



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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: Andina

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

Impactos de la oscilación de Madden-Julian en la variabilidad de la lluvia intraestacional del Amazonas

VOL. 6 N° 10 OCTUBRE 2019

Contenido

3 - 4	Introducción
5 - 8	Artículo de Divulgación Científica
9 - 12	Avances científicos
13 - 17	Resumen del informe técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2019-09
18 - 19	Comunicado oficial 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: Kobi Mosquera
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Incremento del río Marañón
Foto: Andina

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

Lima, abril de 2020

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 oceáno-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 documento 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://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4594>



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

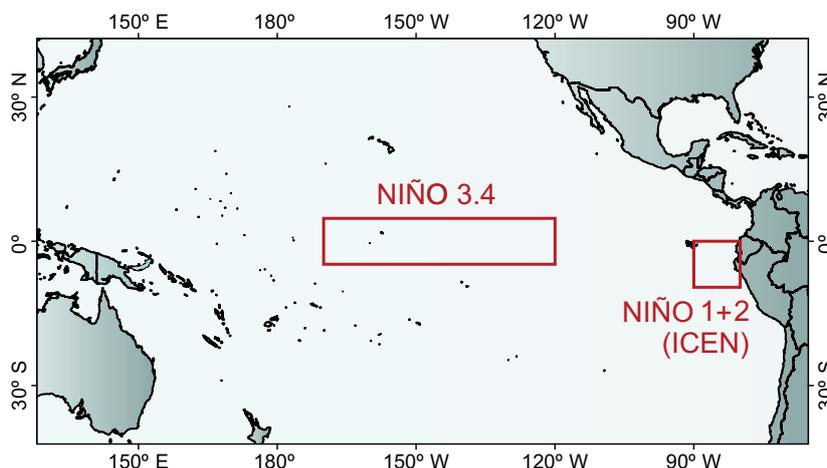
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DIHIDRONAV, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Impactos de la oscilación de Madden–Julian en la variabilidad de la lluvia intraestacional del Amazonas



PhD Victor C. Mayta
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

PhD en Ciencias Atmosféricas por el Instituto de Astronomía, Geofísicas y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Sao Paulo – Brasil. Investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería del Clima y el Espacio (CLASP)- Universidad de Michigan. Investigador y colaborador del Instituto Geofísico del Perú (IGP). Profesor visitante del programa de Doctorado de Recursos Hídricos (UNALM). Tiene experiencia en Geociencias, con énfasis en Meteorología Tropical, Interacción Trópico - Extratropical y Variabilidad Climática.

INTRODUCCIÓN

La precipitación en la cuenca del Amazonas (AB) es el resultado de interacciones compleja de varios procesos dinámicos y termodinámicos a gran escala, así como de características locales, que son responsables de la distribución temporal y espacial de la precipitación (Figueroa y Nobre, 1990; Satyamurty et al., 1998).

Se sabe que en las escalas de tiempo intraestacional (IE), la Oscilación de Madden y Julian (MJO por sus siglas en inglés; Madden y Julian, 1994; Zhang, 2005) es el modo más dominante de la variabilidad en los trópicos. Esta perturbación ondulatoria tiene una propagación hacia el este de anomalías convectivas tropicales, desde el océano Índico hasta el Pacífico occidental y, posteriormente, a América del Sur y África, con un período de oscilación de entre 30 y 60 días (Kiladis y Weickmann, 1992; Hendon y Salby, 1994; Madden y Julian, 1994). Durante su travesía por la región tropical, modula la lluvia y los eventos extremos en muchos lugares del mundo (Mo y Higgins, 1998; Carvalho et al., 2004; Jones et al., 2004). Sobre América del Sur y la región amazónica, los estudios recientes (Vera et al., 2018; Mayta et al., 2019), utilizando datos diarios de radiación de onda larga (OLR) y precipitación, mostraron que la variabilidad IE exhibe una actividad significativa durante todo el año.

Desde el descubrimiento de la MJO (Madden y Julian, 1971), muchos estudios han investigado la estructura horizontal

y vertical, así como sus características de propagación, con el objetivo de monitorear y pronosticar su actividad en la región tropical. Para lograr este propósito, se han desarrollado muchos índices MJO, en los cuales el índice MJO multivariado en tiempo real (RMM, por sus siglas en inglés), que fue propuesto por Wheeler y Hendon (2004), es el que más aceptación ha tenido en la comunidad científica. Los índices MJO existentes podrían dividirse en tres tipos principales, los cuales están en función de los datos de entrada que se usan para su cálculo: 1) aquellos que están basados en la convección, que generalmente usan la variable OLR (Outgoing Long-wave Radiation) para describir la propagación de la señal de la MJO (Kiladis et al., 2014), este índice se llamará OMI de ahora en adelante; 2) los índices basados en circulación, que generalmente usan vientos en la tropósfera inferior y superior (Ventrice et al. 2013); y 3) índices MJO multivariados que combinan tanto la parte convectiva como dinámica para representar mejor el desarrollo de la MJO (Wheeler y Hendon 2004).

Sin embargo, estudios anteriores han mostrado algunas ventajas y desventajas de cada índice, esto dependiendo de sus aplicaciones (Straub 2013; Kiladis et al. 2014). Por ejemplo, el índice MJO multivariado basado en la velocidad potencial (VPM por sus siglas en inglés; Ventrice et al., 2013) muestra una correlación robusta con la actividad de los ciclones tropicales. Además, Mayta et al. (2020) encontraron que los índices MJO basados en convección son capaces de representar mejor el impacto de la MJO en la variabilidad de la precipitación IE sobre la cuenca amazónica. Por lo tanto, uno de los objetivos de

este trabajo será explorar las habilidades de los índices MJO para caracterizar los impactos de esta perturbación de gran escala en la precipitación amazónica.

DEFINICIÓN DE UN EVENTO DE PRECIPITACIÓN INTRAESTACIONAL

Un análisis de funciones ortogonales empíricas (EOF) se aplica a la matriz de correlación de las series temporales de anomalías de precipitación. Estas series temporales se filtran para obtener una banda entre 30 a 70 días (tiempo que demora una onda MJO en completar un ciclo en los trópicos). La matriz de correlación otorga un peso similar a cada punto de la región seleccionada y, por lo tanto, evita dar demasiado peso a la parte sur de la cuenca donde se sabe que la variabilidad de la lluvia es más fuerte. La serie temporal de la primera componente principal (PC1 o modo dominante) se utiliza para definir y seleccionar un evento IE, elaborar mapas compuestos y realizar un análisis estadístico.

Sin embargo, existen algunas preguntas por responder:

¿Cómo podemos monitorear la actividad de la MJO y su impacto en la precipitación? ¿Qué índice MJO representa con mayor precisión la variabilidad IE de la precipitación en la región amazónica? ¿Es necesario, quizás, un índice regional IE para fines de monitoreo?

Por lo tanto, para comparar el desarrollo de un evento IE sobre la región amazónica con la evolución de la MJO, se utilizan tres índices descritos anteriormente (RMM, VPM y OMI). Tanto los índices RMM como VPM

se derivan de un EOF multivariado de OLR y circulación, siendo fuertemente influenciado por la circulación sobre el hemisferio occidental. En contraste, el OMI es solo un índice basado en convección; por lo tanto, se espera que este índice muestre un buen desempeño en el monitoreo de la evolución convectiva del evento IE.

EVENTOS DE LLUVIA INTRAESTACIONAL EN LA CUENCA DEL AMAZONAS

El análisis EOF, aplicado a las anomalías de precipitación que se encuentran en la banda de 30 a 70 días, muestra una configuración espacial de precipitación de tipo dipolo entre el noroeste y el sureste de la Amazonía durante el verano y otoño (Figura 1a, b). En contraste, durante el invierno y la primavera, las regiones favorecidas por convección de gran escala cubren casi todo la AB (Figura 1c, d). Es importante mencionar que la variabilidad IE sobre la AB, de hecho, es parte de un patrón de gran escala en América del Sur (Fig. 2), el cual fue documentado recientemente (Vera et al., 2017; Mayta et al., 2020). También es importante mencionar que la MJO controla las fases activas e inactivas del monzón sudamericano, donde la predominancia de los vientos del norte y sur determinan el patrón dipolar sobre AB (Fig. 2).

Después de observar una gran similitud entre los patrones espaciales del primer modo (Fig. 1), calculado en el dominio regional (AB) y los globales (Fig. 2), los índices fueron usados para análisis posteriores. A partir de la serie temporal PC1, un total de 132 eventos IE fueron identificados durante el período de 30 años.

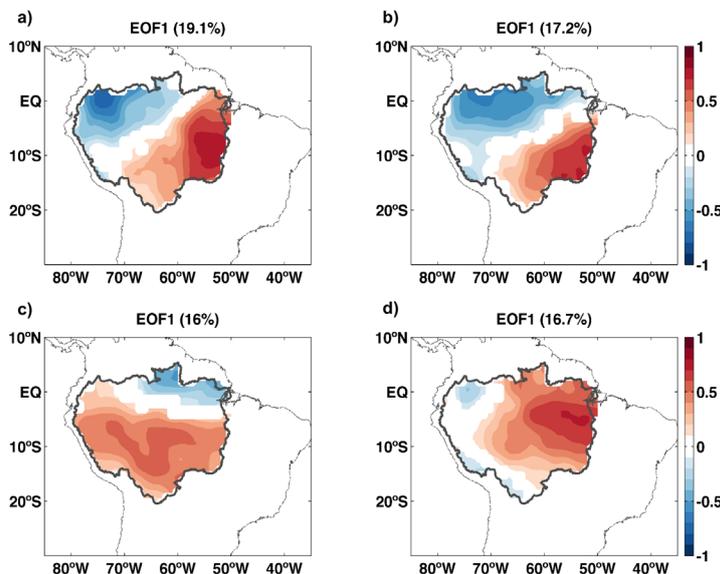


Figura 1. Patrones espaciales del primer modo EOF de lluvia diaria en el rango de periodos de 30–70 días en el periodo 1980–2009 para (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA, (d) SON. Los mapas se muestran en forma de coeficientes de correlación entre las anomalías de lluvia filtrada y las series temporales del modo EOF correspondiente. El intervalo de contorno es 0.1. Los sombreados rojos (azules) indican una correlación positiva (negativa) que excede el nivel de significancia del 5 % (Mayta et al., 2019).

Estos eventos IE, que caracterizan la precipitación intraestacional sobre AB, mostraron inactividad (eventos por debajo de la media) durante la fase cálida del El Niño Oscilación del Sur (ENOS), o sea El Niño. Asimismo, durante la severa sequía amazónica de 2005 y 2010, asociadas a condiciones cálidas en el Atlántico tropical, se registró un déficit en el número de eventos IE.

El análisis espacial de tiempo versus longitud de la OLR filtrada y el potencial de velocidad de niveles superiores para todas las estaciones (Figura 3) muestra una señal típica de propagación hacia el este, la cual está relacionada con MJO de anomalías convectivas con divergencia superior en la región tropical. Esta propagación canónica hacia el este representa entre el 65 % y el 85 % del total de eventos

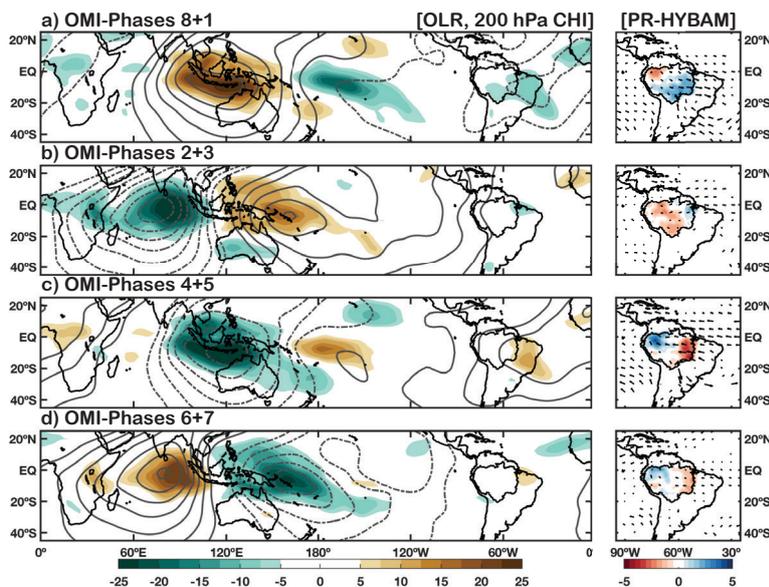


Figura 2. Mapas compuestos de anomalías filtradas de OLR y velocidad potencial a 200 hPa (columna izquierda), precipitación y campos de viento a 850hPa (columna derecha). Los compuestos se basan en el índice OMI. La OLR en contornos esta en $W m^{-2}$ y precipitación en $mm día^{-1}$. El intervalo de contorno de la velocidad potencial es $7.5 \times 10^5 m^2 s^{-1}$. Los vectores de viento son plateados solo cuando el componente u o v es significativo al nivel del 95 % o más (Mayta et al., 2020).

dependiendo de la estacionalidad. En consecuencia, los eventos identificados con datos de lluvia en la región amazónica no se limitan a la propagación ecuatorial hacia el este de la MJO, por lo que otros mecanismos (por ejemplo, a través de los trenes de ondas de Rossby en

el hemisferio sur) podrían ser responsables del 25–35 % restante. Es importante destacar que también se notan modos de propagación hacia el oeste sobre el hemisferio occidental, lo que dificulta a los índices globales representar bien la variabilidad IE en América del Sur.

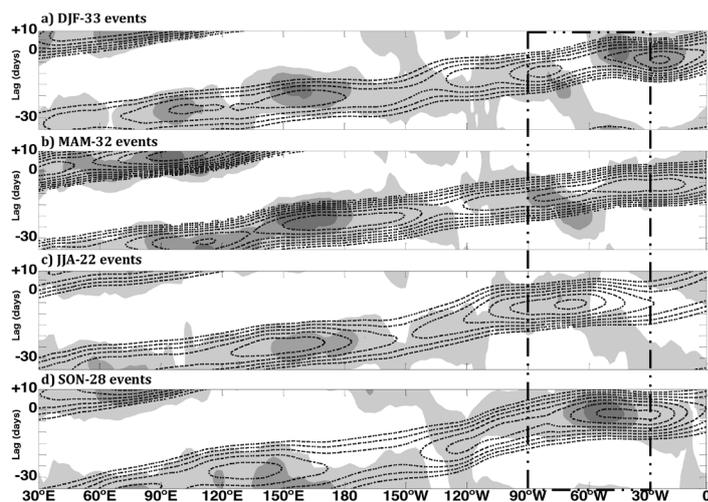


Figura 3. Diagramas de tiempo versus longitud de anomalías filtradas (30–70 días) de OLR (sombreado) y velocidad potencial en altos niveles atmosféricos (contorno discontinuo). Estas anomalías están promediadas entre $10^{\circ}S$ y $10^{\circ}N$ para DEF (a), MAM (b), JJA (c), y para el periodo SON (d). El eje Y es el tiempo desde el día -35 hasta el día +10. Solo se muestran OLR negativos (intervalo de contorno $-5 W/m^2$) y valores negativos de velocidad potencial (intervalo de contorno cada $5 \times 10^5 m^2 s^{-1}$) (Mayta et al., 2019).

EL SKILL DE LOS DIFERENTES ÍNDICES MJO GLOBALES PARA CARACTERIZAR LA PRECIPITACIÓN IE SOBRE LA REGIÓN AMAZÓNICA

Anteriormente planteamos las siguientes cuestiones: ¿Qué índice MJO representa con mayor “precisión” la variabilidad de la precipitación IE en la región amazónica? ¿Es necesario, quizás, un índice “regional” IE para fines de monitoreo? En esta sección seleccionaremos tres tipos de índices detallados anteriormente, con el fin de evaluar el desempeño de cada uno de ellos. Este análisis incluye la selección de un estudio de caso.

Los resultados muestran diferencias en la caracterización del paso de la MJO sobre América del Sur. Un desfase

entre los índices (con diferente fecha de inicio–pico–final), así como de diferente duración de la fase activa sobre América del Sur son algunas de las características observadas en varios eventos (Figuras 4 y 5). También notamos que varios eventos donde la señal OLR no se desarrolló (es decir, fases OMI inactivas) se clasificaron como eventos MJO fuertes por índices basados en circulación (RMM y VPM). Los casos opuestos también son bastante frecuentes, principalmente durante la estación seca, cuando los índices basados en circulación no representan adecuadamente la propagación de MJO hacia el norte y el este (Wang et al., 2018). Esta característica se observa claramente en eventos de lluvia extrema durante los años de La Niña (Figuras 4 y 5). A pesar del hecho de que alrededor del 45% del total de eventos se identifican como un evento MJO activo en todos los índices, un considerable 35% de los casos se detectan solo por el índice OMI. Por lo tanto, argumentamos que incluir o no la componente convectiva en el cálculo del índice MJO conduce a diferencias relevantes en la interpretación.

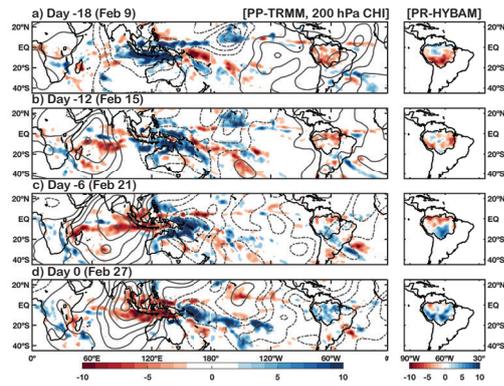


Figura 4. Mapas compuestos de anomalías de precipitación TRMM y velocidad potencial a 200 hPa (columna izquierda), y precipitación obtenida del Observatorio HYBAM (columna derecha). La leyenda muestra la precipitación sombreada en mm día^{-1} . El intervalo de contorno de la velocidad potencial es de $7.5 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, los valores negativos están en líneas discontinuas. Los compuestos se centran en el día -18 (9 de febrero de 2001) hasta el día 0 (27 de febrero de 2001) (Mayta et al., 2020).

CONCLUSIONES

La relación entre la oscilación de Madden–Julian (MJO) y el ciclo estacional de la variabilidad intraestacional (IE) de la precipitación en la cuenca del Amazonas (AB) se analiza utilizando datos de lluvia para el período 1980–2009. Los eventos IE se han definido y seleccionado usando la serie temporal de la primera componente principal, que proviene del análisis de funciones ortogonales empíricas aplicado a los datos de lluvia sobre la AB. Se identificaron un total de 132 eventos IE con una media de cinco eventos por año. Alrededor del 25 % del total de eventos IE en la AB no está relacionado a la teleconexión trópico–trópico (asociada a la propagación tropical de la MJO) sino a otros mecanismos como por ejemplo, los trenes de ondas de Rossby en el hemisferio sur.

Nuestros resultados también sugieren que, a gran escala (es decir, alrededor de los trópicos globales), incluso en el dominio regional (región Amazónica), el índice calculado en función de la OLR representa mejor las características dinámicas y convectivas asociadas con la variabilidad IE. Sin embargo, dada la diferencia en la representación de la precipitación en la AB, nuestros hallazgos también respaldan la necesidad de un índice regional para monitorear y pronosticar los impactos de la MJO. Es algo que se viene trabajando y se espera obtenerlo a mediano plazo para su aplicación en Sudamérica.

REFERENCIAS

- Carvalho, L.V.M., Jones, C. and Liebmann, B. (2004) The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17, 88–108.
- Hendon, H.H. and Salby, M.L. (1994) The life cycle of the Madden–Julian oscillation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51, 2225–2237.
- Kiladis, G.N. and Weickmann, K.M. (1992) Circulation anomalies associated with tropical convection during northern winter. *Monthly Weather Review*, 120, 1900–1923.

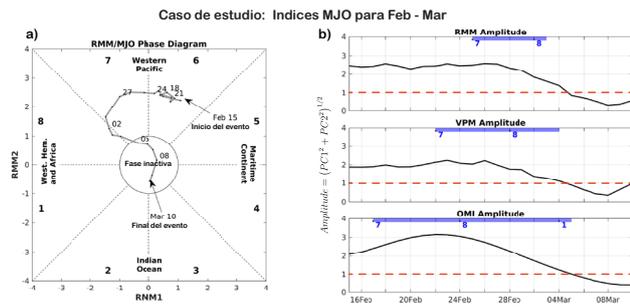


Figura 5. Diagrama de fases del índice RMM (panel izquierdo) y la evolución de la amplitud de todos los índices MJO (RMM - gráfico superior, VPM - gráfico medio, OMI - gráfico inferior) para el estudio de caso de inundación extrema en el Amazonas en febrero de 2001. Las barras azules sobre los gráficos de amplitud indican períodos MJO activos (Fases 8 + 1) para cada índice (Mayta et al., 2020).

Madden, R.A. and P.R. Julian, 1971: Detection of a 40–50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702–708.

Madden, R.A. and Julian, P.R. (1994) Observations of the 40–50 day tropical oscillation: a review. *Monthly Weather Review*, 122, 814–837.

Mayta, VC, Ambrizzi, T, Espinoza, JC, Silva Dias, PL. The role of the Madden–Julian oscillation on the Amazon Basin intraseasonal rainfall variability. *Int J Climatol*. 2019; 39: 343–360.

Mayta, VC, Natalia P. Silva, Pedro L. Silva Dias, Ambrizzi T, Espinoza JC. “Assessing the skill of all-season diverse Madden-Julian oscillation indices for the intraseasonal Amazon precipitation”. *Climate Dynamics*-2020.

Mo, K.C. and Higgins, R.W. (1998) The Pacific–South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 126, 1581–1596.

Straub, K.H.: MJO Initiation in the Real-Time Multi-variate MJO Index. *Journal of Climate* 1130– 1151 (2013).

Ventrice, M.J., M.C. Wheeler, H.H. Hendon, C.J. Schreck, C.D. Thorncroft, and G.N. Kiladis, 2013: A Modified Multivariate Madden–Julian Oscillation Index Using Velocity Potential. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 4197–4210.

Vera, C.S., Alvarez, M.S., Gonzalez, P.L.M., Liebmann, B. and Kiladis, G.N. (2018) Seasonal cycle of precipitation variability in South America on intraseasonal time scales. *Climate Dynamics*, 1–11.

Wheeler, M.C. and Hendon, H.H. (2004) An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review*, 132, 1917–1932.

Wang, S., Ma, D., Sobel, A. H., Tippett, M. K. (2018). Propagation characteristics of BSISO indices. *Geophysical Research Letters*, 45. 9934–9943.

Zhang, C. (2005) Madden–Julian oscillation. *Reviews of Geophysics*, 43, RG2003.

Estudio de sensibilidad para evaluar la influencia de los esquemas de parametrización en el modelo WRF sobre los pronósticos de precipitación a corto y mediano plazos en los Andes centrales del Perú

Dr. Aldo Moya

Instituto Geofísico del Perú (IGP)

INTRODUCCIÓN

Los modelos meteorológicos regionales son una herramienta poderosa para el pronóstico a corto, mediano y largo plazos de las variables meteorológicas. En este sentido, el modelo de Pronóstico e Investigación sobre el estado atmosférico (WRF, por sus siglas en inglés) (Skamarock et al., 2008) es actualmente uno de los más utilizados en el mundo para estos fines. Su desarrollo comenzó en la segunda mitad de la década de 1990 como una asociación de colaboración entre varias instituciones de los Estados Unidos de América.

Sin embargo, previo al uso de cualquier modelo en una región determinada, es necesario evaluar su rendimiento mediante experimentos numéricos que empleen diferentes configuraciones físicas, resoluciones de sus dominios, entre otros parámetros, los cuales puedan establecer el buen funcionamiento de la herramienta.

En el presente trabajo, se llevó a cabo una investigación para evaluar cómo el modelo WRF pronostica la lluvia en los Andes centrales peruanos. Para ello, las salidas numéricas se comparan con datos de observación “*in situ*” de 19 estaciones en la región (Figura 1c), así como con datos satelitales. La mayor parte de la lluvia en el

Perú se concentra en el período comprendido entre los meses de septiembre y abril (Silva et al., 2008), definiendo una marcada estacionalidad, que cuenta con una estación seca entre mayo y agosto (Aceituno, 1989; Vuille, 2008). En los Andes centrales peruanos, la lluvia juega un papel económico importante, ya que el 71% de la tierra cultivable en la cuenca del Mantaro, una de las más importantes de la zona, depende de ella para los cultivos.

Los modelos numéricos regionales, incluido el WRF, se han utilizado previamente para realizar estudios en diferentes regiones montañosas, incluidos los Andes (Barret, 2009; Viale, 2009). Cabe resaltar que en los últimos tres años las investigaciones en la zona de los Andes centrales, que por mucho tiempo fueron escasas, se han incrementado como consecuencia del proyecto de fortalecimiento de la línea de investigación en física y microfísica de la atmósfera, de la convocatoria “MAGNET: Atracción de Investigadores”. En esta oportunidad, se mostrará parte de los resultados de este trabajo que consiste en la evaluación de la sensibilidad del WRF a los cambios de sus esquemas de parametrización de cúmulos, microfísica y capa límite.

Se sabe de la bibliografía especializada, así como en el manual de usuario del modelo, que existen esquemas de parametrización de los diferentes procesos físicos

que resuelve el WRF, entre ellos los de capa límite, cúmulos y microfísica, que serían los objetos de verificación de este trabajo. Entre otros, para la capa límite, existe el esquema Mellor-Yamada-Janjic (Janjic, 2002) y el esquema de la Universidad de Yonsei [Hong et al., 2006]. Para la convección, las parametrizaciones de Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994), Grell 3D y Grell-Freitas (Grell et al., 2014), y para la microfísica, las parametrizaciones de Thomson et al, (2008), Morrison et al. (2009) y Lin Purdué (Lin et al., 1983).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo utilizando la versión 3.7 de WRF. Las condiciones iniciales y de frontera se tomaron del "Análisis operacional global" del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés), "Análisis Final" (FNL, por sus siglas en inglés), cada 6 horas y con resolución horizontal de 1° X 1°. Los datos topográficos empleados fueron los del modelo de elevación digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), con una resolución de 90 m.

Las simulaciones se realizaron para tres dominios (Figura 1). Se aplicó la técnica de anidación unidireccional, ejecutando los tres dominios a la vez. El modelo se inicializó siempre a las 12 UTC y se configuró con 28 niveles verticales.

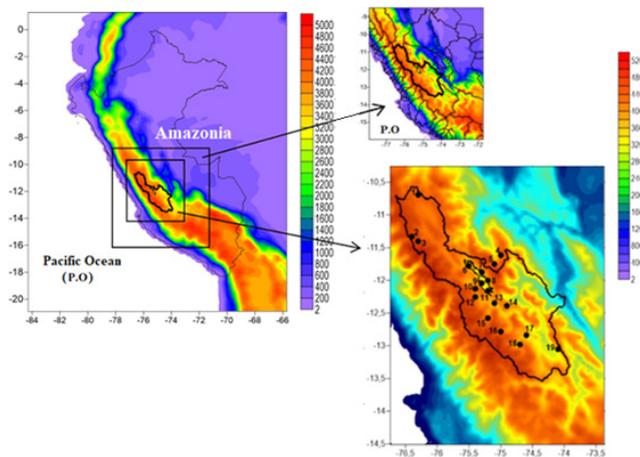


Figura 1. Dominios utilizados en las simulaciones: a) 18 km, b) 6 km y c) 3 km. En c) se aprecia 1) la distribución de las estaciones (círculos de color negro) que han sido consideradas para la verificación de los resultados de los experimentos y 2) una línea continua de color negro que establece la frontera de la cuenca del río Mantaro.

Asimismo, las simulaciones se llevaron a cabo con un horizonte de pronóstico de hasta 10 días, para lo cual se seleccionaron 9 decenas (períodos de diez días consecutivos) correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero de los años 2007, 2009, 2010, 2011 y 2012. Todas las fechas seleccionadas pertenecen al período lluvioso de cada año. La Tabla 1 muestra los esquemas de parametrización evaluados. Obsérvese que, en cada experimento, hay un parámetro que cambia en relación con el experimento de control CTR.

La verificación de los resultados se lleva a cabo de tres maneras: verificación puntual del pronóstico de los valores de precipitación de 24 horas, verificación puntual binaria (llovió o no), y verificación espacial.

Tabla 1. Esquemas de parametrización usados.

Parámetros	Experimentos					
	CTR	C_BMJ	C_GRELL3	MP_MR	MP_LP	BL_MYJ
Microfísica	Thomson	Thomson	Thomson	Morrison	Lin et al.	Thomson
Cúmulos	Grell Freitas	Betts Miller Janjic	Grell3D	Grell Freitas	Grell Freitas	Grell Freitas
Capa límite	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Mellor Yamada Janjic

RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN PUNTUAL. PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN 24 HORAS

La Tabla 2 muestra los resultados de las simulaciones en cada dominio. Se puede ver que el modelo sobreestimó la precipitación en todos los dominios, independientemente de la configuración. Para el dominio de 18 km (Figura 1a), los mejores resultados se obtuvieron con C_GRELL3 (6.63 mm / día), que, al mismo tiempo, mostró un "RMSE" de 12.41 mm / día y un "MAE" de 9.37 mm / día. El peor resultado se obtuvo para C_BMJ.

Para el dominio de 6 km (Figura 1b), MP_MR dio los mejores resultados. Para este dominio, todas las configuraciones mostraron una mejora notable en relación con el dominio de 18 km. Aquí, C_BMJ resultó muy similar al resto de las configuraciones, por lo que se puede concluir parcialmente que este esquema es efectivo para dominios de alta resolución, pero no para dominios de baja resolución.

Para el dominio de 3 km (Figura 1c), MP_MR también mostró los mejores indicadores. La verificación no mostró una mejora significativa para este dominio en relación con los alcanzados en el dominio de 6 km (Figura 1b). Conclusión, MP_MR dio los mejores resultados, principalmente para los dominios más finos.

Tabla 2. Estadísticas de la verificación puntual del pronóstico de precipitación para los 3 dominios simulados con 6 combinaciones de parametrizaciones, promedio de todas las estaciones consideradas.

WRF_DOM	STATISTICS	PARAMETRIZATIONS					
		CTR	C_BMJ	C_GRELL3	MP_MR	MP_LP	BL_MYJ
1: 18 KM	B (mm/day)	7.35	12.08	<u>6.63</u>	6.82	7.97	8.73
	RMSE (mm/day)	13.59	17.08	<u>12.41</u>	12.49	14.27	14.03
	MAE (mm/day)	10.17	13.84	<u>9.37</u>	9.63	10.62	11.18
2: 6 KM	B (mm/day)	6.01	6.71	5.78	<u>4.66</u>	6.06	6.19
	RMSE (mm/day)	12.16	11.67	11.76	<u>10.62</u>	12.35	12.28
	MAE (mm/day)	9.09	9.23	8.92	<u>8.07</u>	9.18	9.31
3: 3 KM	B (mm/day)	5.31	5.71	5.46	3.68	4.87	5.98
	RMSE (mm/day)	11.69	10.21	11.3	<u>10.02</u>	11.68	12.17
	MAE (mm/day)	9.7	8.08	8.52	<u>7.32</u>	8.45	9.19

La Figura 2 muestra la evolución del "RMSE" promedio para los 10 días de pronóstico, promedio entre los dominios 2 y 3. Se observa que el "RMSE" aumenta a medida que aumenta el período de simulación. La configuración C_BMJ y MP_MR muestran valores RMSE relativamente bajos en todos los días de pronóstico, creciendo lentamente desde el día 1 hasta el 5, pero desde el sexto día de pronóstico en adelante, C_BMJ continúa aumentando el error, mientras que MP_MR se muestra más eficiente hasta el día 10.

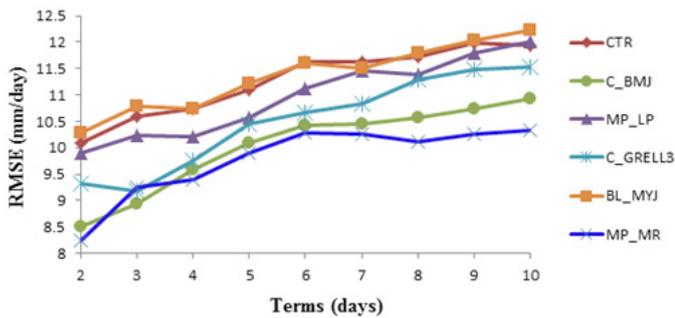


Figura 2. Evolución del promedio de "RMSE" de los dominios 2 y 3 (ver Figura 1) de todas las estaciones con cada esquema de configuración utilizado, para los 10 días de horizonte de simulación.

RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN PUNTUAL. OCURRENCIA DE PRECIPITACIÓN COMO UNA VARIABLE BINARIA CATEGÓRICA

La Tabla 3 muestra las estadísticas de verificación binaria categórica para las diferentes configuraciones. En sentido general, se puede notar que los niveles de detección de las diferentes configuraciones son mayores al 85%. Sin embargo, el BIAS fue mayor que 1, lo que indica que el modelo sobreestima la presencia de precipitaciones en la región. En la Tabla 3, también se observa que, para el dominio de 6 km, el índice POD más alto (94.39%) se obtuvo con la configuración C_BMJ, mientras que el "Correcto Negativo" más alto, del 65.31%, se obtuvo con la configuración MP_MR. El WEI más alto fue el del esquema C_BMJ. Los índices de falsas alarmas y BIAS muestran valores cercanos para todas las configuraciones.

Para el dominio de 3 km, también C_BMJ mostró el mejor POD (93.07%), con un NC de 62.74, sin embargo, el NC más alto (62.8%) y WEI (74.18) se mostraron por CTR. En general, para los dos dominios, las configuraciones CTR, C_BMJ y MP_MR fueron las más efectivas.

Tabla 3. Estadísticas de la verificación puntual para los dominios 2 y 3 con 6 combinaciones de parametrizaciones, promedio de todas las estaciones consideradas.

WRF_DOM	STATISTICS	PARAMETRIZATIONS					
		CTR	C_BMJ	C_GRELL3	MP_MR	MP_LP	BL_MYJ
2: 6 KM	POD (%)	81.54	94.39	90.61	94.04	92.28	92.72
	FAR (%)	28.40	28.55	29.00	29.10	28.48	28.77
	NC (%)	38.80	61.90	57.71	65.31	62.87	62.78
	BIAS	1.14	1.32	1.28	1.33	1.29	1.30
	WEI (%)	66.33	74.57	72.36	74.3	73.90	73.84
3: 3 KM	POD (%)	89.90	93.07	90.96	88.95	90.61	90.88
	FAR (%)	26.70	29.08	28.63	26.63	26.69	27.30
	NC (%)	62.80	62.74	59.61	61.23	58.20	59.38
	BIAS	1.23	1.31	1.27	1.21	1.24	1.25
	WEI (%)	74.18	73.75	72.96	73.67	73.98	73.80

RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN ESPACIAL

La Figura 3 muestra la distribución espacial promedio de la precipitación de las bases de datos TRMM (Huffman et al., 2007) y PISCO (Lavado-Casimiro et al., 2016), así como los resultados del modelo para las diferentes configuraciones utilizadas en los períodos estudiados, correspondientes al dominio de 6 km. Con respecto a los datos de TRMM y PISCO (a y b), se puede ver que ambas bases de datos muestran patrones de precipitación muy similares. En este sentido, la mayor diferencia es que TRMM muestra un máximo de lluvia alrededor de 12°S y 73°W, lo cual es menos notorio en PISCO, debido a que en esa región hay pocas estaciones meteorológicas.

Los mapas en las figuras 6 c-h muestran los resultados de WRF para las diferentes configuraciones utilizadas en los experimentos. Se puede observar que, en general, todas las configuraciones reproducen correctamente los patrones de precipitación mostrados por PISCO y TRMM, pero sobreestimando los acumulados de referencia, mostrados en las figuras 6 a-b, principalmente en la ladera oriental de la cordillera. Un resultado similar se obtuvo para el dominio de 3 km de resolución, debido a que, MP-MR muestra una sobrestimación más discreta en relación con el resto de los esquemas.

El esquema MP-MR en sentido general mostró los mejores resultados a partir de la evaluación realizada, aunque el esquema C_BMJ también se mostró efectivo para los dominios más finos.

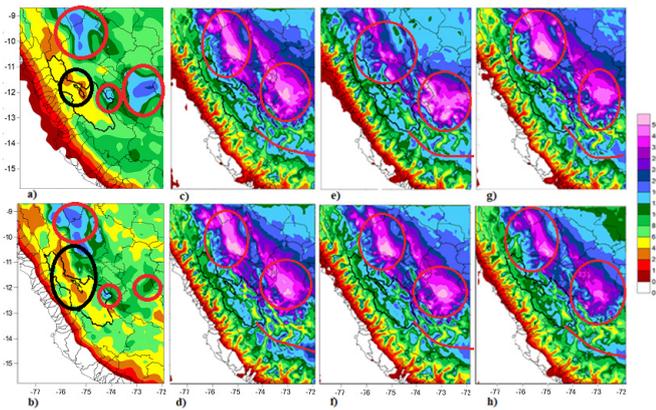


Figura 3. Distribución espacial de la precipitación (mm) para el dominio de 6 km, promedio de todos los períodos estudiados; a) TRMM, b) PISCO, c) CTR, d) MP_LP, e) C_BMJ, f) BL_MYJ, g) C_GRELL3 y h) MP_MR.

REFERENCIAS

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505–524, [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).

Barrett, B. S., R. Garreaud and M. Falvey “Effect of the Andes cordillera on precipitation from a midlatitude cold front,” *Monthly Weather Review*, vol. 137, pp. 3092–3109, 2009. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2881.1>

Grell, G. A., S. R. Freitas “A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling,” *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 14, pp. 5233–5250, 2014. doi: 10.5194/acp-14-5233-2014.

Hong, S.-Y., Y. Noh, J. Dudhia “A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes,” *Mon. Weather Rev.*, vol. 134, pp 2318–2341, 2006. doi: 10.1175/MWR3199.1

Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, D.B. Wolff. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. *J. Hydrometeor.*, 8: 38–55, 2007

Janjic, Z. I. “Nonsingular Implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model”. NCEP Office Note No. 437, 61 pp., 2002. <http://www.emc.ncep.noaa.gov/officenotes/newernotes/on437.pdf>

Janjić, Z. I. “The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes”. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927–945, 1994.

[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122,0927:TSM-ECM.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122,0927:TSM-ECM.2.0.CO;2)

Lavado-Casimiro, W. S., Aybar, C., Huerta, A., Sabino, E., Zevallos, J. & Felipe-Obando O. Generación de datos grillados de precipitación diaria (PISCO Pd 1981–2015) y su utilidad para la estimación de umbrales de precipitaciones máximas. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Estudio de la Dirección de Hidrología, 2016.

Lin, Y. L., R. D. Farley and H. D. Orville “Bulk Parametrization of the Snow Field in a Cloud Model,” *J. Climate Appl. Met.*, vol. 22, pp. 1065 – 1092, 1983.

[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<1065:BPO-TSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<1065:BPO-TSF>2.0.CO;2)

Morrison, H., G. Thompson and V. Tatarskii “Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: Comparison of one- and two-moment schemes,” *Mon. Wea. Rev.* vol. 137, pp. 991–1007, 2009. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1>.

Silva, Y., K. Takahashi and R. Chávez “Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes),” *Advances in Geosciences*, vol. 14, pp. 261–264, 2008. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-261-2008, 2008>

Skamarock, W., J. Klemp, J. Dudhia et al., “A Description of the Advanced Research WRF Version 3,” NCAR Technical Note, NCAR/TN–468+STR, National Center for Atmospheric Research (NCAR), Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Boulder, Colorado, USA, 2008, doi:10.5065/D68S4MVH

Thompson, G., P. R. Field, R. F. Rasmussen and W. Hall “Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 136, pp. 5095 – 5115, 2008.

<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2008MWR2387.1>

Viale, M., F. A. Norte “Strong cross-barrier flow under stable conditions producing intense winter orographic precipitation: a case study over the subtropical central Andes,” *Weather Forecast*, vol. 24, pp. 1009–1031, 2009.

Vuille, M., G. Kaser and I. Juen “Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation,” *Glob. Planet. Change*, vol. 62, pp. 14–28, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>

Resumen del informe técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2019-09

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 Índice Costero El Niño (ICEN), basado tanto en los datos de ERSSTv3b (ICENV3), OISSTv2 (ICENOI) y ERSSTv5 (ICENV5), para el mes de agosto, indican que las condiciones climáticas frente a la costa peruana continúan siendo Neutras, con valores de -0.86, -0.97 y -0.73°C, respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp), de las tres fuentes de datos, para los meses de setiembre y octubre, coinciden en mantener las condiciones Neutras. Con respecto al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) también indica condiciones Neutras para el mes de agosto (0.10°C) y según la información de los valores temporales, se esperaría las mismas condiciones para los meses de setiembre y octubre.

En base a los datos de altimetría satelital (producto DUACS), la señal de la onda Kelvin fría, indicada en el informe anterior, arribó a la costa peruana entre fines de setiembre e inicios del mes de octubre. Por otro lado, la onda Kelvin cálida, localizada cerca de 120°W, llegaría a la costa peruana en el mes de noviembre, esto según perspectivas teóricas y resultados de los modelos oceánicos simples.

Según el promedio de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con condiciones oceánicas y atmosféricas del mes de octubre de 2019, coinciden en indicar condiciones Neutras para el periodo que va de octubre de 2019 a abril de 2020, tanto para el Pacífico central como oriental.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), promediados sobre la región Niño1+2 y actualizados hasta el mes de setiembre de 2019 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 agosto de 2019 y cuyos valores se muestran en la Tabla

1 (columnas 3 y 4), en donde el valor para el mes de agosto corresponde a una condición Neutra. Los valores del ICEN, usando ERSST v3b, se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>.

Los valores del ICENOI, calculado de la misma forma que el ICEN pero usando los datos mensuales de OISST v2 y las climatologías de ERSST v3b, que se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>, se muestran en la columna 5 y 6 de la Tabla 1. Estos indican condiciones Neutras para el mes de agosto.

Otra fuente de datos para calcular el ICEN es la de ERSSTv5 (ICENV5), la cual es generada por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EEUU, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.81-10.ascii>). Los valores de este ICEN se muestran en la columna 7 y 8 de la Tabla 1. Al igual que el ICENV3 e ICENOI, el ICENV5 indica condiciones Neutras para el mes de agosto.

Hay que señalar que para calcular el ICEN actual; tanto para ICENV3, ICENOI e ICENV5; se utilizan los datos que son denominados, en cada una de estas bases de datos, como "datos en tiempo real", los cuales se caracterizan por cambiar ligeramente su valor en el transcurso de los siguientes meses. Es por esto que pueden existir pequeñas discrepancias en el cálculo del ICEN para los meses anteriores cuando se use la data actualizada.

Valores del Índice Costero El Niño							
Año	Mes	ICENV3	Categoría	ICENOI	Categoría	ICENV5	Categoría
2019	Mayo	0.28	Neutra	-0.09	Neutra	0.25	Neutra
2019	Junio	-0.21	Neutra	-0.33	Neutra	-0.12	Neutra
2019	Julio	-0.62	Neutra	-0.63	Neutra	-0.54	Neutra
2019	Agosto	-0.86	Neutra	-0.97	Neutra	-0.73	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN obtenidos de ERSST v3b (columna 3 y 4), OISST.v2 (columnas 5 y 6) y ERSST v5 (columnas 7 y 8).

ÍNDICE OCEÁNICO NIÑO (ONI)

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (Ocean Niño Index en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de agosto de 2019, es de 0.10 °C, correspondiente a una condición Neutra¹.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Durante el mes de setiembre, según los datos observados (IR, MW, OSTIA), las anomalías de la TSM diaria en la región Niño 3.4 indicaron condiciones alrededor de lo normal, observándose anomalías negativas en las tres primeras semanas del mes, cambiando a positivas en la última semana. En los primeros días del mes de octubre se mantuvieron las anomalías positivas. Para la región Niño 1+2, la ATSM continuó mostrando valores principalmente negativos, con un máximo negativo de hasta -1.5°C, sin embargo, se mantuvieron dentro de las condiciones neutras.

Según la información de las boyas instaladas a lo largo del Pacífico Ecuatorial del proyecto TAO, el promedio mensual de las anomalías del viento zonal en el Pacífico ecuatorial continúa mostrando un dipolo (con su eje en 150°E) de anomalías positivas y negativas al oeste. La profundidad de la termoclina al este de 120°W se muestra más profunda de lo normal, mientras que al oeste se observa que la termoclina es más (menos) profunda de lo normal entre 180 y 160°W (entre 160° y 120°W y al oeste de 180). En lo que respecta a la ATSM,

¹ Los umbrales para establecer la categoría de condiciones cálidas o frías débiles, moderadas, fuertes, y muy fuertes usando el ONI son ±0.50, ±1.00, ±1.50, y ±2.00, respectivamente (Nota Técnica ENFEN, 02-2015).

aún se observan valores negativos entre 120°W y 90°W, con un núcleo de -0.5°C entre 125°W-105°W.

En la primera semana de setiembre, según la información de WindSat, se observaron anomalías positivas entre 130° y 135°E, estas anomalías continuaron con mayor intensidad en la segunda semana y abarcaron un mayor espacio (130°-140°E y 149°-165°E), también se observaron pequeños pulsos de vientos del este entre 160° y 140°W. En la tercera semana de este mismo mes se observaron nuevamente pulsos de vientos del oeste entre 170° y 160°W.

La profundidad de la termoclina estuvo más inclinada de lo normal, posiblemente como consecuencia del paso de la onda Kelvin fría. El contenido de calor osciló dentro de sus valores normales, sin embargo en los primeros días de octubre mostró una tendencia positiva, quizás por la presencia de la onda Kelvin cálida en el Pacífico central. La boyas ubicada en la región oriental (95°W) indica aún anomalías negativas de la profundidad de la isoterma de 20°C no obstante los valores son cercanos a su climatología.

La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en la zona A (170°E – 140°W, 5°S-5°N) y B (170°W – 100°W, 5°S-5°N) continúa indicando valores superiores a su climatología, lo cual está relacionado con menor precipitación en dichas regiones.

Según los resultados de los modelos numéricos (Figura 1) y el análisis de la información satelital del nivel del mar, la onda Kelvin fría, mencionada en el informe anterior, habría iniciado su arribo a fines del mes de setiembre e inicios de octubre. En lo que respecta a la información de la profundidad de la termoclina de ARGO y TAO (Figura 1b), la señal aún no habría alcanzado la costa americana. En relación a la onda Kelvin cálida, esta se localiza en 120°W. Por otro lado, en lo que respecta a la

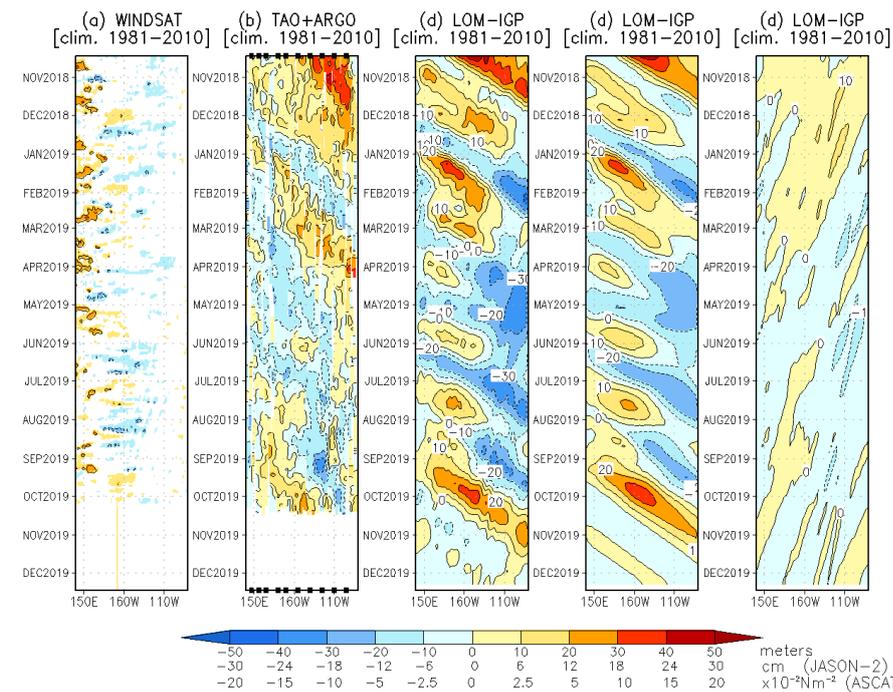


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por WINDSAT, 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.

onda Rossby cálida, también mencionada en el informe anterior, esta continúa su desplazamiento hacia la zona occidental del Pacífico y se localiza actualmente entre 150°E y 180°.

ONDAS KELVIN A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

A lo largo de la costa peruana, la información de DUACS (basado en altimetría satelital), a pesar de mantener anomalías positivas desde hace varios meses, mostró una disminución del nivel del mar desde la tercera semana del mes de setiembre. Según la información del flotador ARGO (No. 3901231), el cual se localizó durante julio e inicios de octubre entre 84.5–83.1°W y 3–4°S (entre las 100 y 200 millas náuticas frente a la costa norte del Perú), las anomalías negativas se observan por encima de los 80 metros, mientras que por debajo se predominaron en promedio condiciones neutras hasta los 200 metros (Figura 2).

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

En la actualidad se observa una onda Kelvin cálida ubicada alrededor de 120°W, según los modelos numéricos y las proyecciones teóricas, arribaría a la costa peruana a partir de noviembre (ver figura 1).

La onda Rossby cálida continúa su desplazamiento hacia la frontera occidental y se espera que, entre lo que queda de octubre y noviembre, se refleje como una onda Kelvin cálida que podría llegar a la costa americana en enero. De reflejarse en el segundo modo baroclínico, es decir con una velocidad de 1.7 m/s esta onda podría llegar en febrero.

PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2) según siete modelos climáticos integrantes de NMME (CFSv2, CanCM4i, GEM_NEMO, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4), con condiciones iniciales del mes de octubre de 2019, se esperan en promedio condiciones Neutras entre los meses de octubre y abril de 2020 (Ver figura 3).

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los mismos modelos climáticos descritos en el párrafo anterior, también indican en promedio condiciones Neutras de octubre a abril de 2020. Hay que resaltar que el modelo GFDL indica condiciones cálidas débiles noviembre a abril de 2020, lo mismo sucede con el modelo GFDL_FLOR, pero para el periodo que va de febrero a abril de 2020. Contrariamente a esto, el modelo de la NASA indica condiciones frías débiles desde enero del 2020.

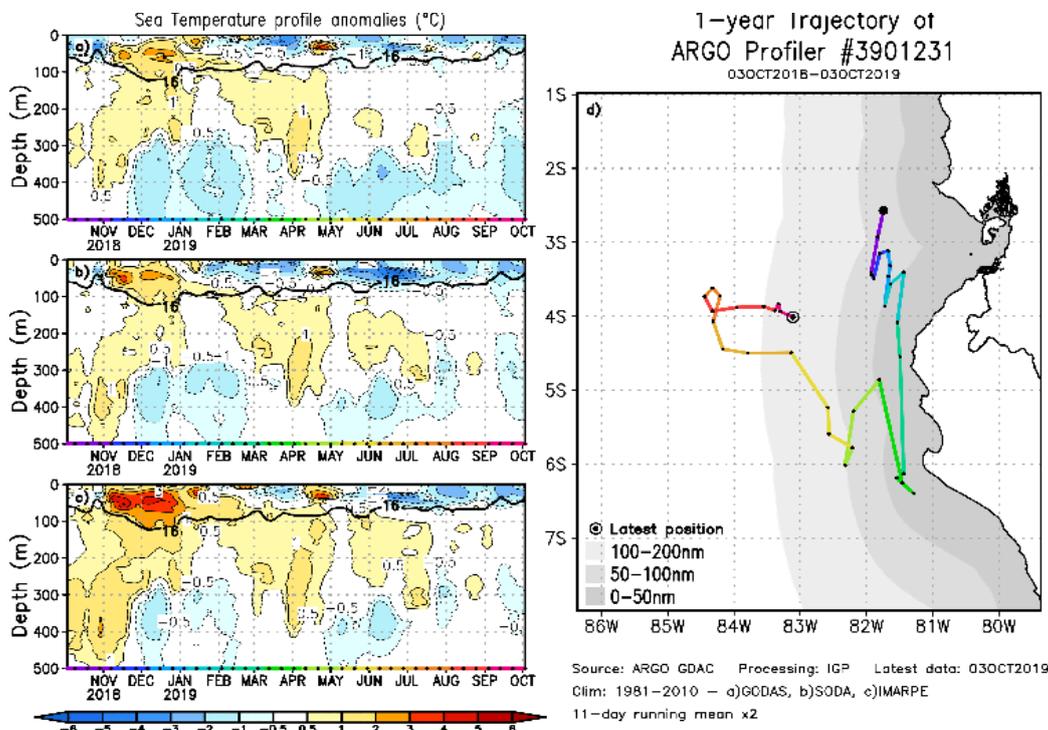


Figura 2. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad calculada de los datos del flotador ARGO No. 3901231. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días, en donde el círculo abierto indica la última posición del flotador.

Pronóstico con modelos del ICEN CI 201910

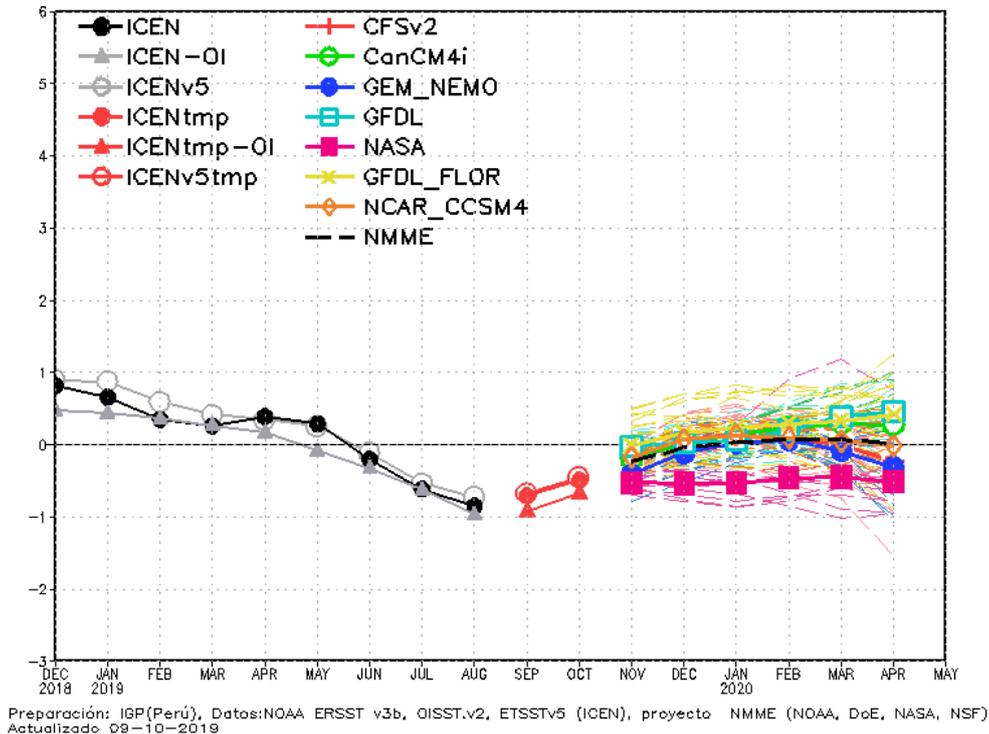


Figura 3. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2; ICEN gris con círculos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno, ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos, ICENv5tmp, rojo con círculo). Además, 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, CanCM4i, GEM_NEMO, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de octubre de 2019. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

CONCLUSIONES

1. El ICEN (SSTOI) para agosto de 2019 fue de -0.97 (Neutro) y los ICENtmp para setiembre y octubre también corresponden a condiciones neutras y son -0.93 y -0.68, respectivamente. Usando la información de ERSSTv3, los valores correspondientes son -0.86 (Neutro), y los temporales para setiembre y octubre -0.71 (Neutro) y -0.50 (Neutro), respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para agosto es -0.73 (Neutro) y los temporales de setiembre y octubre son -0.68 (Neutro) y -0.46 (Neutro), respectivamente.
2. En el Pacífico central, el ONI para agosto y los estimados para setiembre y octubre son 0.10, 0.16 y 0.24, respectivamente y todos corresponden a condiciones Neutras.
3. La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en las regiones (170°E – 140°W, 5°S-5°N) y (170°W – 100°W, 5°S-5°N) indica valores superiores a su climatología.
4. Durante el mes de setiembre, según la información satelital y de reanalysis, se desarrolló un pulso de viento del oeste entre 150°E y la línea de cambio de fecha. Asimismo, se dieron leves pulsos de viento del oeste alrededor de 160°W.
5. Basado en los datos de TAO, durante el mes de setiembre, la termoclina estuvo más inclinada de lo

normal, posiblemente como consecuencia del paso de la onda Kelvin fría, mientras que el contenido de calor osciló dentro de sus valores normales, pero en los primeros días de octubre mostró una tendencia positiva, quizás por la presencia de la onda Kelvin cálida localizada en el Pacífico Central.

6. Según la información en 105°W, generada en base a la información de los flotadores ARGO, se mantienen las anomalías negativas en los primeros 80 metros de profundidad.

7. Los flotadores ARGO localizados entre las 100 y 200 mn de la costa, muestran en promedio, usando la climatología de IMARPE, condiciones neutras con excepción del flotador ubicado frente a Paita, el cual muestra anomalías negativas en los primeros 50 metros de profundidad.

8. Según los resultados de los modelos numéricos y el análisis de la información satelital a lo largo de la franja ecuatorial, la onda Kelvin fría ya habría iniciado su arribo a la costa americana a fines de setiembre e inicios de octubre. Sin embargo, la señal de esta onda en la profundidad de la isoterma de 20°C aún no alcanza la costa americana.

9. Aún se observa la señal de la onda Kelvin cálida, la cual se localiza cerca de 120°W.

10. En el Pacífico occidental (entre 150°E y 180°), según la información satelital, aún se observa una señal intensa de una onda Rossby cálida trasladándose al extremo occidental.

11. Se espera que la señal de la onda Kelvin fría en la profundidad de la termoclina influya en la temperatura del mar en las siguientes semanas.

12. Una onda Kelvin cálida empezaría su arribo a la costa peruana a partir de noviembre.

13. Se espera que la onda Rossby alcance la frontera occidental durante el mes de octubre y noviembre y se refleje como una onda Kelvin cálida que podría llegar a la costa americana en enero. De reflejarse en el segundo modo baroclínico, es decir con una velocidad de 1.7 m/s, esta onda podría llegar en febrero.

14. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME con condiciones iniciales de octubre, indican en promedio condiciones NEUTRAS entre los meses de noviembre y abril de 2020, el promedio también indica anomalías positivas a partir de enero de 2020

15. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indica condiciones Neutras entre los meses de noviembre y abril de 2020.

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 Magister 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° 13-2019
Estado del sistema de alerta: No Activo¹

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el sistema de Alerta "No Activo", debido a que se observan, en promedio, condiciones neutras en la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana y considera más probable que estas se mantengan hasta fin de año.

Se espera la llegada de una onda Kelvin cálida en el mes de noviembre, la cual podría contribuir a ligeras variaciones en la temperatura del mar, del aire, así como del nivel del mar frente de la costa peruana. Para el próximo verano, en el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4) son más probables las condiciones Neutras (63%), seguidas de condiciones El Niño débil (21%); en tanto que, para el Pacífico oriental (región Niño 1+2, que incluye la costa peruana) son más probables las condiciones Neutras (64%), seguidas de condiciones El Niño débil (20%).

Si bien actualmente no se observa la presencia de un evento El Niño o La Niña, es oportuno recomendar que se realicen las labores de reducción y prevención del riesgo que permitan disminuir la vulnerabilidad frente a estos fenómenos naturales.

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar la información oceanográfica, atmosférica, biológico-pesquera e hidrológica hasta la primera semana de octubre de 2019, así como sus perspectivas.

En el Pacífico ecuatorial se observaron anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región occidental (región Niño 4), en tanto que, en la región oriental (regiones Niño 3 y Niño 1+2), la cual incluye la costa peruana, se apreciaron anomalías negativas, aunque en promedio dentro de su rango normal.

El Índice Costero El Niño (ICEN) para agosto y el ICEN temporal (ICEN-tmp) para el mes de setiembre, indican que las condiciones neutras se mantienen frente a la costa norte y centro del Perú.

En el Pacífico ecuatorial, la convección se mantiene suprimida tanto a lo largo de la franja ecuatorial como en la región de Indonesia. Durante setiembre predominaron anomalías de vientos zonales del oeste en los niveles bajos y del este para los niveles altos de la atmósfera, asimismo se observó poca actividad de ondas ecuatoriales atmosféricas. Estas características atmosféricas junto con las oceánicas indican condiciones neutras en esta región.

La señal de la onda Kelvin fría habría iniciado su arribo a la costa americana a fines de setiembre e inicios de octubre. Por otro lado, la onda Kelvin cálida continúa su desplazamiento hacia el continente americano y se localiza actualmente cerca de 120°W. Asimismo, la onda Rossby cálida, localizada entre 150°E y la línea de cambio de fecha, sigue desplazándose hacia el oeste.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mostró más intenso al suroeste de su posición normal con una configuración meridional. La proyección anómala del APS hacia la costa peruana mantuvo los vientos intensos a lo largo de la costa de manera episódica, principalmente en la región norte. En particular, durante la primera semana de octubre, de acuerdo a la información satelital, la configuración del APS moduló la intensificación anómala del viento costero dentro de las 50 millas náuticas.

Los valores de las temperaturas extremas del aire en la costa peruana, en promedio, se mantuvieron alrededor de lo normal durante setiembre; no obstante, en la primera semana de octubre se observó un incremento anómalo en la costa norte, principalmente en la región Tumbes, no así, en la costa central y sur donde se presentaron ligeramente frías.

Frente a Paita, a 230 millas náuticas, se observaron condiciones frías dentro de los 70 metros de profundidad desde fines del mes de setiembre hasta inicios de octubre para luego pasar a una condición neutral.

En la costa norte de Perú, en la última semana de setiembre, se observó el desplazamiento hacia el sur de aguas cálidas ecuatoriales, con bajas concentraciones de salinidad, hasta Paita (5°S), como consecuencia del debilitamiento de los vientos en dicha región. Esto incrementó la temperatura del mar llegando a alcanzar los 4°C por encima del promedio y dentro de los 50 m de profundidad. Luego, a inicios de octubre se intensificaron los vientos alisios que provocaron

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



IMARPE
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



IGP
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Senamhi
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



DIHIDRONAV
DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



INDECI
INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL



ANA
Autoridad Nacional del Agua



CENEPRED
CENTRO NACIONAL DE OPERACIÓN Y PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS DE RIESGO DE DESASTRES

el cambio a condiciones frías, alcanzando valores de 1°C por debajo de su promedio.

A 50 millas náuticas, entre 8°S y 11°S, se observaron condiciones ligeramente frías sobre los 70 m de profundidad como consecuencia de los procesos de afloramiento. En cambio, por fuera de las 50 millas náuticas se presentaron condiciones cercanas a lo normal, con presencia de aguas oceánicas.

A 10 millas náuticas de la costa, frente a Paita y en la última semana de setiembre, se pasó a una condición cálida con anomalías de +3°C sobre los 20 m de profundidad, a diferencia de Chicama y Callao que tuvieron una condición neutra y fría, respectivamente. En relación a la salinidad, estas indicaron presencia de aguas cálidas ecuatoriales frente a Paita, aguas de mezcla en Chicama y aguas costera frías en el Callao.

En el litoral, en la primera semana de setiembre, las anomalías del nivel del mar fueron positivas; sin embargo, desde la segunda semana disminuyeron hasta alcanzar el valor de 9 cm por debajo del promedio. La TSM en el litoral también mostró, aunque en menor magnitud, estas oscilaciones. Es posible que la onda Kelvin fría haya tenido un rol en la última semana de setiembre.

La concentración de la clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton) en la capa superficial presentó un comportamiento acorde al patrón histórico, con núcleos de alta concentración (> 5 mg.m⁻³) frente a Paita; Chicama-Chimbote y al sur de Atico.

Los indicadores reproductivos de la anchoveta del stock norte-centro del Perú, al mes de setiembre, muestran que el recurso se encuentra en su periodo principal de desove conforme a sus patrones históricos.

Los caudales de los principales ríos de las regiones hidrográficas del Pacífico y Titicaca presentaron un comportamiento ligeramente descendente respecto a la media, mientras que los ríos de la región hidrográfica del Atlántico muestran un comportamiento ascendente. A la fecha, las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran en promedio al 58 % y 71 % de su capacidad de almacenamiento, respectivamente.

Las temperaturas nocturnas con valores por debajo de lo normal propiciaron la fructificación del mango Kent en la región Lambayeque; por el contrario, en la zona de Chulucanas (región Piura), se observó la caída anormal de frutos del mango Edward y criollo. En cuanto al cultivo de arroz, en la zona de San Lorenzo (Piura), los días cálidos vienen favoreciendo la formación de la espiga. En la región Tacna, las condiciones térmicas entre normales y ligeramente frías promovieron la floración del olivo.

PERSPECTIVAS

El pronóstico de los modelos climáticos internacionales para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4) y para Pacífico oriental (región Niño 1+2, el cual incluye la costa peruana, tal como se observa en la Figura 1) continúa indicando, en promedio, condiciones neutras hasta abril de 2020.

La Comisión Multisectorial ENFEN, por medio del monitoreo y análisis de la información proporcionada por las instituciones que la conforman, así como de la evaluación mediante el juicio experto de su grupo científico, considera que es más probable que hasta fin de año se mantengan, en promedio, las condiciones neutras a pesar de la llegada de una onda Kelvin cálida a la costa peruana entre noviembre y diciembre.

Debido a que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, durante el verano austral, el ENFEN proporciona una estimación de las probabilidades de ocurrencia de éstos (ver Tabla 1 y 2) para el próximo verano. El análisis indica que para el Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4) son más probables las condiciones Neutras (63%), seguidas de condiciones El Niño débil (21%); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2) son más probables las condiciones Neutras (64%), seguidas de condiciones El Niño débil (20%).

Por lo expuesto, la Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el Estado de Alerta de El Niño en "No Activo", sin embargo recomienda que las entidades competentes realicen las labores de reducción y prevención del riesgo que permitan disminuir la vulnerabilidad frente a estos fenómenos naturales.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones actuales y actualizando las perspectivas cuando sean requeridas.

La emisión del próximo comunicado ENFEN será el día 14 de noviembre de 2019.

Callao, 14 de octubre de 2019

Tabla 1. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacífico central en el verano diciembre 2019 – marzo 2020.

Magnitud del evento diciembre 2019 – marzo 2020	Probabilidad de Ocurrencia
El Niño moderado	3%
El Niño débil	21%
Neutro	63%
La Niña débil	12%
La Niña moderada	1%

Tabla 2. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacífico oriental en el verano diciembre 2019 – marzo 2020.

Magnitud del evento diciembre 2019 – marzo 2020	Probabilidad de ocurrencia
El Niño moderado	2%
El Niño débil	20%
Neutro	64%
La Niña débil	13%
La Niña moderada	1%



Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa,
Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: [511] 317 2300

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

 <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