



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



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

BOLETÍN TÉCNICO

Foto: Andina

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

Control estacional e interanual de la distribución de las precipitaciones en isótopos de Sr y Nd en sedimentos fluviales, y sus implicancias para trazar eventos ENOS en la vertiente del Pacífico (cuenca del río -Puyango-Tumbes)

VOL. 6 N° 9 SETIEMBRE 2019

Contenido

3 - 4	Introducción
5 - 9	Artículo de Divulgación Científica
10 - 12	Avances científicos
13 - 17	Resumen del Informe Técnico
18 - 19	Comunicado Oficial del ENFEN

Créditos

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

Fabiola Muñoz
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP

Danny Scipión
Director Científico IGP

Yamina Silva
Directora de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

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

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

Edición: Kobi Mosquera
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Río Tumbes.
Foto: Andina

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

Lima, enero de 2020

Introducción

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

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

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

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

Los resultados de esta actividad están disponibles en: <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4594>



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

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



ENFEN

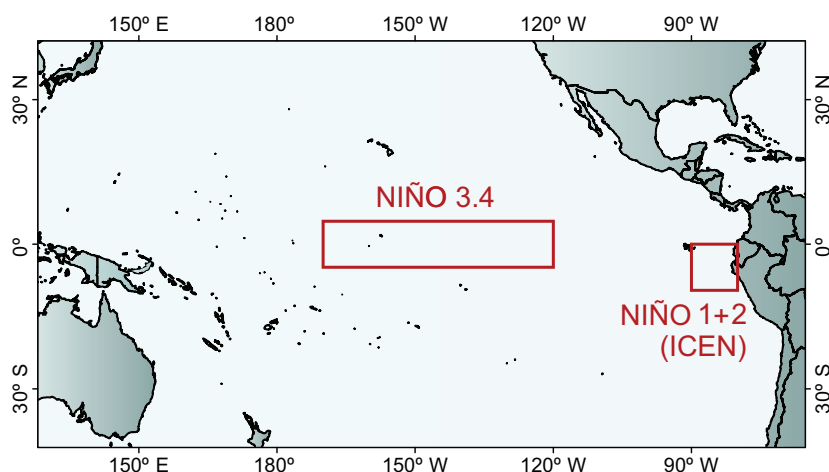
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Control estacional e interanual de la distribución de las precipitaciones en isótopos de Sr y Nd en sedimentos fluviales, y sus implicancias para trazar eventos ENOS en la vertiente del Pacífico (cuenca del río -Puyango-Tumbes)



Jean-Sébastien Moquet, Ph.D.

INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE D'ORLÉANS (FRANCIA)

Ph.D. en Hidrología, Hydroquímica, Suelos y Medioambiente de la Universidad de Toulouse (Francia). Actualmente es postdoctorante en el Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (Francia). Es autor de numerosos artículos publicados en revistas internacionales y su investigación está enfocada en la dinámica de las transferencias de material disuelto y sedimentaria por los hidrosistemas continental desde la escala local (karsts, cuencas de montaña) hasta la escala de los grandes ríos (ex Amazonas, Orinoco) así como en paleoclima.



Dr. Sergio Morera Julca

INVESTIGADOR CIENTÍFICO DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú (IGP), experto en hidrología, erosión y transporte de sedimentos fluvial. Es profesor invitado de postgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Sus estudios se desarrollan en el marco de dos proyectos de investigación aplicada (INNÓVATE PERÚ, 2015-2018 y FONDECYT, 2016-2019), ambos tienen como fin entender los procesos que dominan la erosión de los suelos ante los riesgos ambientales en las cuencas agrícolas alto andinas. Ello, mediante el uso de equipos hidrométricos de avanzada, del monitoreo del transporte de sedimento total y de trazadores geoquímicos e isótopos.

RESUMEN

La geoquímica de los registros sedimentarios es una herramienta eficiente para la reconstrucción paleo-hidro-climática. Sin embargo, la reconstrucción del clima requiere una buena comprensión de la relación entre la geoquímica, la variabilidad hidrológica y de las fuentes de sedimentos. En este estudio analizamos la relación entre la geoquímica de los sedimentos exportados por el Río Puyango-Tumbes (norte de Perú y sur de Ecuador) y la variabilidad hidrológica. Evidenciamos que la firma isotópica del estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) y del neodimio (ϵNd) en los sedimentos dependen de la distribución espacial de las precipitaciones tanto estacionales como interanuales, estas últimas asociadas al ENOS (El Niño Oscilación del Sur). Los resultados constituyen un instrumento prometedor para las reconstrucciones paleohidroclimáticas a partir de registros sedimentarios marinos y continentales en relación con los impactos de los diferentes tipos de El Niño y La Niña.

Finalmente, este estudio es el resultado de una cooperación internacional (Perú-Francia) interdisciplinaria,

que involucra a hidro-sedimentólogos, geoquímicos, geólogos, climatólogos y paleoclimatólogos; evidencia la importancia del monitoreo del caudal (PEBPT y SENAMHI), de sedimentos e isotópico (SO-HYBAM – IGP / programa presupuestal-068), así como la lluvia (base de datos PISCO), todos ellos a largo plazo..

INTRODUCCIÓN

El régimen hidrológico e hidrosedimentológico de los Andes es particularmente sensible a fenómenos hidrológicos extremos como los relacionados con El Niño Oscilación Sur (ENOS). El Niño y La Niña (las dos fases del ENOS) controlan la hidrología y la producción de sedimentos en cuencas andinas que residen a lo largo de la costa del Pacífico (Sulca et al., 2018; Morera et al., 2017; Rau et al., 2017; Lavado and Espinoza, 2014; Armijos et al., 2013) y en laderas amazónicas (Espinoza et al., 2012).

La reconstrucción de los eventos paleo-ENOS es necesaria para entender las principales forzantes de estos eventos.

La composición isotópica de neodimio (Nd) y de estroncio (Sr) de los sedimentos son trazadores de las fuentes de estos últimos y, por lo tanto, de la distribución espacial e intensidad de la lluvia. Para interpretar la variabilidad de la asignatura isotópica del Sr y del Nd de núcleos sedimentarios, un método, raramente aplicado (ej : Viers et al., 2008; Rousseau et al., 2019), consiste en monitorear la composición isotópica de sedimentos a lo largo de un año hidrológico para entender la relación entre esta firma isotópica y las condiciones hydro-climáticas (distribución e intensidad de la lluvia y del caudal) de una cuenca.

Entonces, el uso combinado de isótopos Sr y Nd en rocas sedimentarias como marcadores potenciales de eventos paleo-ENOS puede ser particularmente útil si las rocas isotópicamente contrastadas son erosionadas diferencialmente durante los años ENOS y normales. Para explorar esta posibilidad, presentamos la geoquímica y la composición de isótopos Nd y Sr del material particulado suspendido (SPM, por sus siglas en inglés) exportado por el río Puyango-Tumbes a lo largo de períodos hidrológicos contrastados tanto en la escala temporal estacional (seca vs lluviosa) como interanual (húmeda vs normal). Con este fin, hemos analizado mensualmente las muestras de SPM en el ámbito inferior de la cuenca a lo largo de dos ciclos hidrológicos, e interpretado los datos correspondientes como función de caudales, concentración de SPM, flujos de SPM, la distribución estacional e interanual de las

precipitaciones y las características geoquímicas de las fuentes de SPM.

ENTORNO REGIONAL

La cuenca del río Puyango-Tumbes se encuentra en la ladera occidental de los Andes en el sur de Ecuador y norte de Perú, y desemboca en el Océano Pacífico (área de 4.8 103 km², pluviosidad ~1000 mm.año⁻¹ y escurrimiento ~750 mm.año⁻¹; Lavado et al., 2012; Moquet et al., 2018; Figura 1). La cuenca del río Puyango-Tumbes está compuesta de tres principales dominios litológicamente contrastados: un dominio volcánico (Alto Puyango-Tumbes), un dominio plutónico/metamórfico (media altura de la cuenca) y un dominio sedimentario que representan respectivamente 17, 25 y 58% del área (Figura 1).

El régimen de precipitaciones y, en consecuencia, el régimen de descarga, muestra una fuerte estacionalidad tanto en términos de cantidad como de distribución geográfica. El período de lluvia se produce durante el verano/otoño austral entre diciembre y mayo (Segura et al., 2019). La contribución de escurrimiento del dominio volcánico (sedimentario) aumenta (disminuye) durante el período seco y disminuye (aumenta) en el período húmedo. La contribución del dominio plutónico/metamórfico es casi constante a lo largo del año.

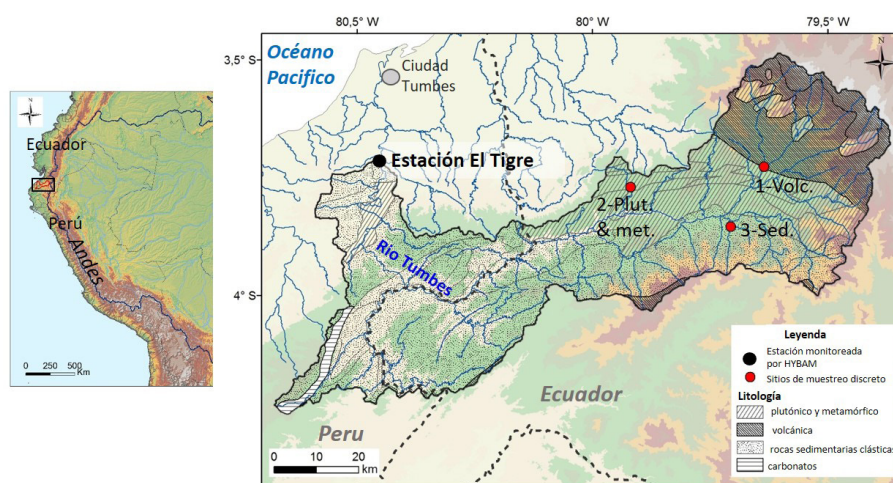


Figura 1. Mapa de la cuenca del río Puyango-Tumbes : red hidrológica, dominios litológicos, líneas limítrofes y estaciones de muestreo (1 - Río Calera @ Portovelo @ Área volcánica; 2 - Río Marcabelli @ Marcabelli - Área plutónica y metamórfica y 3 - un río Pindo tributary @ Buenavista = una subcuenca sedimentaria).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se analizó la composición en elementos mayores, la mineralogía (para ver detalles revisar Moquet et al., 2020) y la composición isotópica de estroncio (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) y neodimio (ϵ Nd) del SPM muestreado mensualmente durante dos años hidrológicos contrastados (2007-2008, un año húmedo – el cuarto año más húmedo durante el período 1985-2015, y 2010-2011, un año hidrológico normal) en la estación hidrológica de El Tigre situada cerca de la desembocadura del río Puyango-Tumbes (Figura 1). Los períodos de estudio (2007-2008 y 2010-2011) se caracterizaron por las condiciones La Niña en el Pacífico central, esto según el ONI¹. Mientras que, según

el Índice Costero El Niño (ICEN)², durante el año 2007 y 2010 se desarrollaron eventos La Niña Costera 2007 y 2010, respectivamente.

Comparamos estos datos con la descarga diaria y la concentración de SPM medida en la estación El Tigre (cada 10 días entre 04/02/2004 y 21/04/2014 - HYBAM-<http://www.so-hybam.org>, Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT)) y con los datos de precipitaciones mensuales registrados sobre la cuenca. Se

¹ https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

² http://www.met.igp.gob.pe/elniño/lista_eventos.html

extrajo la precipitación media mensual de la base de datos Pisco v1.1 (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations; Lavado et al., 2016) para el período 1985-2015. En el presente estudio consideramos el caudal diario disponible en la estación de El Tigre (HYBAM/proyecto PEBPT/SENAMHI) para el período 1985-2015 que consideramos como la referencia (<http://www.so-hybam.org>).

Para identificar posibles efectos de origen que puedan influir en la composición geoquímica de los sedimentos muestreados en la estación El Tigre, también realizamos dos veces (estación seca de 2015 y estación húmeda de 2016) un muestreo puntual de SPM de dos afluentes del río Puyango-Tumbes, lo cuales son representativos de dos ambientes litológicos: Zonas volcánicas y plutónicas/metamórficas. También se ha muestreado dos veces una subcuenca sedimentaria localizada aguas abajo de la zona volcánica, y aguas arriba de la zona plutónica/metamórfica (Figura 1). Nótese que no consideramos esta cuenca como representativa de toda la zona sedimentaria de la cuenca de Puyango-Tumbes.

Los veinte y nueve (29) filtros de sedimentos obtenidos en el trabajo de campo fueron tratados en el laboratorio Géosciences-Environnement-Toulouse (GET) - Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) según el mismo método aplicado por Rousseau et al. (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Relación entre la composición isotópica Sr-Nd y las variables hidroclimáticas

Se ha demostrado que la composición isotópica ϵ_{Nd} y $^{87}Sr/^{86}Sr$ de rocas sedimentarias o de SPM fluvial son herramientas robustas para determinar su procedencia cuando las fuentes están isotópicamente contrastadas (por ejemplo, McLennan et al., 1993; Faure and Mensing, 2004; Viers et al., 2008; Roddaz et al., 2014; Höppner et al., 2018; Rousseau et al., 2019). La composición isotópica de Nd y Sr de las SPM del Puyango-Tumbes tiene valores isotópicos intermedios entre cuencas volcánicas/sedimentarias ($\epsilon_{Nd} = -0.3$ hasta 2.7 y $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7058$ hasta 0.7063) y cuencas plutónicas/metamórficas ($\epsilon_{Nd} = -10.1$ y -10.8 ; $^{87}Sr/^{86}Sr$

$= 0.7090$ y 0.7092), sugiriendo que corresponden a una mezcla de estas dos fuentes.

En la estación El Tigre, los valores de ϵ_{Nd} de las SPM presentan una gran amplitud, la cuales varían desde -7.8 hasta -1.9 y siguen un comportamiento estacional correlacionado negativamente con la descarga y, en consecuencia, la concentración y el flujo de SPM (Figura 2, 3). Durante ambos años hidrológicos analizados, los isótopos de Nd varían de la firma de los « endmembers » volcánicos (periodo seco) a plutónico/metamórfico (periodo húmedo) en escala de tiempo estacional (figuras 2 y 3a, b, c). Estos resultados sugieren que los valores de SPM ϵ_{Nd} son sensibles a la distribución de las precipitaciones en toda la cuenca estudiada (ver más detalles en la versión original de este artículo, Moquet et al., 2020). Según una simple ecuación de mezcla entre los dos miembros finales (cuenca volcánica vs cuenca plutónica/metamórfica) se puede estimar que el endmember volcánico contribuye desde 24 a 74% de las SPM del Puyango-Tumbes según el mes. Esta contribución de SPM de origen volcánico se correlaciona negativamente con la descarga (Figura 2).

La variabilidad de $^{87}Sr/^{86}Sr$ es baja para la mayoría de las muestras (0.7115 a 0.7139) con excepción de las muestras de marzo y abril de 2008 que presentan valores más altos (0.7176 y 0.7155 respectivamente). Interesantemente, estos dos meses corresponden a la mayor concentración de SPM registrada para las muestras analizadas y corresponden a condiciones de alta descarga (Figura 2). $^{87}Sr/^{86}Sr$ también muestra una correlación significativa con la variabilidad del caudal, de la concentración de SPM y de los flujos de SPM a la escala de tiempo estacional e interanual (figura 3d, e, f), es importante destacar que esto se debe esencialmente a los dos valores extremos de caudal y de concentración de SPM que se producen durante el año hidrológico húmedo (2007-2008). Interesantemente, el $^{87}Sr/^{86}Sr$ parece menos sensible que Nd a la variabilidad de la fuente en la cuenca de Puyango-Tumbes siendo únicamente sensible a eventos hidrológicos intensos.

Para concluir, dado el contexto climático y geológico estudiado aquí, las variaciones en la composición isotópica de Nd y Sr de SPM, asociados a la distribución espacial de la lluvia, son, respectivamente, poderosas proxies de la variabilidad hidrológica estacional e interanual. Estas propiedades pueden ser explotadas para la reconstrucción paleoclimática basada en registros sedimentarios.

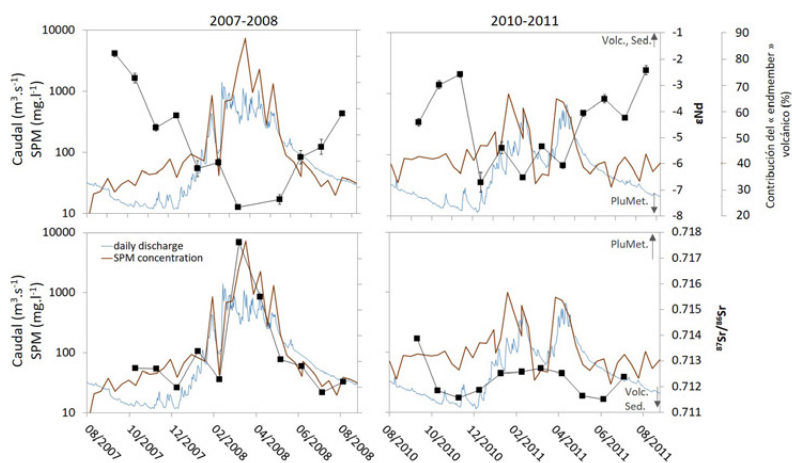


Figura 2. Variación del caudal diario (línea azul), concentración de SPM (línea marrón), composición de isótopos ϵ_{Nd} y Sr (línea negra y cuadrados) del SPM del río Puyango-Tumbes en la estación de El Tigre durante los dos ciclos hidrológicos seleccionados. El error en $^{87}Sr/^{86}Sr$ es menor que el tamaño del símbolo. La contribución relativa de la fuente SPM calculada a partir de la ecuación 4 se añade como referencia (el mismo símbolo que ϵ_{Nd} porque resulta de una relación proporcional). La abreviatura Volc., PluMet y Sed se refiere a los valores determinados para muestras de SPM de la cuenca volcánica ($\epsilon_{Nd} = -0.3$ y $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7059$), la cuenca plutónica/metamórfica ($\epsilon_{Nd} = -10.1$ y -10.8 ; $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7090$ y 0.7092) y la cuenca sedimentaria ($\epsilon_{Nd} = 0.7$ y 2.7 ; $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7058$ y 0.7063), respectivamente.

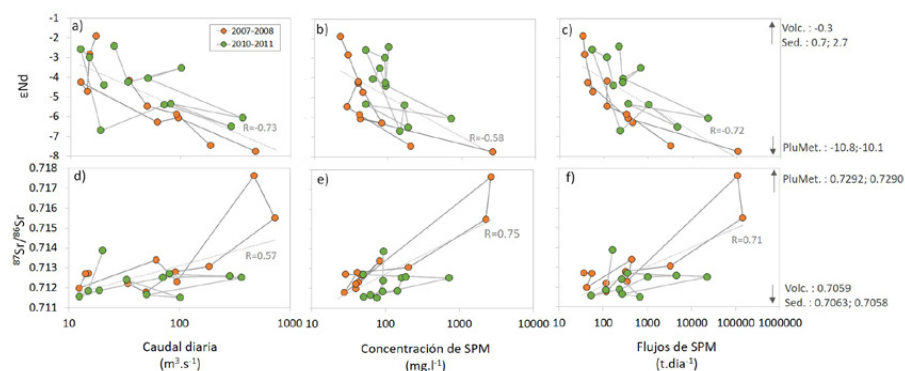


Figura 3. ϵNd vs a) caudal diario; b) concentración de SPM y c) flujo SPM diario. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs d) caudal diario; e) concentración de SPM y f) flujo SPM diario. Los coeficientes de correlación consideran todos los puntos de ambos ciclos hidrológicos y son todos significativos ($p\text{-value} < 0.01$). Las abreviaturas Volc, PluMet y Sed se refieren a los valores determinados para las muestras de SPM de las subcuencas volcánica, plutónica/metamórfica y sedimentaria, respectivamente.

2. Implicación para paleo ENOS y reconstrucción de eventos hidrológicos paleo extremos

La mayoría de las reconstrucciones paleoclimáticas basadas en la composición isotópica Sr-Nd de los sedimentos marinos se basa en un único muestreo de SPM de los diferentes afluentes o ríos que alimentaron estos depósitos (p.ej. Ehlert et al., 2013; Höppner et al., 2018). El conjunto de datos presentado en este estudio puede ser utilizado para mejorar este enfoque en las regiones costeras del Pacífico afectadas por eventos ENOS. Ser sensible a la distribución estacional de las precipitaciones (principalmente ϵNd) y a las anomalías interanuales de precipitaciones elevadas ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), estas firmas isotópicas pueden ser particularmente interesantes para reconstruir la paleoclimatología de la cuenca estudiada que es altamente sensible a los eventos de El Niño (Morera et al., 2017). Además, los resultados de este estudio pueden extenderse más allá de la reconstrucción paleoclimática del río Puyango-Tumbes y aplicarse a otras cuencas costeras del Pacífico Peruano y ecuatoriano afectadas por los eventos del ENOS. De hecho, en Ecuador y Perú, las cuencas costeras del Pacífico se caracterizan por reparticiones litológicas similares caracterizadas por rocas volcánicas en regiones elevadas y rocas plutónicas y metamórficas en regiones elevadas inferiores. Durante los eventos de ENOS, las intensidades de las lluvias pueden aumentar o disminuir y su distribución (Andes vs llanura) se modifica (Lagos et al., 2008; Lavado y Espinoza, 2014). Según los resultados presentados en el presente estudio,

esperamos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ más radiogénicos y valores de ϵNd más negativos durante eventos fuertes de El Niño debido a la menor precipitación en las alturas de los Andes en el dominio de las rocas volcánicas (Figura 4). Durante los eventos de La Niña, mayor precipitación en las áreas más elevadas ocupadas por rocas volcánicas (valores altos de ϵNd) y la baja precipitación a lo largo de la costa y en la región aguas abajo produciría SPM con valores de ϵNd más altos y composiciones isotópicas Sr menos radiogénicas (Figura 4). Como los flujos de sedimentos dependen de la cantidad de lluvia, especialmente durante los años excepcionalmente lluviosos (Morera et al., 2017), una comparación de isótopos Sr y Nd con la tasa de sedimentación, puede indicar si existe una relación entre los lugares de precipitación y la cantidad de precipitaciones durante el período cubierto por el núcleo.

CONCLUSIÓN

En este estudio se analizó la firma isotópica del Nd y del Sr en los sedimentos exportados por el Río Tumbes, durante un año particularmente lluvioso (2007-2008) y un año normal (2010-2011), ambos a un paso de tiempo mensual.

La sensibilidad de ambas firmas isotópicas asociada a las fuentes de sedimentos, la cantidad de lluvia y su distribución espacial en la cuenca, así como su variabilidad hidrológica estacional e interanual, hacen de ambos trazadores una herramienta poderosa para reconstruir las crónicas del Paleo-ENSO a partir de archivos de núcleos de sedimentos continentales y marinos.

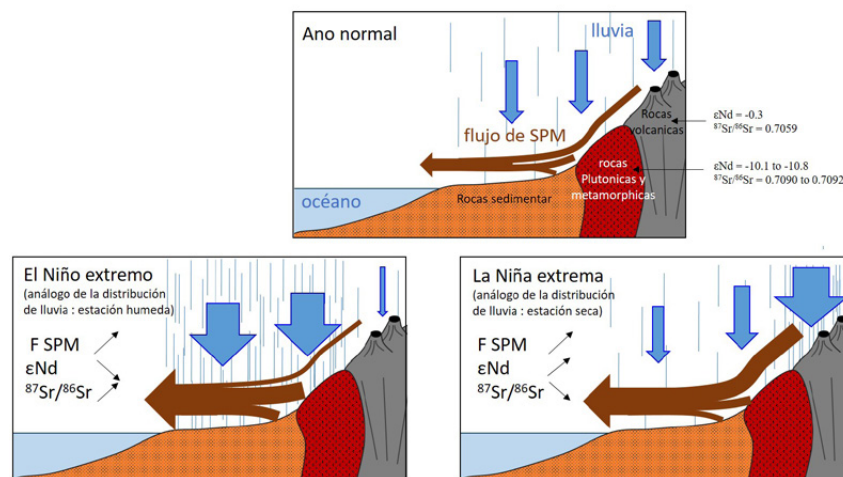


Figura 4. Representación esquemática del flujo de SPM y su firma isotópica Nd y Sr en respuesta a los modos extremos de ENOS.

Es oportuno indicar que la vertiente del Pacífico de los Andes de Perú y Ecuador presentan una relativa homogeneidad en la distribución litológica, por ello nuestros resultados pueden generalizarse a una escala regional, y permitirá reconstruir la variabilidad de los ENOS a una escala de tiempo decenal a multimilenarias.

Mayor información en:

- Moquet, Jean-Sébastien; Morera, Sergio Byron; Turcq, Bruno; Poitrasson, Franck; Roddaz, Martin; Moreira-Turcq, Patricia; Espinoza, Jhan Carlo; Guyot, Jean-Loup; Takahashi, Ken; Orrillo-Vigo, Jhon; Petrick, Susana; Mounic, Stéphanie, & Sondag, Francis. (2020). Control of seasonal and inter-annual rainfall distribution on the Strontium-Neodymium isotopic compositions of suspended particulate matter and implications for tracing ENSO events in the Pacific coast (Tumbes basin, Perú). *Global and Planetary Change*. 185: 103080. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103080>.

REFERENCIAS

Armijos, E., Laraque, A., Barba, S., Bourrel, L., Ceron, C., Lagane, C., Magat, P., Moquet, J.S., Pombosa, R., Sondag, F., Vera, A., Guyot, J.L., 2013. Yields of suspended sediment and dissolved solids from the Andean basins of Ecuador. *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques* 58, 1478–1494.

Ehlert, C., Grasse, P., Frank, M., 2013. Changes in silicate utilisation and upwelling intensity off Perú since the Last Glacial Maximum – insights from silicon and neodymium isotopes. *Quaternary Science Reviews* 72, 18–35. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.04.013>

Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Junquas, C., Drapeau, G., Martinez, J.M., Santini, W., Vauchel, P., Lavado, W., Ordoñez, J., Espinoza, R., 2012. From drought to flooding: understanding the abrupt 2010–11 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries. *Environmental Research Letters* 7, 24008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024008>

Faure, G., Mensing, T.M., 2004. *Isotopes. Principles and Applications*. 3rd Edition, John Wiley and Sons Ltd. ed.

Höppner, N., Lucassen, F., Chiessi, C.M., Sawakuchi, A.O., Kasemann, S.A., 2018. Holocene provenance shift of suspended particulate matter in the Amazon River basin. *Quaternary Science Reviews* 190, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.04.021>

Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., Mosquera, K., n.d. El Niño – related precipitation variability in Perú. *ADGEO* 14, 231–237. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-231-2008>

Lavado Casimiro, W.S., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza Villar, J.-C., Guyot, J.L., 2012. Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Perú (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. *Hydrological Sciences Journal* 57, 1–18.

Lavado, W., Espinoza, J.C., 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 171–182.

Lavado W, Fernandez C, Vega F, Caycho T, Endara S, Huerta A, Obando OF. 2016. PISCO: Peruvian interpolated data of the SENAMHI's climatological and hydrological observations. *Precipitación v1.0*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, pp. 1–4.

McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics, in: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America.

Moquet, J.-S., Guyot, J.-L., Morera, S., Crave, A., Rau, P., Vauchel, P., Lagane, C., Sondag, F., Lavado, C.W., Pombosa, R., Martinez, J.-M., 2018. Temporal variability and annual budget of inorganic dissolved matter in Andean Pacific Rivers located along a climate gradient from northern Ecuador to southern Perú. *Comptes Rendus Geoscience* 350, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.11.002>

Morera, S.B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., Guyot, J.L., 2017. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific Reports* 7, 11947. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12220-x>

Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., Felipe, O., 2017. Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *International Journal of Climatology* 37, 143–158. <https://doi.org/10.1002/joc.4693>

Roddaz, M., Viers, J., Moreira-Turcq, P., Blondel, C., Sondag, F., Guyot, J.-L., Moreira, L., 2014. Evidence for the control of the geochemistry of Amazonian floodplain sediments by stratification of suspended sediments in the Amazon. *Chemical Geology* 387, 101–110.

Rousseau, T.C.C., Roddaz, M., Moquet, J.-S., Handt Delgado, H., Calves, G., Bayon, G., 2019. Controls on the geochemistry of suspended sediments from large tropical South American rivers (Amazon, Orinoco and Maroni). *Chemical Geology* 522, 38–54. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.05.027>

Sulca J. Takahashi K., Espinoza JC., Vuille M., 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 Perú. *Int. Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.5185

Segura H., Junquas C., Espinoza JC., Vuille M., Jauregui YR., Rabatel A., Condom T., Lebel T. 2019. New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-018-4590-8.

Viers, J., Roddaz, M., Filizola, N., Guyot, J.-L., Sondag, F., Brunet, P., Zouiten, C., Boucayrand, C., Martin, F., Boaventura, G.R., 2008. seasonal and provenance controls on Nd–Sr isotopic compositions of Amazon rivers suspended sediments and implications for Nd and Sr fluxes exported to the Atlantic Ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 274.

Dinámica de lluvias extremas en el centro y norte del Perú, vertiente del Pacífico para febrero y marzo de 2017

Joel Ticse De la Torre y Aldo Moya Álvarez
Instituto Geofísico del Perú (IGP), Lima-Perú

INTRODUCCIÓN

Las lluvias extremas ocurridas en el verano austral del 2017 en el centro y norte del Perú, han evidenciado que aún falta entender los procesos dinámicos que ocurren en esta zona, ya que no pudo ser pronosticado con antelación. Por otro lado, las ciudades costeras de Piura, Chiclayo, Trujillo y Lima, que tienen gran densidad poblacional y con alto desarrollo económico, están diseñadas para un clima de costa sin muchas lluvias.

En la presente investigación, se evalúa la capacidad de respuesta del Modelo de Investigación y Pronóstico del Tiempo-WRF, por sus siglas en inglés (Skamarock, et al., 2008), para reproducir las lluvias extremas ocurridas en el verano de 2017, en las regiones costeras del centro y norte del Perú, vertiente del Pacífico, 3°S-10°S y 76°W-82°W (VNP). En los avances de esta investigación, se identificaron los periodos de lluvia mayores al percentil 95 y se realizaron simulaciones donde se evalúa la capacidad del modelo para el pronóstico de lluvia, utilizando datos de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI y del producto PISCO (Lavado, et al. 2015).

Los productos satelitales de estimación de lluvias son una alternativa valiosa para cubrir los vacíos de información pluviométrica en muchas partes del mundo. En el Perú se tiene la base de datos espacial de lluvia PISCO, a nivel diario en la versión 1, PISCOpd-V2.1 (Aybar, et al.

2017), este producto utiliza como covariable la base de datos global del proyecto CHIRP¹ (Precipitación infrarroja del grupo de riesgos climáticos).

LLUVIAS EXTREMAS

Las lluvias extremas son consideradas eventos raros o menos probables. De acuerdo a la definición del IPCC (2013), la rareza normal de un *fenómeno meteorológico* extremo sería igual o superior a los percentiles 10 ó 90 de la estimación de la *función de densidad de probabilidad observada*. Sin embargo, en este trabajo para identificar las lluvias extremas se determinaron los umbrales de lluvia mensual usando los percentiles 99, 95 y 90 (Figura 1). Comparando los meses de enero, febrero y marzo, el segundo tiene los valores de umbrales de lluvias más altos, que muestra la distribución espacial del umbral de lluvia para los percentiles 99, 95 y 90 de los datos PISCOpd-V2.1, elaborado con 35 años de información.

LLUVIAS EXTREMAS 2017

Se realizó una comparación entre el umbral de lluvia extrema (percentil 99) determinada anteriormente con la lluvia registrada por las estaciones del SENAMHI y los datos PISCOpd-V2.1 durante el periodo enero-marzo

¹ https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY

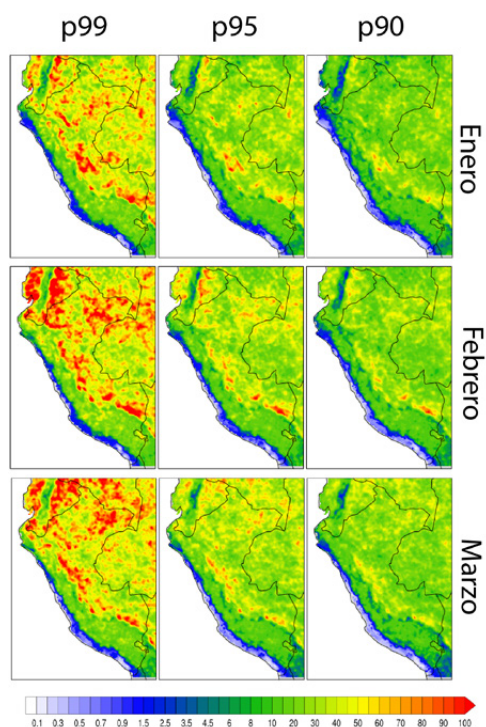


Figura 1. Distribución espacial de lluvia para los percentiles 99, 95 y 90 de los datos PISCOpd-V2.1, elaborado con 35 años de información (1981-2016).

del 2017 y 2018, identificando 18 periodos de lluvia extrema, donde el periodo del 13 al 15 de marzo del 2017 fue el más extremo.

SIMULACIONES CON WRF

Habiendo identificado los periodos de lluvias extremas en la VNP se realizaron las simulaciones numéricas con el modelo WRF-ARW, en modo pronóstico con 3.5 días de antelación, utilizando dos dominios (Figura 2).

Se seleccionaron los siguientes esquemas de parametrización: para cúmulos el esquema de Grell – Freitas (Grell and Freitas, 2014), el esquema de Morrison para la microfísica (Morrison et al., 2009) y el esquema de Yonsei University (Hong et al., 2006) para la capa límite, de acuerdo a lo propuesto por Moya-Álvarez et al. (2018).

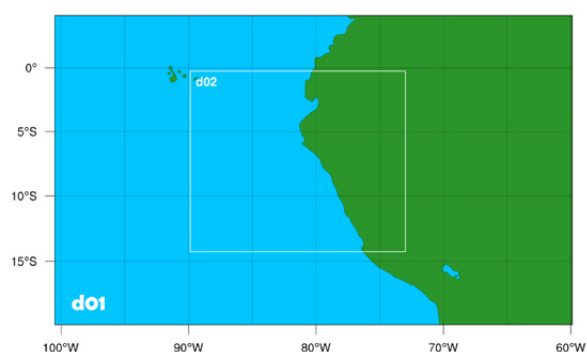


Figura 2. Dominio d01 (padre) y d02 (hijo) establecidos para la simulación del modelo WRF ARW.

RESULTADOS

Los resultados para los días simulados, indican que los días 13 y 14 de marzo de 2017 fueron los días con mayor precipitación, coincidente con los datos de las estaciones del SENAMHI, aunque con PISCO solo para el día 13 de marzo (Figura 3). Se puede apreciar un máximo en las cuencas del río Piura, río Chira, quebrada Cascajal, río Olmos y río Motupe – La Leche, sin embargo, no se aprecia buena coincidencia para el tercer día de pronóstico. El modelo en general está sobre estimando la cantidad de lluvia y se distribuye en un espacio mayor.

Para el caso del pronóstico del día 2 de febrero de 2017, con alcance hasta el día 4 de febrero, se aprecia que WRF subestimó notablemente las lluvias en los tres días de pronóstico, como se puede apreciar en la figura 4.

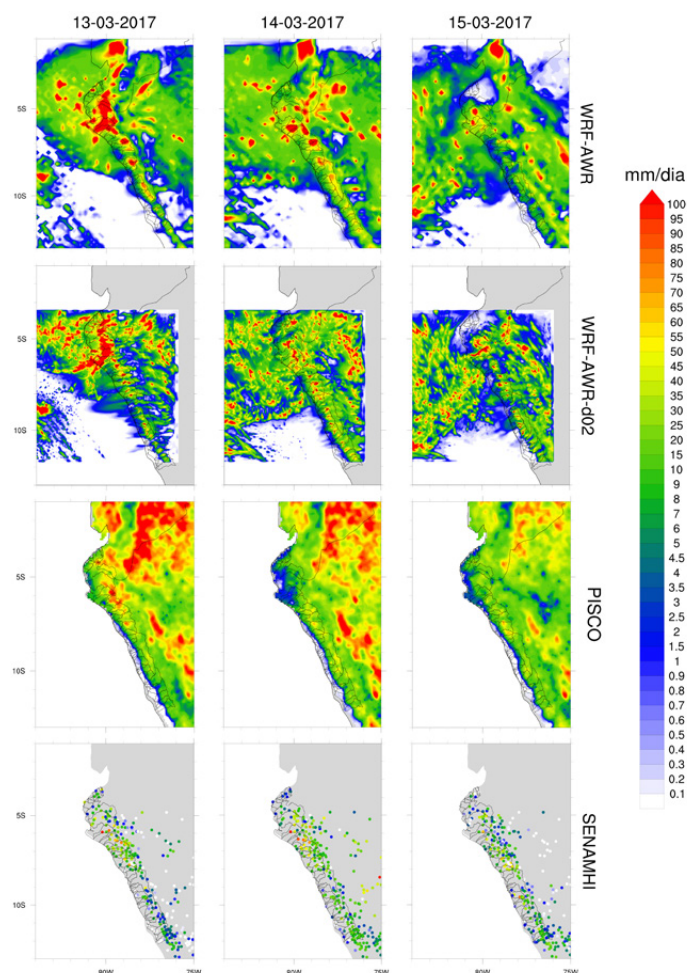


Figura 3. Análisis de lluvia del modelo WRF-ARW dominio 1 y 2, datos PISCOpd-V2.1 y estaciones del SENAMHI para el periodo del 13 al 15 de marzo del 2017.

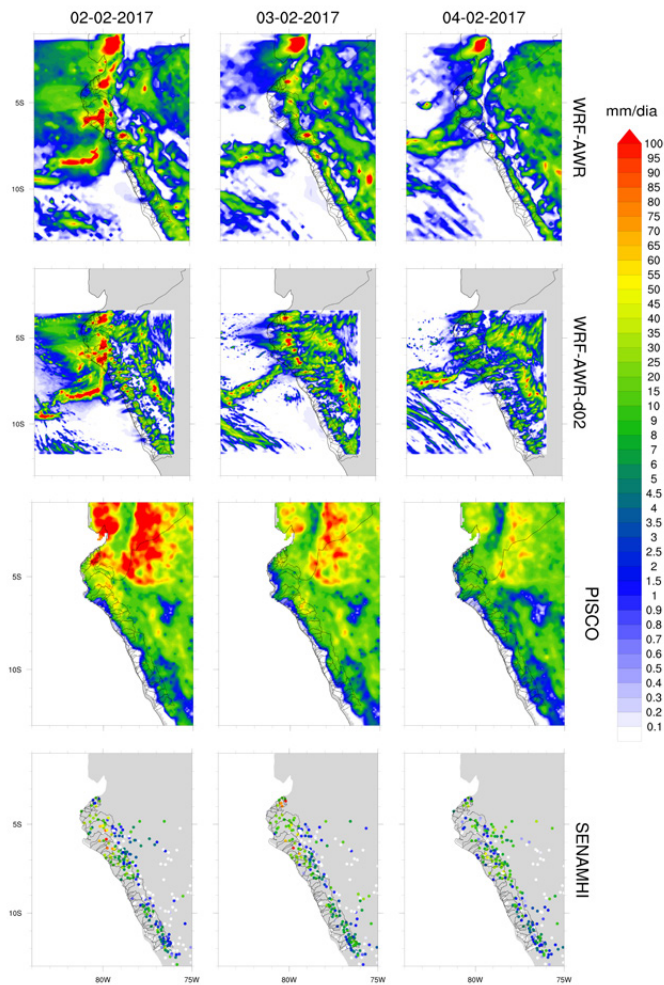


Figura 4. Análisis de lluvia del modelo WRF-ARW, datos PISCOpd-V2.1 y estaciones del SENAMHI para el periodo del 2 al 4 de febrero del 2017.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Los umbrales más elevados de lluvia para todos los percentiles calculados se obtuvieron para el mes de febrero, fundamentalmente hacia el sector norte de la zona de estudio. Para el mes de marzo se obtuvieron umbrales bastante significativos, más no para el mes de enero.

Para el caso de estudio de marzo, el modelo WRF reprodujo adecuadamente la distribución espacial de las lluvias, aunque subestima en algunas regiones; sin embargo, para el caso de febrero, el modelo subestimó significativamente las lluvias con respecto a los datos de las estaciones de SENAMHI y el producto PISCOpd-V2.1.

Los pronósticos menos efectivos del modelo se obtuvieron para el tercer día de pronóstico.

Investigación realizada en el marco del proyecto Magnet del IGP "Fortalecimiento de la línea de investigación en física y microfísica de la atmósfera", financiado por FONDECYT de CONCYTEC (convenio 010-2017/FONDECYT).

REFERENCIAS

Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., and Felipe-Obando, O. (2017). Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sisitemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota técnica 001 SENAMHI-DHI-2017. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-8.pdf>

Grell, G. A., and Freitas, S. R. (2014). A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(10), 5233–5250. <https://doi.org/10.5194/acp-14-5233-2014>

Hong, S. Y., Noh, Y., and Dudhia, J. (2006). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review*, 134(9), 2318–2341. <https://doi.org/10.1175/MWR3199.1>

IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M.Tignor, S.K.Allen, J. Boschung,A. Nauels,Y. Xia,V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A., Obando, O.F., 820 2015. PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and 821 hydrological Observations. Precipitación v1.0. http://ons.snirh.gob.pe/Peru/maproom/Monitoring/Meteorological/PISCO_reporte.pdf

Moya-Álvarez, A. S., Martínez-Castro, D., Flores, J. L., and Silva, Y. (2018). Sensitivity Study on the Influence of Parameterization Schemes in WRF-ARW Model on Short- and Medium-Range Precipitation Forecasts in the Central Andes of Peru. *Advances in Meteorology*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1381092>

Morrison, H., Thompson, G., and Tatarskii, V. (2009). Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: Comparison of one- and two-moment schemes. *Monthly Weather Review*, 137(3), 991–1007. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1>

Skamarock, William C., Joseph B. Klemp, J. D. (2008). Reinterpreting evaluation classics in the modern age. *Journal of Continuing Higher Education* (Vol. 49). <https://doi.org/10.1080/07377366.2001.10400427>

Resumen del Informe Técnico

PP N° 068 / El Niño-IGP/2019-08

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

RESUMEN

Para el mes de julio, según el Índice Costero El Niño (ICEN), basado tanto en los datos de ERSSTv3b (ICENV3), OISSTv2 (ICENOI) y ERSSTv5 (ICENV5), las condiciones climáticas frente a la costa peruana continúan siendo Neutras, con valores de -0.62, -0.63 y -0.54°C, respectivamente. Los valores temporales del ICEN (ICENTmp), de las tres fuentes de datos, para los meses de agosto y setiembre, coinciden en mantener las condiciones Neutras. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de la NOAA indica que en el mes de julio la condición es Neutra (0.32°C) y, según la información de los valores temporales, también se esperaría las mismas condiciones para los meses de agosto y setiembre.

En base a los datos de altimetría satelital (producto DUACS), la señal de la onda Kelvin cálida, indicada en el informe anterior, arribó a la costa peruana entre fines de agosto e inicios del mes de setiembre. Según los modelos dinámicos una onda Kelvin fría, ubicada en 120°E, llegaría a la costa peruana a fines de setiembre e inicio de octubre, también se esperaría la llegada de una onda Kelvin cálida entre fines de octubre e inicio de noviembre.

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

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), promediados sobre la región Niño1+2 y actualizados hasta el mes de agosto de 2019 del producto ERSST v3b, generados por el Climate Prediction Center (CPC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, EEUU); se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012)

hasta el mes de julio de 2019 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1 (columnas 3 y 4), en donde el valor para el mes de julio corresponde a una condición Neutra. Los valores del ICEN, usando ERSST v3b, se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>.

Los valores del ICENOI, calculado de la misma forma que el ICEN pero usando los datos mensuales de OISST v2 y las climatologías de ERSST v3b, las cuales se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>, se muestran en la columna 5 y 6 de la Tabla 1. Estos indican, como el ICENV3, condiciones Neutras para el mes de julio.

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

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

Valores del Índice Costero El Niño							
Año	Mes	ICENV3	Categoría	ICENOI	Categoría	ICENV5	Categoría
2019	Abril	0.38	Neutra	0.16	Neutra	0.34	Neutra
2019	Mayo	0.28	Neutra	-0.09	Neutra	0.25	Neutra
2019	Junio	-0.21	Neutra	-0.33	Neutra	-0.12	Neutra
2019	Julio	-0.62	Neutra	-0.63	Neutra	-0.54	Neutra

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

ÍNDICE OCEÁNICO NIÑO (ONI)

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (Ocean Niño Index en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de julio de 2019, es de 0.32 °C, correspondiente a una condición Neutra¹. Con este índice finaliza del evento El Niño en el Pacífico central, el cual fue de magnitud Cálida Débil y se desarrolló en el periodo de octubre de 2018 a junio de 2019.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Según los datos observados (IR, MW, OSTIA), las anomalías de la TSM diaria en la región Niño 3.4, para el mes de agosto indicaron condiciones neutras además se observaron anomalías negativas en la última semana del mes. Para la región Niño 1+2, la ATSM continuó mostrando anomalías negativas con valores que alcanzaron -1°C, sin embargo, en promedio, se mantuvieron en condiciones neutras.

Según la información de las boyas instaladas a lo largo del Pacífico Ecuatorial del proyecto TAO, el promedio mensual de las anomalías del viento zonal en el Pacífico ecuatorial continúan mostrando un dipolo de anomalías positivas y negativas al oeste y este de 160°W. La profundidad de la termoclina al oeste (este) de 120°W se muestra menos (más) profunda de lo normal. En lo que respecta a la ATSM, aún se observan valores negativos entre 120°W y 90°W.

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).

En las dos primeras semanas de agosto, según la información de WindSat, se observaron anomalías negativas entre 180° y 145°W, estas anomalías continuaron con menos intensidad en la tercera semana. En la cuarta semana del mes y en la primera semana del mes de setiembre se observan pequeños pulsos vientos del este entre 130°E y 165°E.

La profundidad de la termoclina al oeste (este) de 120°W se muestra más (menos) profunda de lo normal, la inclinación de la termoclina y el contenido de calor en la región ecuatorial se encuentran dentro de los rangos normales. La boya ubicada en la región oriental (95°W) indica que la profundidad de la isoterma de 20°C se encuentra con valores cercanos a su climatología.

La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en la zona la zona A (170°E – 140°W, 5°S-5°N) y B (170°W – 100°W, 5°S-5°N), respectivamente, continúa indicando valores cercanos a su climatología.

La información *in situ* y remota, y los resultados de los modelos numéricos (Figura1) indican que la onda Kelvin cálida, mencionada en el informe anterior, arribó a la costa peruana en el mes de agosto. Esta misma información indica que una onda Kelvin fría se localiza en 120°W, mientras que otra, del tipo cálida, se localizaría entre 150°E y 160°W. Asimismo, en esta última región, pero en 4°N y 4°S, se observa una señal intensa de una onda Rossby cálida.

ONDAS KELVIN A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

Según la información de DUACS (basado en altimetría satelital), en la primera semana de agosto se observaron anomalías negativas débiles frente a la costa peruana.

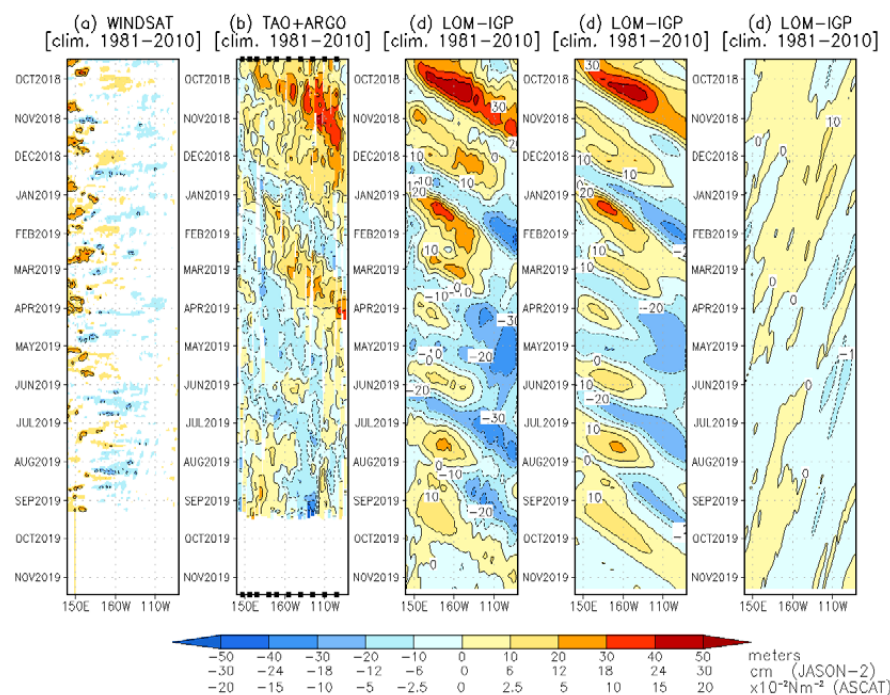


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGON (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente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

Desde la segunda semana de agosto hasta la actualidad se observa anomalías positivas, las cuales deben ser producto de la llegada de la onda Kelvin cálida. Según la información del flotador ARGO (No. 3901231), el cual se localizó durante julio e inicios de agosto entre 84.5–83.2°W y 3–4°S (a alrededor de 200 millas náuticas frente a la costa norte del Perú), las anomalías negativas se observan por encima de los 80 metros, mientras que por debajo se observa condiciones neutras hasta los 200 metros (Figura 2).

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

La onda Kelvin fría ubicada alrededor de los 120°W, según los modelos numéricos y las proyecciones teóricas, arribaría a la costa peruana a fines de setiembre e inicios de octubre.

La onda Kelvin cálida, desarrollada por los pulsos de viento del mes de agosto, debería llegar a la costa americana a fines de octubre e inicios de noviembre. (Ver Figura 1).

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

PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), según los modelos climáticos de NMME (CFSv2, CanCM4i, GEM_NEMO, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4) con condiciones iniciales del mes de setiembre de 2019, indican en promedio condiciones Neutras entre los meses de setiembre y marzo de 2020 (ver Fig.3).

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los 7 modelos de NMME inicializados con información del mes de setiembre, indican en promedio condiciones Neutras de setiembre a marzo de 2020

CONCLUSIONES

1. El ICEN (SSTOI) para julio de 2019 fue de -0.63 (Neutro), los ICENtmp para agosto y setiembre son -0.65 y -0.49, respectivamente, siendo ambas condiciones Neutras. Usando ERSSTv3 mensual para el cálculo (ICEN), los valores correspondientes son -0.62 (Neutro), y los temporales para agosto y setiembre son Neutro, -0.71 y -0.45 respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para julio es -0.54 (Neutro) y los temporales también se encuentran en el rango de Neutro para los meses de agosto y setiembre, -0.64 y -0.47 respectivamente.

2. En el Pacífico central, el ONI de julio (JJA) es 0.32 y corresponde a condiciones Neutras y el estimado para agosto y setiembre corresponden a condiciones Neutras.

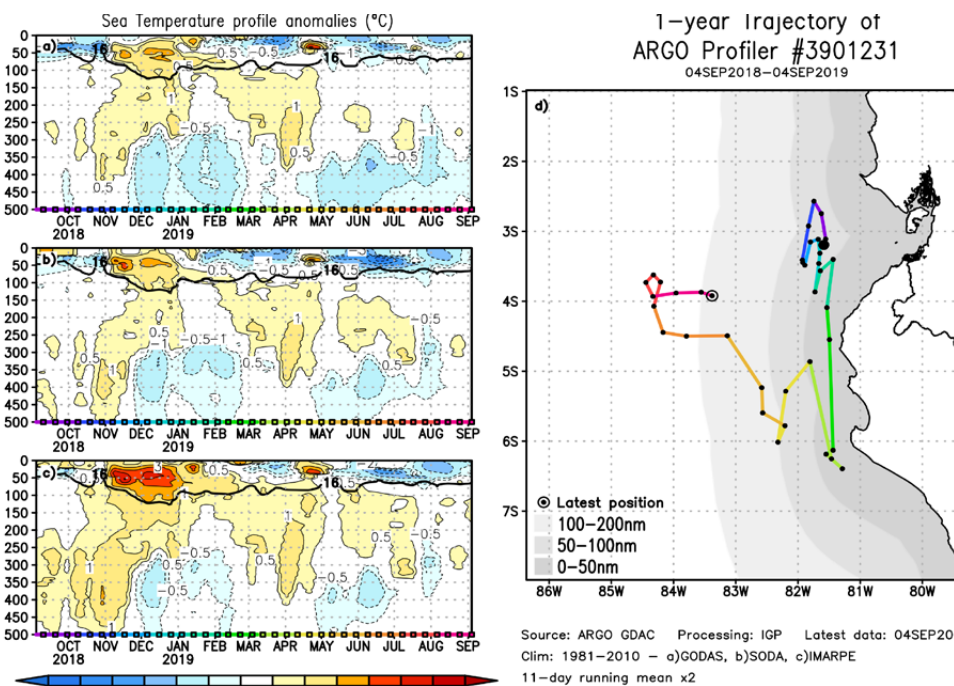


Figura 2. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad calculada de los datos del flotador ARGO No. 3901231. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria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

Pronóstico con modelos del ICEN CI 201909

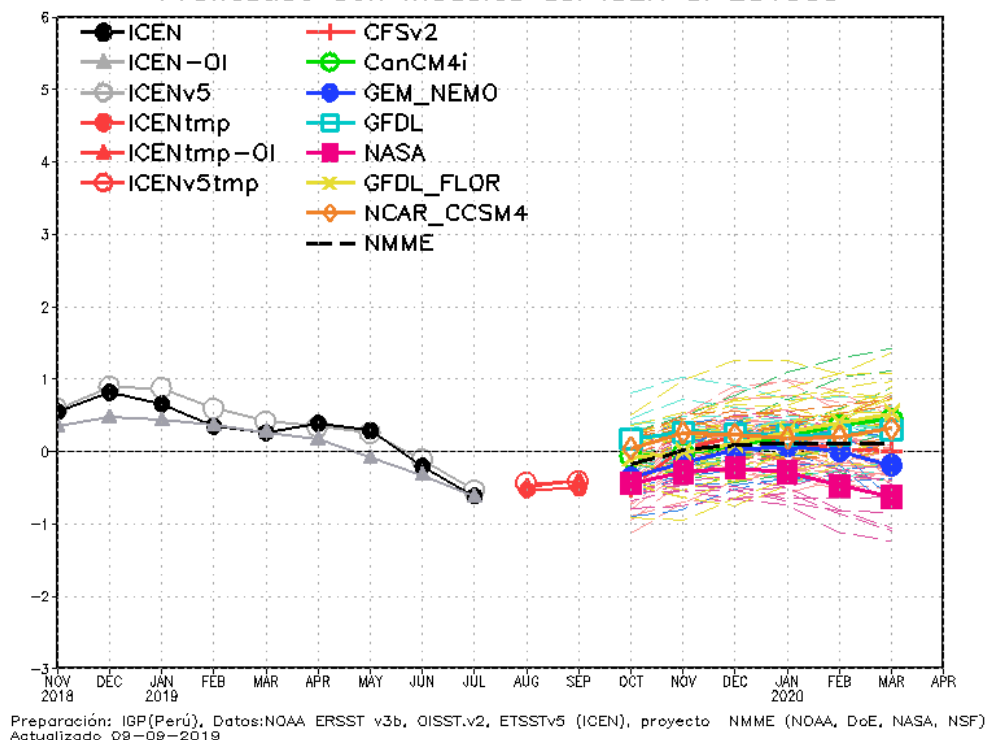


Figura 3. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2; ICEN gris con círculos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno, ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos, ICENv5tmp, rojo con círculo). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CanCM4i, GEM_NEMO, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de setiembre de 2019. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

3. La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en las regiones (170°E – 140°W, 5°S-5°N) y (170°W – 100°W, 5°S-5°N) continua indicando valores alrededor a su climatología.

4. Según la información de TAO en la franja ecuatorial, en el mes de agosto, se mantienen los vientos del este (oeste) al este (oeste) de 160°W. Los vientos del oeste se han observado muy intensos, esto debido a la presencia de pulsos de viento en dicha región. La profundidad de la termoclina al oeste (este) de 120°W se muestra, en promedio, menos (más) profunda de lo normal, aunque hay una se observa una anomalía positiva entre 180° y 160°W. Las anomalías de la TSM se mantienen positivas en la mayor parte de la franja ecuatorial, y el máximo valor observado se localiza en la zona Central, entre 180° a 160°W.

5. Durante el mes de agosto, según la información satelital y de reanalysis, se desarrolló un pulso de viento del este entre la línea de cambio de fecha y 150°W. La información in situ (TAO) así como del producto satelital WINDSAT, indican que en el parte occidental (150°E) se desarrollaron pulsos de viento del oeste.

6. Basado en los datos de TAO, la inclinación de la termoclina ecuatorial y el contenido de calor, durante agosto se encuentran alrededor de sus valores normales.

7. Según la información de los flotadores ARGO en la franja ecuatorial en la zona oriental desde el mes de

agosto se siguen observando anomalías negativas desde la superficie hasta aproximadamente los 120 metros de profundidad.

8. Los flotadores frente a la región Piura, localizado entre 100 y 200 millas, muestran información dentro de sus valores normales.

9. La señal de la onda Kelvin cálida, indicada en el comunicado anterior, arribó a la costa peruana en agosto según la información de altimetría satelital (DUACS).

10. Aún se observa la señal de la onda Kelvin fría, la cual se localiza en 120°W.

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

12. Se espera que la onda Kelvin fría arribe a la costa peruana a fines de setiembre e inicios de octubre con un impacto en la TSM y el nivel del mar.

13. Los pulsos de viento del oeste durante el mes de agosto se proyectaron en una onda Kelvin cálida que debe arribar a fines de octubre e inicios de noviembre.

14. Se espera que la onda Rossby alcance la frontera occidental durante el mes de octubre y noviembre y se proyecte en una onda Kelvin cálida que podría llegar a la costa americana en enero. De proyectarse en el segundo

modo baroclínico, es decir con una velocidad de 1.7 m/s, esta onda podría llegar en febrero.

15. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME con condiciones iniciales de setiembre en promedio indican condiciones NEUTRAS entre los meses de octubre y marzo de 2020. Los modelos indican en promedio anomalías positivas a partir del mes de noviembre.

16. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indica condiciones Neutras entre los meses de octubre a marzo de 2020. El modelo CFSv2 indica condiciones cálidas débiles entre el periodo de meses de octubre y enero de 2020, mientras que el modelo GFDL lo hace para el periodo de noviembre a marzo de 2020.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparco, J., K, Mosquera y K, Takahashi. 2014. Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.
- Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y, Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A. 2016. First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [<http://tpos2020.org/first-report>]
- DiNezio, P. 2016. Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.
- ENFEN 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.
- ENFEN 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.
- Huang, B., Thorne, P.W, Banzon, V.F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., Zhang, H.-M. 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
- Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I. 2009. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. J. Climate 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.
- Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C. 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), Revista Brasileira de Meteorologia, 29 (2), 171-182.
- Meehl, G., Hu, A., Teng, H. 2016. Initialized decadal prediction for transition to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. Nature Communications, doi: 10.1038/ncomms11718
- Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., and Guyot, J. L. 2017. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). Scientific Reports, v. 7, No. 1, p. 11947 DOI:10.1038/s41598-017-12220-x.
- Mosquera, K. 2009. Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de 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° 12-2019 **Estado del sistema de alerta: No Activo¹**

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

Se espera la llegada de una onda Kelvin fría seguido de otra cálida hasta noviembre que podrían contribuir a ligeras variaciones térmicas del mar, del aire, así como el nivel del mar frente de la costa peruana. Para el próximo verano, en el Pacífico central (región Niño 3.4) son más probables las condiciones Neutras (62%), seguidas de condiciones El Niño débil (20%); en tanto que, para el Pacífico oriental (región Niño 1+2, que incluye la costa peruana) son más probables las condiciones Neutras (65%), seguidas de condiciones El Niño débil (18%).

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

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

En el Pacífico ecuatorial, la temperatura superficial del mar (TSM), en general, se mantiene alrededor de su promedio, excepto en la zona occidental (oeste de 180°), en donde alcanzó valores de hasta 1°C por encima de su normal. En las regiones Niño 3.4 y Niño 1+2 (parte de la región oriental, la cual incluye la costa peruana) la anomalía de agosto osciló entre +0,2°C y -0,4°C, respectivamente.

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

En el Pacífico ecuatorial, la convección continuó suprimida tanto a lo largo de la franja ecuatorial como en Indonesia; asimismo durante agosto predominaron anomalías de vientos zonales del este en los niveles bajos y del oeste para los niveles altos de la atmósfera. Además, se evidenció el debilitamiento de la actividad de ondas ecuatoriales atmosféricas. Estas características junto con las oceánicas reflejan condiciones neutras en esta región.

Durante la primera quincena del mes de agosto y la primera semana de setiembre arribaron a la costa americana una onda Kelvin fría y otra cálida débil. Por otro lado, aún se observa la presencia de una onda Kelvin fría y otra cálida; la primera localizada cerca a 120°W y la segunda entre 160°E y 160°W. Asimismo, se observa la presencia de una onda

Rossby cálida, alrededor de la línea de cambio de fecha, desplazándose hacia el oeste.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mostró más intenso de lo normal aunque desplazado al sureste de su posición habitual con una configuración meridional. En promedio, el alejamiento del APS del litoral peruano propicio el debilitamiento de los vientos costeros del sur, presentando anomalías negativas del viento persistentes a partir de la segunda quincena de agosto. Asimismo, de acuerdo a la información satelital, el viento costero (dentro de las 50 millas náuticas) mostró un debilitamiento sostenido por debajo de lo normal desde mediados del mes de agosto, en particular frente a la costa central y sur, lo que provocó la disminución del afloramiento costero.

Las temperaturas extremas del aire en la costa peruana, predominaron por debajo de su promedio, siendo la temperatura mínima mayor en la costa norte, principalmente en la región de Lambayeque. En estas dos primeras semanas de setiembre, las temperaturas extremas muestran una tendencia hacia la normalización.

Frente a Paita, a 230 millas náuticas, se observaron condiciones frías por encima de los 50 metros de profundidad durante el mes de agosto, lo cual cambió a condiciones ligeramente cálidas a inicios del mes de setiembre.

Frente a Paita y Chicama, dentro de las primeras 100 millas náuticas de la costa, en agosto se detectaron anomalías

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



IMARPE
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



térmicas de hasta -1°C en la capa de los primeros 50 m de profundidad y condiciones térmicas normales por debajo de esta capa hasta los 500 m. Las condiciones halinas se encontraron en el rango normal en toda la columna de agua. La isoterma de 15°C y la iso-oxígeno de 1 mL/L ascendieron en relación al mes de julio, particularmente frente a Paita y en menor medida frente a Chicama y Callao, en asociación a la llegada de la onda Kelvin fría.

Se observó el rápido avance de aguas oceánicas hacia la costa a una distancia menor de 10 millas náuticas en la primera semana de setiembre frente a Callao, debido al debilitamiento del viento costero.

Por otro lado, las estaciones fijas ubicadas a 10 millas náuticas de la costa indicaron anomalías negativas de -1°C en la primera quincena de agosto, las que tendieron a desaparecer en la segunda quincena, posiblemente asociadas a la llegada de una onda Kelvin cálida débil, así como al debilitamiento del viento costero. De la misma manera, en el litoral peruano se observó el paso de las ondas Kelvin (fría y cálida débil), las cuales provocaron cambios en la temperatura y el nivel del mar.

Las concentraciones de clorofila-a a lo largo de la costa peruana exhibieron valores bajos, que están acorde con su estacionalidad, salvo algunos núcleos de alta productividad en la zona de Callao- Pisco y al norte de Ilo.

En la región sur, el recurso anchoveta se presentó disperso, mostrando una distribución latitudinal desde Ático (16°S) hasta el extremo sur del dominio marítimo y fuera de las 30 millas náuticas de la costa, con las mayores capturas entre Mollendo y Morro Sama. Los indicadores reproductivos, del stock norte-centro de la anchoveta peruana, muestran que los procesos de maduración gonadal y desove siguieron los patrones históricos durante el mes de agosto. Las especies traszonales y oceánicas se presentaron en el norte y más allá de las 50 millas náuticas, mientras que en el centro estuvieron por fuera de las 30 millas náuticas.

Los caudales de los principales ríos de las regiones hidrográficas del Pacífico, Amazonas y Titicaca presentan caudales mínimos del año, propio del periodo de estiaje. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran, en promedio, al 85% y 68% de su capacidad de almacenamiento, respectivamente.

En la costa norte, la temperatura promedio viene favoreciendo el crecimiento vegetativo del arroz; mientras que, en Lambayeque, las temperaturas mínimas continuaron promoviendo el incremento de floración en el mango Kent, por el contrario, en la zona de Piura se observó la caída anormal de frutos cuajados del mango Edward, debido a la persistencia del frío durante el mes de agosto. En la costa sur, las temperaturas con valores normales vienen favoreciendo el inicio de la floración del olivo.

PERSPECTIVAS

El pronóstico de los modelos climáticos internacionales para el Pacífico Ecuatorial Central (región Niño 3.4) y para la región Niño 1+2 (el cual incluye la costa peruana, tal como se observa en la Figura 1) continúa indicando condiciones neutras desde setiembre de 2019 hasta marzo de 2020.

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

Debido a que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, durante el verano austral, el ENFEN proporciona una estimación de las probabilidades de ocurrencia de éstos (ver Tabla 1 y 2) para el próximo verano (diciembre 2019-marzo 2020). El análisis indica que para el Pacífico central (Niño 3.4) son más probables las condiciones Neutras (62%), seguidas de condiciones El Niño débil (20%); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2 que incluye la costa peruana) son más probables las condiciones Neutras (65%), seguidas de condiciones El Niño débil (18%).

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

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

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

Callao, 13 de setiembre de 2019

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

Magnitud del evento diciembre 2019 – marzo 2020	Probabilidad de Ocurrencia
El Niño fuerte –Muy fuerte- moderado	3%
El Niño débil	20%
Neutro	62%
La Niña débil	14%
La Niña moderada– fuerte	1%

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

Magnitud del evento diciembre 2019 – marzo 2020	Probabilidad de ocurrencia
El Niño extraordinario - fuerte – moderado	2%
El Niño débil	18%
Neutro	65%
La Niña débil	14%
La Niña moderada– fuerte	1%



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