PERÚ Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú - IGP

IGP
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Programa Presupuestal por Resultados Nº 068
"Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación del riesgo de desastres"

BOLETÍN TÉCNICO

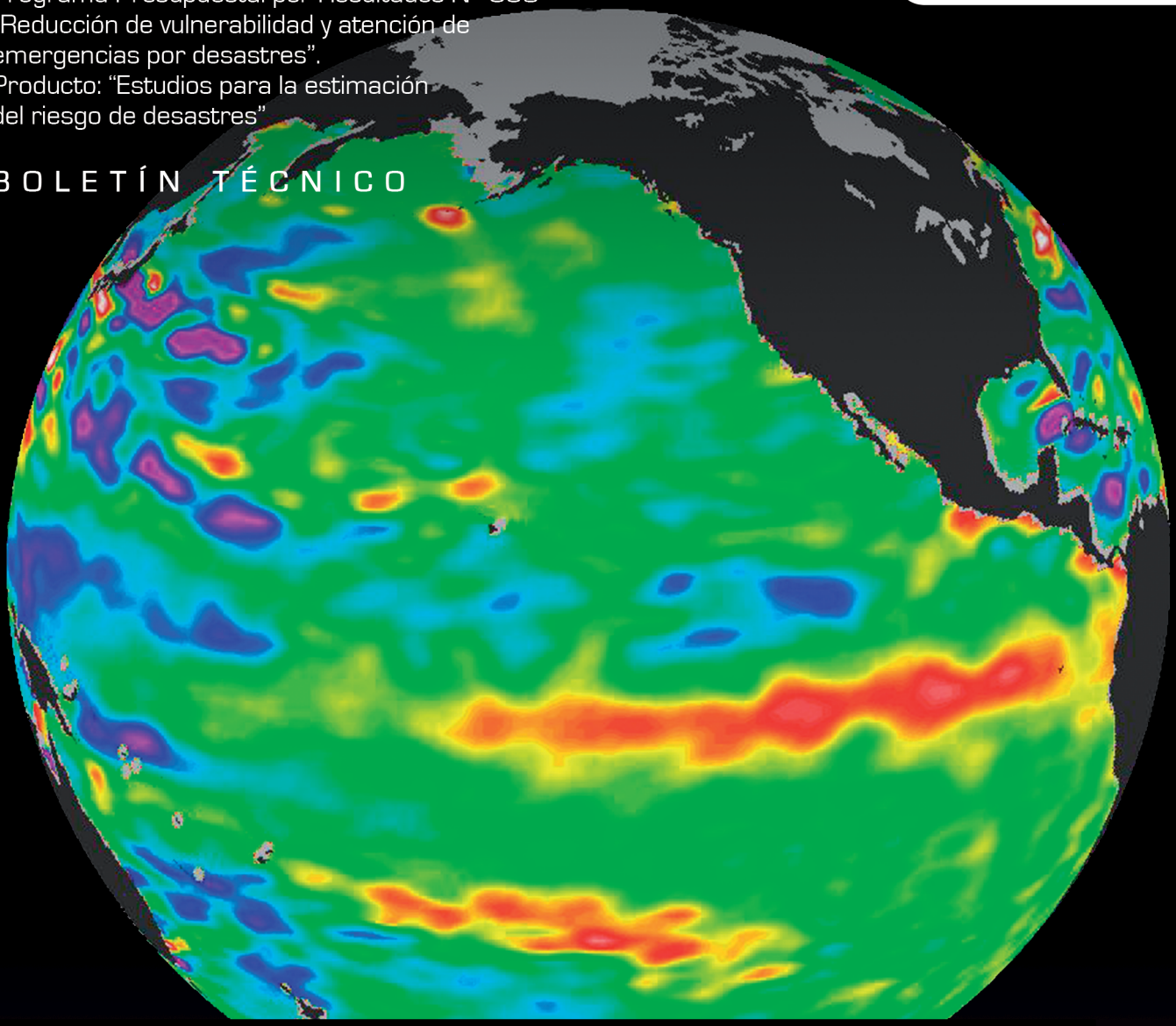


Foto: NASA

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

El modo acoplado océano-atmósfera cercano al periodo anual en el Pacífico tropical ecuatorial

VOL. 6 Nº 6 JUNIO 2019

Contenido

3 - 4	Introducción
5 - 8	Artículo de Divulgación Científica
9 - 12	Avances científicos
13 - 17	Resumen del Informe Técnico
18 - 19	Comunicado Oficial del ENFEN

Créditos

Programa Presupuestal Nº 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".

Lucía Ruíz
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: El Satélite Jason observa evento El Niño en el 2006.
Foto: 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, setiembre de 2019

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 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 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 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://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4594

IGP
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

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
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO"

ENFEN

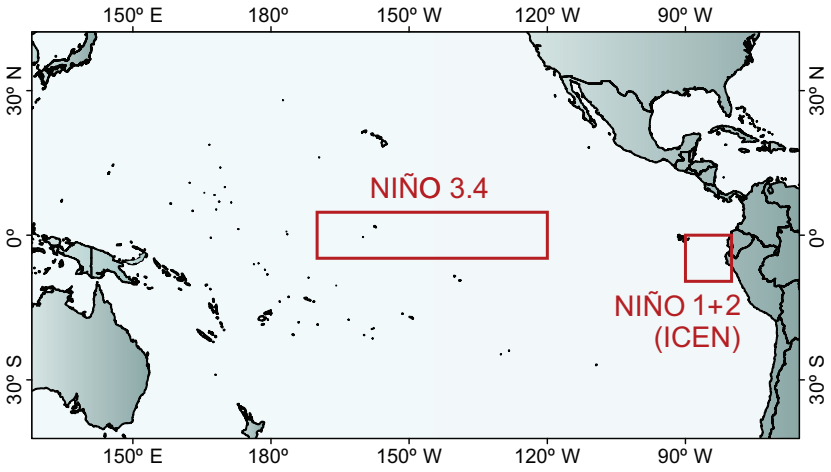
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

El modo acoplado océano-atmósfera cercano al periodo anual en el Pacífico tropical ecuatorial

Mg. Octavio Fashé Raymundo
PROFESOR PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS (UNMSM)

Magíster en Física con Mención en Geofísica por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y catedrático de la Facultad de Ciencias Físicas de la misma casa de estudios. Coordinador del Grupo de Investigación en Ciencias de la Tierra, Clima y Medio Ambiente - CTCLIMA, de la Facultad de Ciencias Físicas. Es autor de artículos publicados en revistas internacionales con amplia experiencia en la Gestión del Riesgo de Desastres. Actualmente su investigación se encuentra enfocada en la radiación solar sobre el Valle del Mantaro.

VARIABILIDAD EN EL OCÉANO PACÍFICO TROPICAL

Se encuentra bien documentada que la variabilidad del océano Pacífico tropical es dominada por El Niño- Oscilación Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Philander, 1990). Los mecanismos físicos responsables del ENSO, así como su generación, son ahora mejor comprendidos, lográndose importantes avances desde que en la década de 1980 se dieran los primeros pasos para su predicción (Zebiak y Cane, 1987).

Sin embargo, el ENSO no es la única fuente de variabilidad, pues encontramos señales muy importantes en escalas de tiempo decadales (Tourre et al. 1999; Zhang et al. 1999), bienales (Ropelewski et al., 1992), intra-estacionales (Madden y Julian, 1994) y cercanas a la anual (Mantua y Battisti, 1995; Jin et al. 2003; Fashé y Dewitte, 2013).

La variabilidad cercana a la anual fue considerada, en un inicio, como una expresión de "ruido" durante el modelado de los procesos físicos concernientes al ENSO (Zebiak 1984; Périgaud y Dewitte 1996). En particular, ese modo se interpretó como una señal del tipo resonante del Pacífico ecuatorial, ya que aproximadamente le toma a la onda de Kelvin -y luego a la onda de Rossby reflejada cruzar el Pacífico ecuatorial- un lapso de 9 meses. Además del hecho de que esta variabilidad, que era prominente en modelos de aguas superficiales, se encontraba poco documentada en las observaciones y se manifiesta como una modulación del ciclo estacional (Jin et al. 2003, Kang et al. 2004, Dewitte et al. 2007).

IDENTIFICACIÓN DEL MODO CERCANO AL ANUAL

La variabilidad cercana a la anual ha sido bien documentada en modelos acoplados océano-atmósfera de diferente complejidad (Jin et al., 2003; Kang et al. 2004; Dewitte et al. 2007). Jin et al. (2003) analiza la existencia del modo cercano al anual en el periodo 1991-2001 basándose en datos de reanálisis NCEP, haciendo un análisis wavelet sobre del índice de anomalías de la temperatura superficial del mar (SST, por sus siglas en inglés) en la región Niño 3.4 y describe la presencia del modo cercano al anual en relación con el estado de fondo. La existencia de la variabilidad cercana a la anual en los datos hasta hace poco fue difícil de identificar, debido a que en las observaciones la señal cercana a la anual se encuentra muy próxima a la variabilidad anual (Jin et al. 2003), depende del estado de fondo (Dewitte et al. 2007; Kang et al. 2004), se encuentra inmersa dentro de la variabilidad ENSO o se encuentra amortiguada.

A continuación se presenta un procedimiento para la identificación de la variabilidad cercana a la anual, haciendo uso de herramientas estadísticas (Fashe y Dewitte, 2013) sobre datos de satélite.

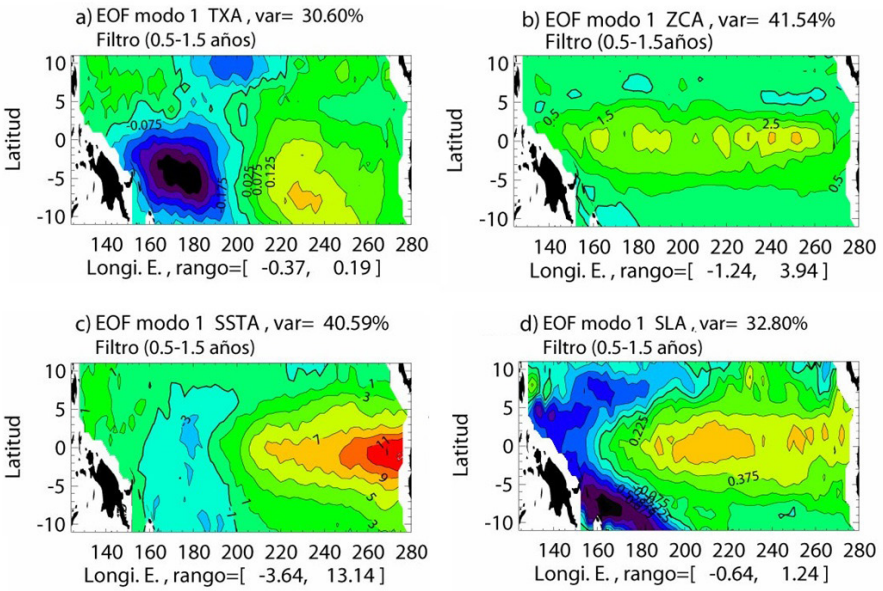


Figura 1. *Patrones espaciales del primer modo EOF para: (a) la TXAf, (b) la ZCAf, (c) SSTAf y (d) la SLAf. El porcentaje de la varianza explicada se muestra en la parte superior de los gráficos. CI = 0.05, 1.0, 2.0 y 0.15 unidades, respectivamente.*

FUNCIONES ORTOGONALES EMPÍRICAS (EOF)

Con el fin de identificar los patrones dominantes representantes de cambios de largo y corto periodo de variabilidad en el océano Pacífico tropical ecuatorial, se usará el análisis EOF. Los campos estudiados son: la anomalía del esfuerzo de viento zonal [TXA] (CERSAT-IFREMER, 2002), la anomalía de la corriente zonal superficial [ZCA] (Bonjean y Lagerloef, 2002), la anomalía de la temperatura superficial del mar [SSTA] (Wentz y Meissner, 2000) y la anomalía de la altura del nivel del mar [SLA] (AVISO, 2009). Al enfocarse en la variabilidad cercana a la anual, se filtran las señales características de la variabilidad bienal, interdecadal e intraestacional de los datos originales. Para ello se usa un filtro "pasa banda", el cual restringe la información a periodos que van de 0.5 a 1.5 años, de esta manera se obtiene un conjunto de datos libre de señales de alta y baja frecuencia [TXAf, ZCAf, SSTAf y SLAf].

Iniciando el análisis con la TXAf (Fig. 1a), se observan dos polos definidos al sur de la línea ecuatorial. De forma similar los datos ZCAf muestran (Fig. 1b) un patrón espacial con valores máximos a lo largo del Pacífico central hacia el Pacífico este, indicando que el modo cercano al anual involucra la propagación de ondas. Las anomalías de temperatura superficial del mar (Fig. 1c) muestran una distribución simétrica a lo largo del Ecuador con un máximo a 275°E. Notamos que el patrón espacial de la SSTAf está desplazado zonalmente al este [~15°] en comparación con el patrón espacial de la SSTA, lo que se traduce en una respuesta distinta de la atmósfera entre la señal total [interanual] y el modo cercano al anual. Finalmente, el patrón espacial de la SLAf (Fig. 1d) muestra que los valores de amplitud máximos se encuentran simétricamente distribuidos a lo largo del ecuador desde 180°E hasta la costa oeste americana.

DESCOMPOSICIÓN EN VALORES SINGULARES (SVD)

La técnica SVD resulta más adecuada para el estudio de dos campos de diferentes variables a fin de maximizar la covarianza entre ellos, en este caso se aplicará a los campos atmosféricos y oceánicos. Los resultados presentados en la Tabla 1 muestran el análisis SVD de los campos ZCAf, SSTAf y SLAf contra el campo TXAf.

	Modo 1	Modo 2
Campo	Varianza explicada por el SVD (%)	
ZCAf y TXAf	43.03	22.76
	Varianza (%)	Varianza (%)
ZCAf	20.44	13.84
TXAf	21.09	15.34
	Correlación	
	0.8	0.73
SSTAf y TXAf	54.17	30.13
	Varianza (%)	Varianza (%)
SSTAf	32.57	14.52
TXAf	11.65	22.31
	Correlación	
	0.88	0.89
SLAf y TXAf	65.58	14.39
	Varianza (%)	Varianza (%)
SLAf	31.5	13.03
TXAf	20.32	12.26
	Correlación	
	0.89	0.79

Tabla 1. *Análisis SVD entre la TXAf y ZCAf, SSTAf y SLAf*

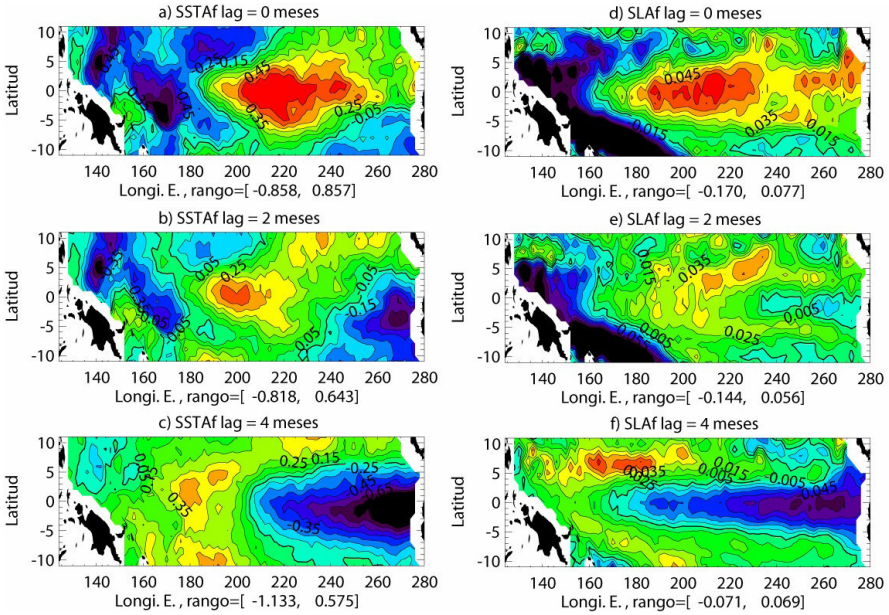


Figura 2. *(a)-(c) Compuestos para la SSTAf y (d)-(f) para la SLAf. (a), (d) durante la fase madura, (b), (e) dos meses después de la fase madura y (c), (f) cuatro meses después de la fase madura. Las unidades son °C y m y los CI = 0.1 y 0.01 para SSTAf y SLAf, respectivamente.*

PROCESOS EOF Y SVD

Realizando una reconstrucción de los primeros tres modos EOF durante todo el periodo de estudio, observamos que en esencia los campos reconstruidos TXAf, ZCAf, SSTAf y SLAf representan bien a la data original, ya que ellos explican un porcentaje de varianza significativa de la data original, 58.17%, 56.67%, 67.61% y 58.79%, respectivamente.

Un análisis *wavelet* (Fashé y Dewitte, 2013) de las series de tiempo asociadas al primer modo EOF y SVD muestran evidencias claras de actividad cercana a la anual durante el periodo 2000-2003. En dicho periodo, una fluctuación cercana a la anual en la SSTAf y la TXAf entre el 2000 y 2001 se propaga desde el Pacífico este hacia el Pacífico central para la SSTAf y desde el Pacífico central hacia el oeste para la TXAf. En ambas situaciones se puede apreciar que la propagación de la SSTAf y TXAf se produce con la misma velocidad y fase, lo que confirma la naturaleza acoplada del modo cercano al anual. Se realizó un análisis consistente en la elaboración de diferencias entre los compuestos durante las fases maduras cálidas y frías, lo que permite una manera ideal de analizar el comportamiento dinámico de la variabilidad cercana a la anual.

Los patrones espaciales asociados a la diferencia de los compuestos de mapas de fases extrema y de transición para la SSTAf y SLAf se muestran en la figura 2 y para la TXAf y ZCAf en la figura 3. Los compuestos muestran las condiciones durante la fase madura [lag = 0 meses], dos meses después [lag = 2 meses] y cuatro meses después [lag = 4 meses]. Inicialmente se nota que el máximo de variabilidad para los vientos zonales se localiza a 5°S [Fig. 3a], lo que significa que el patrón de vientos zonales [lag = 0 meses] no fuerza una respuesta de tipo onda Kelvin. Por el contrario, puede forzar una onda Rossby que va a reflejarse en la frontera oeste como una onda Kelvin de tipo afloramiento.

Seguidamente el patrón de la SSTAf tiene su centro localizado en el Pacífico ecuatorial este y central [Fig. 2a]. Como respuesta a estas anomalías, esfuerzos de vientos anómalos emergen desde el oeste en el Pacífico ecuatorial oeste y anomalías de esfuerzos de vientos del este en el Pacífico este [Fig. 3a]. Estas anomalías de esfuerzos de vientos conducen corrientes zonales anómalas que se presentan fuertes y positivas [Fig. 3d], reforzando de esta manera las anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico este y central indicando una realimentación positiva a través de una advección zonal. Si bien las anomalías del nivel del mar en el ecuador son pequeñas y positivas [Fig. 2d], estas indican la existencia de anomalías cálidas en las temperaturas sub-superficiales que favorecen a las anomalías positivas de la SST. En la fase de transición, lag = 2 meses, se observa la presencia de corrientes zonales anómalas negativas [Fig. 3e] que se extienden por el Pacífico ecuatorial entero. Observamos también que las anomalías del nivel del mar se encuentran ligeramente negativas en el extremo del Pacífico ecuatorial este [Fig. 2e]. La advección producida por las anomalías negativas de las corrientes zonales superficiales intensifican y expanden las anomalías negativas de la temperatura superficial del mar desde el Pacífico ecuatorial central-este hacia el Pacífico ecuatorial central [Fig. 2b] conduciendo a las SSTAf ecuatoriales hacia la fase fría.

Finalmente durante la fase fría, lag = 4 meses, observamos una inversión completa de las anomalías del nivel del mar [Fig. 2f]. Asimismo, la advección producida por las anomalías negativas de las corrientes zonales superficiales [Fig. 3f] permite la expansión de las anomalías negativas de la temperatura superficial del mar desde el Pacífico ecuatorial central hacia el Pacífico oeste [Fig. 2c]. Estas corrientes anómalas se encuentran muy asociadas a las ondas Rossby reflejadas desde la frontera este y a las ondas Rossby forzadas por las anomalías de vientos hacia el este en el Pacífico central y este (Jin et al. 2003).

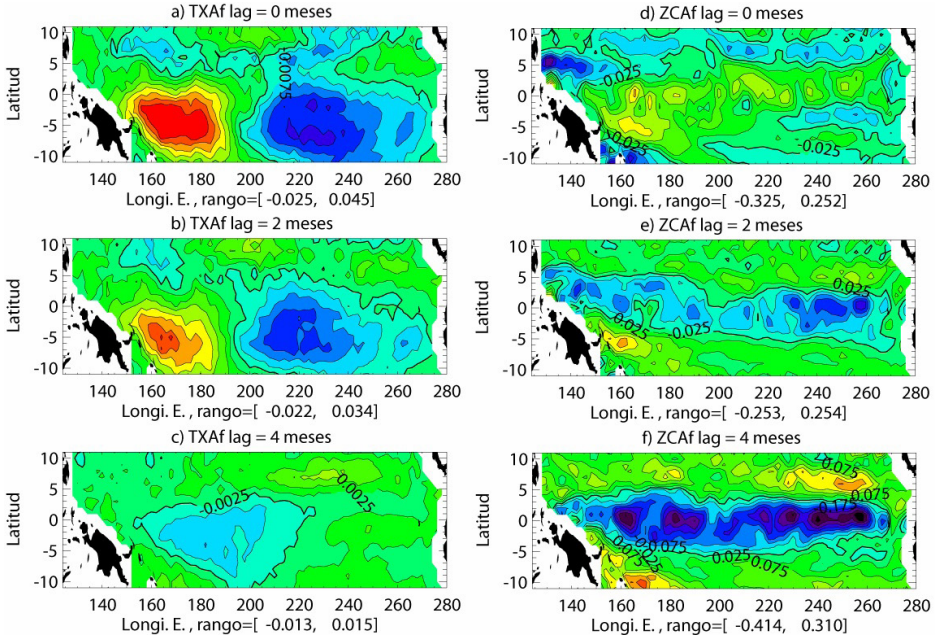


Figura 3. (a)-(c) Compuestos para la TXAf y (d)-(f) para la ZCAf. (a), (d) durante la fase madura, (b), (e) dos meses después de la fase madura y (c), (f) cuatro meses después de la fase madura. Las unidades son N m-2 y m s-1 y los CI = 0.005 y 0.05 para TXAf y ZCAf, respectivamente.

CONCLUSIONES

La existencia del acoplamiento océano-atmósfera debido a esta variabilidad cercana a la anual ha sido demostrada mediante un análisis SVD, que indica que este tipo de variabilidad se transmite a la parte dinámica [anomalías de corrientes zonales] y termodinámica [anomalías de temperatura superficial del mar], dado que los patrones espaciales asociados a las anomalías de esfuerzos de vientos zonales, presentaban patrones muy similares para ambas interacciones SVD. Mediante un análisis de compuestos de mapas de fases extremas y de transición sobre los campos estudiados, se muestra que la variabilidad cercana a la anual impacta en las anomalías de temperatura superficial del mar mediante una realimentación positiva a través de advección zonal en el Pacífico ecuatorial tropical central a este.

REFERENCIAS

AVISO, 2009: SSALTO/DUACS User Handbook: (M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products. CLS-DOS-NT-06.034. Version 1.10. 41 pp.

Bonjean F. and G.S.E. Lagerloef, 2002: Diagnostic Model and Analysis of the Surface Currents in the Tropical Pacific Ocean, Journal of Physical Oceanography, Vol. 32, No. 10, pages 2938-2954.

CERSAT-IFREMER, 2002: Quikscat scatterometer mean wind field products user manual. Version 1. C2-MUT-W-03-IF. 47 pp.

Dewitte, B., C. Cibot, C. Perigaud, S.-I. An, L. Terray, 2007: Interaction between Near-Annual and ENSO Modes in a CGCM Simulation: Role of the Equatorial Background Mean State. J. Climate, 20, 1035-1052.

Fashé, O., and Dewitte, B., 2013: Enhancement of near-annual variability in the equatorial Pacific in 2000-2008. DOI: 10.5194/adgeo-33-13-2013

Jin, F.-F., J. S. Kug, S.-I. An, and I. S. Kang, 2003: A near-annual coupled ocean-atmosphere mode in the equatorial Pacific Ocean. Geophys. Res. Lett., 30, 1080, doi:10.1029/ 2002GL015983.

Kang, I.-S., J.-S. Kug, S.-I. An, and F.-F. Jin, 2004: A near-annual Pacific Ocean basin mode. J. Climate, 17, 2478–2488.

Madden, R.A., and P.R. Julian, 1994: Observations of the 40–50-Day Tropical Oscillation—A Review. Mon. Wea. Rev., 122, 814–837.

Mantua, N. J., and D. S. Battisti, 1995: Aperiodic Variability in the Zebiak-Cane Coupled Ocean-Atmosphere Model: Air-sea Interaction in the Western Equatorial Pacific, J. Climate, 8, 2897–2927.

Perigaud, C., and B. Dewitte, 1996: El Niño-La Niña events simulated with Cane and Zebiak's model and observed with satellite and in situ data: Part I: Model Data Comparison, J. Climate, 9, 66–84.

Philander, 1990: El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. Academic Press, 289 pp.

Ropelewski, C. F., M. S. Halpert, and X. Wang, 1992: Observed tropospheric biennial variability and its relationship to the Southern Oscillation. J. Climate, 5, 594–614.

Tourre, Y. M., Y. Kushnir, and W. B. White, 1999: Evolution of interdecadal variability in sea level pressure, sea surface temperature, and upper ocean temperature over the Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr., 29, 1528–1541.

Wentz, F. J., and T. Meissner, 2000: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). AMSR Ocean Algorithm. Version 2. RSS Tech. Proposal 121599A-1. 59 pp.

Zebiak, S. E., 1984: Tropical atmosphere-ocean interaction and the El Niño/Southern Oscillation phenomenon, Ph.D. dissertation, MIT.

——, and M. A. Cane, 1987: A model El Niño–Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev., 115, 2262–2278.

Zhang, R.-H., L. M. Rothstein, and A. J. Busalacchi, 1999: Interannual and decadal variability of the subsurface thermal structure in the Pacific Ocean. Climate Dyn., 15, 703–717.

Respuesta de la costa peruana a pulsos de vientos intraestacionales e interanuales (simulación numérica)

Jeancarlo Fajardo y Kobi Mosquera

Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima-Perú

INTRODUCCIÓN

Las anomalías de viento zonal en el Pacífico Ecuatorial tienen el potencial de transmitir energía al océano para producir ondas oceánicas ecuatoriales. De este espectro de ondas, la más relevante para el sistema de afloramiento peruano es la onda de Kelvin ecuatorial. Esta onda, que siempre se propaga hacia el este a lo largo de la franja ecuatorial, puede producir -dependiendo de su tipo- calentamiento o enfriamiento de las aguas superficiales de la costa Sudamericana. Estos tipos de onda Kelvin pueden ser de hundimiento *(downwelling)* o afloramiento *(upwelling)* pero en este texto se las llamará onda Kelvin cálida y onda Kelvin fría, respectivamente, por su impacto en la temperatura superficial del mar.

La onda cálida se caracteriza por incrementar el nivel del mar, profundizar las isotermas y modificar la circulación superficial y sub-superficial con corrientes superficiales ecuatoriales hacia el este y, por lo general, hacia los polos cuando se encuentra en la costa oriental (Mosquera et al., 2013; Echevin et al., 2014). Los cambios en la dinámica y termodinámica provocados por la onda de Kelvin cálida durante un evento El Niño conllevan, en el peor de los escenarios, a precipitaciones extremas, daños materiales con cuantiosas pérdidas económicas, e impactos negativos en el recurso pesquero (Takahashi, 2004; Bertrand et al., 2008), por lo que su estudio es de suma importancia para el Perú.

Sin embargo, según Pizarro (2016) no todas las frecuencias asociadas a este tipo de ondas favorecen la teleconexión entre el Pacífico ecuatorial y la costa de Sudamérica, ya que esta conexión es bastante eficiente en el rango intraestacional. Por otro lado, trabajos teóricos en base a un océano tridimensional, sin disipación y para el rango de las frecuencias bajas ($w^2/f^2<<1$), donde w es la frecuencia de la onda y f es el parámetro de Coriolis (Clarke, 1983; Clarke y Shi, 1991), sugieren que para latitudes alejadas (cercanas) al ecuador las ondas con periodos relativamente pequeños (altos) se manifiestan principalmente como ondas de Kelvin costeras (ondas de Rossby).

Tanto es así que, según estos autores, si se considera a la costa del Pacífico este como una pared meridional, una onda de Kelvin ecuatorial con frecuencia semianual que se propaga hacia el Pacífico este, refleja prácticamente el 84% de su energía como ondas de Rossby. Sin embargo, resultados contradictorios a los anteriores fueron obtenidos por Soares (el al. 1999) al emplear un modelo de gravedad reducida con disipación turbulenta horizontal, ya que encontró que la energía reflejada en el rango intraestacional es ligeramente mayor que para las ondas de mayor periodo (semianual y anual), lo cual lo atribuyó a la menor disipación de energía presente en su modelo para las altas frecuencias.

Como primer paso para entender estas discrepancias, y explorar la conexión ecuatorial con la variabilidad intraestacional e interanual a lo largo de la costa peruana, se han simulado escenarios idealizados con el modelo numérico sbPOM (Stony Brook Parallel Ocean Model, http://imedea.uib-csic.es/users/toni/sbpom/), el cual fue utilizado debido a que sus resultados son consistentes con la teoría de ondas ecuatoriales y con lo simulado por el modelo lineal de ondas oceánicas que emplea el Instituto Geofísico del Perú (IGP) para el pronóstico a corto plazo (Mosquera 2014; Fajardo et al., 2015; 2016).

EXPERIMENTOS REALIZADOS

El estado base empleado es uno de reposo con corrientes y nivel del mar nulos y, por simplicidad, con salinidad constante y distribución vertical de temperatura uniforme

sobre todo el dominio. En este contexto se realizaron experimentos en los que se aplicó esfuerzos de viento ecuatorial del oeste para generar ondas de Kelvin.

Se consideraron perfiles con la profundidad de la termoclina a 60 y 160 metros de profundidad, típicos del Pacífico occidental y oriental, respectivamente, los cuales fueron obtenidos a partir de la base de datos del CSIRO Atlas of Regional Seas (CARS, 2009). El esfuerzo de viento se distribuyó espacialmente en forma gaussiana centrado alrededor de 0° y 162°W, con escala de 40° de longitud y 6° de latitud, y se aplicó solo durante medio ciclo (parte positiva del esfuerzo de viento sinusoidal) tanto al emplear periodos y amplitudes típicas del rango intraestacional (60 días y 0.1 Nm^{-2}) e interanual (730 días y 0.025 Nm^{-2}).

Las características de estos experimentos (3 en total) se resumen en la Tabla 1. En todos los casos se duplicó hacia el oeste la extensión zonal del Pacífico ecuatorial con la finalidad de evitar la reflexión de ondas de Rossby en el Pacífico occidental. Se consideró a la costa Sudamericana como una pared meridional con un océano de profundidad constante (4 km), con el propósito de descartar los efectos de la geometría de la costa y las variaciones de la topografía, lo cual se pretende estudiar más adelante. Se empleó el esquema de turbulencia vertical de Mellor y Yamada (Mellor, 2004), aunque con difusividad vertical nula para evitar la difusión del estado base y las corrientes anómalas que este proceso induce. Además, se impuso condiciones de radiación en las fronteras abiertas (norte y sur), flujos de calor y sal nulos, 66 niveles verticales con mayor resolución cerca de la superficie y el fondo, y espaciamiento horizontal (temporal) de 0.25° (15 min).

Exp1	Intraestacional: T=60 días, tx=0.1 N/m², y con prof. termoclina 160 m.
Exp2	Intraestacional: T=60 días, tx=0.1 N/m², y con prof. termoclina 60 m.
Exp3	Interanual: T=730 días, tx=0.025 N/m², y con prof. termoclina 60 m.

Tabla 1. *Descripción de los experimentos realizados, donde T es el periodo y tx es la amplitud del pulso de viento.*

Finalmente, se configuró el modelo para arrojar variables promedio diarias, y posteriormente se les aplicó una media corrida de 11 días para las simulaciones intraestacionales y de 31 días para las interanuales.

RESULTADOS PRELIMINARES

El esfuerzo de viento intraestacional (T = 60 días), para un perfil con termoclina de 160 m (Exp1), fuerza principalmente en la región ecuatorial ondas de Rossby frías que se propagan hacia el oeste, así como ondas de Kelvin cálidas que se propagan hacia la costa del Pacífico este, las cuales presentan estructura vertical y velocidad de propagación cercanas a lo predicho por la teoría lineal de modos normales o baroclínicos. En este experimento, la onda de Kelvin baroclínica (OKB) ecuatorial más rápida corresponde al modo 1 y presenta mayor señal en la anomalía del nivel del mar (*anm*), mientras que para la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C *(aiso20C)* y para la anomalía de la velocidad zonal *(au)* los dos primeros modos muestran valores similares, lo cual es consistente con lo obtenido por Fajardo et al. (2016) en el estudio numérico de OKB ecuatoriales. Este comportamiento también ocurre a lo largo de la costa peruana, en donde se observa mejor la propagación de los modos baroclínicos de mayor orden (más lentos). Sin embargo, a diferencia de la región ecuatorial, Giese y Harrison (1990) encontraron que las OKB cálidas costeras vienen acompañadas por OKB de afloramiento, las cuales son inducidas por las ondas de Rossby que se formaron por el impacto de las OKB ecuatoriales con la costa. En este caso, a diferencia de Giese y Harrison (1990), el efecto de estas OKB inducidas (OKBI) es principalmente apreciable en las corrientes.

Por otro lado, al emplear el esfuerzo de viento intraestacional (T = 60 días) con profundidad de la termoclina de 60 m (Exp2), que es más apropiado para el análisis en el Pacífico Oriental, se observa una mayor señal de la *anm* costera para los dos primeros modos baroclínicos (7 y 10 cm), a diferencia de los 4 y 1 cm de los modos 3 y 4 (Figura 1a); mientras que la *aiso20C*, que se encuentra en fase con la *anm*, se proyecta mejor en el segundo y tercer modo (35 y 25 m). Además se muestra poco cambio de estas variables entre 10°S y 25°S, e impacto despreciable de las OKBI costeras frías, debido a que conducen a anomalías negativas que apenas exceden los 2 cm y 2 m. Tal como para la *aiso20C*, la anomalía de la temperatura *(atemp)* costera a 10°S es bastante intensa para los modos 2 y 3 (Figura 1b), con núcleos máximos por encima de los 200 m de profundidad y con valores entre 3.5°-5°C y 2°-3.5°C respectivamente, aunque también se observan máximos locales de menor intensidad alrededor de los 350 m, así como núcleos positivos entre 0.5°-1°C para los modos 5 y 6 que se encuentran más cerca de la superficie.

A diferencia del Exp1, que emplea una termoclina más profunda, el viento proyecta más energía en los modos más bajos (2 y 3 principalmente), lo cual se refleja en *atemp* más altas para los modos dominantes (Giese y Harrison, 1990). Con respecto a la anomalía de la velocidad meridional *(av)* cerca de la costa en 10°S (Figura 1c), las OKB cálidas poseen en superficie corrientes hacia el sur con magnitudes que superan 10, 30 y 15 cm/s para el primer, segundo y tercer modo baroclínico, respectivamente. Tal como se observa en dicha figura, el cambio de sentido de las corrientes ocurre en capas cada vez más superficiales para los modos más altos, y cada OKB cálida viene acompañada de su correspondiente OKBI fría, que en superficie presenta sentido norte e intensidades que exceden los 15, 30 y 10 cm/s para los modos 1, 2 y 3, respectivamente. La aparición de frentes en los modos 2 y 3 para *anm*, *av* y *atemp* es evidencia de efectos no lineales, los cuales se deben a que la *aiso20C* presenta valores comparables con la profundidad de la termoclina y a las corrientes intensas en el ecuador que se producen al momento de formación y propagación de las OKB ecuatoriales hacia la costa (Giese y Harrison, 1990).

La escalas hacia afuera de la costa de las OKB costeras para el Exp2 son mostradas en las Figuras 2a-c,d-f. Se visualiza que las OKB se encuentran confinadas principalmente dentro de los 100 km de la costa y que su escala se reduce para los modos más altos, razón por la cual el espaciamiento de grilla empleado (0.25° ≈ 25 km) no permite representar adecuadamente los modos mayores al tercero, ya que poseen radios de deformación del mismo orden. Esto indica que se deben tomar con precaución los estudios con modelos que no tomen en cuenta estos aspectos.

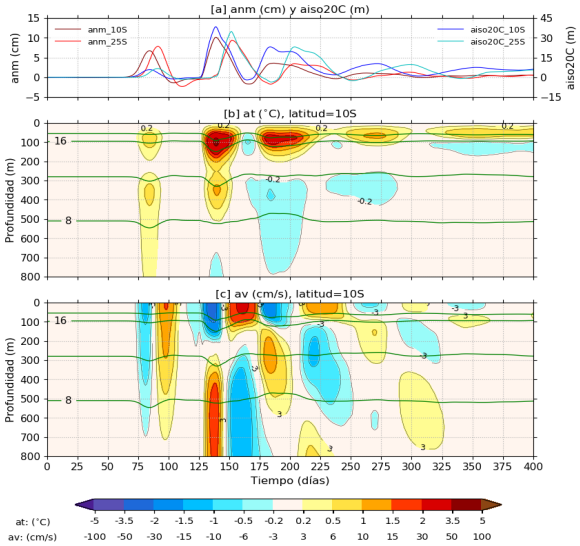


Figura 1. (a) Evolución temporal de la anomalía del nivel del mar (anm en cm) y de la de la profundidad de la isoterma de 20°C (aiso20C en metros) en el punto más cercano a la costa y a 10°S y 25°S para el Exp2. Diagrama profundidad – tiempo para: (b) la anomalía de la temperatura (atemp en °C) y (c) la anomalía de la velocidad meridional (av en cm/s) a 10°S. Las líneas verdes denotan contornos de temperatura cada 4°C.

Por fuera de los 100 km de la costa, se observa la propagación de señales, consistentes con ondas de Rossby subtropicales, las cuales se forman por el paso de las OKB costeras (Clarke y Shi, 1991). Se tiene por ejemplo a 10°S (25°S) velocidades de propagación del primer modo baroclínico para ondas largas de Rossby de latitudes medias del orden de 20 (5) cm/s, que son similares a sus valores teóricos (Gill 1982). Adicionalmente, se muestra que en las latitudes más cercanas al ecuador la generación de ondas de Rossby es más eficiente, lo cual es consistente con la teoría. Por último, se observa que las OKBI frías producen ondas de Rossby con intensidad similar a las generadas por las OKB cálidas, las cuales permiten transportar señales de origen ecuatorial y local hacia el océano interno.

El esfuerzo de viento interanual (T = 730 días) para el perfil con termoclina de 60 m (Exp3), produce una señal cálida en el Pacífico ecuatorial que, al llegar al Pacífico este, se manifiesta prácticamente en forma simultánea a lo largo de la costa (Figura 3a). Esta señal presenta variabilidad cercana a la frecuencia del forzante con máximos de la anm y de la aiso20C de alrededor de 7 cm y 35 m, respectivamente. A medida que transcurre el tiempo, el núcleo cálido de temperatura y el núcleo frío que se encuentra por debajo de éste, se acercan a las capas más superficiales (Figura 3b), lo cual se asemeja a lo que ocurrió con esta variable en el Exp1 a 10°S (Figura 1b). No obstante, el perfil vertical de la av cerca de la costa para el Exp3 (Figura 3c), no muestra claramente estructuras verticales típicas de las OKB (Figura 1c).

Por otro lado, propagación consistente con el primer modo baroclínico de ondas de Rossby subtropicales y mayor ocurrencia de estas ondas en latitudes cercanas al ecuador también se observa en este experimento (Figuras 2d,h). A diferencia de su contraparte intraestacional, estas ondas transfieren variabilidad interanual hacia zonas más alejadas del océano profundo y aparentemente con mayor intensidad. Estos resultados muestran consistencia con un estudio que se realizó en el océano Índico (Rao et al., 2010), en donde se determinó que las OKB cálidas presentan variabilidad interanual relacionada principalmente a variabilidad similar de los vientos ecuatoriales del oeste. Asimismo, encontraron que las ondas de Rossby gatilladas por estas OKB costeras cálidas muestran larga variabilidad interanual en la estructura térmica superficial obtenida a partir del análisis SODA (Carton et al., 2000).

Queda pendiente realizar otras simulaciones intermedias para estas frecuencias empleadas, así como el modelado de la evolución adiabática de la onda Kelvin en una termoclina inclinada, lo cual permitirá simular en mejor forma el calentamiento superficial costero debido a la advección horizontal. En este estudio tampoco se consideró el efecto del talud y la plataforma sobre las ondas costeras, lo cual podría ser sustancial, dado que las ondas baroclínicas tienen escala espacial comparable con los cambios que ocurren en la topografía. Dado

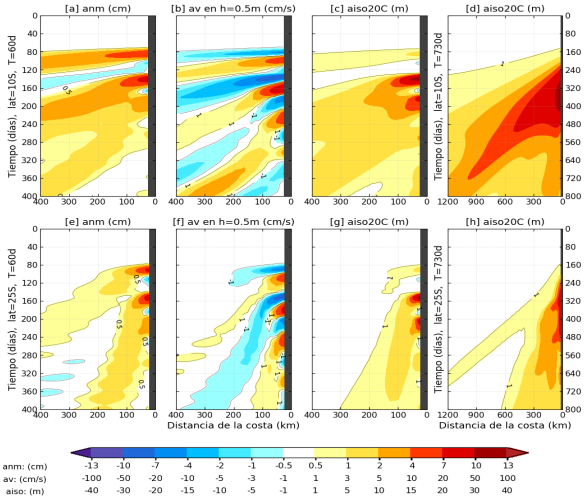


Figura 2. Diagrama distancia de la costa – tiempo para la anomalía del nivel del mar (anm en cm), la anomalía de la velocidad meridional a 0.5 m de profundidad (av en cm/s) y la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C (aiso20C en m). (a)-(d) 10°S y (e)-(h) 25°S. Exp2: (a)-(c) y (e)-(g); Exp3 (d) y (h).

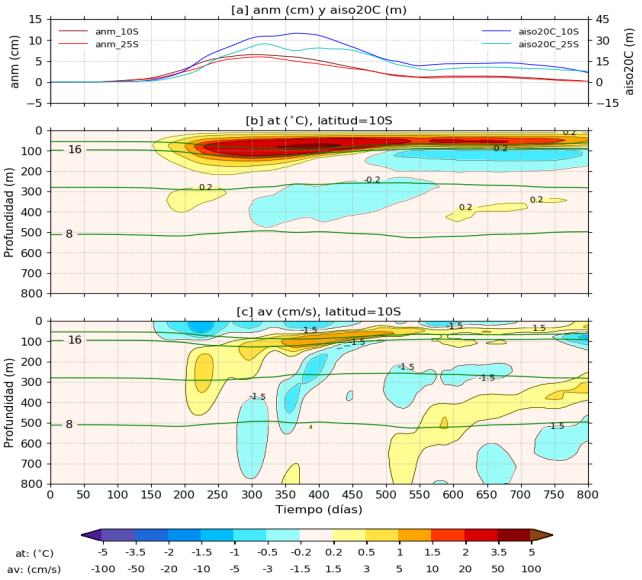


Figura 3. *Similar a la Figura 1 pero para el Exp3.*

que la eficiencia del mecanismo generador de ondas de Rossby subtropicales depende de la geometría de la costa, una costa más realista debería ser empleada. Por último, la fricción del fondo podría desempeñar un papel más importante si se toman en cuenta estas consideraciones.

REFERENCIAS

Bertrand, S., Dewitte, B., Tam, J., Bertrand, A. and Diaz, E., 2008: Impact of Kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current system: Scenarios of spatial reorganization from physics to fishers. Prog. Oceanogr., 79, 278-289.

Carton, J., Chepurin, G., Cao, X., Giese, B., 2000: A simple ocean data assimilation analysis of the global upper ocean 1950–95. Part-I. Method. Journal of Physical Oceanography 30, 294–309.

Clarke, A. J. 1983: The reflection of equatorial waves from oceanic boundaries. Journal of Physical Oceanography, 13(7), 1193-1207.

Clarke, A. J., & Shi, C. 1991: Critical frequencies at ocean boundaries. Journal of Geophysical Research: Oceans, 96(C6), 10731-10738.

Echevin, V., Albert, A., Lévy, M., Graco, M., Aumont, O., Piétri, A., & Garric, G., 2014: Intraseasonal variability of nearshore productivity in the Northern Humboldt Current System: The role of coastal trapped waves. Continental Shelf Research, 73, 14-30.

Fajardo, J., K. Mosquera, y K. Takahashi, 2015: Modelo numérico tridimensional de la onda Kelvin en el Pacífico Ecuatorial, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 2, 10, 9-10.

Fajardo, J., K. Mosquera, y K. Takahashi, 2016: Estudio numérico de la evolución de la onda Kelvin en el Pacífico Ecuatorial. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3, 6, 9-10.

Giese, B. S., D. E. Harrison, 1990: Aspects of the Kelvin wave response to episodic wind forcing, Journal of Geophysical Research, 95 (C5), 7289-7312.

Gill, A. E. 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. Academic Press, New York. 666 pp.

Mellor, G.L., and T. Yamada, 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851-875.

Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, S. Illig, K. Takahashi, and G. Garric, 2013: The 2002-03 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature, Journal of Geophysical Research Oceans, 118, 346–357, doi:10.1029/2012JC008551.

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, 1, 1, 4-7.

Pizarro O., 2016: Una autopista que une el océano con las costas de Perú y Chile "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3, 3, 4-8.

Rao, R. R., Kumar, M. G., Ravichandran, M., Rao, A. R., Gopalakrishna, V. V., & Thadathil, P., 2010: Interannual variability of Kelvin wave propagation in the wave guides of the equatorial Indian Ocean, the coastal Bay of Bengal and the southeastern Arabian Sea during 1993–2006. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 57(1), 1-13.

Soares, J., Wainer, I., & Wells, N. C., 1999: Reflection of equatorial Kelvin waves at eastern ocean boundaries Part I: hypothetical boundaries. In Annales Geophysicae, 17(6), 812-826).

Takahashi, K. 2004: The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997-98 and 2002 El Niño events. Annales Geophysicae 22, 3917-26.

Resumen del Informe Técnico **PP N° 068 / El Niño-IGP/2019-05**

Advertencia: *El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del 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 los valores del Índice Costero El Niño (ICEN), basado tanto en los datos de ERSSTv3b (ICENv3), OISSTv2 (ICENOI) y ERSSTv5 (ICENv5), indicaron una condición climática Neutra para el mes de abril, con valores de 0.38, 0.16 y 0.34°C respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp), de las tres fuentes de datos, para los meses de mayo y junio, coinciden en señalar condiciones Neutras. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que en abril de 2019 se mantuvo la condición Cálida Débil (0.76°C) y, según la información de los valores temporales, se espera que continúe así, al menos, hasta el mes de junio.

En base al análisis de los datos y resultados de los modelos numéricos, la señal de la onda Kelvin fría en la profundidad de la termoclina disminuyó al acercarse a la costa americana durante el mes de mayo. Debido al pulso de viento del oeste en la región occidental del Pacífico, el cual se formó durante el mes de mayo, una onda Kelvin cálida fue proyectada y se encuentra ubicada entre 160 y 140°W. Si bien es de magnitud débil, no se descarta que arribe a la costa sudamericana a partir del mes de julio.

Según el promedio de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con condiciones del mes de junio de 2019, para el periodo que va de junio a diciembre en el Pacífico oriental se esperan condiciones Neutras, mientras que, en el Pacífico central ecuatorial, se esperarían condiciones Cálidas Débiles.

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 mayo 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 abril de 2019 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1 (columnas 3 y 4), en donde el valor para el mes de abril 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, las cuales 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, como el ICENv3, condiciones Neutras para el mes de abril.

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 abril.

Cabe 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	Enero	0.65	Cálida Débil	0.43	Cálida Débil	0.87	Cálida Débil
2019	Febrero	0.34	Neutra	0.36	Neutra	0.54	Cálida Débil
2019	Marzo	0.25	Neutra	0.26	Neutra	0.41	Cálida Débil
2019	Abril	0.38	Neutra	0.16	Neutra	0.34	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).*

Según los valores del primer y segundo ICENtmp se estima que en los meses de mayo y junio de 2019, para las tres fuentes de datos, las condiciones serían del tipo Neutral. Esto se confirmará en los siguientes meses.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Para el mes de mayo, según los datos observados (IR, MW, OSTIA), la ATSM diaria en la región Niño 3.4 continuó dentro de las condiciones cálidas débiles, manteniéndose en el orden de 1.0 a 0.8 °C. Para la región Niño 1+2, la ATSM indicó valores entre 0.1° a 0.8 °C; sin embargo, las anomalías positivas descendieron en los primeros días de junio.

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 continúan mostrando un dipolo de anomalías positivas y negativas) al oeste y este de 130°W. En lo relacionado a la anomalía de la profundidad de la termoclina, ésta muestra principalmente valores negativos y solo una pequeña anomalía positiva en el extremo oriental. En lo que respecta a la ATSM, aún se observan valores positivos con un núcleo localizado entre la línea de cambio de fecha y los 160°W.

Observando con más detalle, en la primera y segunda semana de mayo, según los datos de WindSAT, se observaron anomalías positivas del esfuerzo de viento en el Pacífico oeste entre 140°E y 180°, las cuales se proyectaron en una onda Kelvin cálida que, en la actualidad, ya se observa en la franja ecuatorial (Figura 1). Por otro lado, se observaron ligeras anomalías negativas entre 130-105°W en la segunda semana de mayo y entre la línea de cambio de fecha y 120°W en la primera semana de junio.

Basado en los datos de TAO, la inclinación de la termoclina ecuatorial muestra una leve inclinación a lo normal, mientras que el contenido de calor, en las últimas semanas indica valores alrededor de su normal. En los últimos días de mayo e inicio de junio se observa la isoterma de 20°C con anomalías negativas, es decir más somera (95°W, 2°S-2°N). La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en la zona (170°E-140°W, 5°S-5°N) se mostró por debajo de su climatología, y en la región (170°W – 100°W, 5°S-5°N) se mostraron próximo a su normal.

La información de altimetría del producto DUACS (Figura 2) y los resultados de los modelos numéricos (Figura 1) indican que la señal de la onda Kelvin fría, formada por el pulso de viento de inicios de mayo disminuyó su intensidad al acercarse a la costa sudamericana.

[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).*

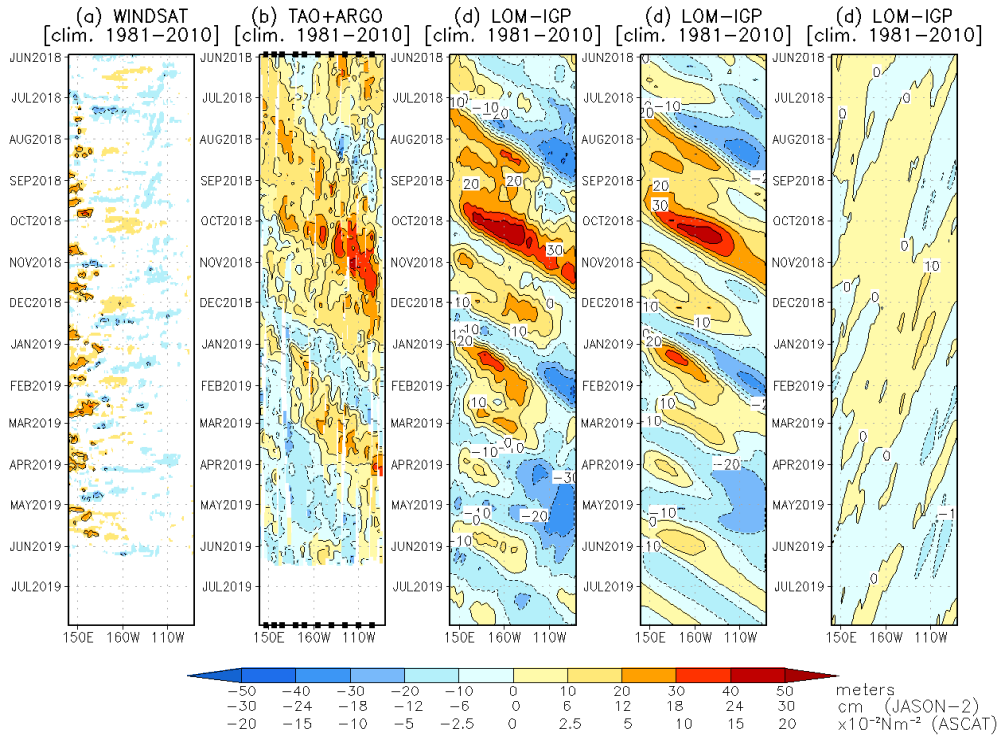


Figura 1. *Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente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

ONDAS KELVIN A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

Según la información de DUACS (basado en altimetría satelital), a inicios de mayo y junio se observaron anomalías negativas a lo largo de la costa peruana. Las anomalías de junio pudieron deberse al paso de la onda Kelvin fría indicada párrafos arriba y el informe anterior. Según la información del flotador ARGO (No. 3901231), el cual se localizó durante mayo e inicios de junio entre 84 – 82.5°W y 4-6°S (frente a la costa norte del Perú), las anomalías negativas se observan por encima de los 50 metros, mientras que por debajo se desarrolló un núcleo positivo hasta los 300 metros.

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

Las proyecciones teóricas sobre los datos observados sugieren que se espera el arribo de una onda Kelvin cálida a la costa americana a partir del mes de julio. A pesar de su aparente señal débil, no se descarta que al acercarse a la costa americana, debido a la profundidad de la termoclina es esta región, se observe una intensificación de su señal. (Ver 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_GEOS5v2, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2) con condiciones iniciales del mes de junio de 2019, indica en promedio condiciones Neutras entre los meses de julio y diciembre. Los modelos CMC1, CMC2 y GFDL, indican condiciones cálidas débiles para los meses de junio y julio (ver figura 3).

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados con información del mes de junio, el promedio de los 7 modelos indica condiciones Cálidas Débiles de julio a diciembre del año en curso.

CONCLUSIONES

1. El ICEN (SSTOI) para abril de 2019 fue de 0.16 (Condición Neutra), los ICENtmp para mayo y junio son 0.07 y 0.11, respectivamente, estando también en condiciones Neutras. Usando ERSSTv3 mensual para el cálculo (ICEN), los valores correspondientes son 0.38 (Neutro), y los temporales para mayo y junio son Neutro, 0.38 y 0.27 respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para abril es 0.34 (Neutro) y

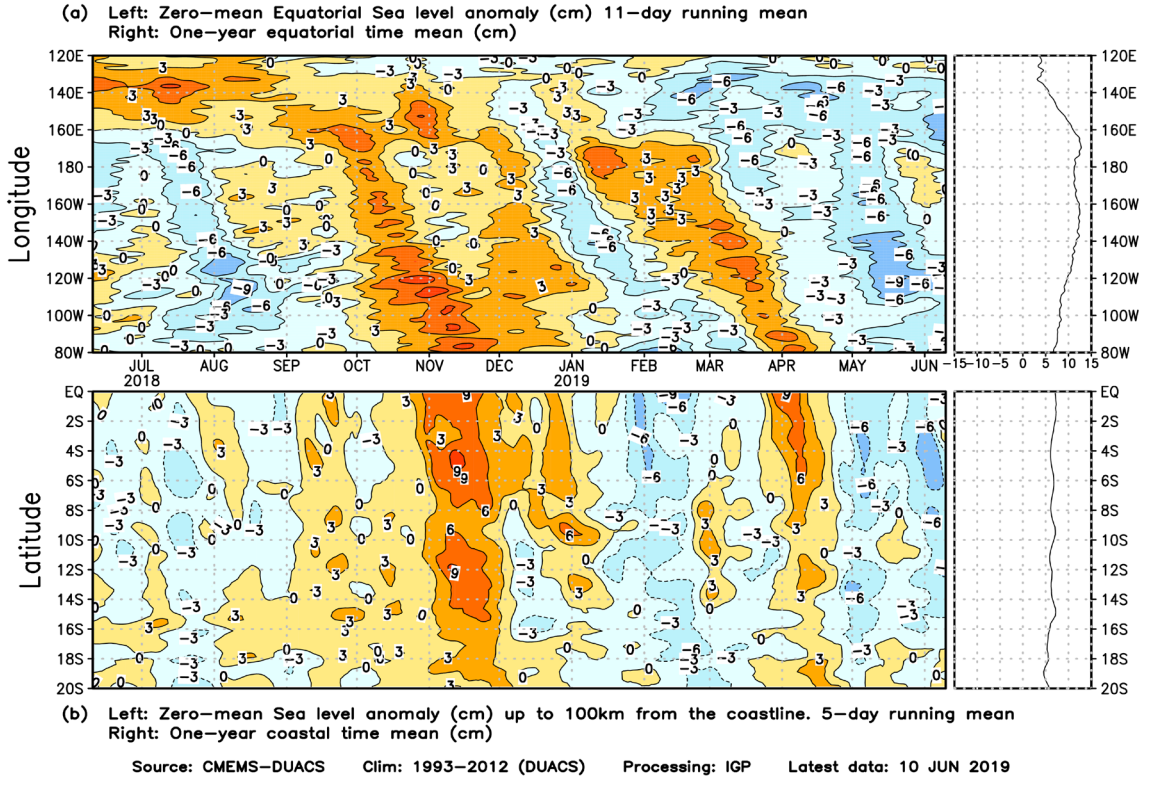


Figura 2. Anomalía centrada del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (Figura superior izquierda) y a lo largo de la costa peruana (Figura inferior izquierda). A la derecha se muestra el promedio de los últimos 365 días en la franja ecuatorial (superior) y a lo largo de la costa (inferior), que fueron sustraídos a las figuras de la izquierda, respectivamente. Las unidades están centímetros.

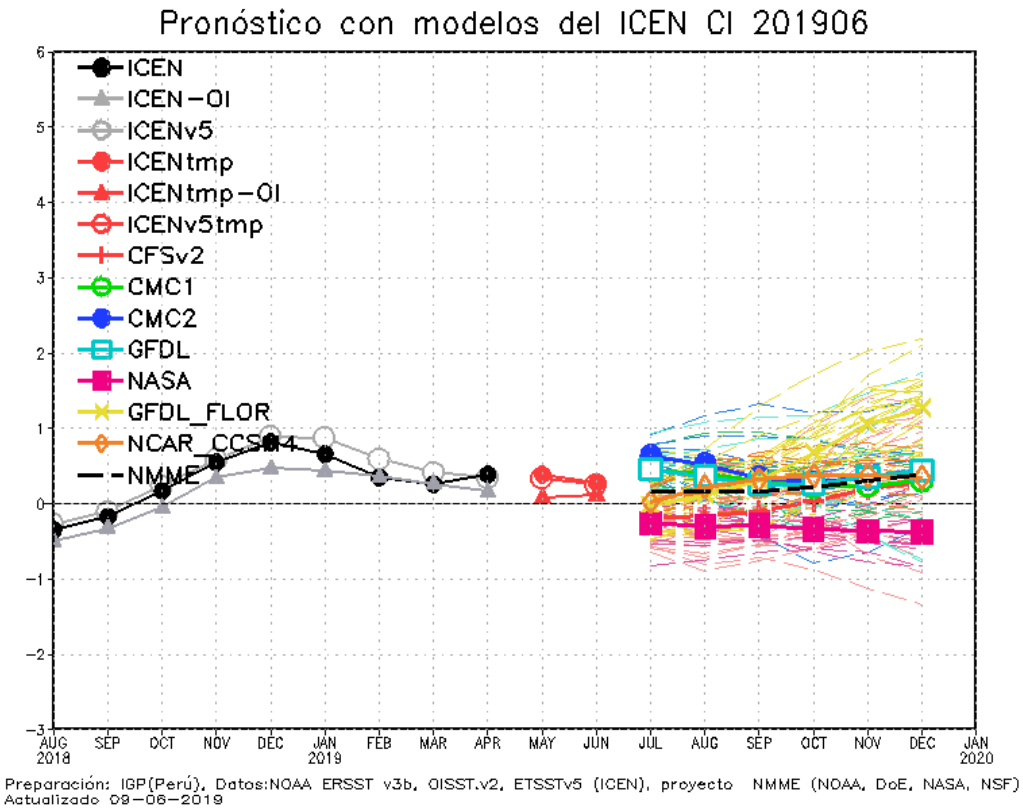


Figura 3. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2; ICEN gris con círculos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno, ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos, ICENv5tmp, rojo con circulo). Además, 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_GEOS5v2 GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de junio de 2019. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

los temporales están dentro del rango de Neutro para los meses de mayo y junio, 0.33 y 0.25, respectivamente.

2. En el Pacífico central, el ONI de abril (MAM) es 0.76 y corresponde a condiciones Cálida Débil y el estimado para mayo y junio también sería de condición Cálida Débil.

3. La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en las regiones (170°E – 140°W, 5°S-5°N) se mostró ligeramente por debajo de su climatología y (170°W – 100°W, 5°S-5°N) indica valores cercanos a su normal.

4. Según la información de TAO, en el mes mayo, se mantienen los vientos del este (oeste) al este (oeste) de 130°W. Los vientos del oeste se han observado muy intensos, esto debido a la presencia de pulsos de viento en dicha región. Aún se mantienen las anomalías positivas de la TSM en el Pacífico Central con un máximo entre 170°E a 160°W.

5. Durante el mes de mayo, según la información de TAO, se desarrolló un pulso de viento del oeste con un máximo valor entre 150 a 170°E. Según la data de esfuerzo de viento zonal de WINDSAT, en dicha zona se desarrollaron tres pulsos de viento durante el mes de mayo.

6. Basado en los datos de TAO, la profundidad de la termoclina ecuatorial muestra una leve inclinación a lo normal, mientras que el contenido de calor, en la última semana indica valores alrededor de lo normal.

7. Según la información hasta el primero de mayo del flotador ARGO No.3901231, ubicado frente de Piura y Tumbes, se puede observar una anomalía negativa en los primeros 50 metros de profundidad, mientras que por debajo de este nivel se observa anomalías positivas hasta 300 metros de profundidad.

8. La señal de la onda Kelvin fría en la termoclina disminuyó al acercarse a la costa americana durante el mes de mayo.

9. El desarrollo de un pulso de viento en el extremo occidental durante el mes de mayo se proyectó en una onda Kelvin cálida que debe arribar a la costa americana a partir del mes de julio. A pesar de su aparente señal débil, no se descarta que al acercarse a la costa americana, debido a la poca profundidad de la termoclina en esa región, se observe una intensificación de su señal.

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

en promedio indican condiciones NEUTRAS entre los meses de julio y diciembre.

11. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indican condiciones Cálidas Débiles de julio a diciembre. Esto es consecuencia del desarrollo de El Niño en el Pacífico Central.

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° 09-2019
Estado del sistema de alerta: No Activo[1]

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 se considera más probable que persistan durante el invierno.

De continuar las condiciones actuales de El Niño débil en el Pacífico central, el ENFEN no descarta el desarrollo de episodios cálidos en la costa peruana durante el invierno, aunque no se espera que estos generen precipitaciones por su estacionalidad.

Considerando que en el periodo en el cual no se desarrolla El Niño o La Niña, es oportuno recomendar se realicen las labores de prevención.

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 junio de 2019, así como sus perspectivas.

La anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial se mantuvo positiva en el mes de mayo con valores de +0.7°C en la región central (Niño 3.4) y +0.2°C en la zona oriental (Niño 1+2), la cual incluye la costa norte del Perú.

Según el Índice Costero El Niño (ICEN) para abril y el ICEN temporal (ICEN-tmp) para el mes de mayo indican condiciones neutras.

Las condiciones oceánicas y atmósféricas en el Pacífico ecuatorial central – occidental, en promedio, se mantienen aún en condiciones El Niño. En mayo, la intensidad de la convección se mostró ligeramente reducida y se observaron anomalías de vientos zonales del oeste en la región occidental del Pacífico; sin embargo, en los últimos días se observó una tendencia a la normalización de los vientos alisios en el Pacífico central y oriental. Esto último debido a la reciente presencia de ondas ecuatoriales atmosféricas.

La señal de la onda Kelvin fría, observada en la profundidad de la termoclina, disminuyó en intensidad al acercarse a la costa de Sudamérica durante el mes de mayo. El pulso de viento del oeste, desarrollado a inicios del mes de mayo en la región occidental del Pacífico ecuatorial, generó en una onda Kelvin cálida que en la actualidad se localiza entre 160° y 140°W y no es intensa.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) en promedio se mantuvo anómalamente intenso al noreste de su posición normal. Esto posiblemente contribuyó de manera episódica en una intensificación anómala del viento costero y por ende al afloramiento de aguas costeras, principalmente en la región norte y sur.

Las temperaturas extremas del aire en la costa peruana durante mayo se mantuvieron con valores por encima de lo normal, principalmente en la región norte y centro. En este periodo, las temperaturas máximas y mínimas siguieron mostrando anomalías positivas relevantes en la estación Huarmey (Ancash). Por otro lado, en la primera semana de junio continuaron evidenciándose anomalías positivas de las temperaturas máximas y mínimas del aire en las regiones norte y centro, respectivamente.

El promedio, las anomalías de la TSM en el litoral norte y centro se mantuvieron positivas (con valores entre +0.6 a +1.5°C), mientras que en el litoral sur se observó una disminución con respecto al mes de abril, alcanzando valores cercanos a su normal. Para el caso del nivel del mar, se observó una disminución de dicha variable, alcanzando un valor de 4 cm por debajo de su normal. Esta disminución fue progresiva, de norte a sur, lo cual guarda relación con el paso de la onda Kelvin fría.

Frente a Paita se observó entre fines de mayo e inicios de junio un incremento de la temperatura del mar, pasando de condiciones frías a neutras, asociado a aguas

[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.*

de mezcla. Por fuera de las 50 millas náuticas frente a Chicama, debido a la presencia de aguas oceánicas, se presentó sobre los 60 m de profundidad una condición cálida; en cambio, en la zona costera (dentro de las 40 millas), las condiciones fueron neutras asociadas a los afloramientos costeros. A 10 millas de la costa, en Paita, se mantuvieron las condiciones neutras hasta los 100 m de profundidad. En cambio, frente a Chicama se pasó de una condición neutra a una condición fría y frente al Callao persistió la condición cálida. Respecto a la salinidad, estas indicaron aguas de mezcla desde Paita a Ilo.

La concentración de la clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton) en la capa superficial presentó un comportamiento acorde al patrón histórico, con anomalías positivas en amplias zonas principalmente entre Chicama y Chimbote, San Juan y al sur de Atico. En la columna de agua, debido a los persistentes procesos de afloramiento, la Clorofila-a mostró altas concentraciones (> 5 mg.m-3) sobre los 20 m de profundidad frente a Paita y Chicama.

En la región norte-centro, la anchoveta amplió su cobertura espacial, llegando hasta 40 millas de la costa, continuando la disminución de la actividad desovante de acuerdo a su patrón histórico. Las especies oceánicas como el bonito, permanecen dentro de las 50 millas a lo largo de costa.

Los caudales de los principales ríos de las regiones hidrográficas del Pacífico, Amazonas y Titicaca presentaron un comportamiento descendente, el cual es propio del periodo de transición y previo al de estiaje. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran, en promedio, al 99% y 75% de su capacidad de almacenamiento, respectivamente.

Las temperaturas del aire actuales continúan favoreciendo la maduración y cosecha de los sembríos de arroz y la inducción floral del mango en la costa norte; mientras que en la costa sur continúan promoviendo la maduración del olivo.

PERSPECTIVAS

Los modelos climáticos internacionales pronostican, en promedio, para el Pacífico oriental (Niño 1+2, ver Figura 1), que incluye la costa norte de Perú, condiciones neutras de junio a diciembre, y para el Pacífico central (Niño 3.4), condiciones cálidas débiles para este mismo periodo. Esto implicaría que, si bien debido a que las temperaturas descenderán por la estacionalidad durante el periodo de otoño e invierno, éstas se mantendrían ligeramente por encima de su promedio.

La Comisión Multisectorial ENFEN, a través del monitoreo y análisis de la información proporcionada por las instituciones que la conforman y la evaluación mediante el juicio experto de su grupo científico, considera que es más probable que durante el invierno se mantengan las condiciones entre neutras a ligeramente frías frente a la costa peruana. Esto a pesar de la presencia de una onda Kelvin cálida que arribaría en julio y que podría provocar un incremento temporal de la TSM. Hay que señalar que, como se viene indicando en los comunicados anteriores del ENFEN, de mantenerse el desarrollo de El Niño en el Pacífico central, no se descarta la formación de nuevas ondas Kelvin cálidas que puedan afectar el Pacífico oriental. De darse estos episodios cálidos, no se espera que tengan impacto en las lluvias en la región debido a la estacionalidad.

En vista 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 (Tabla N°1 y Tabla N°2) para el próximo verano (diciembre 2019-marzo 2020). El análisis indica que para el Pacífico central (Niño 3.4) son más probables las condiciones El Niño (55%), seguidas de condiciones Neutras (40%); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2) son más probables las condiciones Neutras (60%), seguidas de condiciones El Niño (30%).

Por lo expuesto, la Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el Estado de Alerta de El Niño en "No Activo". No obstante, como siempre, el ENFEN recomienda que las entidades competentes consideren siempre la vulnerabilidad para la preparación ante el riesgo y adopten las medidas que correspondan frente a un evento El Niño o La Niña. Considerando que en el periodo en el cual no se desarrolla El Niño o La Niña, es oportuno recomendar se realicen las labores de prevención

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 12 de julio de 2019.

Callao, 13 de junio de 2019

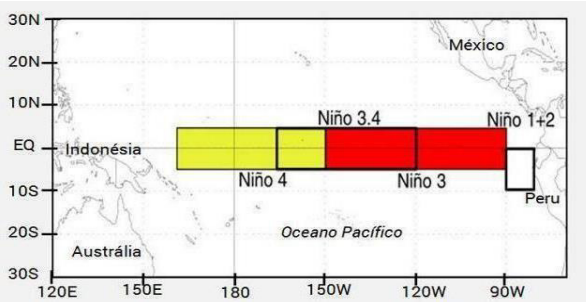
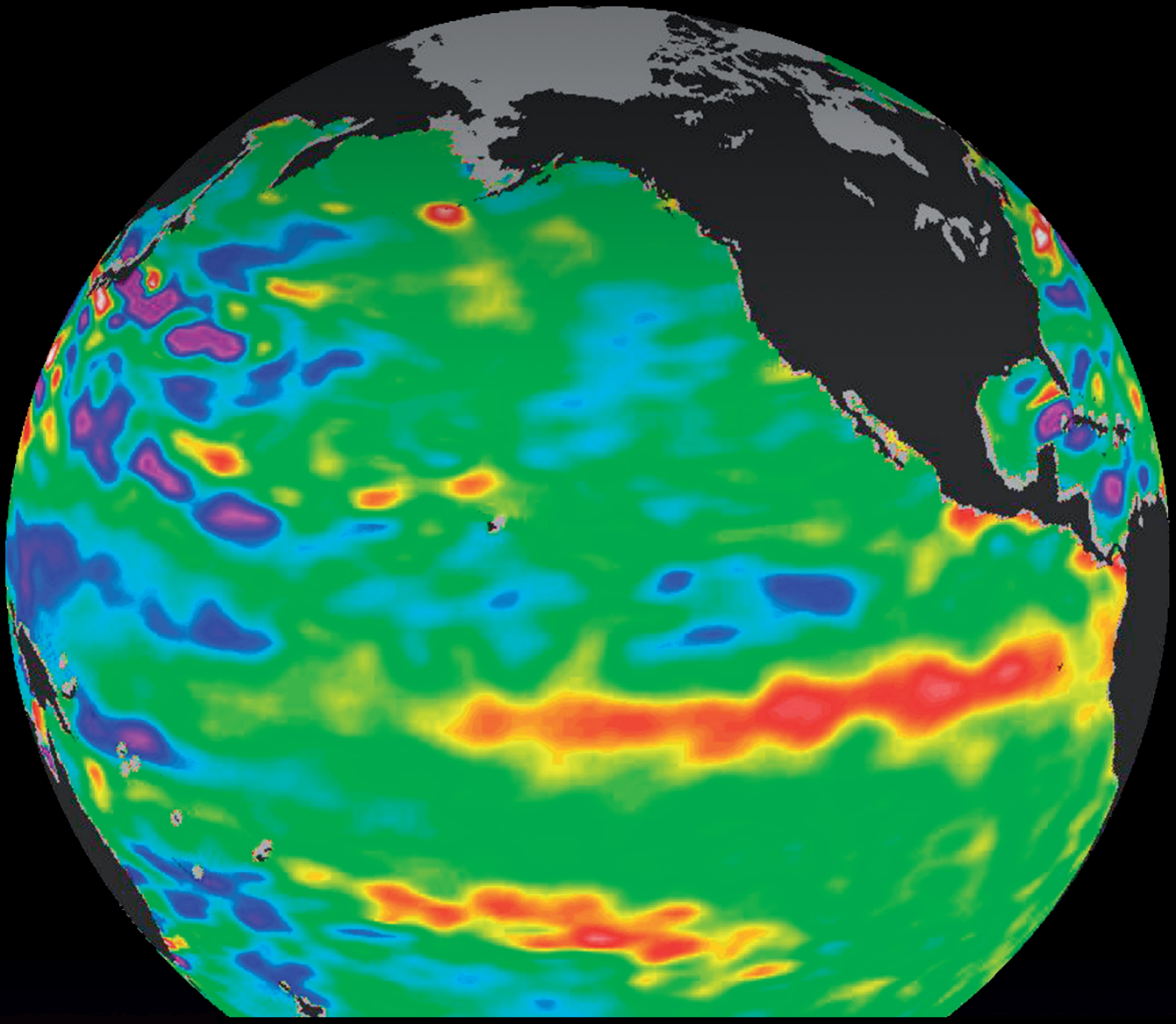


Figura 1. *Áreas de monitoreo, Región Niño 3.4 (5 °N-5 °S/170 °W-120 °W) y Región Niño 1+2 (0°-10°S/90 °W-80 °W) Fuente: NOAA.*



IGP
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

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
htttp://twitter.com/igp_peru
https://www.youtube.com/c/igp_videos

En el marco del:

ENFEN
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO"

EL PERÚ PRIMERO