



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



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

BOLETÍN TÉCNICO

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

El Niño registrado en especies arbóreas
del bosque seco de la costa norte del Perú

VOL. 5 N° 4 ABRIL 2018

Contenido

3 - 4

Introducción

5 - 9

Artículo de Divulgación Científica

10 - 12

Avances Científicos

13 - 17

Resumen del Informe Técnico

18 - 19

Comunicado Oficial 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, André Galdós

Edición: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Bosque seco en Piura. Foto: Carlos Lezama /ANDINA

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, octubre de 2018

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

Introducción

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

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres", que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural 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://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



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

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



ENFEN

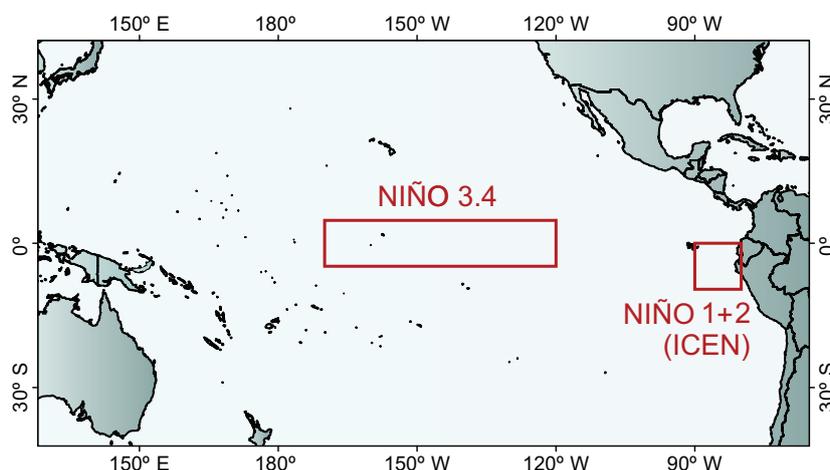
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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

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

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

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



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

El Niño registrado en especies arbóreas del bosque seco de la costa norte del Perú



Dr. Rodolfo Rodríguez
PROFESOR E INVESTIGADOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA (UDEP)

Doctor en Ingeniería con mención en Automatización, Control y Optimización de Procesos de la UDEP. Master en Ciencias con mención en ingeniería eléctrica por la Universidad de Colorado, Boulder, EE.UU. Catedrático en pre y posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UDEP. Investigador en ciencias del medio ambiente, meteorología, climatología y El Niño.



Dr. Antonio Mabres
PROFESOR PRINCIPAL E INVESTIGADOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA (UDEP)



Blga. Elva Palacios
CANDIDATA A POSGRADO EN EL LABORATORIO DE DENDROCRONOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA (UDEP)



Dr. Pablo Salazar
INVESTIGADOR EN EL LABORATORIO DE DENDROCRONOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA (UDEP)

INTRODUCCIÓN

Debido a la inercia térmica del océano Pacífico, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) está muy relacionada con la temperatura del aire y con la precipitación (Bates et al., 2008). La corriente de Humboldt juega un papel importante al reducir la temperatura del mar y generar las condiciones secas que caracterizan las zonas áridas de la costa norte de Perú. La variabilidad climática estacional es tan estable, que es posible modelar la temperatura usando una ecuación sigmoidea y determinar los máximos y mínimos anuales (Rollenbeck et al., 2015). La estabilidad es un factor clave para la adaptación de las especies, y ha permitido el asentamiento de

especies arbóreas en la costa a lo largo de un gradiente climático que va desde la costa hasta las laderas de la sierra de Piura (Erdmann et al., 2008).

Las características climáticas de la costa peruana se ven alteradas durante la ocurrencia de un fenómeno El Niño (FEN). Este se caracteriza por variaciones interanuales de la TSM en el Pacífico Ecuatorial (este y centro), lo cual desencadena fuertes precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo en la costa central y norte de Perú. Esta alteración del clima que experimenta la costa norte del Perú cuando ocurre el FEN tiene efectos importantes en los ecosistemas terrestres y marinos de esta región (Holmgren & Scheffer, 2001). El incremento de las precipitaciones en el desierto, semidesierto y el bosque seco de

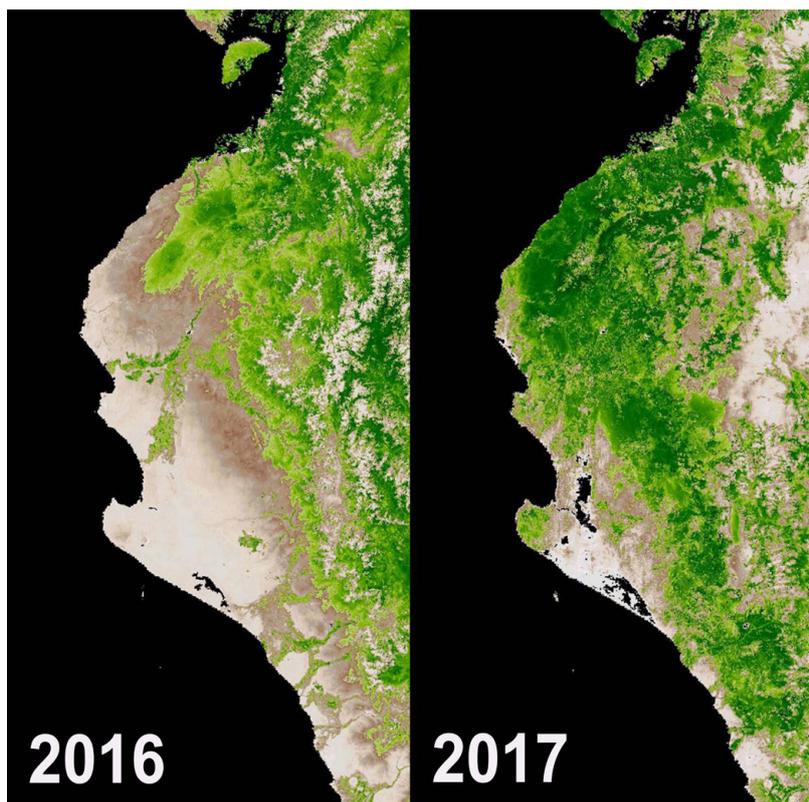


Figura 1. Imágenes satelitales de la cobertura vegetal de la costa norte del Perú, bajo condiciones normales (diciembre 2016) y bajo condiciones de El Niño costero (marzo 2017).

esta zona aumenta la cobertura vegetal, cambiando la estructura y dinámica del ecosistema (Figuras 1 y 2) (Squeo et al., 2007). Los árboles del bosque seco reverdecen e incrementan su tasa de crecimiento anual, sirviendo como fuentes de registro natural de la ocurrencia de tal fenómeno (Rodríguez et al., 2005).

PRIMERAS SERIES DENDROCRONOLÓGICAS OBTENIDAS CON ESPECIES DEL BOSQUE SECO

La dendrocronología es la ciencia que estudia las variaciones de las condiciones ambientales registradas en los anillos de crecimiento anual de los árboles (Mendivelso et al., 2016). Durante mucho tiempo se pensó que las especies tropicales no eran capaces de formar anillos debido a la ausencia de una estacionalidad marcada que forzase el cese del crecimiento (y la formación de parénquima terminal). Sin embargo, numerosos estudios de especies tropicales han demostrado la presencia de anillos en Sudamérica, África y Australia (López et al., 2013; Mbow et al., 2013). En el bosque seco de la costa norte del Perú existen varias especies arbóreas con potencial para estudios dendroclimáticos, entre ellas están Hualtaco (*Loxopterigium Huasango*), Palo Santo (*Bursera Graveolens*), Pasayo (*Eryoteca ruizii*) y

Algarrobo (*Prosopis sp.*). Algunas de estas especies, presentan raíces profundas que absorben el agua de la napa freática. Sin embargo, el crecimiento es marcadamente estacional y corresponde con los periodos húmedos de mayor precipitación (Rodríguez et al., 2005). Ante la ausencia de lluvias estas especies presentan defoliación, pero reverdecen tan pronto como el periodo lluvioso inicia generando un nuevo anillo de crecimiento anual cuyo ancho depende de la cantidad de lluvia. Midiendo el ancho de los anillos, desde la médula hasta la corteza, se genera una serie dendrocronológica que es confrontada con la lluvia total anual de la zona. Diferentes áreas de la ciencia, como la climatología, ecología o agronomía forestal, pueden usar esta información para inferir cambios en el ambiente y en la respuesta de la vegetación a la variación del clima.

Las primeras evidencias del registro del FEN en especies del bosque seco de la costa norte del Perú fueron encontradas en Palo Santo y Algarrobo (López et al., 2005; Rodríguez et al., 2005). Estos estudios fueron realizados en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Piura a comienzos de la década de 2000. En estas series dendrocronológicas se encontró un claro registro de los eventos FEN, especialmente de aquellos de gran magnitud como 1982-83 y 1997-98, años en los cuales el ancho del anillo correspondiente era notablemente mayor. Estas series dendrocronológicas fueron confrontadas con parámetros de FEN, como

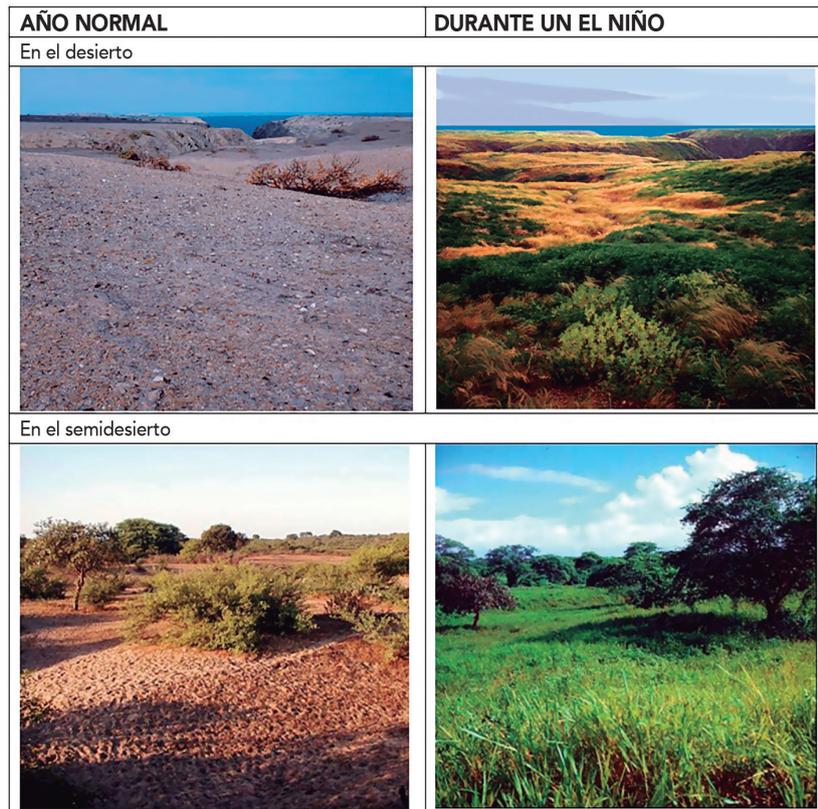


Figura 2. Cambio de la cobertura vegetal en el desierto y semidesierto de la región Piura durante el FEN.

lluvias anuales de la zona y el Índice de Oscilación del Sur, encontrándose alta correlación; además se confrontaron con otras series climáticas relacionadas al FEN (Takahashi & Martínez, 2017).

RECIENTES EVENTOS DE EL NIÑO REGISTRADO EN EL ANILLADO DE ALGARROBO

La variedad de los FEN sugiere una clasificación basada en la localización del valor máximo de la anomalía de TSM que se desarrolla a lo largo del Pacífico tropical. A partir de lo anterior, dos tipos de FEN se han determinado: El Niño del Pacífico Oriental (FEN Oriental) que tiene su máxima anomalía de la TSM en el Pacífico oriental y El Niño del Pacífico Central (FEN Central) que muestra su pico alrededor de la línea internacional de cambio fecha (180°) localizada en el Pacífico Central (Wang et al., 2017). Basado en esto se consideran FEN Orientales a los años 1982-83 y 1997-98 y FEN Centrales a los años 1968-69, 1977-78, 1986-87, 1991-92, 1994-95, 2002-3, 2004-5 y 2009-10 (Figura 3) (Tedeschi, 2017; Wang et al., 2017). El Niño 2015-2016 no se incluye dentro de esta clasificación ya que el incremento en la TSM estuvo repartido a lo largo de todo el Pacífico Ecuatorial (Tedeschi, 2017); y El Niño 2017 tampoco, ya que el aumento en la TSM se dio frente a la costa de Sudamérica y no en el resto del Pacífico Ecuatorial oriental o central (Takahashi, 2017).

La variabilidad de las anomalías en la TSM del océano Pacífico incide en la magnitud de las precipitaciones en la costa peruana, y es comúnmente usada para determinar la aparición e intensidad del FEN. Las poblaciones forestales de la costa norte presentan diferencias morfológicas, funcionales y estructurales (Palacios et al., 2011), asociadas a las condiciones geográficas, topográficas y climáticas de la región. Por lo tanto, tales anomalías en la TSM deberían reflejarse en las series dendrocronológicas de las poblaciones forestales de la costa. Un reciente estudio realizado en tres poblaciones de Algarrobo a lo largo del gradiente climático muestra el efecto del FEN y la variabilidad del impacto en la región. La población costera de La Rinconada (ubicada en la provincia de Paita) presenta una mayor variabilidad en el crecimiento radial, mientras que la población continental de Ignacio Távara (ubicada en la provincia de Morropón) solo presenta anillos de crecimiento intensos en años de precipitación extrema como el FEN de 1983 o 1998 (Salazar et al., 2018). Las tres poblaciones (Rinconada, Piura e Ignacio Távara) responden a las precipitaciones causadas por el FEN Oriental que también se ven registradas en las anomalías positivas en la TSM de las regiones Niño 1+2 y Paita (Figura 3). Los FEN Centrales se registran con mayor intensidad en la zona occidental y central del océano Pacífico, registrándose así más FEN Centrales en la región Niño 4 y menos en la región Niño 3. Estos eventos se ven ligeramente registrados en el índice de crecimiento de anillos, sobre todo en la población costera de Rinconada. Sin embargo, podemos afirmar

que no existe todavía un indicador único que relacione la temperatura del mar y el crecimiento del bosque, así como no existe un indicador único que defina la intensidad y frecuencia del FEN.

PERSPECTIVAS FUTURAS DE EL NIÑO SOBRE EL CRECIMIENTO DEL BOSQUE

Las condiciones climáticas a lo largo de la costa peruana se han vuelto cada vez más limitantes para la vegetación en la última década, periodo caracterizado por sequías, aumentos en temperatura y lluvias escasas (C. Wang et al., 2017). Se espera que el incremento gradual de la temperatura del mar provocado por el Cambio Climático genere un aumento en la frecuencia

e intensidad del FEN (Bates et al., 2008; G. Wang et al., 2017). Aunque el aumento de la disponibilidad de agua traerá consigo periodos de mayor crecimiento, la inestabilidad climática puede reducir la ventaja adaptativa de las principales especies forestales y cambiar la dinámica ecológica de las especies que lo componen. Es por esto que el calentamiento del océano a futuro es una amenaza para el crecimiento de los bosques de *P. pallida* (Salazar et al., 2018).

Es necesario aumentar nuestro conocimiento en el estudio del bosque seco y el efecto del clima sobre los procesos de germinación, regeneración y crecimiento del bosque. Afortunadamente, la historia del algarrobo en Perú se remonta a la época pre-incaica, y la obtención de datos dendrocronológicos a partir de muestras arqueológicas podría ampliar y esclarecer el presente y futuro climático de la costa peruana (Ghezzi et al., 2002).

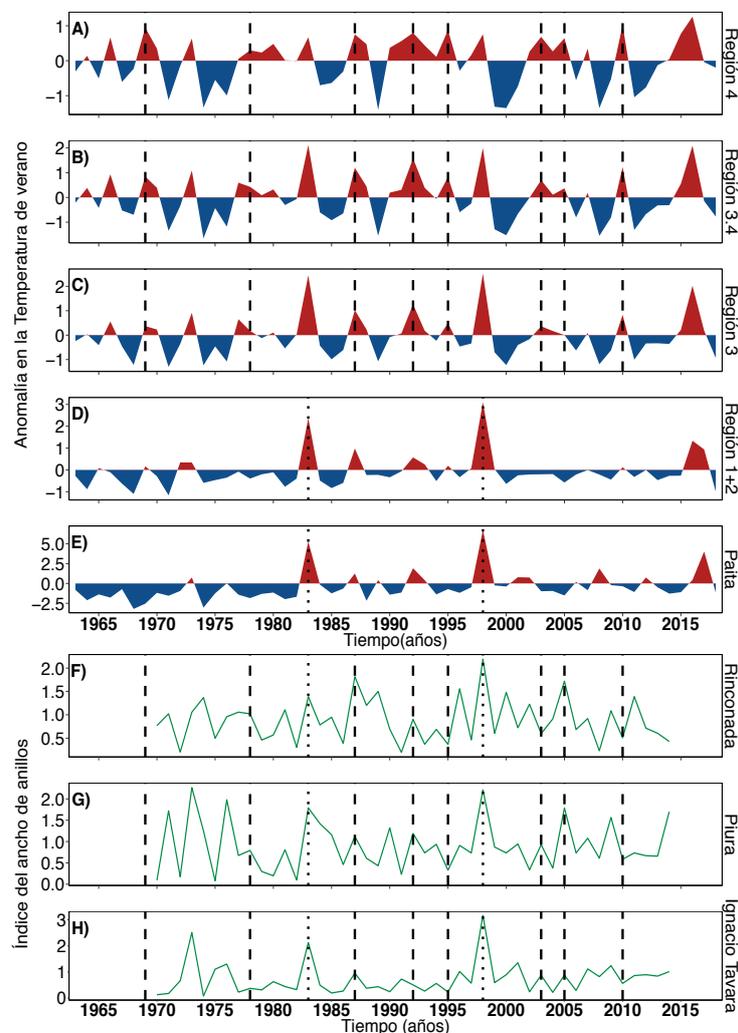


Figura 3. Las gráficas A), B), C), D) y E) presentan las anomalías en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en los meses de verano (enero, febrero y marzo) para las regiones Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2 del Pacífico Ecuatorial y la estación climática de Paita. En color rojo se aprecian las anomalías positivas y en azul las negativas en referencia a la temperatura media entre los años 1981-2010. Las líneas punteadas representan los FEN Orientales (1982-83 y 1997-98) y las interlineadas a los FEN Centrales (1968-69, 1977-78, 1986-87, 1991-92, 1994-95, 2002-3, 2004-5 y 2009-10). Las gráficas F), G) y H) muestran el índice del ancho de anillos para cada población evaluada. Siendo Rinconada la más cercana a la costa e Ignacio Távara la más continental.

REFERENCIAS

- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (2008). *Climate change and Water*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.
- Erdmann, W., Schulz, N., Richter, M., & Rodríguez Rodríguez, E. F. (2008). Efectos del fenómeno del Niño 1997-1998 en la vegetación del desierto de Sechura, Región Paita hasta el año 2008. *Arnaldoa*, 15(1), 63–86. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ghezzi, I., Towner, R. H., Winters, R., & Rodríguez, R. (2002). Dendroarchaeology at Chankillo. *Society for American Archaeology 67th. Annual Meeting*. Denver, Colorado.
- Holmgren, M., & Scheffer, M. (2001). El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems*, 4(2), 151–159. <https://doi.org/10.1007/s100210000065>
- López, L., Villalba, R., & Bravo, F. (2013). Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology and Management*, 292, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.011>
- López, Sabate, Gracia, & Rodriguez. (2005). Wood anatomy, description of annual rings, and responses to ENSO events of *Prosopis pallida* H. B. K., a widespread woody plant of arid and semi-arid lands of Latin America. *Journal of Arid Environments*, 61, 541–554. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.10.008>
- Mbow, C., Chhin, S., Sambou, B., & Skole, D. (2013). Potential of dendrochronology to assess annual rates of biomass productivity in savanna trees of West Africa. *Dendrochronologia*, 31(1), 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.06.001>
- Mendivelso, H. A., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 25(2), 66–75.
- Palacios, R., Burghardt, A., Frías-Hernández, J., Olalde-Portugal, V., Grados, N., Alban, L., & Martínez-de la Vega, O. (2011). Comparative study (AFLP and morphology) of three species of *Prosopis* of the Section Algarobia: *P. juliflora*, *P. pallida*, and *P. limensis*. Evidence for resolution of the “*P. pallida*–*P. juliflora* complex.” *Plant Systematics and Evolution*, 298(1), 165–171. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0535-y>
- Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005). “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22(3), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.002>
- Rollenbeck, R., Bayer, F., Münchow, J., Richter, M., Rodríguez, R., & Atarama, N. (2015). Climatic cycles and gradients of the El Niño core region in North Peru. *Advances in Meteorology*, 2015, 10. <https://doi.org/10.1155/2015/750181>
- Salazar, P. C., Navarro-Cerrillo, R. M., Ancajima, E., Duque Lazo, J., Rodríguez, R., Ghezzi, I., & Mabres, A. (2018). Effect of climate and ENSO events on *Prosopis pallida* forests along a climatic gradient. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, (April), 165–177. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy014>
- Squeo, F. A., Holmgren, M., Jimenez, M., Alban, L., Reyes, J., & Gutierrez, J. R. (2007). Tree establishment along an ENSO experimental gradient in the Atacama desert. *Journal of Vegetation Science*, 18(2), 195–202. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02530.x>
- Takahashi, K. (2017). Fenómeno El Niño: “Global” vs “Costero.” *Avances En La Ciencia Del El Niño: Colección de Artículos de Divulgación Científica 2017*, 4(4), 4–7.
- Takahashi, K., & Martínez, A. G. (2017). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 0(0), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>
- Tedeschi, R. G. (2017). Diferentes tipos de El Niño y su influencia sobre América del Sur. *Boletín Técnico Instituto Geofísico Del Perú*, 4(2), 2–7.
- Wang, C., Deser, C., Yu, J., Dinezio, P., & Clement, A. (2017). El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A Review. In P. W. Glynn, D. P. Manzello, & I. C. Enochs (Eds.), *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific* (Vol. 8, pp. 85–106). Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4>
- Wang, G., Cai, W., Gan, B., Wu, L., Santoso, A., Lin, X., ... McPhaden, M. J. (2017). Continued increase of extreme El Niño frequency long after 1.5 °C warming stabilization. *Nature Climate Change*, (July), 1–6. <https://doi.org/10.1038/nclimate3351>

Balance Geostrófico y Ageostrófico frente a la costa peruana entre 1980 y 2008

Tony Aparco, Ivonne Montes, Joel Sudre
Instituto Geofísico del Perú

Las corrientes superficiales oceánicas son de crucial interés debido a que transportan *momentum*, calor, salinidad y propiedades de un lugar a otro; permitiendo regular localmente y a grandes escalas las condiciones climáticas (Sudre et al., 2013). Dentro de este margen, la estimación de corrientes geostróficas y ageostróficas se han convertido en un método relevante para, en conjunto, aproximarse a las corrientes reales superficiales (Sudre and Morrow, 2008; Rio et al., 2013). Estas estimaciones de corrientes son obtenidas mediante la simplificación de la ecuación de movimiento (ecuación que describe la dinámica del océano, ec. 1) bajo ciertos supuestos, tales como que el océano se comporta como un medio homogéneo, ocupa una gran extensión espacial donde las aceleraciones locales son despreciables. Por lo tanto, la circulación oceánica en superficie queda regida por los principales forzantes de movimiento, externos e internos, como el viento que interactúa superficialmente y promueve el movimiento y el gradiente de presión horizontal (Rio et al., 2013).

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} + 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u} = \frac{-1}{\rho} \nabla p - g\hat{\mathbf{k}} + \nu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (1)$$

Donde, $\mathbf{u}=(u,v)$ es el vector de velocidad de corriente del fluido, $\boldsymbol{\Omega}$ es la velocidad angular de la tierra, p presión, ρ es la densidad del fluido y ν es la viscosidad.

Estas consideraciones dentro de las ecuaciones de movimiento de Navier-Stokes simplifica la ecuación 1, generando los denominados balances geostróficos y ageostróficos que facilitan la solución para calcular los

campos de velocidad de las corrientes para ser evaluadas mediante variables que pueden ser medibles (e.g., temperatura, salinidad, nivel del mar, Steward, 2000). El balance geostrófico está referido a la relación entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis (Cushman-Roisin and Becker, 2010) tal que:

$$u_g f = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} u_g = \frac{-g}{f} \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2)$$

$$v_g f = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} v_g = \frac{g}{f} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$

Donde p es la densidad, f el parámetro coriolis, g la gravedad, h el nivel del mar, u_g y v_g son las componentes zonal y meridional de velocidad geostrófica, respectivamente, y p es la presión que puede ser calculada como $p = \rho gh$, ya que se parte de la idea que es un medio homogéneo. Por lo tanto, las corrientes geostróficas superficiales pueden ser evaluadas mediante el nivel del mar (h).

Por otro lado, el balance ageostrófico desarrollado por Alfrid Ekman (1905) considera al esfuerzo del viento como forzante superficial que transfiere *momentum* al océano hasta cierta profundidad y las corrientes resultantes se balancean con la fuerza de Coriolis (Colling, 2001), tal que:

$$v_e f = -\nu_E \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2}; u_e = \frac{\sqrt{2}}{\rho_0 f d} e^{\frac{z}{d}} \left[\tau_x \cos\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) - \tau_y \sin\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) \right] \quad (4)$$

$$u_e f = \nu_E \frac{\partial^2 v_e}{\partial z^2}; v_e = \frac{\sqrt{2}}{\rho_0 f d} e^{\frac{z}{d}} \left[\tau_x \sin\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) + \tau_y \cos\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) \right] \quad (5)$$

Donde ρ es la densidad, f es el parámetro Coriolis, d es el espesor de la capa de Ekman ($d = \sqrt{\frac{2\nu_E}{|f|}}$), z es la profundidad, ν_E es el coeficiente de viscosidad, τ es el esfuerzo del viento, u_e y v_e son las componentes zonal y meridional de velocidades ageostróficas, respectivamente.

Frente a la costa peruana, en superficie, se desarrolla la denominada Corriente Costera Peruana (CCP) que forma parte del Sistema de Corrientes de Humboldt. Esta corriente, que alcanza entre los 15 y 20 cms^{-1} , se mantiene por la acción del viento en superficie y por la bifurcación de la Corriente Circumpolar Antártica (ACC) entre los 45° y 55°S que circula hacia el ecuador con velocidad característica entre 15 y 20 cms^{-1} , bordeando las costas de Chile y Perú (Strub et al., 1998).

Según señalan los autores, el balance de Ekman y geostrófico trabajan de manera conjunta para mantener la CCP y modular su intensidad. Tal que la acción del viento frente a la costa peruana favorece al proceso denominado afloramiento o surgencia costera, que causa el transporte hacia el oeste de masas de agua (denominado transporte de Ekman) que provoca un gradiente de presión desarrollado perpendicular a la costa. Para compensar el transporte de Ekman generado por el viento desde la costa hacia costa afuera, la pincolina (es decir, la superficie en donde la densidad tiene un máximo gradiente vertical) cerca de la costa se acerca a la superficie generando un gradiente de densidad que cruza la costa, lo cual contribuye a la CCP por ajuste geostrófico (Echevin et al., 2011).

Por tanto, el objetivo de esta investigación, que se desarrolla como tesis para optar el grado de Licenciado en Física, es estimar la corriente superficial frente a Perú mediante el balance geostrófico y ageostrófico. Para ello, se utilizan los datos mensuales de nivel del mar, temperatura, salinidad y esfuerzo del viento extraídos del modelo oceánico de reanálisis SODA (Simple Ocean Data Assimilation, Carton and Geise, 2008) para el periodo comprendido entre 1980 y 2008.

RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados preliminares de la aplicación de las ecuaciones 2-5, calculados sobre la franja costera distribuida entre 7° y 13°S desde la costa hasta 250 km mar adentro, son presentados en las Figura 1 y 2. Cabe resaltar que en ambas gráficas se le ha superpuesto la serie temporal del ICEN (Índice Costero El Niño; ENFEN, 2012) a partir de los datos de temperatura superficial del mar del SODA.

Las series de tiempo de las velocidades calculadas muestran que la corriente geostrófica explica los mayores cambios, fluctuando entre variaciones positivas y negativas, mientras que la corriente de Ekman se mantiene fluyendo costa afuera con variaciones, principalmente, asociadas al ciclo estacional. Una característica particular que se evidencia es que, las variaciones temporales de ambas componentes geostróficas están fuertemente influenciadas por eventos asociados a El Niño. Por ejemplo, tales son los casos de El Niño extraordinario registrados en 1982/83 y 1997/98, siendo notable un aumento en magnitud (10 cms^{-1} zonal y 7 cms^{-1} meridional) y variaciones en la dirección de flujo (hacia el este y sur, respectivamente).

Por otro lado, las series de tiempo de las velocidades ageostróficas para el periodo 2000-2008 son calculadas usando dos valores diferentes de coeficientes de viscosidad turbulenta ν_E (0.1 y 0.01 m^2s^{-1}), siguiendo lo sugerido por Cushman (2010) y Chereskin (2001). Los resultados muestran que la utilidad de uno versus otro puede tener cambios considerables en la magnitud. Ello es evidenciado mediante una comparación de lo calculado mediante los datos de SODA y los datos mensuales extraídas del producto GEKCO (*Geostrophic and Ekman Current*, Sudre et al. (2013), producto que contiene datos globales de corrientes superficiales generado a partir de datos satelitales).

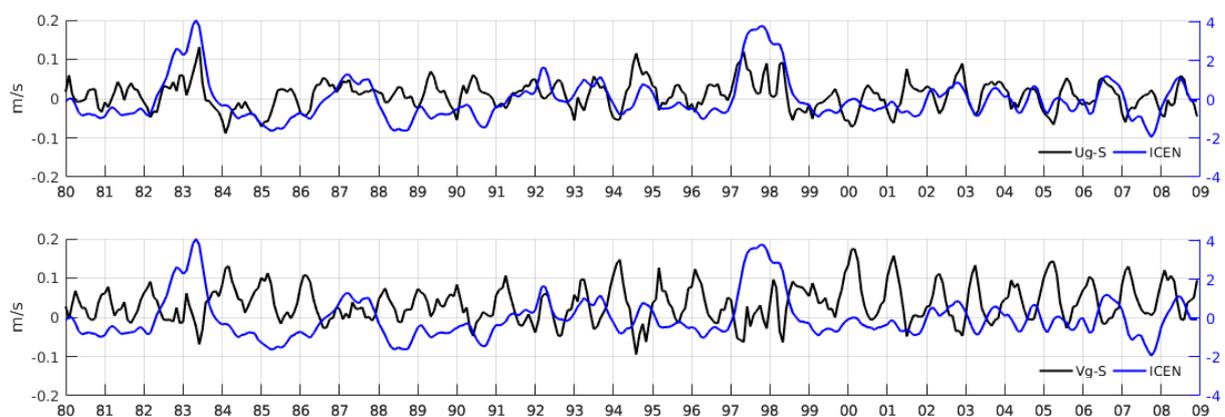


Figura 1. Series de tiempo de la componente zonal ($Ug-S$, panel superior) y meridional ($Vg-S$, panel inferior) de la corriente geostrófica (líneas negras) para el periodo 2000 – 2008 calculadas a partir de los datos numéricos de SODA empleando las ecuaciones 2 y 3. Series temporales en azul representa el ICEN (Índice Costero El Niño).

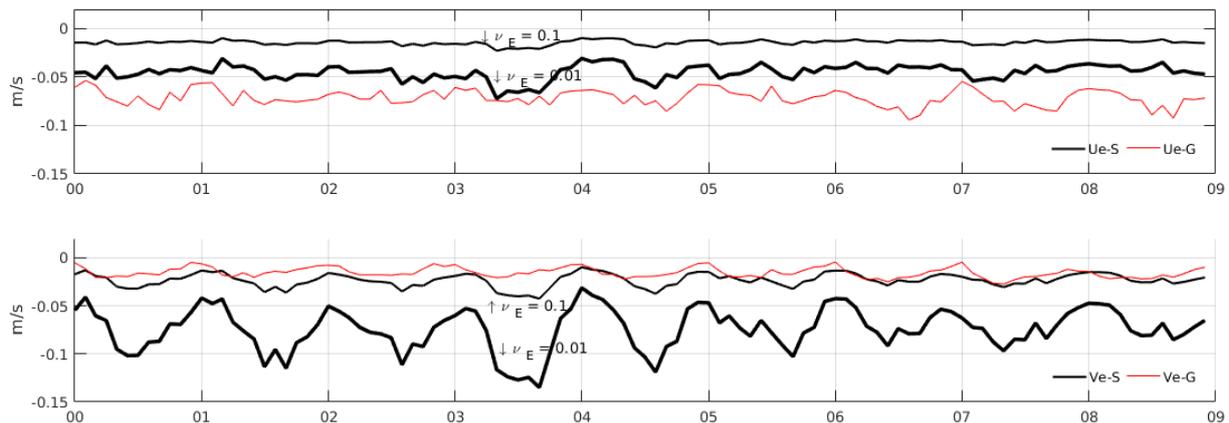


Figura 2. Series de tiempo de la componente zonal ($Ue-S$, panel superior) y meridional ($Ve-S$, panel inferior) de la corriente ageostrofica (líneas negras) para el periodo 2000 – 2008 calculadas a partir de los datos numéricos de SODA empleando las ecuaciones 2 y 3. Líneas negras delgadas (gruesas) es el resultado del cálculo empleando como coeficiente de viscosidad (ν_E) el valor de 0.1 (0.01). Líneas rojas representa la serie temporal extraída de la base de datos GEKCO.

REFERENCIAS

Carton, J.A., & Giese, B.S. (2008). A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). *Monthly Weather Review*, 136(8), 2999–3017. <http://doi.org/10.1175/2007MWR1978.1>.

Chaigneau, A., & Pizarro, O. (2005). Surface circulation and fronts of the South Pacific Ocean, east of 120°W. *Geophysical Research Letters*, 32(8), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2004GL022070>.

Chereskin, T. K., & Price, J. F. (2001). Ekman Transport and Pumping. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 222–227. <http://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00155-7>.

Colling, A., Brown, E., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. (2001). Chapter 3 – Ocean currents, In *Ocean Circulation (Second Edition)*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001, Pages 37-78, ISBN 9780750652780, <https://doi.org/10.1016/B978-075065278-0/50016-3>.

Cushman-Roisin, B., & Beckers, J.M. (2011). Chapter 8 - The Ekman Layer. In B. Cushman-Roisin & J.-M. Beckers (Eds.), *Introduction to Geophysical Fluid Dynamics Physical and Numerical Aspects*, 101, 239–270. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-088759-0.00008-0>.

Echevin, V., Colas, F., Chaigneau, A., & Penven, P. (2011). Sensitivity of the Northern Humboldt Current System nearshore modeled circulation to initial and boundary conditions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(7), 1–16. <http://doi.org/10.1029/2010JC006684>

- ENFEN, 2012: “Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa peruana, Nota Técnica ENFEN.

Rio, M.H., Mulet, S., & Picot, N. (2014). Beyond GOCE for the ocean circulation estimate: Synergetic use of altimetry, gravimetry, and in situ data provides new insight into geostrophic and Ekman currents. *Geophysical Research Letters*, 41(24), 8918–8925. <https://doi.org/10.1002/2014GL061773>

Sudre, J., Maes, C., & Garçon, V. (2013). On the global estimates of geostrophic and Ekman surface currents. *Limnology and Oceanography: Fluids and Environments*, 3(1), 1–20. <http://doi.org/10.1215/21573689-2071927>.

Sudre, J., Morrow, R. (2008). Global surface currents: A high-resolution product for investigating ocean dynamics. *Ocean Dynamics*, Vol. 58 (2), 101-118, doi:10.1007/s10236-008-0134-9

Stewart, R. (2008). *Introduction To Physical Oceanography (2a ed.)*. Texas A & M University. 345.

Strub, P., Mesías, J., Montecino, V., Rutlant, J., & Salinas, S. (1998). Coastal ocean circulation off western South America. *The Sea*, Vol 11.

Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Nio. *Geophysical Research Letters*, 38(10), 1–5. <http://doi.org/10.1029/2011GL047364>.

Resumen del Informe Técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2018-03

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). El pronunciamiento colegiado del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

RESUMEN

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), basado en los datos de ERSST v3b para el mes de febrero la condición climática para la costa peruana fue de Fría Fuerte (-1.70), mientras que el valor del ICENOI, estimado con datos de OISSTv2, mostró la condición Neutra (-0.73). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) para el mes de marzo son Frías Fuertes y Neutras, respectivamente, y para el mes de abril Fría Débil y Neutra, en el mismo orden. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que febrero de 2018 tuvo una condición Fría Débil (-0.77); los índices temporales estimados para marzo y abril, indican condiciones Frías Débiles y Neutras, respectivamente.

Según el promedio de los siete modelos numéricos de NMME, inicializados con condiciones del mes de abril de 2018, se predice, a pesar de mostrar anomalías ligeramente negativas en los meses de mayo y junio, condiciones del tipo Neutral en el Pacífico oriental hasta el mes de setiembre de 2018 con una tendencia a condiciones cálidas.

En la región del Pacífico central ecuatorial, el promedio de los modelos de NMME muestran condiciones Neutras desde el mes de abril hasta el mes de agosto de 2018 y, al igual que en la región Niño 1+2, mantiene una tendencia hacia condiciones cálidas.

Se espera el arribo de ondas Kelvin cálidas al continente americano entre los meses de abril y junio.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

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

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2017	Noviembre	-1.54	Fría Fuerte
2017	Diciembre	-1.70	Fría Fuerte
2018	Enero	-1.71	Fría Fuerte
2018	Febrero	-1.70	Fría Fuerte

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

Los valores del ICENOItmp estimados para marzo y abril de 2018 corresponden a condiciones Neutras. El ICENOI de marzo será confirmado cuando se disponga del valor de OISST v2 para el mes de abril de 2018.

Según los datos de OI la Niña habría terminado en el mes de enero con la magnitud de Moderada, mientras que con la data de ERSST v3, hasta febrero, se mantiene un evento La Niña de magnitud fuerte.

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 febrero de 2018, es de -0.77°C , correspondiente a condición Fría Débil¹.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Durante el mes de marzo, las anomalías de la TSM diaria, según los datos (IR, MW, OSTIA), en el Pacífico central presentaron valores dentro el rango de condiciones frías, manteniéndose en el orden

de -0.6°C a -0.3°C y con una tendencia positiva en los primeros días del mes abril. Para la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM también indica valores negativos, en el orden -2°C a 0.2°C , con persistencia de anomalías negativa hasta inicio del mes de abril.

El promedio mensual de las anomalías de esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central ($160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$; $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$) continuó con anomalía del este, mostrando mayor magnitud que el mes anterior; las anomalías negativas fueron de baja magnitud y se observaron casi todo el mes en el Pacífico central entre ($170^{\circ}\text{E}-130^{\circ}\text{W}$; $2^{\circ}\text{S}-2^{\circ}\text{N}$), por otro lado, también se observaron anomalías positivas en la tercera y cuarta semana del mes entre ($130^{\circ}\text{E}-155^{\circ}\text{E}$; $2^{\circ}\text{S}-2^{\circ}\text{N}$). La actividad convectiva en el Pacífico ecuatorial central-

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).

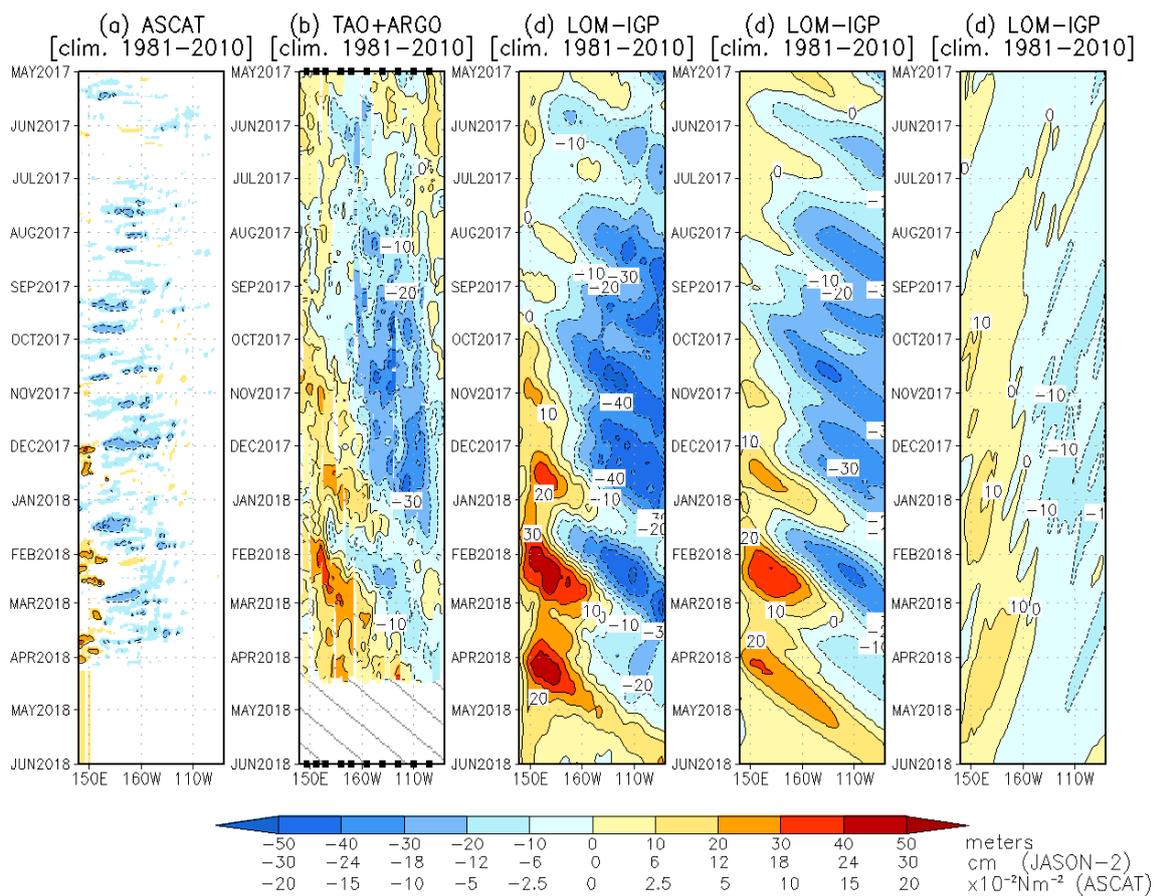


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y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

oriental, continuó inferior a su climatología y el patrón anómalo de convección ecuatorial siguió indicando un desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones atmosféricas tipo La Niña. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó dentro de su posición normal, mientras que el contenido de calor durante el mes de marzo continuó incrementándose, aparentemente, desde el mes de octubre.

La onda Kelvin cálida, formada por la combinación de pulsos de vientos del oeste durante el mes de febrero y la aparente reflexión de ondas Rossby en el extremo occidental, continúa su desplazamiento hacia el continente americano, esto según los datos observados (altimetría y profundidad de la termoclina) y estaría localizada en 120°W, aproximadamente, pero

debilitada (Figuras 1). Es posible que la inclinación de la termoclina esté contribuyendo a disminuir la velocidad de propagación de la onda Kelvin y/o que se estén dando procesos de interferencia constructiva y destructiva en el océano Pacífico.

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

Según los modelos de ondas oceánicas, se espera la llegada de ondas Kelvin cálidas a la costa americana desde el mes de abril hasta junio (Figuras 2). Las ondas que arribarían en los próximos meses serían aquellas que se formaron por pulsos de viento del

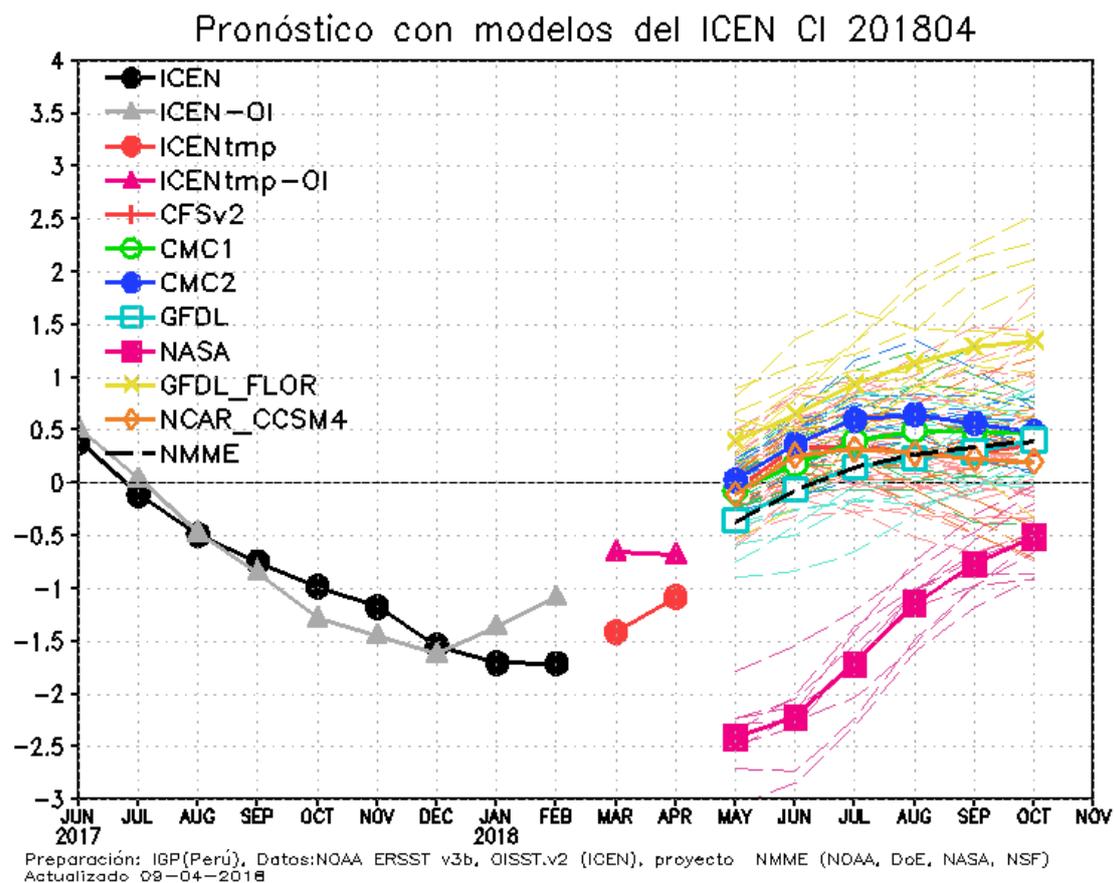


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno e ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA_GEOSv2 GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de abril de 2018. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

oeste en el extremo occidental durante los meses de febrero y marzo. Según el pronóstico de vientos del modelo GFS en el Pacífico ecuatorial central, se observa vientos del este de baja intensidad en la tercera semana del mes de abril.

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 de abril, indican en promedio condiciones neutras de mayo a setiembre de 2018, (Fig. 2); sin embargo, estos índices son negativos hasta el mes de junio. Para los meses de mayo y junio, uno (NASA_GEOS5v2) de los 7 modelos indica condición fría fuerte y 6 modelos condiciones neutras.

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en abril, el promedio de los 7 modelos indican condiciones Neutras desde el mes de abril hasta el mes de agosto, para los siguientes meses (setiembre y octubre) se esperarían condiciones cálidas débiles.

CONCLUSIONES

1. El ICEN para febrero de 2018 fue de -1.70 (Fría Fuerte) y el ICEN_{tmp} para marzo y abril es -1.41 (Fría Fuerte) y -1.08 (Fría Débil). Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI), los valores correspondientes son -0.73 (Neutro), y los temporales para marzo y abril son neutros -0.65 y -0.68 respectivamente.

2. En el Pacífico central, el ONI de enero (EFM) es -0.77 y corresponde a condiciones Frías Débiles y el estimado para febrero también sería de condiciones Fría Débil. La ATSM en la región Niño 3.4, fue, en promedio, -0.8.

3. Durante el mes de marzo, según TAO, el viento zonal ecuatorial mantuvo, en promedio, una anomalía del este a lo largo del Pacífico ecuatorial. Solo se observa una zona con vientos al oeste de 160°W. La ATSM también mostró valores negativos al este de 180°, mientras que la anomalía de la termoclina fue positiva al oeste de 140°W.

4. Durante el mes de marzo, según los datos de ASCAT, NCEP y TAO; se observaron en todas los productos pulsos de viento en el extremo occidental (al este de 160°E). Por otro lado, solo el producto NCEP mostró pulsos de viento del este alrededor de 160°E y 160°W.

5. El patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones tipo La Niña.

6. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó dentro de su posición normal sin embargo, el contenido de calor se viene incrementando, aparentemente, desde el mes de octubre.

7. La onda Kelvin cálida, formada por la combinación de pulsos de viento del oeste durante el mes de febrero y la aparente reflexión de ondas Rossby en el extremo occidental, continúa su desplazamiento hacia el continente americano, esto según los datos observados (altimetría y profundidad de la termoclina) y estaría localizada en 120°W, aproximadamente, pero debilitada.

8. La onda Kelvin producida por el pulso de viento del oeste en el extremo occidental en febrero, según los modelos de ondas, llegaría a la costa americana durante el mes de abril.

9. El pulso de viento del oeste durante el mes de marzo se habría proyectado en una onda Kelvin según los modelos numéricos, la cual que arribaría al continente americano entre mayo y junio.

10. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME en promedio indican condiciones Neutras de mayo a setiembre de 2018; sin embargo este promedio continua siendo negativos hasta el mes de junio. Para los meses de mayo y junio uno (NASA_GEOS5v2) de los 7 modelos indica condición fría fuerte y 6 modelos condiciones neutras.

11. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indican para los meses de abril hasta agosto condiciones neutras, en los siguientes meses (Sep. y Oct.) se esperarían condiciones cálidas débiles.

12. En promedio, los modelos indican una tendencia hacia condiciones cálidas alrededor de primavera, tanto en la región Niño 1+2 y Niño 3.4. Es importante hacer recordar que los pronósticos de estos modelos, para estas fechas, presentan una mayor incertidumbre, por lo que se requiere seguir monitoreando.

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°05-2018
Estado del sistema de alerta: No Activo¹

La Comisión Multisectorial ENFEN confirma el proceso de normalización de la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana y en el Pacífico central.

Entre abril y junio se espera el arribo de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú, que podrían generar anomalías positivas débiles de la temperatura del mar y, en lo que resta de abril, favorecer la ocurrencia de algunas lluvias aisladas en dicha región.

La Comisión encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas actualizadas a la primera semana de abril del 2018.

Las condiciones frías del Pacífico ecuatorial en marzo disminuyeron gradualmente, presentando en los primeros días de abril condiciones cercanas a lo normal. En la región central (área Niño 3.4), la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) disminuyó de $-0,9^{\circ}\text{C}$ en febrero a $-0,7^{\circ}\text{C}$ en marzo (Figura 1), manteniendo la tendencia durante la primera semana de abril. Así mismo, en la región central y parte de la región oriental del Pacífico ecuatorial, la Onda Kelvin cálida continúa su propagación hacia la costa de Sudamérica.

El Índice Costero El Niño (ICEN)², que filtra las fluctuaciones de corto plazo de la anomalía de la temperatura superficial del mar, alcanzó $-0,73^{\circ}\text{C}$ (fuente NCEP OI SST v2) en febrero (Figura 2) y su valor temporal (ICENtmp) en marzo fue $-0,65^{\circ}\text{C}$; confirmando el proceso de normalización de la TSM.

El Anticiclón del Pacífico Sur en marzo mantuvo una configuración zonal con presiones próximas a su patrón climático, asociado a vientos débiles costeros del sur (menores de 4 m/s) principalmente en la región de la costa central. Por otro lado, se continuó observando la presencia de vientos del oeste y convergencia en niveles altos de la atmósfera, suprimiendo las lluvias en la región norte de la costa peruana.

Las temperaturas máximas y mínimas del aire continuaron dentro del rango normal; sin embargo, en la costa norte, las temperaturas nocturnas se mantuvieron más frías de lo usual, alcanzando anomalías de $-2,0^{\circ}\text{C}$ en Lambayeque y $-1,7^{\circ}\text{C}$ en Trujillo (Cuadro 1).

Las anomalías mensuales de la TSM en el litoral norte cambiaron de positivas a negativas ($-1,9^{\circ}\text{C}$), mientras que en el centro y sur las anomalías disminuyeron a $-1,6^{\circ}\text{C}$ y $-0,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

En los primeros días de abril la TSM tomó valores cercanos a lo normal. Por otro lado, en la primera quincena de marzo, el nivel medio del mar (NMM) se ubicó por debajo del promedio, cambiando luego a valores por encima de éste hasta $+6\text{ cm}$; desde fines de marzo hasta los primeros días de abril.

En el mar peruano, a inicios de marzo se detectaron Aguas Tropicales Superficiales hasta Puerto Pizarro, Aguas Ecuatoriales Superficiales hasta Punta La Negra y Aguas Subtropicales Superficiales por fuera de las 60 millas desde Chicama hasta Atico, conforme con el patrón de verano de distribución de las masas de agua. Por otro lado, a inicios de abril, al sur de Atico se identificaron Aguas Subtropicales Superficiales hasta cerca de la costa.

En cuanto a la temperatura subsuperficial frente a la costa norte (Pto. Pizarro y Paita), en los primeros días de marzo dentro de las 80 millas se manifestó un calentamiento sobre los 20 metros de profundidad. Las siguientes semanas del mes frente a Paita y desde Chicama hasta Callao, dentro de las 100 millas se detectaron anomalías térmicas negativas de hasta -3°C en los primeros 60 metros, mientras que, por fuera de las 100 millas, entre 20 y 60 metros de profundidad, se observaron condiciones cálidas con anomalías hasta de $+2^{\circ}\text{C}$. Frente a la costa sur, dentro de las 100 millas, las condiciones térmicas sobre los 50 metros variaron entre neutras y frías, con anomalías de hasta -2°C .

¹ Definición de estado de 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; "Vigilancia de La Niña costera": Según los modelos y observaciones, usando criterio experto en forma colegiada, el Comisión ENFEN estima que es más probable que ocurra La Niña costera a que no ocurra (Nota Técnica ENFEN 01-2015). Se denomina "Evento La Niña en la región costera de Perú" o "La Niña Costera" al periodo en el cual el ICEN indique "condiciones frías" durante al menos tres (3) meses consecutivos. (Nota Técnica ENFEN 01-2012).

² ICEN corresponde a la región Niño 1+2.



IMARPE
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



Durante el mes de marzo los ríos de la costa presentaron caudales superiores al promedio, con una tendencia ascendente y en algunos casos superando el umbral de riesgo como los ríos Santa y Pisco. Los reservorios en la costa norte alcanzaron en promedio el 64% de su capacidad máxima (Tinajones, en el valle Chancay-Lambayeque fue de 33%), mientras que en el sur, el sistema hidráulico Colca-Chili (Arequipa) alcanzó el 99% y Pasto Grande (Moquegua) el 65%. En promedio, a nivel nacional las reservas se encuentran al 87%.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, mostró en promedio valores por debajo de lo normal en las tres primeras semanas de marzo, para luego superar su patrón histórico, asociado a la disminución de la nubosidad.

Durante el mes de marzo, la anchoveta en la región sur se observó dentro de las 10 millas de distancia a la costa desde Atico (16°S) hasta Morro Sama (18°S), con las mayores capturas frente a Ilo. Los índices reproductivos de la anchoveta del stock norte-centro indicaron la declinación del desove de verano a fines de marzo. Por otro lado frente a Salaverry y Chimbote, la caballa presentó una distribución amplia, con áreas entre 60 a 150 millas.

Para el caso del crecimiento vegetativo del arroz en la costa norte, fueron favorecidas por las temperaturas diurnas cálidas, en tanto que en la costa sur las temperaturas nocturnas frías retrasaron la fase de fructificación del olivo en la Yarada. Por otro lado, la deficiencia de lluvias en esta región favoreció la cosecha de mango disminuyendo los problemas fitosanitarios en la fruta. Sin embargo, en el valle de Chancay-Lambayeque el estado de las reservas de agua alargó la frecuencia de riego.

PERSPECTIVAS

Entre abril y junio se espera el arribo de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú, que podrían generar anomalías positivas débiles de la temperatura del mar y, en lo que resta de abril, favorecer la ocurrencia de algunas lluvias aisladas en dicha región.

Los modelos de las agencias internacionales predicen condiciones neutras en la región Oriental y Central del Pacífico ecuatorial, al menos, hasta inicios de invierno, pero con una tendencia hacia condiciones cálidas alrededor de primavera. Es importante hacer recordar que los pronósticos de estos modelos, para estas fechas, presentan una mayor incertidumbre, por lo que se requiere seguir monitoreando.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN así como los pronósticos de las Agencias Internacionales, se espera que entre mayo y junio se presenten condiciones neutras hasta ligeras anomalías positivas en la temperatura de la superficie del mar en la región Niño 1+2 y en el Pacífico Central (Niño 3.4).

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones actuales y sus perspectivas.

Callao, 16 de abril de 2018

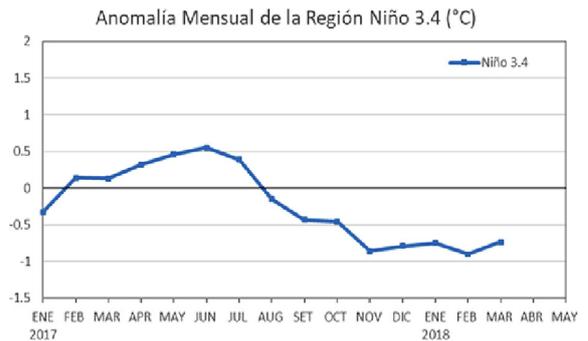
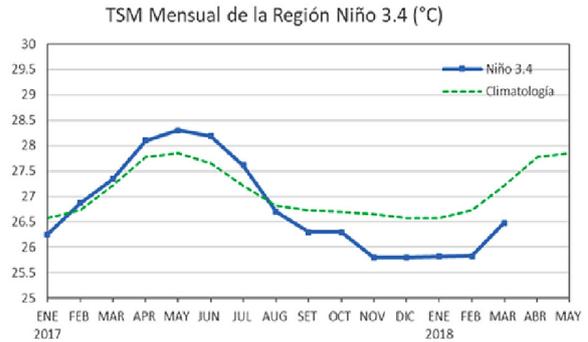


Figura 1. Temperatura y anomalía superficial del mar mensual: Región Niño 3.4 (5°N - 5°S) / (170°W - 120°W), enero 2017 - marzo 2018 Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico DHN.

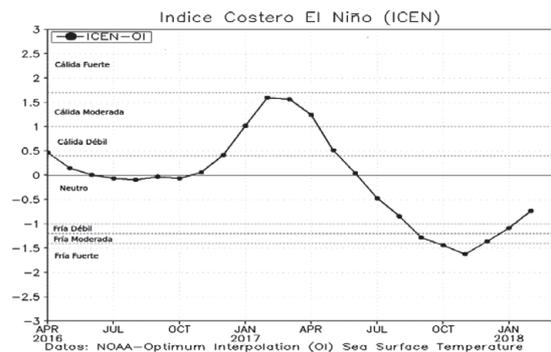


Figura 2. Serie del Índice Costero El Niño (ICEN) desde abril 2016 hasta febrero 2018. Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico IGP.

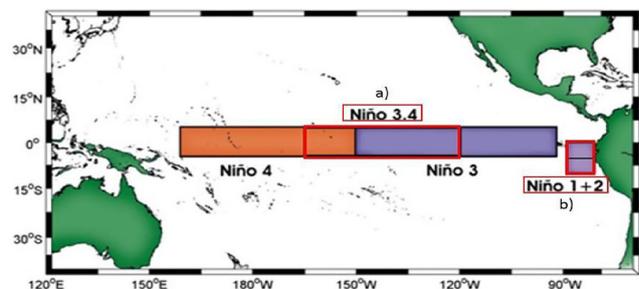


Figura 3. Áreas de monitoreo, Región Niño 3.4 (5°N-5°S / 170°W-120°W) y Región Niño 1+2 (0°-10°S / 90°W-80°W) Fuente: NOAA.





Instituto Geofísico del Perú

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

Central Telefónica: [511] 317 2300

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

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

 http://twitter.com/igp_peru

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

En el marco del:



EL PERÚ PRIMERO