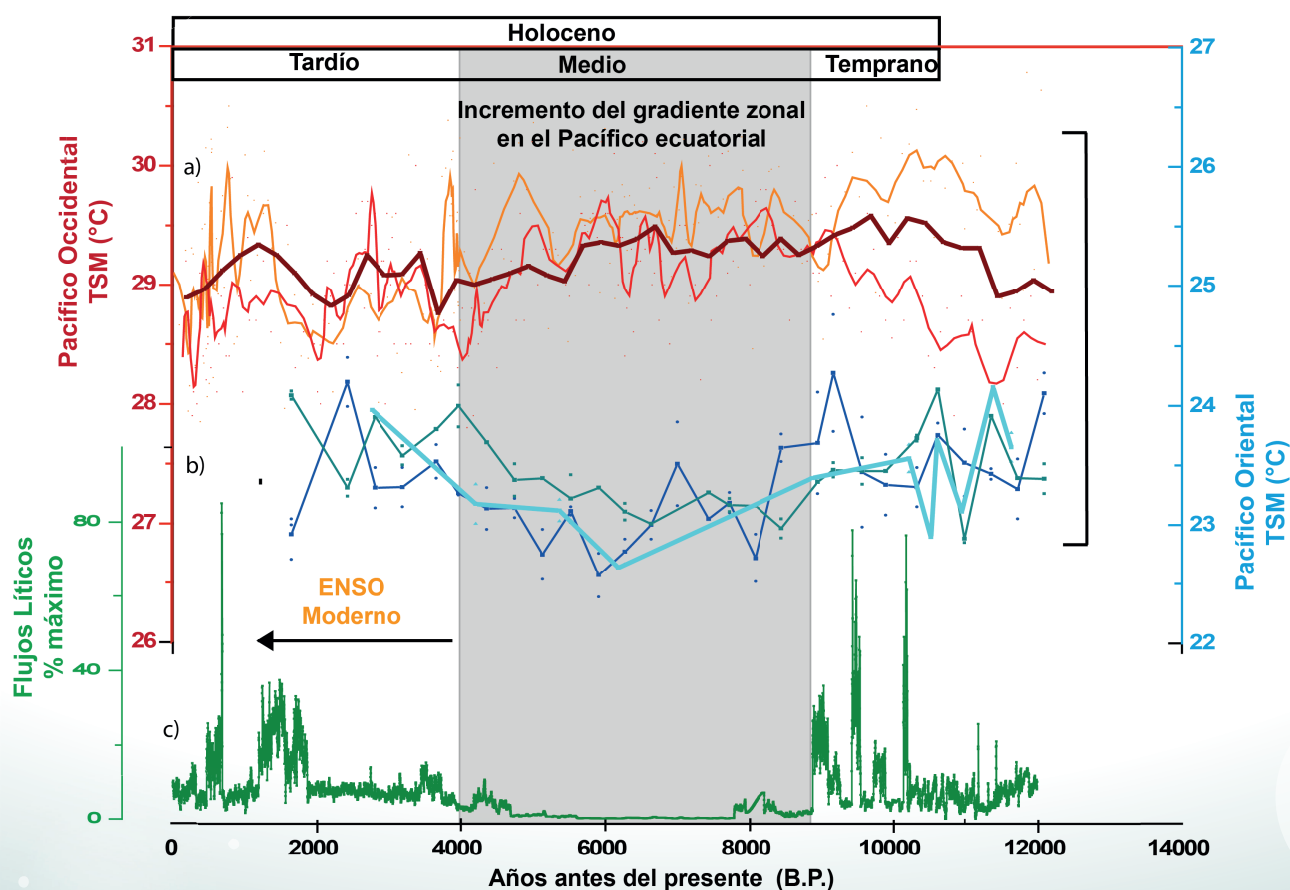


Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

Registros Paleoclimáticos de El Niño en el Holoceno



Contenido

2 - 3

Introducción

4 - 8

Artículo de Divulgación Científica

9 - 10

Avances Científicos

11 - 13

Resumen Informe Técnico

14 - 15

Comunicado Oficial ENFEN

Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “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”.

Manuel Pulgar Vidal
Ministro del Ambiente

Ronald Woodman
Presidente Ejecutivo IGP

José Macharé
Director Científico IGP

Ken Takahashi
Responsable Producto El Niño - IGP

Equipo científico: Ken Takahashi, Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura

Edición: Cristiana Leucci
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Apaéstegui, 2015.

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

Impreso por Empresa: Imprenta Editora Gráfica Real SAC.
Jr. Independencia 953 – Trujillo – La Libertad
Teléfono (44) 25-3324

Lima, Abril del 2016

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-04595

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 del Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”, que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural océano-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones a autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”, la cual incluye la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

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

Los resultados de esta actividad están disponibles en:
www.igp.gob.pe/sysppr.

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 del Comité 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.

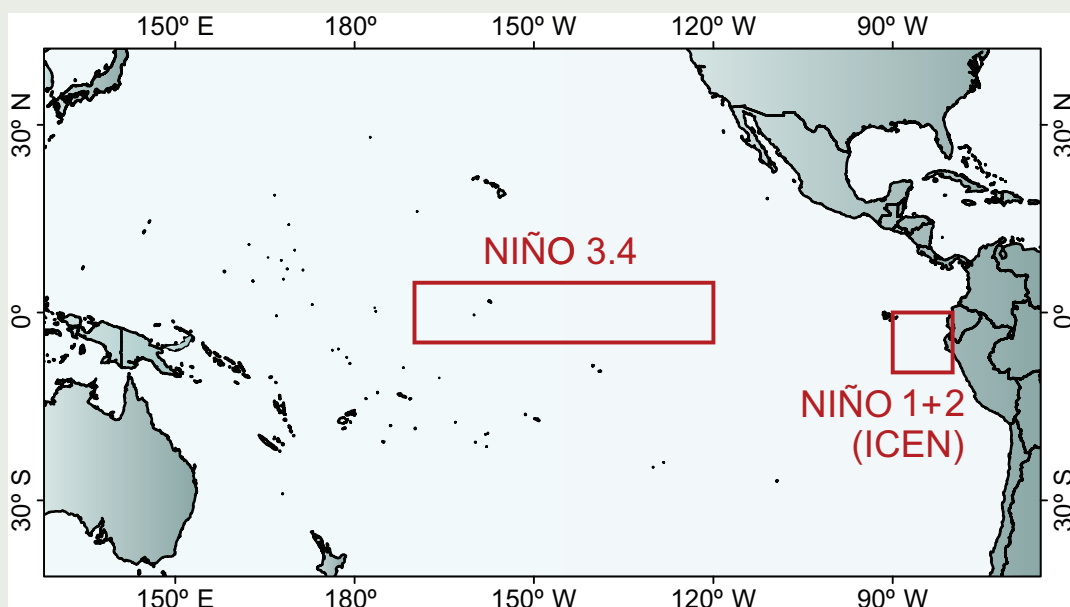
El
ENFEN es el
ente que genera la
información oficial de
monitoreo y pronóstico
del Fenómeno El Niño y
otros asociados.

El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Según Resolución Ministerial 761-97-PE, el ENFEN tiene entre sus funciones el “mantener informado sobre la posible ocurrencia del Fenómeno El Niño, para que con ello se permita adoptar decisiones para adecuar y proteger la infraestructura existente en los distintos sectores, en prevención a los posibles daños que pudiera causar este fenómeno a la economía nacional y la población peruana”, así como “orientar a los diversos sectores medidas pragmáticas de previsión que permitan reducir daños y/o aprovechar beneficios”.

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, al menos mensualmente, emite 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 en forma colegiada 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 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.

Variabilidad del ENSO durante el Holoceno: evidencias paleoclimáticas

El Niño-Oscilación Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) es el fenómeno océano - atmosférico de mayor importancia en escala global. Se caracteriza por variaciones interanuales en la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Pacífico Ecuatorial y en la circulación atmosférica a escala global, lo cual produce cambios en el clima mundial con importantes repercusiones sociales y económicas. Recientemente la comunidad científica se está enfocando en entender la diversidad en estos eventos y sus impactos, la cual se puede caracterizar según dónde se produce el mayor calentamiento en el océano, especialmente en el Pacífico Central o el Pacífico Oriental (Takahashi, 2014). En particular, El Niño costero o de calentamiento de TSM en el Pacífico Oriental puede incrementar las lluvias en la costa mientras que El Niño en el Pacífico Central tiende a reducirlas en los Andes peruanos (Lavado y Espinoza, 2014). En general, es importante reconocer esta diversidad para la correcta interpretación de registros paleoclimáticos, ya que estos típicamente reflejan cambios locales que pueden estar asociados a diferentes aspectos de ENSO. En un artículo previo se presentaron las evidencias y perspectivas de la ocurrencia de los diferentes tipos de eventos ENSO durante el último milenio a partir de registros históricos



James Apaéstegui, Dr.
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú

Doctor en Geociencias de la Universidad Federal Fluminense, Brasil, con área de actuación en Geoquímica Ambiental aplicada a la Paleoclimatología. Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú donde desarrolla trabajos en Paleoclimatología de los Andes orientales a través del análisis de indicadores geoquímicos e isotópicos de espeleotemas y el uso de trazadores isotópicos para estudios hidrológicos. Además es miembro del Laboratorio Mixto Internacional Paleotracas y del grupo de trabajo PAGES 2K.

y reconstrucciones paleoclimáticas (Apaéstegui et al., 2015). Ahora nos remontamos más hacia el pasado y resumimos nuestro conocimiento sobre la ocurrencia del ENSO y sus trazos paleoambientales durante el periodo conocido como Holoceno.

El Holoceno, que corresponde a aproximadamente los últimos 10000 años de la historia de la Tierra, es el periodo geológico más reciente donde se observan condiciones bastante estables en el clima global después de la ocurrencia del Último Periodo

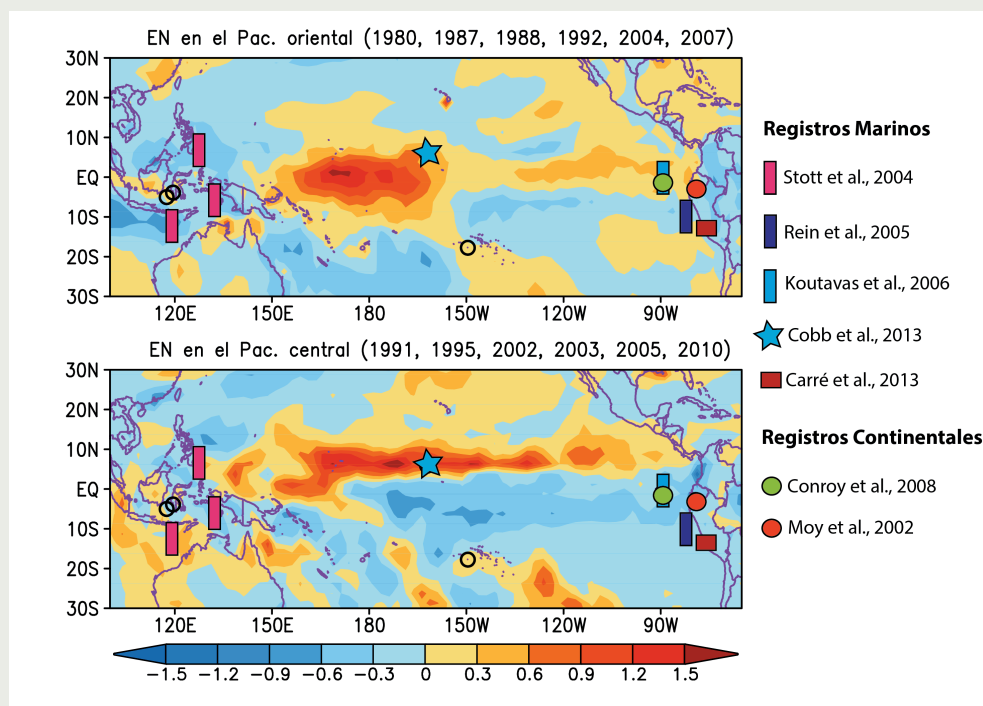


Figura 1. Anomalías de precipitación (mm/día) de febrero a abril promediadas para: El Niño del Pacífico Oriental y El Niño del Pacífico Central. Los datos provienen de GPCP y la clasificación se basa en Yeh et al. (2009) y Takahashi et al. (2011). Las marcas en rectángulos (sedimentos marinos), estrellas (corales) y círculos (sedimentos continentales) refieren la posición de diferentes registros paleoclimáticos discutidos en el texto.

Variabilidad del ENSO durante el Holoceno: evidencias paleoclimáticas

Apaéstegui J. y Takahashi K.

Ken Takahashi Guevara, Ph. D.

Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú



Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EE.UU. y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. Recientemente su investigación está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos, los procesos de interacción entre el océano y atmósfera, identificar la variabilidad a escala decadal en el Pacífico sureste.

Glacial. Es en este periodo geológico donde se conforman las condiciones globales actuales, en relación a las forzantes naturales de insolación debidas al movimiento de precesión solar, las cuales afectan los parámetros de distribución de calor en la Tierra, así como la estacionalidad e intensidad de las precipitaciones en ambos hemisferios. Sobre estas escalas, el clima promedio con respecto al cual se presentan las variaciones asociadas a ENSO puede variar lentamente y esto, a su vez, puede afectar las características espaciales y temporales

de este fenómeno (Takahashi, 2014). En los registros paleoclimáticos, que presentan diversidad en la resolución temporal, es importante distinguir entre los cambios en el estado promedio y en la varianza interanual.

Cambios en el estado climático promedio

A lo largo del Pacífico Ecuatorial, la salinidad superficial de las aguas es más baja y la temperatura mayor en la región occidental que la oriental. El análisis de isótopos de oxígeno y razones de Mg/Ca en foraminíferos de sedimentos marinos colectados en el Pacífico Occidental, cerca de Indonesia, nos indica que durante los últimos 10000 años la TSM y salinidad promedio presentaron una tendencia decreciente, de manera que la TSM era mayor en aproximadamente 0.5°C en relación al presente (Stott et al., 2004; Figura 2a).

Mientras tanto, en el Pacífico Oriental, la reconstrucción de TSM con foraminíferos en sedimentos próximos a las islas Galápagos en Ecuador (Koutavas et al., 2006) nos muestra que entre 9000 y 5000 años B. P., las condiciones eran más frías que las actuales en aproximadamente $\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ (Figura 2b). Esto sugiere que en el Holoceno Medio el gradiente zonal (oeste-este) de temperatura fue mayor que en el presente (Figura 2a, b).

Además, el registro de sedimentos en la cuenca Cariaco, frente a la costa de Venezuela, indica que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la principal banda de lluvia en el Pacífico y Atlántico, estaba en promedio más al norte en el Holoceno Temprano y Medio que en el presente (Haug et al., 2001; Figura 3a), lo cual sugiere que los vientos a lo largo de la costa de Perú y el afloramiento costero podrían haber sido más fuertes.

El gradiente zonal intensificado de las temperaturas ecuatoriales podría implicar menor variabilidad asociada a ENSO a gran escala, aunque esta relación no es sencilla (Takahashi, 2014). Sin embargo, condiciones frías frente al Perú con la ZCIT desplazada al norte implican menor probabilidad de eventos de lluvias intensas en la costa (Woodman y Takahashi, 2014), mientras que los vientos más fuertes podrían afectar la propagación de ondas Kelvin y reducir la señal de ENSO en la TSM de la costa (Mosquera-Vásquez et al., 2013; 2014). Pero, ¿qué evidencias tenemos de cambios en ENSO mismo?

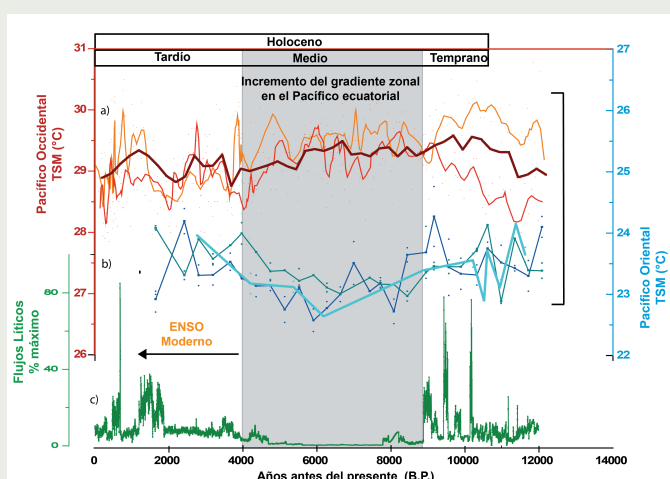


Figura 2. a) Reconstrucciones de TSM en el Pacífico Occidental (líneas rojas; tomadas a partir de Stott et al., 2004) y b) el Pacífico Oriental (líneas azules; tomadas a partir de Koutavas et al., 2006). En c) se observa el registro de aportes líticos en los sedimentos marinos frente a la costa de Perú (Rein et al., 2005). La barra gris indica el Holoceno Medio y el incremento en el gradiente zonal del Pacífico relacionado a la ausencia de eventos ENSO durante dicho periodo de tiempo. (Nótese que el tiempo avanza de derecha a izquierda).

¹Años B. P. (before present) se refiere al número de años antes de 1950.

Cambios en la variabilidad climática

En el Pacífico Central, el análisis isotópico de corales fósiles nos proporciona registros de las variaciones mensuales de la TSM en la región Niño 3.4 (Cobb et al., 2013), los cuales sugieren una gran variabilidad durante los últimos 7000 años pero no indican que la varianza de la TSM asociada a ENSO haya sido sustancialmente distinta en el Holoceno Medio respecto al presente. Es decir que, según estos registros, El Niño en el Pacífico Central de ese entonces no habría sido muy diferente al de ahora.

Por otro lado, la TSM estimada con foraminíferos en las islas Galápagos en el Pacífico Oriental indica una varianza que era 50% entre 9000 y 4000 años B. P. en relación al presente, lo cual sugiere dramáticamente menor amplitud de ENSO en el Holoceno Medio (Koutavas et al., 2006; Figura 2b). Más recientemente, el análisis isotópico en conchas fósiles de la “macha” (*Donacium mesodesma*) en la costa centro y sur de Perú indica que la asimetría (skewness) de la distribución de las anomalías de la TSM mensuales fue menor en 7500-6700 años B. P. que en el presente, lo cual indica menor ocurrencia de eventos de calentamiento debido a El Niño costero durante el Holoceno Medio (Carré et al., 2014). Se debe notar que estos moluscos

mueren durante eventos El Niño extremos, por lo que solo registran eventos hasta magnitud moderada.

En cuanto a las lluvias asociadas a El Niño costero, la mayoría de registros coinciden en que hubo menos eventos El Niño intensos en el Pacífico Oriental. Para empezar, en las islas Galápagos, donde llueve intensamente solo durante El Niño extraordinarios en el Pacífico Oriental, los sedimentos encontrados en un cráter laguna (Conroy et al., 2008) nos indican poca frecuencia e intensidad de estos eventos antes de los 4200 años B. P. (Figura 3d). Asimismo, los sedimentos de la laguna Pallcacocha (4200 msnm), en Ecuador, registran las lluvias típicamente asociadas a eventos El Niño costero moderados y fuertes (Moy et al., 2002) e indican que el Holoceno es caracterizado por un incremento gradual de la frecuencia de eventos de lluvias intensas y, posiblemente El Niño (Figura 3d). Sin embargo, los registros de la laguna Pallcacocha han sido puestos en discusión debido a que, por su posición en los Andes, podrían reflejar la intensificación del Monzón Sudamericano (Kanner et al., 2012).

Además, el análisis de cordones litorales al norte y sur del río Chira (secuencias Chira y Colán) y norte del río Piura (secuencia Sechura) indica que estos

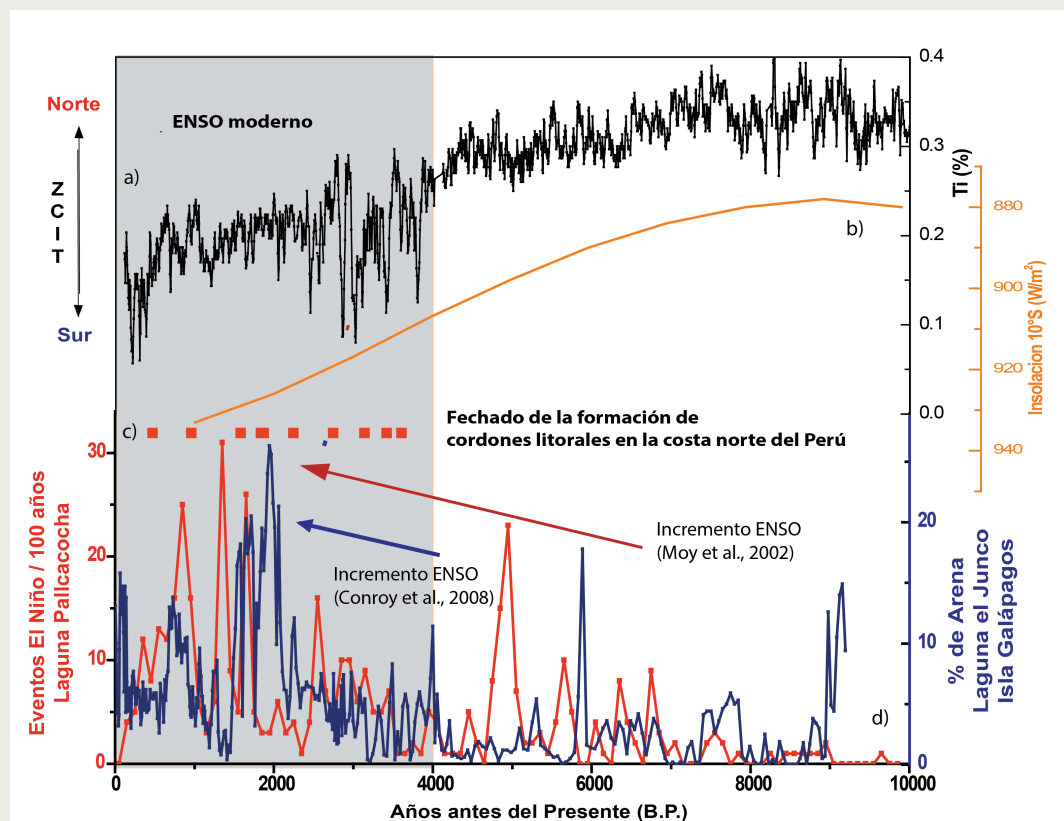


Figura 3. a) Registro de Titanio de Cariaco (%Ti) indicando la migración de la posición media de la Zona de Convergencia Intertropical durante el Holoceno (Haug et al., 2001); b) Registro de Insolación 10° S; c) Dataciones de la posible formación de los cordones litorales en la costa norte del Perú, asociada con eventos ENSO de magnitud extraordinaria durante el Holoceno Tardío (Ortlieb et al., 1995); d) Reconstrucciones de la ocurrencia de ENSO a partir de registros lacustres en la laguna de Pallcacocha (línea roja; Moy et al., 2002) y la laguna El Junco en las islas Galápagos (línea azul; Conroy et al., 2008).

Variabilidad del ENSO durante el Holoceno: evidencias paleoclimáticas

Apaéstegui J. y Takahashi K.

son formados durante eventos El Niño extraordinarios de magnitud mayor a la registrada en el de 1982-1983 (Ortlieb et al., 1995), y que estos se habrían formado después de los 5000 años B. P.. También, su estudio revela que su formación precurre periodos que pueden variar de 100 a 600 años (Figura 3b).

Más al sur, los proxies líticos en sedimentos marinos 80 km al oeste de Lima también nos muestran que en el Holoceno Medio hubo menor frecuencia de eventos intensos de inundaciones y crecidas fluviales en la costa (Rein et al., 2004, 2005; Figura 2c), los cuales se asocian a eventos El Niño costero extraordinario (Morera, 2014). Así mismo, la menor frecuencia de eventos El Niño costero fuerte o extraordinario en el Holoceno Medio también se sugiere por otros registros geológicos (Keefer et al., 1998) y arqueológicos (Núñez et al., 2002).

Discusión

Un paradigma central para la interpretación de las variaciones en ENSO es que la distribución de radiación solar cambia según las variaciones cíclicas en la geometría orbital de la Tierra, lo cual ejerce un fuerte control sobre el clima promedio y, por lo tanto, ENSO. En tal sentido, durante el Holoceno Medio la mayor insolación en el hemisferio norte habría inhibido el desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical, como es puesto en evidencia por el registro de Cariaco (Figura 3a). Esta configuración podría explicar la menor ocurrencia de El Niño costero durante el Holoceno Medio indicada por varios registros. Sin embargo, la ausencia de cambios en la varianza de ENSO en los corales en el Pacífico Central sugiere variaciones en el patrón espacial del fenómeno.

Emile-Geay et al. (2015) usaron recientemente una red de registros de corales y moluscos y la salida de nueve modelos climáticos para evaluar la relación entre la variabilidad estacional e interanual en el Pacífico Ecuatorial y las variaciones orbitales del Holoceno. Los resultados de este trabajo indican que el clima tropical del Pacífico es muy variable y no se puede simular adecuadamente a través de la actual generación de modelos, ya que estos no captan la variabilidad de ENSO ni el aumento en estacionalidad registrado por los proxies en el Holoceno Medio.

Por otro lado, en Karamperidou et al. (2015), los autores usaron el modelo climático global NCAR CCSM4 para mostrar cómo el forzante orbital podría cambiar el ciclo estacional promedio y reducir la frecuencia de eventos El Niño extraordinario en el Pacífico Oriental sin afectar la frecuencia de El Niño en el Pacífico Central, consistente con los proxies. En este estudio, los vientos en la primavera boreal en el Pacífico Occidental habrían sido más débiles en el Holoceno Medio, lo cual habría generado una mayor profundidad climatológica de la termoclina en el Pacífico Oriental en los meses en que normalmente se desarrolla El Niño. Esto habría reducido la posibilidad de que El Niño produjera anomalías cálidas.

Existe una gran diversidad de registros, no solo por el tipo de proxy, ubicación, periodo, resolución temporal, y procesos climáticos a los cuales responden. La interpretación de estos es complicada porque además las características e impactos de ENSO varían de evento en evento. Esto puede explicar en parte las aparentes discrepancias que puedan existir entre los registros. Para lograr esto es importante la colaboración entre los expertos en teoría y modelado de ENSO y los especialistas en registros paleoclimáticos, como ilustrado por el estudio de Karamperidou et al. (2015). Sin embargo, es crítico contar primero con una alta densidad de reconstrucciones paleoambientales relacionadas a diferentes aspectos de la ocurrencia y variabilidad de ENSO y sus impactos. Esta información se podrá usar para discriminar entre los modelos y las teorías, los cuales luego podrán ser utilizados para la interpretación y evaluación de los mecanismos. Ante la diversidad conocida, se debe tener mucho cuidado en generalizar la interpretación de los resultados tanto de teorías y modelos como de registros paleoclimáticos. Incluso, para el periodo reciente, donde se cuenta con gran cantidad de información, la comunidad científica internacional se da con sorpresas, como en los casos de los fallidos pronósticos en el año 2014 (Dewitte et al., 2016) o para El Niño 2015-2016. Este último ya se ha presentado como uno de los más intensos registrados en el Pacífico Central, similar a los eventos extraordinarios de 1982-1983 y 1997-1998, sin embargo en el Pacífico Oriental ha sido bastante más débil que esos años, tanto en el calentamiento del mar como en las lluvias y caudales en la costa peruana. No se puede descartar que en el pasado remoto los eventos ENSO hayan tenido un comportamiento distinto a lo que hemos visto en los siglos recientes.

Referencias

- Apaéstegui, J., K. Takahashi, L. Ortlieb, A. Sifeddine, y J. Macharé, 2015: El Fenómeno El Niño durante el último milenio, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 2, 2, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.
- Carré, M., J. P. Sachs, S. Purca, J. Andrew, P. Braconnot, and R. A. Falcón, 2014: Holocene history of ENSO variance and asymmetry in the eastern tropical Pacific, *Scienceexpress*, doi: 10.1126/science.1252220.
- Clement, A. C., R. Seager, and M. A. Cane, 2000: Suppression of El Niño during the mid-Holocene by changes in the Earth's orbit, *Paleoceanography*, 15, 731–737, doi:10.1029/1999PA000466.
- Cobb, K. M., N. Westphal, H. R. Sayani, J. T. Watson, E. Di Lorenzo, H. Cheng, L. R. Edwards, C. D. Charles, 2013: Highly Variable El Niño–Southern Oscillation Throughout the Holocene, *Science*, 339, 67, doi: 10.1126/science.1228246.
- Conroy, J. L., J. T. Overpeck, J. E. Cole, T. M. Shanahan, and M. Steinitz-Kannan, 2008: Holocene changes in eastern tropical Pacific climate inferred from a Galápagos lake sediment record, *Quaternary Science Reviews*, 27, 1166–1180, doi:10.1016/j.quascirev.2008.02.015.
- Dewitte, B., K. Mosquera, K. Takahashi, 2016: ¿Por qué El Niño no creció en el Pacífico central? *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 1, 3, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.
- Emile-Geay, J., K. M. Cobb, M. Carré, P. Braconnot, J. Leloup, Y. Zhou, T. Corrège, H. V. McGregor, M. Collins, R. Driscoll, M. Elliot, S. P. Harrison, B. Schneider, and A. Tudhope., 2015: Links between tropical Pacific seasonal, interannual and orbital variability during the Holocene, *Nature Geoscience*, 9, 168–173.
- Haug, G. H., K. A. Hughen, D. M. Sigman, L. C. Peterson, and U. Röhl, 2001: Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene, *Science*, 293, 1304–1308, doi:10.1126/science.1059725.
- Kanner, L. C., S. J. Burns, H. Cheng, R. L. Edwards, and M. Vuille, 2012: High-resolution variability of the South American summer monsoon over the last seven millennia: insights from a speleothem record from the central Peruvian Andes, *Quaternary Science Reviews*, 75, 1–10, doi: 10.1016/j.quascirev.2013.05.008, 2013.
- Karamperidou, C., P. N. Di Nezio, A. Timmermann, K. M. Cobb, 2015: The response of ENSO flavors to mid-Holocene climate: Implications for proxy interpretation, *Paleoceanography*, doi:10.1002/2014PA002742.
- Keefer, D. K., S. D. de France, M. E. Moseley, J. B. Richardson III, D. R. Satterlee, and A. Day-Lewis, 1998: Early maritime economy and El Niño events at Quebrada Tacahuay, Peru, *Science*, 281, 1833–1835.
- Koutavas, A., P. B. deMenocal, G. C. Olive, and J. Lynch-Stieglitz, 2006: Mid-Holocene El Niño–Southern Oscillation (ENSO) attenuation revealed by individual foraminifera in eastern tropical Pacific sediments, *Geology*, 34, 993–996.
- Koutavas, A., P. B. De Menocal, J. Lynch-Stieglitz, 2006: Holocene trends in tropical Pacific sea surface temperatures and the El Niño–Southern Oscillation, *Pages News*, 14(3), 22–23, 2006.
- Koutavas, A., and S. Joanides, 2012: El Niño–Southern Oscillation extrema in the Holocene and Last Glacial Maximum, *Paleoceanography*, 27,(4),doi:10.1029/2012PA002378.
- Lavado, W., J. C. Espinoza, 2014: Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 1, 3, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.
- Morera, S., 2014: Erosión y transporte de sedimentos durante eventos El Niño a lo largo de los Andes occidentales, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 1, 7, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.
- 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*, doi:10.1029/2012JC008551.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1002/2014JC010044.
- Moy, C. M., G. O. Seltzer, D. T. Rodbell, and D. M. Anderson, 2002: Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial time-scales during the Holocene epoch, *Nature*, 420, 162–165, doi:10.1038/nature01194.
- Núñez, L., M. Grosjean, and I. Cartajena, 2002: Human occupations and climate change in the Puna de Atacama, Chile, *Science*, 298, 821–824.
- Ortlieb, L., M. Fournier, J. Macharé, 1995: Beach Ridges and Major Late Holocene El Niño events in Northern Peru, *Journal of Coastal Research, Special Issue N°17: Holocene Cycles: Climate, Sea Levels, and Sedimentation*, 109–117.
- Quinn, W. H., V. T. Neal, S. E. Antunez de Mayolo, 1987: El Niño Occurrences over the past four and half centuries, *Journal of Geophysical Research*, 92(C13):14449–61.
- Rein, B., A. Luckge, and F. Sirocko, 2004: A major Holocene ENSO anomaly during the Medieval period, *Geophysical Research Letters*, 31, L17211, doi:10.1029/2004GL020161.
- Rein, B., A. Luckge, L. Reinhardt, F. Sirocko, A. Wolf, W. C. Dullo, W.C., 2005: El Niño variability off Peru during the last 20,000 years, *Paleoceanography*, 20 (4), 2004PA001099.
- Sandweiss, D. H., J. B. Richardson, E. J. Reitz, H. B. Rollins, and K. A. Maasch, 1996: Geoarchaeological evidence from Peru for a 5000 years B. P. onset of El Niño, *Science*, 273, 1531– 1533.
- Stott, L., K. Cannariato, R. Thunell, G. H. Haug, A. Koutavas, S. Lund, 2004: Decline of surface temperature and salinity in the western tropical Pacific Ocean in the Holocene epoch, *Nature*, 431, 56–59, <http://dx.doi.org/10.1038/Nature02903>.
- Takahashi, K., 2014: Variedades de El Niño, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 1, 2, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.
- Takahashi, K., B. Dewitte, 2015: Influencia de la variabilidad decadal en El Niño–Oscilación Sur, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 2, 5, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.
- Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2011GL047364.
- Woodman, R., y K. Takahashi, 2014: ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, 1, 6, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.
- Yeh, S.-W., J.-S. Kug, B. Dewitte, M.-H. Kwon, B. P. Kirtman, F.-F. Jin, 2009: El Niño in a changing climate, *Nature*, 461, 511–515.

Variabilidad hidroclimática decadal-interdecadal en los Andes sur del Perú

Hans M. Segura, Ing.¹; Jhan Carlo Espinoza, Dr.¹; Clementine Junquas, Dra.²; Ken Takahashi, Ph.D.¹

¹Instituto Geofísico del Perú

²IRD/UGA/CNRS/G-INP, LTRE UMR 5564, Grenoble, Francia.

La región sur del Perú (que incluye Puno, Arequipa, Tacna y Moquegua) es una de las zonas agrícolas y ganaderas más importantes de nuestro país y depende de las aguas de los ríos alimentados por las precipitaciones que ocurren en ella. La mayor parte de la precipitación anual en esta región se registra durante los meses de verano (Vuille et al., 2000; Garreaud et al., 2003), gracias a la presencia de la Alta de Bolivia (AB), la cual es un sistema atmosférico que permite el ingreso de vientos y humedad de la región amazónica hacia el Altiplano (Lenters and Cook, 1997; Garreaud et al., 2003). Esta relación entre los vientos a 200 hPa y la precipitación en nuestra sierra sur ha sido documentada por diferentes autores, considerando diferentes escalas temporales, desde la sinóptica (días) e intra-estacional (semanas a meses) hasta la interanual (Garreaud et al., 2003).

A escala interanual, cuando se presenta El Niño en el Pacífico Central (región Niño 3.4), el viento del este sobre la sierra sur, a una altitud de aproximadamente 12 km (200 hPa), se debilita, lo que reduce considerablemente las lluvias en esta región (Garreaud, 1999; Vuille et al., 2000; Garreaud and Aceituno, 2001; Vuille et al., 2003; Garreaud et al., 2003; Lagos et al., 2007; Lavado and Espinoza, 2014).

No obstante, los trabajos previos también muestran que El Niño no explica toda la variabilidad de la precipitación en la sierra sur y que posiblemente haya otros procesos que puedan contribuir a aclarar esta variabilidad. Por

ejemplo, el año 1973 (1989), a pesar de ser considerado un año El Niño (La Niña), fue un periodo de lluvias por encima (debajo) de lo normal (Garreaud, 1999). Más aún, los impactos hidrológicos de los eventos El Niño extraordinarios de 1983 y 1998 fueron muy diferentes en la región sur de nuestro país (CAF, 2000), ya que el primero causó una gran sequía con grandes pérdidas en la agricultura y ganadería, mientras que el segundo no afectó severamente la hidrología y la actividades productivas. Identificar los otros procesos que modulan la variabilidad de las lluvias en la sierra sur es de gran importancia para mejorar el pronóstico estacional en esta región.

En este estudio, en revisión para publicación en *Environmental Research Letters*, se analizaron ocho estaciones hidrométricas que sintetizan las lluvias de la región sur de nuestro país entre los meses de enero a marzo (Figura 1a; Tabla 1). Las estaciones Pascana y Puente Santa Rosa, que se ubican en el río Tambo, se analizaron conjuntamente formando una sola serie hidrológica de 1956-2014 llamada Tambo. Analizando las series temporales anuales (Figura 1b), se puede observar que existen periodos de años secos y húmedos que son comunes en todas las estaciones, lo cual sugiere un proceso de variabilidad cuasi-decadal (periodo > 8 años) independiente de El Niño. Para estudiar la variabilidad decadal e interdecadal, se usó el promedio de la serie anual del nivel de agua del lago Titicaca y la serie Tambo, ya que estas son las dos series hidrológicas de mayor duración (1956-2014). Esta serie, llamada desde ahora Tam-Titi, tiene un coeficiente de correlación de 0.83 ($p < 0.01$) con el promedio de las series hidrométricas restantes en el periodo común. Aplicando un filtro pasa-bajo a Tam-Titi para extraer la variabilidad con periodos mayores a ocho años (Figura 1c), se puede observar que esta nueva serie (LTam-Titi) explica adecuadamente los periodos secos y húmedos que han sucedido en la región sur de nuestro país.

Para poder explicar mejor las causas de esta variabilidad decadal e interdecadal en la precipitación, se hicieron regresiones y correlaciones lineales entre LTam-Titi y la temperatura superficial del mar (TSM) de la NOAA (Reynolds and Smith, 1994) y los vientos zonales a 200 hPa (U200) de NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996). Tanto a la serie temporal de la TSM como a la de U200 se aplicó el filtro pasa-bajo para poder extraer variabilidades con periodos mayores a ocho años y así poder comparar con la variabilidad de LTam-Titi. En el caso de la TSM, el periodo de estudio fue de 1956 a 2014, mientras que para U200 el periodo de estudio fue de 1965 a 2014.

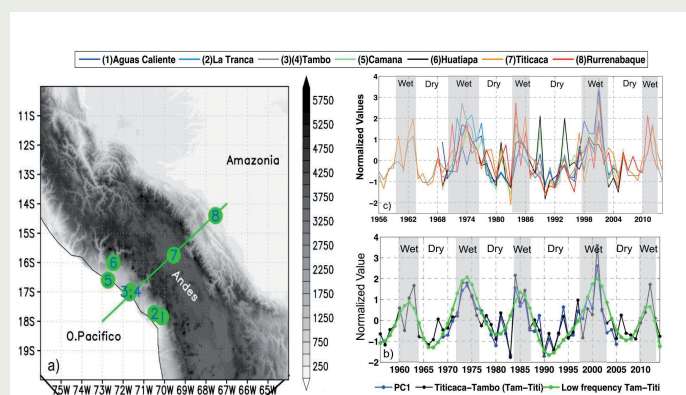


Figura 1. a) Ubicación de las estaciones hidrológicas utilizadas en este estudio. b) Series hidrológicas anuales (promedio enero a marzo) normalizadas de las siete series de datos analizadas. c) Serie normalizada del promedio de Tambo y Titicaca (Tam-Titi; línea negra) y la serie filtrada con periodos mayores a ocho años (LTam-Titi, línea roja). En b) y c) se puede apreciar los periodos secos (sin sombrear) y húmedos (hum; sombreado gris).

La regresión lineal entre LTam-Titi y la TSM filtrada muestra que la región ubicada en 180°W-150°W y 2.5°S-15°N (aproximadamente región Niño 4) es la que explica entre un 40% y 50% de la variabilidad de LTam-Titi (Figura 2a). Además, la correlación entre LTam-Titi y la región central-oeste del Pacífico es negativa, esto quiere decir que cuando esta región oceánica presenta mayor TSM, es probable que exista menor precipitación en el Altiplano y, por lo tanto, menos agua en los ríos y lagos de esta región.

Similarmente, el análisis de regresión entre LTam-Titi y U200 filtrada da como resultado que la variabilidad decadal-interdecadal del viento zonal sobre los Andes sur del Perú (75°W-66°W; 20°S-15°S) explica entre 45% y 70% de la variabilidad de LTam-Titi (Figura 2b). Al igual que la TSM filtrada, la variabilidad decadal-interdecadal de U200 sobre el Altiplano tiene una correlación negativa con LTam-Titi. Es así que en periodos de años donde U200 sobre el Altiplano presente anomalías positivas, el análisis indicaría un ingreso menor de los vientos húmedos del este provenientes de la Amazonia, lo cual provocaría reducción en la precipitación promedio en el Altiplano.

El análisis de la relación entre la TSM y la U200 sobre el Altiplano a nivel decadal-interdecadal indica una correlación positiva con la TSM en (180°W-150°W y 2.5°S-15°N) que explica el 67% de la varianza de U200 (Figura 2c). Es decir

que durante los periodos de mayor TSM en el Pacífico Central-Oeste es más probable que los vientos del este sobre el Altiplano sean débiles, lo cual puede reducir la precipitación en esta región.

Finalmente, la variabilidad hidroclimática decadal-interdecadal en la región sur del Perú podría explicar sequías que no ocurrieron durante eventos El Niño en el Pacífico Central, como 1966-67, 1981-82, 1989-90 y 2008-09 e, incluso, que ocurrieron durante La Niña en el Pacífico Central, como 1964-65, 1988-89 y 2007-08. También existieron precipitaciones extraordinarias durante años donde no hubieron eventos La Niña fuerte, como 2000-01, 1983-84, 1984-85 y 1985-86, 1974-75, y años donde hubieron eventos El Niño, como 1972-73.

Referencias

CAF, 2000: Las lecciones de El Niño. Perú, CAF, Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/676>.

Garreaud, R. D., 1999: Multiscale analysis of the summertime precipitation over the central Andes, *Monthly Weather Review*, 127(5), 901–921, doi:10.1175/1520-0493(1999)127<0901:MAOTSP>2.0.CO;2.

Garreaud, R., 2000: Intraseasonal variability of moisture and rainfall over the South American Altiplano, *Monthly Weather Review*, 128(9), 3337–3346.

Garreaud, R. D., 2009: The Andes climate and weather, *Advances in Geosciences*, 22(22), 3–11.

Garreaud, R. D., M. Vuille, and A. C. Clement, 2003: The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes, *Palaeoclimatology*, 194, 5–22.

Garreaud, R., and P. Aceituno, 2001: Interannual rainfall variability over the South American Altiplano, *Journal of Climate*, 14, 2779–2789.

Kalnay, E., et al., 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of The American Meteorological Society*, 77, 437–471.

Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, and K. Mosquera, 2008: El Niño-related precipitation variability in Peru, *Advances in Geosciences*, 14, 231–237.

Lavado-Casimiro, W., and J. C. Espinoza, 2014: Impacts of El Niño and La Niña in the precipitation over Peru (1965–2007), *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(2), 171–182.

Lenters, J. D., and K. H. Cook, 1997: On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American climate, *Journal of The Atmospheric Sciences*, 54(5), 656–677.

McPhaden, M. J., 1999: Genesis and evolution of the 1997–98 El Niño, *Science*, 283, 950–954.

Minvielle, M., and R. D. Garreaud, 2011: Projecting rainfall changes over the South American Altiplano, *Journal of Climate*, 24(17), 4577–4583.

Reynolds, R. W., and T. M. Smith, 1994: Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation, *Journal of climate*, 7(6), 929–948.

Vuille, M., R. S. Bradley, and F. T. Keimig, 2000: Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D10), 12447–12460.

Vuille, M., R. S. Bradley, R. Healy, M. Werner, D. R. Hardy, L. G. Thompson, and F. Keimig, 2003: Modeling $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation over the tropical Americas: 2. Simulation of the stable isotope signal in Andean ice cores, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 108(D6).

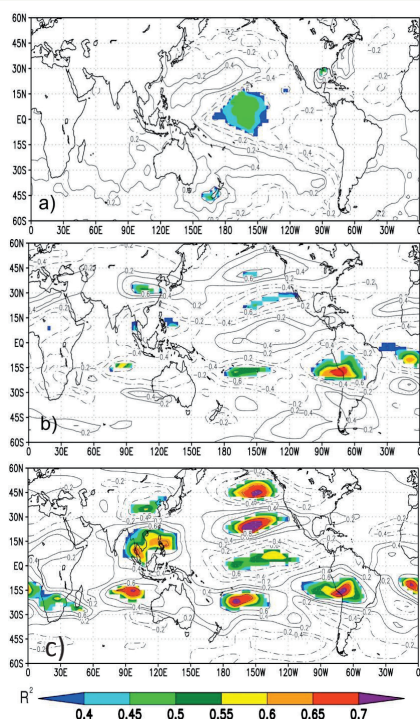


Figura 2. Mapa de correlaciones (contorno) entre LTam-Titi y a) la temperatura superficial del mar (TSM) de baja frecuencia y b) el viento zonal a 200hPa (U200) de baja frecuencia. Los valores positivos (negativos) están representados con líneas sólidas (discontinuas). En a) y b) los coeficientes de determinación (R^2) son dibujados solo en las zonas donde la correlación tiene una significancia mayor al 95%. Para c) lo mismo que a) y b) solo que la correlación y la regresión se hace entre la TSM de baja frecuencia (180°W- 150°W; 2.5°S-15°N; 1966-2014) y U200 de baja frecuencia.

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2016-2

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para el Comité 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), las condiciones climáticas de la costa peruana para el mes de enero fueron cálidas fuertes (1.77°C), manteniéndose la presencia de El Niño costero de magnitud fuerte. Los valores temporales del ICEN (ICENTmp), 1 y 2, indican que para los meses de febrero y marzo las condiciones serán cálidas moderadas. Los pronósticos de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de los modelos numéricos internacionales para la región del Pacífico Oriental, con condiciones iniciales del mes de febrero, indican, en su mayoría, condiciones cálidas moderadas para el mes de marzo, mientras que para abril mostrarían condiciones entre moderadas y débiles. Estos mismos resultados numéricos predicen que para el Pacífico Central las condiciones serían cálidas fuertes y cálidas moderadas para esos meses.

La onda Kelvin cálida, la cual se formó en la quincena de diciembre, se observa en los datos de TAO, ARGO (termoclina) y JASON (altura de nivel del mar), durante el mes de febrero. Según los datos JASON, esta onda ya debe haber alcanzado el continente americano. En 95°W (ARGO) se registra el paso (que aún no termina) de la onda Kelvin cálida, cuya señal estaría concentrada entre 0.5°S y 0.5°N. Continúa observándose la presencia de una onda Kelvin fría en el extremo occidental y central en la profundidad de la termoclina, aunque los datos de ARGO sugieren una atenuación en aproximadamente 120°W.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de TSM, promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de febrero de 2016 del producto ERSST v3b generados por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EE.UU.), se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN, 2012) hasta el mes de enero de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2015	Octubre	2.23	Cálida Fuerte
2015	Noviembre	2.18	Cálida Fuerte
2015	Diciembre	2.07	Cálida Fuerte
2016	Enero	1.77	Cálida Fuerte

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

Según el valor del ICEN para el mes de enero, se establece que continúa la presencia de El Niño costero de magnitud fuerte, el cual se inició en abril de 2015.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

El Pacífico Ecuatorial continúa reflejando el desarrollo del Fenómeno El Niño 2015-16. Aún persiste el acoplamiento océano-atmósfera en el Pacífico Central, levemente superior que el mes anterior. Las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM) en la región Niño 3.4 son muy cercanas, en promedio, a las de 1998 y 1983. En la región Niño 1+2 la ATSM está por debajo de lo observado en 1998 y 1983, pero es superior a las condiciones de 1973 y 1992. Las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central (160°E-160°W; 5°S-5°N) decayeron significativamente y son similares a las de los años 83 y 98. La convección en el Pacífico Central-Oriental sigue activa pero, a pesar que se incrementó durante el mes de febrero, no alcanza los valores de 1993 y 1998. La termoclina en el Pacífico Oriental, en el punto 110°W, es más profunda que en el año 1998 y próxima a 1983; en el punto 95°W se observa el paso (que aún no termina) de la onda Kelvin cálida, la cual se encuentra concentrada entre 0.5°S y 0.5°N. Esto sugiere que la onda Kelvin habría cambiado de características (radio de deformación de Rossby) como consecuencia de la inclinación zonal de la termoclina en el extremo este. Por lo tanto, se tendría una onda Kelvin más lenta (entre 1.0 y 1.7 m/s) que debe impactar la costa peruana en estos días y extenderse hasta la primera quincena de marzo. Por otro lado, según la información del nivel del mar de JASON (Figura 1d) la onda ya habría llegado a la costa y con una atenuación. Hay que indicar que durante el mes de febrero la profundidad promedio de la termoclina ecuatorial continuó disminuyendo hasta alcanzar valores por debajo de su climatología. Esto podría interpretarse como la fase de descarga que marcaría, aparentemente, el proceso de finalización de El Niño.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

El arribo del núcleo de la onda Kelvin cálida, asociado con la profundización de la termoclina, es posible que ocasione un incremento promedio de +1°C de las anomalías de TSM en la costa peruana durante marzo. Asimismo, se observa la intensificación de los vientos provenientes del Golfo de Panamá, así como el desarrollo de la banda secundaria de la zona de convergencia intertropical. Es más probable la ocurrencia de eventos de debilitamientos de vientos alisios del sureste acompañados por TSM cálida en la

Resumen del Informe Técnico

PPR/EI Niño - IGP/ 2016-2

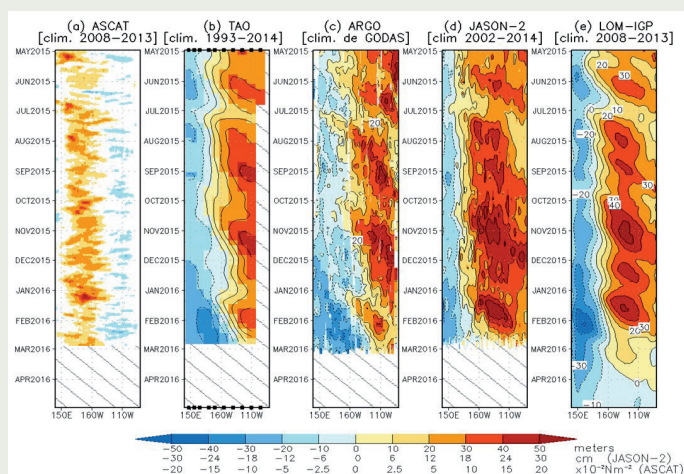


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escatómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra la anomalía de la profundidad de la termoclina calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau_{\text{aux}}=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP).

costa, lo que favorecería los procesos convectivos en la costa norte.

Por las condiciones descritas, es probable que continúen los episodios de lluvia en la zona nor-occidental del país, lo cual corresponde a precipitaciones en las partes medias y bajas del orden de 35-60 mm/día en Tumbes y Piura, y de 20 mm/ día en Lambayeque.

Los productos de TAO (Figura 1b) y ARGO (Figura 1c) muestran la presencia una onda Kelvin fría en el extremo occidental y central en la profundidad de la termoclina, aunque estas mismas fuentes sugieren que en la región oriental (aproximadamente en 120°W) habría una aparente atenuación. En los datos de JASON (Figura 1d) y el modelo lineal (Figura 1e) no se aprecia claramente un desarrollo de la onda Kelvin fría. Por otro lado, el modelo lineal sugiere la presencia de una onda Kelvin cálida de baja intensidad que se habría formado como consecuencia de anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central. Esta onda debe llegar al extremo oriental a partir de la primera quincena de marzo aproximadamente. Esto podría prolongar la transición a una fase fría en la costa peruana.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el mes de marzo, los pronósticos de la anomalía de TSM en el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) indican condiciones moderadas (5 de 7 modelos) y magnitud débil (2 de 7 modelos); para el mes de abril, 5 de 8 modelos indican condiciones moderadas y 3 de 8 modelos condiciones débiles; en el mes de mayo, 4 de 8 modelos dicen condiciones moderadas y 4 de 8 débiles (Figura 2).

Por otro lado, en el Pacífico Central (Niño 3.4) los modelos indican que las condiciones en promedio para los meses de marzo y abril serían cálidas fuertes y moderadas, respectivamente; las condiciones para los trimestres Marzo – Mayo serían cálidas moderadas y para Junio - Agosto 2016 serían condiciones frías.

Conclusiones

1. El ICEN para enero de 2015 fue de 1.77 (cálida fuerte).
2. La señal de la onda Kelvin cálida formada en la segunda quincena de diciembre se observa en los datos de TAO, ARGO (termoclina) y JASON (altura del nivel del mar) durante el mes de febrero. Según el nivel del mar (JASON), esta onda ya debe haber alcanzado el continente americano y estaría atenuada. Según la profundidad de la termoclina (boyas TAO), el núcleo de la onda ya habría pasado por 125°W y también por 110°W.
3. Continúa observándose la presencia de una onda Kelvin fría en el extremo occidental y central en la profundidad de la termoclina, aunque los datos de ARGO sugieren una atenuación en aproximadamente 120°W. En los datos de nivel del mar no se aprecia claramente un desarrollo de la onda Kelvin fría. Por otro lado, el modelo lineal sugiere la presencia de una onda Kelvin cálida de poca intensidad que se habría formado como consecuencia de anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central. Esta onda debe llegar al extremo oriental a partir de la primera quincena de marzo aproximadamente. Esto podría prolongar la transición a una fase fría en la costa peruana.
4. Para el Pacífico Oriental (Niño 1+2), 5 de 7 modelos inicializados en febrero indican que el mes de marzo presentaría condiciones cálidas moderadas (2 de 7 indican condiciones cálidas débiles). Para el verano 2015-2016 (Diciembre 2015-Marzo 2016), los 7 modelos indican que El Niño costero tendría magnitud moderada en este periodo. Según los modelos, El Niño costero se podría extender hasta entre mayo (2 de 7 modelos) y al menos julio (5 de 7 modelos).
5. Para el **Pacífico Central** (Niño 3.4), todos los modelos que han sido considerados, y que fueron inicializados en febrero, indican que El Niño habría alcanzado unas anomalías de magnitud muy fuerte a fines de 2015 y decaería a lo largo de los primeros meses de 2016.
6. En la segunda quincena de febrero la magnitud de la ATSM en Niño 3.4 continúa superior a la de los años 1997 y 1982, pero con una similar tendencia negativa. Por otro lado, la ATSM en la zona Niño 1+2 recientemente mostró un ligero aumento.
7. Por otro lado, en general, la descarga de calor ecuatorial continúa y la anomalía de la inclinación de la termoclina ha mostrado una ligera reducción, consistente con el

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2016-2

desplazamiento al sur de las anomalías de viento del oeste. En el Pacífico Oriental, los vientos alisios continúan más fuertes que lo normal, en contraste al año 1998 en el que se desaparecieron, asociado a la activación de la convección en esta región.

8. En conclusión, es posible que las anomalías positivas de la TSM a lo largo de la costa peruana se extiendan hasta fines de marzo como consecuencia de las ondas Kelvin cálidas, pero con tendencia a declinar hacia condiciones entre neutras y cálidas débiles en el invierno. No hay indicaciones de que El Niño costero se pueda reactivar en los próximos meses, como en 1983 o 1998.

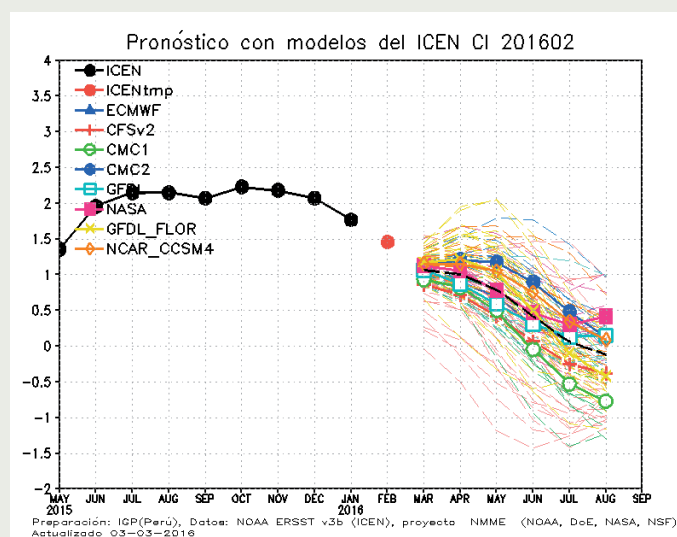


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de febrero de 2016. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de febrero 2016. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

Referencias

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", 1, 5, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Barnston, A., M. Tippett, M. L'Heureux, S. Li, D. DeWitt, 2012: Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model Predictions during 2002-11: Is Our Capability Increasing?, Bulletin American Meteorological Society, 93, 5, 631-351.

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

Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, K. Mosquera, 2008: El Niño – related precipitation variability in Perú, Advances in Geosciences, 14, 231-237.

Lavado, W., y J. C. Espinoza, 2014: Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 3, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Machuca, R., 2014: Cálculo de daños económicos potenciales en viviendas por inundaciones durante la ocurrencia del fenómeno El Niño: caso norte peruano, Tesis para optar el título profesional de Economía, Universidad Nacional del Callao, Lima.

Machuca, R., K. Takahashi, y A. G. Martínez, 2014: Impactos económicos de El Niño costero en el sector vivienda a causa de inundaciones en la costa norte del Perú, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 12, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

McPhaden, M. J., 2012: A 21st Century Shift in the Relationship between ENSO SST and Warm Water Volume Anomalies, Geophysical Research Letters, 39, L09706, doi:10.1029/2012GL051826.

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

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", 1, 1, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Mosquera, K., B. Dewitte, y P. Lagos, 2011: 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, 5, 9, p. 55.

Mosquera, K., D. Pareja, y K. Takahashi, 2014: Altimetría Satelital para el monitoreo de la onda Kelvin ecuatorial en el Océano Pacífico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 4, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Reupo, J., 2011: Evaluación y desarrollo de metodologías para el pronóstico estacional de anomalías de la temperatura en el mar peruano asociadas al Fenómeno El Niño y otros, Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes, Vol. 12, Instituto Geofísico del Perú.

Reupo, J., y K. Takahashi, 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", 1, 1, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., 2014: Variedades de El Niño, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 2, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., K. Mosquera, D. Pareja, J. Reupo, y J. Aparco, 2014: Monitoreo del Pacífico ecuatorial, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 3, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., y B. Dewitte, 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, Climate Dynamics, doi:10.1007/s00382-015-2665-3.

Comunicado Oficial ENFEN

COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO (ENFEN)



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 04 - 2016

Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero¹**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido al evento El Niño costero que se viene presentando con condiciones cálidas en la costa peruana desde otoño del 2015. Se han observado las primeras manifestaciones del arribo a la costa peruana de la onda Kelvin cálida esperada, cuya influencia persistirá en las próximas semanas. Este arribo se suma al calentamiento estacional, por lo que es probable que facilite la ocurrencia de algunos episodios de lluvias muy fuertes en la zona nor-occidental del Perú (del orden de 35-60 mm/día para las partes medias y bajas de Tumbes y Piura, y 20 mm/día en Lambayeque, sin descartar que aisladamente puedan ser mayores) en lo que resta de febrero y marzo. En la región andina se espera continúen las lluvias deficitarias asociadas a El Niño en el Pacífico Central, sin descartar algunos episodios de lluvias muy fuertes.

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente a la primera quincena del mes de febrero de 2016 y sus perspectivas.

Continúa la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur. En la región del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4)², la Temperatura Superficial del Mar (TSM) continúa presentando anomalías cálidas muy fuertes, incluso superiores a las observadas en 1998 y 1983. Mientras que en el Pacífico ecuatorial oriental (Niño 1+2) la anomalía de la TSM ha seguido decreciendo, presentando valores alrededor de +1,0°C. En lo que respecta a las precipitaciones en el Pacífico Ecuatorial central-oriental³ --un indicador clave del acoplamiento océano-atmósfera--, estas continúan más activas que lo normal pero sin alcanzar los valores observados en 1998 y 1983.

Durante la primera quincena de febrero, las anomalías de viento del oeste en niveles altos sobre el territorio peruano, un efecto típico de El Niño en el Pacífico Central, se debilitaron, favoreciendo la ocurrencia de precipitaciones dispersas pero en algunos casos intensas en la región andina central y sur. Mientras que en la región nor-occidental (Tumbes y Piura), se han presentado episodios de lluvias muy fuertes como consecuencia de la presencia de aguas cálidas y la contribución de vientos del este en los niveles medios y altos. Sin embargo, en los últimos días las condiciones atmosféricas no han sido favorables para que continúen las precipitaciones. Por otro lado, como se esperaba en esta quincena se han intensificado los vientos del norte del Golfo de Panamá y se han presentado los primeros indicios de la banda secundaria de la Zona de Convergencia Intertropical en el hemisferio sur, aunque más débil y al norte que lo normal.

Los datos de la profundidad de la termoclina y nivel del mar muestran la aproximación hasta 110°W del núcleo de la onda Kelvin cálida producida por el pulso de viento del oeste observado en la primera quincena de enero. Por otro lado, en la primera quincena de febrero se observaron débiles anomalías de viento del oeste en el Pacífico ecuatorial central y la intensificación de las anomalías del este en el Pacífico ecuatorial oriental, lo cual podría haber debilitado a la onda Kelvin cálida. Adicionalmente, la onda Kelvin fría, actualmente en el Pacífico central alrededor de los 160°W, ha continuado su desplazamiento hacia el este.

Durante la segunda semana de febrero, las anomalías del nivel medio del mar (NMM) se incrementaron hasta alcanzar valores actuales de +15 y +20 cm en la costa centro y norte, respectivamente, consistente con el inicio del arribo de la onda Kelvin cálida esperada. En la costa norte, las anomalías de la TSM se incrementaron en alrededor de 1°C como consecuencia de esta onda. Por otro lado, frente a Chimbote las anomalías de TSM se incrementaron en 1°C, posiblemente por efecto de la aproximación de aguas subtropicales superficiales.

Consistente con lo anterior, las anomalías de la temperatura sub-superficial frente a la costa norte mostraron un aumento alrededor de 1°C respecto al mes anterior, hasta una profundidad de 100 m, mientras que los datos de la Estación Fija Paíta, localizada a siete millas náuticas de la costa, presentaron un aumento en las temperaturas de 1°C hasta los 80 m en la última semana.

Las temperaturas extremas del aire durante la primera quincena de febrero se presentaron por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y central con valores de +1,0°C para la temperatura máxima, mientras que para la temperatura

mínima fue +1,4°C. Los vientos costeros del sur y sureste se mantuvieron en promedio más fuertes que lo normal.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para diciembre es de +2,07°C (condición Cálida Fuerte) y los valores estimados (ICENTmp) actualizados para enero y febrero serían de +1,68°C y +1,36°C, respectivamente (condiciones Cálida Moderada). En la primera quincena de febrero, los caudales de los ríos en la costa del país se presentaron por debajo de sus valores promedio, sin embargo estos vienen recuperando sus caudales a partir de comienzos del mes. Los reservorios en la costa norte y sur muestran en promedio 34% y 38% de su capacidad máxima, respectivamente.

La anchoveta, con información de la flota de menor escala, se encontró principalmente dentro de las 10 mn frente a Chimbote (9°S). De otro lado, se observó la presencia de la especie «bonito», indicadora de aguas oceánicas, dentro de las 20 mn entre Bahía Independencia (14°S) y San Juan de Marcona (15°S).

PERSPECTIVAS

Los modelos globales para el Pacífico oriental (región Niño 1+2) indican en su mayoría condiciones cálidas moderadas (anomalías trimestrales entre +1,0° y +1,7°C) para el mes de febrero, mientras que marzo mostraría condiciones entre débil (anomalías trimestrales entre +0,4° y +1,0°C) y moderado. Para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4), los modelos globales pronostican la declinación del evento El Niño en los próximos meses, aunque continuará con magnitud fuerte al menos hasta marzo.

El Comité ENFEN considera que el evento El Niño Costero continuará durante el presente verano y que, en lo que resta del mes de febrero, las anomalías de TSM en la costa norte se incrementarán en alrededor de +1°C como consecuencia de la onda Kelvin cálida que está arribando desde hace una semana. Asimismo, debido a que en estos meses se intensifican los vientos del norte en el Golfo de Panamá y se desarrolla la banda secundaria de la Zona de Convergencia Intertropical en el hemisferio sur, es más probable la ocurrencia de eventos de debilitamiento de los alisios del sureste y el aumento súbito adicional de la TSM en la costa, como el que se observó en marzo del 2015.

Debido al calentamiento estacional del mar y a la llegada de la onda Kelvin cálida a la costa peruana, en lo que resta de febrero y durante marzo es probable la ocurrencia de algunos episodios de lluvias muy fuertes⁴ en forma localizada en la zona nor-occidental del país, lo cual corresponde a precipitaciones en las partes medias y bajas del orden de 35-60 mm/día en Tumbes y Piura, y de 20 mm/día en Lambayeque, sin descartar que aisladamente puedan ser mayores.

El Niño en el Pacífico central seguirá modulando el régimen de las lluvias en la región andina, por lo que se estima que la deficiencia de lluvias continuará, lo que no contradice la ocurrencia de eventos esporádicos de precipitaciones de fuerte intensidad, como los observados recientemente.

El Comité Multisectorial ENFEN continuará informando quincenalmente sobre la evolución de las condiciones observadas y sus perspectivas.

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 18 de febrero de 2016

¹Definición de "Alerta de El Niño costero": Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENTmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Región Niño 3.4: 5°S - 5°N, 170°W - 120°W

³Región: 5°S - 5°N, 170°W - 100°W

⁴"Lluvias muy fuertes" se define como el percentil 95% de la precipitación diaria



COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO (ENFEN)



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 05-2016

Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero¹**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido al evento El Niño costero que se viene presentando con condiciones cálidas en la costa peruana desde otoño del 2015. Se espera que el núcleo de la onda Kelvin cálida arribe a la costa peruana en el mes de marzo. Junto con el calentamiento estacional, es probable que esto facilite la continuación de episodios de lluvias muy fuertes en marzo en la zona nor-occidental (del orden de 35-60 mm/día⁴ para las partes medias y bajas de Tumbes y Piura, y 20 mm/día en Lambayeque), sin descartar la ocurrencia de lluvias extremas que superen los rangos indicados. En la región andina se espera un incremento gradual del régimen de lluvias pudiendo presentarse episodios de lluvias muy fuertes, principalmente en la vertiente occidental.

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente al mes de febrero de 2016 y sus perspectivas.

Continúa la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur. En la región del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4)², la Temperatura Superficial del Mar (TSM) continúa presentando anomalías cálidas muy fuertes (+2.4°C en promedio), incluso superiores a las observadas en 1998 y 1983, aunque con una tendencia negativa. En lo que respecta a las precipitaciones en el Pacífico Ecuatorial Central-oriental³ --un indicador clave del acoplamiento océano-atmósfera, estas continúan más activas que lo normal pero sin alcanzar los valores observados en 1998 y 1983. En el Pacífico Ecuatorial Oriental (Niño 1+2), la TSM mensual aumentó de 26°C a 27°C, mientras que su anomalía decreció de +1.4°C a +0.8°C. El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para enero es +1.77°C (condición Cálida Fuerte) y el valor estimado actualizado del ICEN (ICENtmp) para febrero es +1.45°C (condición Cálida Moderada).

Respecto a la onda Kelvin cálida producida por el pulso de viento del oeste en enero, a mediados de febrero las anomalías del nivel medio del mar (ANMM) alcanzaron valores máximos de +15 y +20 cm en la costa centro y norte, respectivamente, con tendencia a declinar a niveles normales. En cambio, la señal de la onda Kelvin cálida asociada a la profundidad de la termoclina ha continuado su propagación hacia Sudamérica y actualmente su núcleo se detecta a 95°W. Posiblemente, el retraso de esta señal obedeció a una menor velocidad de propagación, asociada a la posición superficial de la termoclina en la región del Pacífico Ecuatorial Oriental. Adicionalmente, la onda Kelvin fría, actualmente alcanzando los 120°W, continuó su propagación hacia el este, atenuada por las anomalías de vientos del oeste registradas en la segunda quincena.

Los vientos costeros del sur presentaron velocidades mayores a lo normal en la primera quincena del mes, para luego debilitarse en la última semana, especialmente en la costa norte. En el litoral centro y sur se mantuvieron anomalías de TSM entre +2 y +3°C durante el mes en promedio. Por otro lado, frente a Paíta, se registraron anomalías positivas de TSM en la segunda quincena del mes luego de las anomalías negativas detectadas en la primera quincena. Asimismo, en la segunda quincena se detectó el acercamiento a la costa de aguas con TSM por encima de 27°C, a 100 millas frente a Paíta y a 50 millas frente a Chimbote. Además, en los últimos días, frente a Paíta, se registró la proyección de Aguas Ecuatoriales Superficiales del norte, de baja salinidad y alta temperatura, en la capa superficial.

Consistente con lo anterior, las temperaturas subsuperficiales frente a la costa norte mostraron un aumento en las anomalías de entre +1°C y +2°C hasta una profundidad de 150 m con respecto al mes anterior. Los datos de la Estación Fija Paíta, localizada a siete millas náuticas de la costa, presentaron anomalías de temperatura de +1°C hasta los 100 m en la última semana del mes. En la Estación Fija Callao, a ocho millas de la costa, las anomalías de temperatura alcanzaron entre +2°C y +3°C en los 100 m en la última semana. Por otro lado, los nutrientes presentaron valores por debajo de lo normal en las 100 millas costeras frente a la costa norte. La clorofila-a, indicador de la productividad primaria, presentó en promedio anomalías negativas a lo largo de la costa, aunque con núcleos costeros de altas concentraciones frente a Huanchaco y frente a Pisco.

Las temperaturas extremas del aire durante febrero se presentaron por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y central con anomalías de +1.8°C para la temperatura máxima y para la temperatura mínima.

Los vientos del este en niveles altos sobre el territorio peruano, que normalmente transportan la humedad desde la Amazonia hacia los Andes, continuaron débiles hasta la primera quincena de febrero como consecuencia de El Niño del Pacífico Central, lo cual redujo las precipitaciones en la región andina central y sur. Sin embargo, estos vientos se normalizaron hacia la

segunda quincena, permitiendo la ocurrencia de lluvias muy fuertes en dichas regiones. Por otro lado, los vientos superficiales provenientes del Golfo de Panamá se intensificaron, favoreciendo el desarrollo de la banda secundaria de la Zona de Convergencia Intertropical en el hemisferio sur en la segunda quincena. Esta condición sumada a la presencia de aguas cálidas y a la contribución de vientos del este en los niveles medios y altos, dio lugar a lluvias muy fuertes⁵ en Tumbes, Piura y Lambayeque.

Producto de las precipitaciones, los caudales de los ríos en la costa del país se presentaron por encima de sus valores promedio a partir de la tercera semana. Los reservorios en la costa norte y sur muestran un incremento, alcanzando en promedio 42% y 74% de su capacidad máxima, respectivamente. Resalta el incremento de la capacidad de embalse de los reservorios del sur debido a las precipitaciones presentadas en la región andina central y sur en la última semana de febrero.

La magnitud del desove secundario de verano de la anchoveta en las actuales condiciones, es incierto. Por otro lado, se continuó registrando especies indicadoras de aguas cálidas provenientes de la zona oceánica como jurel fino, bonito, atún aleta amarilla y melva, dentro de las 30 mn entre Punta La Negra (6°S) y Atico (16°S).

PERSPECTIVAS

El evento El Niño costero continuará el presente verano. Es posible que el arribo del núcleo de la onda Kelvin cálida, asociado con la profundización de la termoclina, ocasione un incremento promedio de +1°C de las anomalías de TSM en la costa peruana durante marzo.

Debido a la intensificación de los vientos provenientes del Golfo de Panamá y al desarrollo de la banda secundaria de la Zona de Convergencia Intertropical, es más probable la ocurrencia de eventos de debilitamiento de los vientos alisios del sureste acompañados por TSM cálidas en la costa, favoreciendo los procesos convectivos en la costa norte.

Por lo tanto, durante marzo, debido al arribo del núcleo la onda Kelvin cálida a la costa peruana y a las condiciones antes descritas es probable que continúen los episodios de lluvias muy fuertes⁴ en forma localizada en la zona nor-occidental del país, lo cual corresponde a precipitaciones en las partes medias y bajas del orden de 35-60 mm/día en Tumbes y Piura, y de 20 mm/día en Lambayeque, sin descartar la ocurrencia de lluvias extremas⁵ que superen los rangos indicados.

Los modelos globales para el Pacífico oriental (región Niño 1+2) indican en su mayoría condiciones cálidas moderadas para el mes de marzo, seguidas por una declinación en los próximos tres meses a condiciones normales. Para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4), los modelos globales pronostican la declinación del evento El Niño en los próximos tres meses, aunque continuaría con magnitud fuerte al menos hasta marzo.

Por otro lado, en la región andina se espera un incremento gradual del régimen de lluvias debido a la normalización de la circulación atmosférica típica del verano y a la declinación de El Niño en el Pacífico Central, pudiendo presentarse episodios de lluvias muy fuertes, principalmente en la vertiente occidental, como los ocurridos recientemente.

El Comité Multisectorial ENFEN continuará informando quincenalmente sobre la evolución de las condiciones observadas y sus perspectivas. El próximo Comunicado Oficial ENFEN se emitirá el 17 de marzo del 2016.

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 03 de marzo de 2016

¹Definición de "Alerta de El Niño costero": Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENtmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Región Niño 3.4: 5°S - 5°N, 170°W - 120°W

³Región: 5°S - 5°N, 170°W - 100°W

⁴Un (01) mm de lluvia equivale a 1 litro/m²

⁵Lluvias muy fuertes se define como el percentil 95% de la precipitación diaria;

⁶Lluvias extremas se definen como el percentil 99% de la precipitación diaria.





© 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

En el marco del:

