

Las anomalías de las temperaturas máximas y mínimas del aire en la costa disminuyeron hasta alcanzar temperaturas cercanas a lo normal; excepto en la costa central que alcanzó en promedio anomalías por encima de los $+1,3^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máxima del aire. (Cuadro 1a y 1b).

Frente a la costa de Perú la temperatura superficial del mar se mantiene en condiciones cálidas, con mayores anomalías en la zona norte y centro. Entre Punta Falsa y Chimbote las anomalías disminuyeron; sin embargo, aún se mantuvieron positivas. Por otro lado, el nivel del mar disminuyó hasta valores cercanos a lo normal, pero nuevamente aumentó en la última semana de diciembre.

Dentro de las 100 millas, frente a las costas de Paita hasta Callao, la temperatura del mar presentó anomalías positivas de 1°C en promedio, en los 300 metros de la columna de agua, evidenciando el impacto de la onda Kelvin cálida. Dentro de las 10 millas de la costa, las isotermas se profundizaron desde el norte hasta Atico, inclusive. Asimismo, en las dos últimas semanas, frente a Paita y Chicama las anomalías disminuyeron de $+3^{\circ}\text{C}$ a $+1^{\circ}\text{C}$, dentro de los primeros 50 metros de profundidad.

Los caudales de los ríos de la costa se mantienen dentro de sus valores normales, pero con ligera tendencia positivas. Para el 31/12/2018, las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur vienen operando en promedio al 46,7% y 31,2% respectivamente, que representan condiciones normales de almacenamiento a excepción de los embalses Chalhuanca y Aricota que se encuentran por debajo de lo normal.

La clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton) mostró anomalías negativas de Chimbote hacia el norte,

y anomalías positivas hacia el sur de Pisco; mientras que, frente a la costa central mostró fuerte variabilidad. Al norte de Chimbote la clorofila-a se replegó hacia la costa de la zona productiva, en relación a su patrón normal. Las condiciones del mar de Perú, restringieron la distribución de la anchoveta, principalmente dentro de las 30 millas de la costa, desde el sur de Punta La Negra (06°S) hasta Pisco. En la región norte-centro el desove principal de invierno de la anchoveta culminó, iniciándose la fase de reposo de acuerdo al patrón histórico.

En la costa norte las anomalías térmicas negativas, de junio a diciembre, retrasaron el crecimiento de los frutos en el mango. Por otro lado, especies del bosque seco como el algarrobo se encuentran iniciando la floración, y fructificación en diciembre.

PERSPECTIVAS

Entre enero y febrero, se espera una ligera disminución de las anomalías positivas de la temperatura del mar, del aire y nivel del mar en la costa norte del Perú, debido al arribo de una onda Kelvin fría; sin embargo, estas anomalías podrían aumentar en el mes de marzo debido a la llegada de una nueva onda kelvin cálida. Además, en este mismo periodo se prevé una condición más débil de lo normal del APS, que podría favorecer la persistencia de estas condiciones cálidas.

Así mismo, en lo que resta del verano, en el Pacífico oriental (Niño 1+2), que incluye la costa norte de Perú, en promedio, los modelos climáticos indican condiciones cálidas débiles; mientras que, para el Pacífico central (Niño 3.4), estos mismos modelos indican condiciones cálidas de débiles a moderadas.

En consecuencia, la Comisión Multisectorial ENFEN activa el Estado de Alerta de El Niño, de magnitud débil, debido a la persistencia de las anomalías positivas de la temperatura del mar en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte de Perú y a las condiciones favorables para su permanencia en lo que resta el verano. Asimismo, entre enero y febrero, para la costa norte de Perú se prevé como escenario más probable la ocurrencia de lluvias dentro del rango normal a superior; sin descartar para el mes de marzo la ocurrencia de lluvias más intensas de lo normal, más no extraordinarias como en los años 1983, 1998 o 2017. Sin embargo las entidades competentes deberán considerar la vulnerabilidad para la estimación de riesgo y adoptar las medidas que correspondan.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones actuales y actualizando las perspectivas quincenalmente. La emisión del próximo comunicado ENFEN será el día 18 de enero de 2019.

Callao, 04 de enero de 2019

¹ ICEN corresponde a la región Niño 1+2.

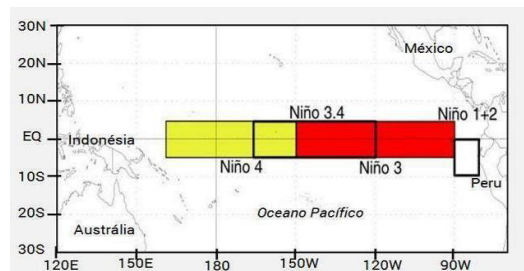


Figura 1. Áreas de monitoreo, Región Niño 3.4 (5°N-5°S / 170°W-120°W) y Región Niño 1+2 (0°-10°S / 90°W-80°W) Fuente: NOAA.

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 02-2019 Estado del sistema de alerta: Vigilancia de El Niño

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene activo el estado de Alerta de El Niño, de magnitud débil, debido al arribo esperado de una onda Kelvin cálida y al debilitamiento anómalo del Anticiclón del Pacífico Sur APS en el mes de marzo, según los pronósticos.

En lo que resta del verano, para la costa norte del Perú es más probable la ocurrencia de lluvias dentro del rango normal a superior, pero no extraordinarias como las que se desarrollaron en los años 1983, 1998 y 2017. Asimismo, no se descarta la posibilidad de eventos puntuales con días lluviosos, particularmente en marzo.

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar la información de las condiciones, oceanográficas, atmosféricas, biológico- pesqueras e hidrológicas actualizadas hasta el 15 de enero de 2019, así como las perspectivas.

La temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial se mantiene con anomalías positivas, pero con valores menores con respecto a las últimas semanas de diciembre.

El Índice Costero El Niño (ICEN¹) determinado para el mes de noviembre se mantiene en condiciones neutras, y el ICEN temporal de diciembre indica condiciones cálidas débiles (Figura 2).

En el Pacífico ecuatorial, a diferencia de diciembre, se ha debilitado la influencia de las ondas ecuatoriales sobre la circulación atmosférica. Así mismo, se evidenció la presencia de flujos ascendentes alrededor del Pacífico ecuatorial occidental, no así, en el lado centro - oriental del Pacífico. Este patrón aún no corresponde al acoplamiento océano-atmósfera propio de El Niño en el Pacífico central.

A su vez, la onda Kelvin fría en su desplazamiento hacia Sudamérica, alcanzó los 120° W, según los datos actuales de ARGO, continuando su propagación hacia Sudamérica. Así mismo, las anomalías de viento del oeste que se

desarrollaron en el extremo occidental a fines de diciembre se extendieron hasta el Pacífico central, reforzando la nueva onda Kelvin cálida.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) continuó con una proyección al sureste de su posición habitual. Los vientos costeros han sido, en promedio, débiles a lo largo de la costa peruana, a diferencia del mes de diciembre. Este debilitamiento contribuyó a la persistencia de las anomalías positivas de temperatura superficial del mar frente a la región centro-norte del litoral.

En promedio, durante los primeros diez días del mes de enero, las anomalías de las temperaturas extremas del aire (máxima y mínima) continuaron mostrando una tendencia cálida en la mayor parte de la costa, alcanzando un valor máximo de $+1,5^{\circ}\text{C}$ por encima de sus valores normales en la zona norte y centro del país.

Frente a la costa norte y centro de Perú el mar se mantiene en condiciones cálidas, pero en promedio con menores anomalías de temperatura respecto al mes de diciembre, en el orden de $+1^{\circ}\text{C}$ a $+2^{\circ}\text{C}$ con núcleos de $+3^{\circ}\text{C}$ frente a Chicama y Huarmey. Por otro lado, el nivel del mar continuó disminuyendo, alcanzando niveles normales.

Dentro de las 80 millas, frente a la costa centro - norte, la temperatura del mar presentó anomalías positivas mayores a 1°C en los primeros 100 metros de profundidad, con núcleos de $+3^{\circ}\text{C}$ sobre los 50 metros, los cuales están asociados al acercamiento a la costa de aguas subtropicales superficiales de alta salinidad. Frente a Paita dentro de las 10 millas se registraron ligeras anomalías negativas a 100 metros de profundidad a principios de enero.

La concentración de la clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton) mostró un aumento frente al litoral, alcanzando anomalías positivas altas en la segunda semana de enero frente a la costa central y norte. Las condiciones del mar de Perú, restringieron la distribución de la anchoveta, principalmente dentro de las 20 millas de la costa, desde el sur de Chicama (07°S) hasta Ilo (17°S). En la región norte-centro se mantiene la fase de reposo de la anchoveta de acuerdo al patrón histórico.

Los caudales de los ríos de la costa se encuentran por debajo de sus valores normales, manteniendo una tendencia al ascenso. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur vienen operando en promedio al 43 % y 38 % de su capacidad hidráulica, respectivamente, representando condiciones normales de almacenamiento.

En la costa norte, las condiciones térmicas cálidas fueron favorables para la instalación de almácigos y el trasplante del cultivo de arroz, así como la fructificación del mango para exportación, estimándose el inicio de cosechas en la tercera semana de enero en la región Lambayeque; entre tanto que, en la costa sur este régimen térmico favoreció la fructificación en las plantaciones del olivo.

PERSPECTIVAS

Se espera que hasta el mes de febrero, continúe la disminución de las anomalías positivas de la temperatura del mar, del aire y nivel del mar en la costa norte del Perú, debido al arribo de una onda Kelvin fría. Sin embargo, estas anomalías podrían aumentar nuevamente entre fines de febrero y el mes de marzo debido a la llegada de una onda Kelvin cálida.

Así mismo, los modelos climáticos internacionales pronostican para el Pacífico oriental (Niño 1+2) que incluye la costa norte de Perú, condiciones de cálidas débiles a neutras en lo que resta del verano, mientras que para el Pacífico central (Niño 3.4) en promedio, indican condiciones cálidas débiles hasta el mes de mayo.

La Comisión multisectorial ENFEN mantiene activa el Estado de Alerta de El Niño, de magnitud débil, debido al arribo esperado de una onda Kelvin cálida y al debilitamiento anómalo del Anticiclón del Pacífico Sur APS en el mes de marzo, según los pronósticos.

Asimismo, para lo que resta del verano, para la costa norte de Perú es más probable la ocurrencia de lluvias dentro del rango normal a superior, más no extraordinarias como en los años 1983, 1998 y 2017. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de eventos puntuales con días lluviosos², particularmente en marzo. Frente a esto, las entidades competentes deberán considerar la vulnerabilidad para la estimación de riesgo y adoptar las medidas que correspondan.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones actuales y actualizando las perspectivas quincenalmente. La emisión del próximo comunicado ENFEN será el día 15 de febrero de 2019.

Callao, 18 de enero de 2019

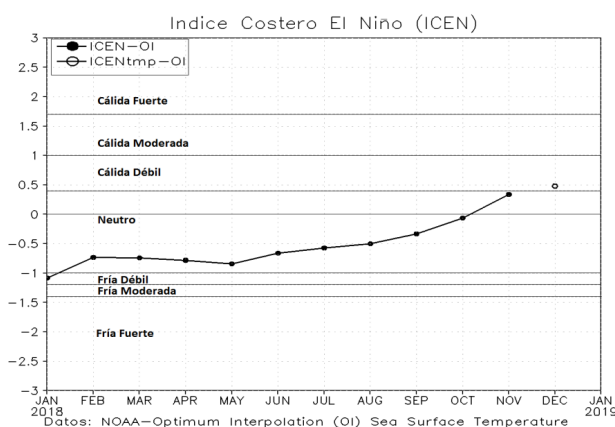


Figura 2. Serie de Índice Costero El Niño (ICEN), enero – diciembre 2018. Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA.



Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa,
Ate, Lima, Perú

Central Telefónica: (511) 317 2300

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

<http://www.facebook.com/igp.peru>

http://twitter.com/igp_peru

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

En el marco del:



EL PERÚ PRIMERO