



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

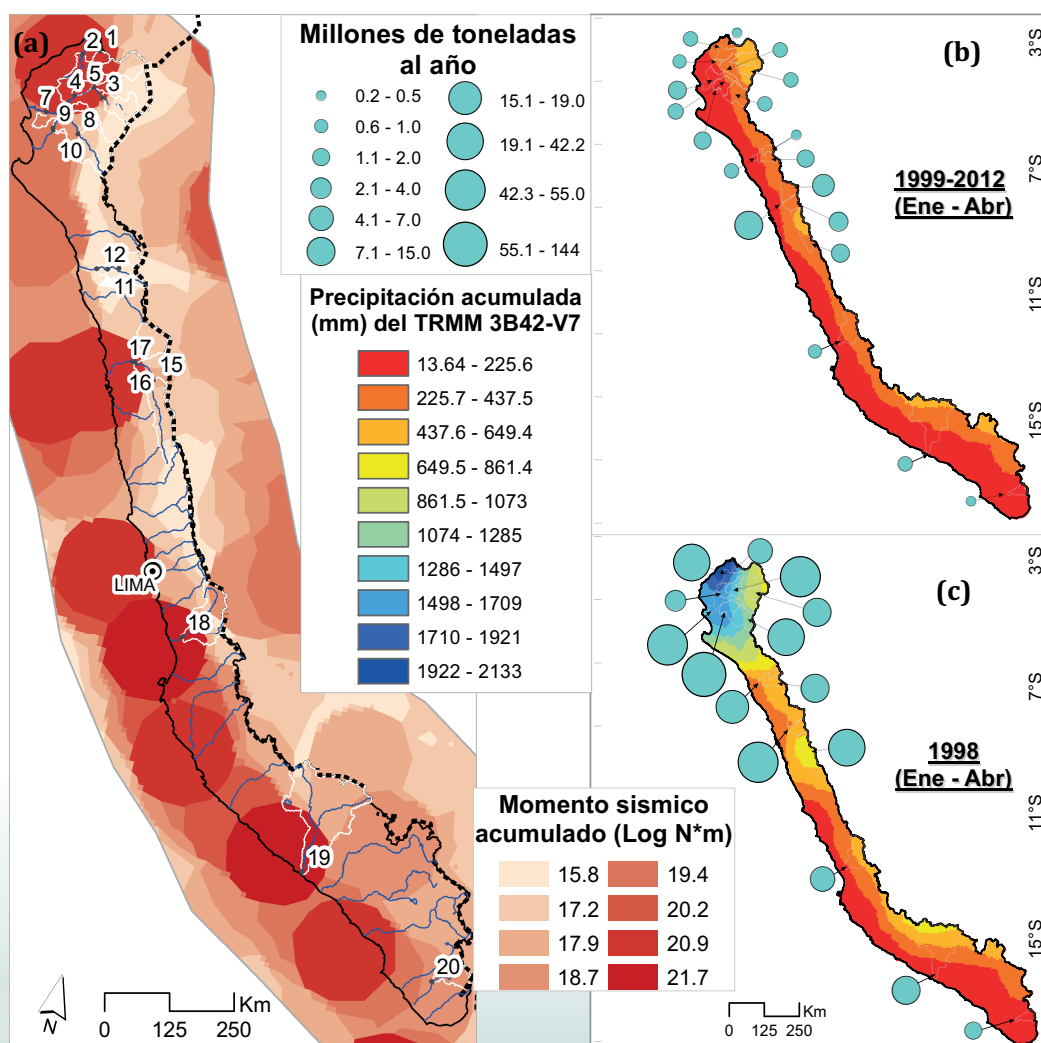


Programa Presupuestal por Resultados N° 068 "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". Producto: "Estudios para la estimación del riesgo de desastres"

"Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño"

Boletín Técnico

Influencia de los sismos y los eventos El Niño extremos (1982-83 y 1997-98) en la producción de sedimentos en la costa peruana



Trabajando para todos los peruanos

Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 7 Artículo de Divulgación Científica

8 - 9 Avances Científicos

10 - 13 Resumen Informe Técnico

14 - 15 Comunicado Oficial ENFEN

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”.

Elsa Galarza

Ministra del Ambiente

Hernando Tavera

Presidente Ejecutivo IGP

Edmundo Norabuena

Director Científico IGP

Jhan Carlo Espinoza

Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Daniel Flores

Director de Geofísica y Sociedad

Kobi Mosquera

Responsable de la elaboración del Boletín El Niño - IGP

Equipo científico: Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura, Andréé Galdós

Edición: Katherine Morón

Diseño y Diagramación: Dante Guerra E.

Carátula: Morera, 2017

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

Impreso por:
IAKOB COMUNICADORES & EDITORES S.A.C.
Telf. (051-1) 296-3911
Dirección: Jr. Ica 435 - Lima

Lima, Diciembre de 2017

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

Introducción

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

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



IGP

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

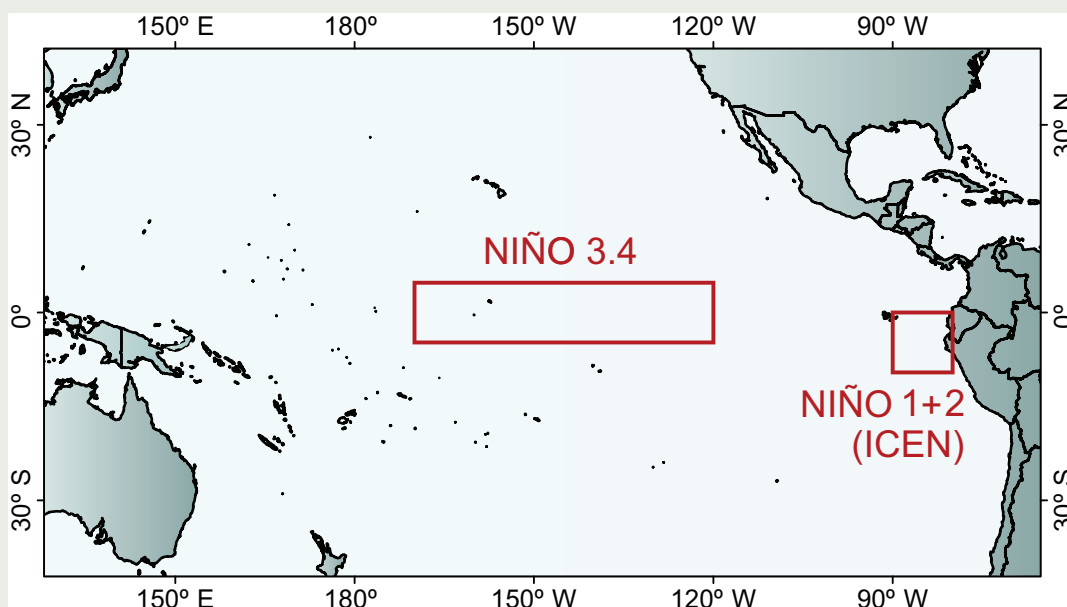
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Artículo de Divulgación Científica

Influencia de los sismos y los eventos El Niño extremos (1982-83 y 1997-98) en la producción de sedimentos en la costa peruana

A escala mundial las zonas críticas de erosión se encuentran en las montañas tropicales donde sismos de gran magnitud y eventos climáticos extremos son frecuentes^{1,2}. Asimismo, numerosos estudios, sobre la erosión a escala global, regional y local, identificaron a la geología^{3,4}, el clima^{5,6} y la actividad antrópica^{7,10} como los principales factores que controlan la erosión y su balance de masas. Esta observación cuestiona el impacto de los eventos extremos, en función a las condiciones normales, en las fuentes y sumideros de erosión en los cinturones de montañas.

Los Andes peruanos occidentales (entre 3°S y 18°S) se ubican en una región altamente sísmica con profundos impactos en el paisaje¹¹. Sismos de gran magnitud ocurren frecuentemente, por ejemplo 9.5°S-1996 (Mw 7.5), 13.3°S-2007 (Mw 8.0), 15.2°S-1996 (Mw 7.7), 16.6°S-2001 (Mw 6.7, 7.5 y 8.4), 17.3°S-2001 (Mw 7.5)^{12,13}, y desencadenan numerosos deslizamientos^{11,14}. Además, esta área cuenta con la presencia recurrente de eventos climatológicos extremos. En los últimos 35 años, Eventos El Niño Extremo (EENE) han afectado el clima, la hidrología y también la sedimentología de las cuencas a lo largo de los Andes y su impacto varía según su posición geográfica. En el centro de Chile (27°-35°S), se observó un incremento del doble de la escorrentía y Producción de los Sedimentos en Suspensión (SSY, por sus siglas en inglés)¹⁵. No obstante, se observaron condiciones secas o caudales bajos y SSY en: el sur de Chile (35-40°S)¹⁶, los Andes bolivianos orientales¹⁷, el noroeste de Colombia (2-11°N)¹⁸ y el noroeste de Venezuela¹⁹. En contraste, en el oeste de Ecuador (1°N-3°S)²⁰ y el noroeste de Perú (3°-5°S)²¹, EENE producen un caudal (Q) y una SSY excepcional de 5.4 y 11 veces el promedio histórico, respectivamente. En consecuencia, las tierras de cultivo, casas, puentes y caminos fueron destruidos, asimismo, las inundaciones y epidemias mataron a miles de personas y animales generando en su conjunto grandes pérdidas económicas¹⁵.

En la vertiente del Pacífico peruano los sistemas montañosos altos son áreas ubicadas a 1000 m sobre el nivel del mar²² que en el lado occidental cubren solo el 7% del territorio peruano y suministran de agua al 64% de los 32 millones de habitantes. Para beneficiarse de este recurso natural, sucesivos gobiernos nacionales han invertido miles de millones



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 en 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 isotopos.

de dólares en la construcción de ocho sistemas hidráulicos multipropósito a lo largo de la costa peruana. Sin embargo, la alta carga de sedimentos en suspensión que se transportan durante los

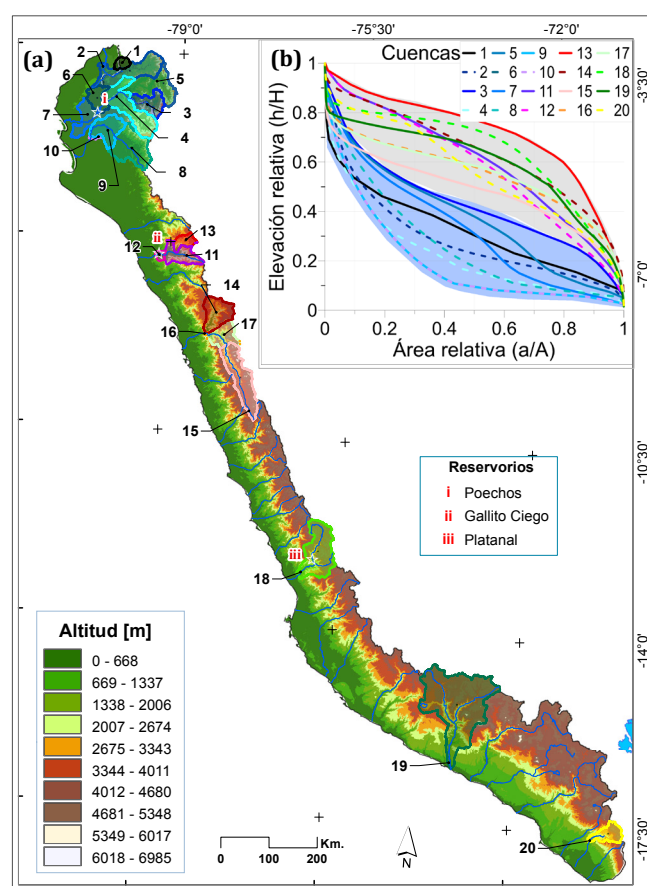


Figura 1: a) Topografía basada en datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) DEM de 90x90m. b) Estado del relieve a partir del gradiente de curvas hipsométricas, cuencas en el norte del Perú muestran un estado viejo de evolución (líneas convexas-fondo azul), mientras cuencas en el centro y sur presentan un estado joven (líneas cóncavas-fondo plomo).

Influencia de los sismos y los eventos El Niño extremos (1982-83 y 1997-98) en la producción de sedimentos en la costa peruana

Morera, S.

EENE afecta los sistemas acuáticos, disminuyen la disponibilidad del agua y facilitan el colapso de las infraestructuras hidráulicas²³. Escenario que podría agravarse, pues estudios mencionan que la recurrencia y la intensidad de los EENE aumentarán durante el calentamiento global y el cambio climático^{24,25}.

A partir de registros en 20 estaciones hidro-sedimentológicas distribuidas a lo largo de la vertiente del Pacífico (Figura 1), la presente investigación propone: (i) identificar la influencia de los sismos y los EENE en la variabilidad espacial y temporal de la producción de los sedimentos, (ii) evidenciar si la geomorfología y los eventos climatológicos extremos están relacionados con la evolución de la costa peruana.

Comportamiento de los caudales y del transporte de sedimentos durante EENE

Fueron analizados a partir de la Función de Distribución Acumulada (CDF, por sus siglas en inglés) basados en el caudal promedio diario de las series históricas (Figura 2a). Se agruparon dos niveles con respecto al promedio histórico (i) caudales altos es decir $Q/(Q_{\text{mean}} > 1)$, y (2) caudales bajos es decir $Q/(Q_{\text{mean}} < 1)$. Para todas las cuencas, la frecuencia de eventos de bajo caudal sigue un comportamiento similar, y no cambia significativamente al comparar períodos normales con EENE. Sin embargo, la frecuencia de los caudales altos aumenta significativamente durante EENE. Este aumento es mayor para las cuencas ubicadas en el norte de Perú (3-7°S, en azul Figura 1) que en el centro y sur de Perú (7-18° S, en rojo Figura 1). De hecho, durante los períodos normales, aproximadamente 90% de los eventos de caudales altos ocurren para $Q/(Q_{\text{mean}} < 2.5)$ para todas las cuencas, mientras que durante los

períodos EENE, 90% de los eventos de descarga diaria ocurren (1) para $Q/(Q_{\text{mean}} < 12)$ u 8 cuando se consideran las estaciones de Ardilla y El Tigre (cuencas septentrionales), respectivamente; o (2) para $Q/(Q_{\text{mean}} < 4)$ cuando se consideran las estaciones Sosci, Condorcerro y La Balsa (cuencas centrales). El mismo análisis se realizó para los flujos de sedimentos en suspensión (Q_s , Figura 2b).

Impacto regional de los sismos y los EENE

Se analizó la distribución espacial de SSY con respecto a la precipitación anual media, incluyendo y excluyendo los años EENE (09/1982 - 08/1983 y 09/1997 - 08/1998). Además, se utilizó la distribución espacial del momento sísmico acumulativo regional como un proxy para inferir el impacto potencial de la sismicidad histórica (1962-2015) en la distribución espacial de las tasas del transporte de sedimentos²⁶. Aunque los principales sismos monitoreados ($M_w > 8$) ocurrieron principalmente en el centro y sur del Perú (8-17.5° S), no hay una correlación espacial obvia entre el momento sísmico y el SSY (Figura 3). De hecho, el momento sísmico acumulado se centra, principalmente, a lo largo de la interfaz de subducción, por debajo de la línea de costa, mientras que el SSY tiende a ser mayor en el este, cerca de la divisoria de la vertiente. Esto sugiere que durante el período monitoreado los terremotos de gran magnitud no fueron factores primarios que influyeron en la producción de sedimentos y la disponibilidad a escala regional en Perú. Sin embargo, la influencia potencial a largo plazo de los terremotos de gran magnitud anteriores al marco temporal del catálogo sísmico es completamente desconocida.

La presencia de los EENE cambia por completo la intensidad y la distribución espacial de la precipitación (Figura 3 a y b). Se observan dos regiones con distintos patrones de precipitación durante el

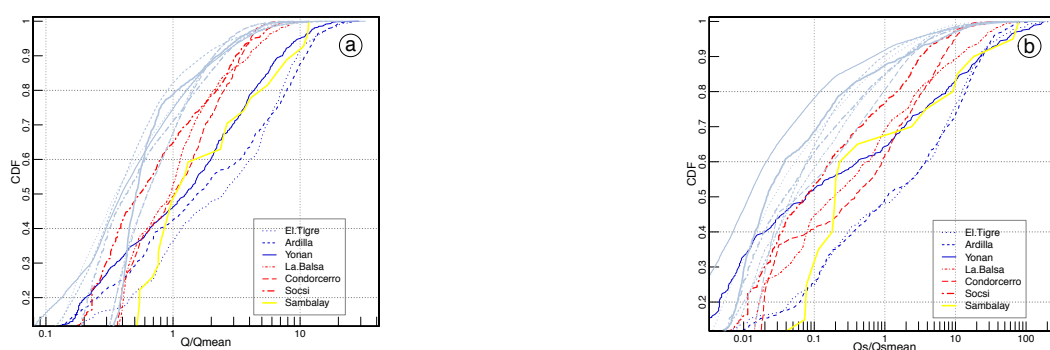


Figura 2: . Normal-Log CDF de los (a) caudales y (b) flujos de sedimentos en suspensión (Q_s), ambos normalizados en base a los promedios históricos. Líneas sombreadas estimadas a partir de las series históricas. Líneas coloreadas estimadas para períodos EENE.

período más lluvioso de los EENE (enero-abril): (i) Perú central y suroccidental (7-18°S), donde ocurre el patrón espacial normal de precipitación, pero con 2 a 4 veces más precipitación que durante años normales en la cabecera de las cuencas (Figura 3b); y (ii) el norte de Perú (3-7°S), donde el gradiente espacial E-O habitual de precipitación se invierte, con más precipitación en el oeste. Durante los EENE, las áreas áridas y semiáridas (0-1100 msnm) experimentan altas precipitaciones (170 veces el promedio histórico). Como consecuencia se observa un aumento muy fuerte en la SSY para las cuencas ubicadas en el norte y centro de Perú (Figura 3b).

Las planicies y zonas áridas tienden a acumular sedimentos durante años normales. Sin embargo, durante los EENE el incremento de la precipitación y la capacidad del transporte fluvial facilitan una alta descarga de sedimentos²⁷. Por ejemplo, las áreas semiáridas entre las estaciones 6 y 7 (3403 km², Figura 1), reciben ~2000 mm/año de precipitación durante EENE, facilitando una producción de 26 Mt/año y 44 Mt/año de SSY para los periodos 1982-83 y 1997-98, respectivamente, en lugar de 4,4 Mt/año durante años normales (Figura 3b y c). Dicha dinámica de la producción de sedimentos está altamente

relacionada la geomorfología de las cuencas: (i) en el norte y centro del Perú la estimación de sus curvas hipsométricas en su totalidad “cóncavas” se asocian a planicies aluviales extendidas y relativamente planas en la cuenca media y baja, a diferencia de (ii) las cuencas en el sur, cuyas curvas hipsométricas “convexas” (Figura 1b), muestran llanuras aluviales más empinadas y encañonadas en la cuenca media y baja. Esto ilustra el papel de la topografía para modular la sensibilidad de los flujos de sedimentos entregados al Océano Pacífico.

Conclusiones

Se evidenció que durante años normales la vertiente del Pacífico almacena grandes depósitos de sedimentos, su transporte es limitado por el efecto orográfico y las bajas escorrentías (2.4-25.5 l/km²/año). Además, se verificó que a pesar que la costa peruana es una de las zonas sísmicas más activas del planeta, a escala regional los sismos no controlan la producción de sedimentos.

Finalmente, se documentó que el transporte de sedimentos estaría principalmente controlado por

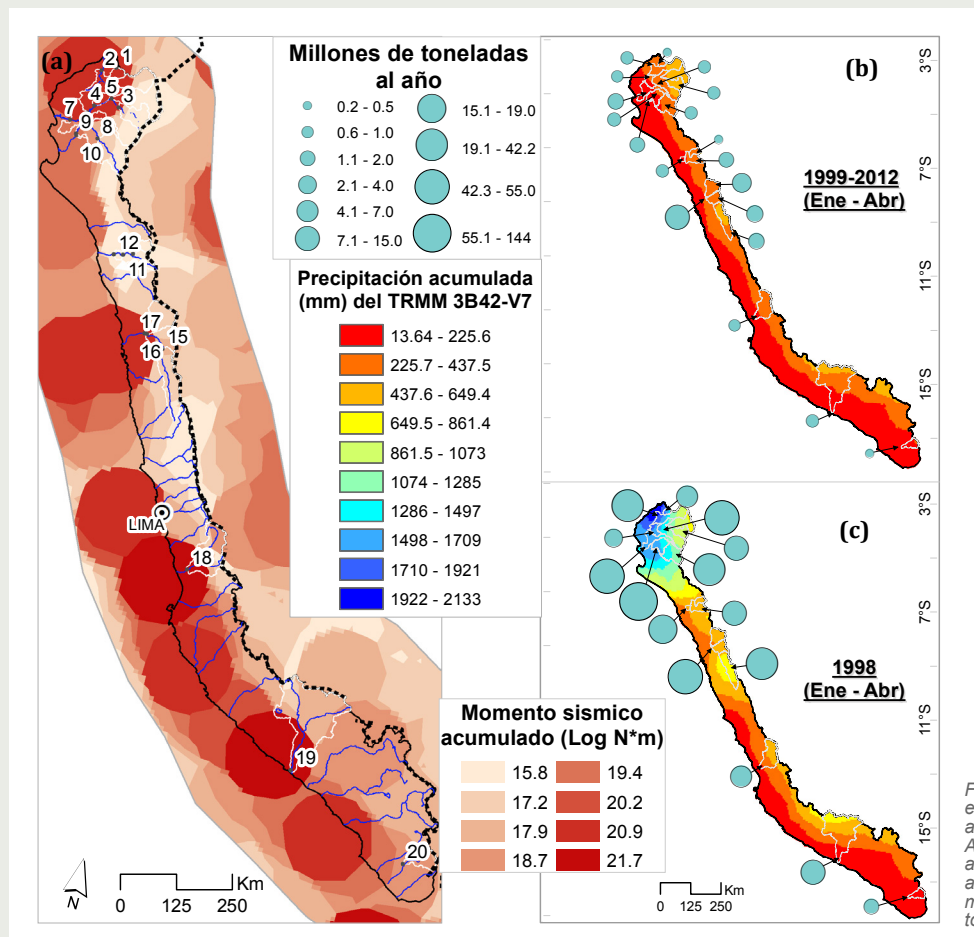


Figura 3. (a) Momento sísmico acumulado para el periodo 1962-2015, para magnitudes mayores a 4.0 Mw. (b) Precipitación acumulada Enero a Abril (1999-2012), no incluye el periodo de enero a abril 1998. (c) Precipitación acumulada de enero a abril (1998). El tamaño de los círculos indica la magnitud del transporte de sedimento en millones de toneladas anual.

Influencia de los sismos y los eventos El Niño extremos (1982-83 y 1997-98) en la producción de sedimentos en la costa peruana

Morera, S.

los EENE, durante dichos eventos la erosión y el transporte de sedimentos son muy variados, incrementándose entre 3 a 60 veces el promedio anual histórico. Según su grado de severidad se dividen en dos grandes regiones geomorfológicas, con un punto de transición a los 7°S. Desde los 7°S al norte del Perú se encuentra la región más impactada, entre el 82-98% es transportado de enero a abril, y solo 3,5 días son suficientes para transportar el promedio anual histórico²⁸.

Referencias

- 1.- Hovius, N. et al. Prolonged seismically induced erosion and the mass balance of a large earthquake. *Earth and Planetary Science Letters* 304, 347-355; DOI:10.1016/j.epsl.2011.02.005 (2011).
- 2.- Lee, T.-Y. et al. Magnified Sediment Export of Small Mountainous Rivers in Taiwan: Chain Reactions from Increased Rainfall Intensity under Global Warming. *PLoS ONE* 10, e0138283; DOI:10.1371/journal.pone.0138283 (2015).
- 3.- Pinet, P. & Souriau, M. Continental erosion and large-scale relief. *Tectonics* 7, 563-582; DOI:10.1029/TC007i003p00563 (1988).
- 4.- Sklar, L. S. & Dietrich, W. E. Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock. *Geology* 29, 1087-1090; DOI:10.1130/0091-7613(2001)029<1087:sarsco>2.0.co;2 (2001).
- 5.- Darby, S. E. et al. Fluvial sediment supply to a mega-delta reduced by shifting tropical-cyclone activity. *Nature* 539, 276-279; DOI:10.1038/nature19809 (2016).
- 6.- Peizhen, Z., Molnar, P. & Downs, W. R. Increased sedimentation rates and grain sizes 2-4[thinsp]Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates. *Nature* 410, 891-897; DOI:10.1038/35073504 (2001).
- 7.- Syvitski, J. P. M., Vörösmarty, C. J., Kettner, A. J. & Green, P. Impact of human on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science* 308, 376-380; DOI:10.1126/science.1109454 (2005).
- 8.- Walling, D. E. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology* 79, 192-216; DOI:10.1016/j.geomorph.2006.06.019 (2006).
- 9.- Dai, Z., Fagherazzi, S., Mei, X. & Gao, J. Decline in suspended sediment concentration delivered by the Changjiang (Yangtze) River into the East China Sea between 1956 and 2013. *Geomorphology* 268, 123-132; DOI:10.1016/j.geomorph.2016.06.009 (2016).
- 10.- Morera, S. B. et al. Pertinent spatio-temporal scale of observation to understand suspended sediment yield control factors in the Andean region: the case of the Santa River (Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 4641-4657; DOI:10.5194/hess-17-4641-2013 (2013).
- 11.- Keefer, D. K. & Moseley, M. E. Southern Peru desert shattered by the great 2001 earthquake: Implications for paleoseismic and paleo-El Niño–Southern Oscillation records. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101, 10878-10883; DOI:10.1073/pnas.0404320101 (2004).
- 12.- Bilek, S. L. Invited review paper: Seismicity along the South American subduction zone: Review of large earthquakes, tsunamis, and subduction zone complexity. *Tectonophysics* 495, 2-14; DOI:10.1016/j.tecto.2009.02.037 (2010).
- 13.- Bilek, S. L. & Ruff, L. J. Analysis of the 23 June 2001 Mw = 8.4 Peru underthrusting earthquake and its aftershocks. *Geophysical Research Letters* 29, 21-21-21-24; DOI:10.1029/2002GL015543 (2002).
- 14.- McPhillips, D., Bierman, P. R. & Rood, D. H. Millennial-scale record of landslides in the Andes consistent with earthquake trigger. *Nature Geosci* 7, 925-930; DOI:10.1038/ngeo2278 (2014).
- 15.- Kober, F. et al. Denudation rates and a topography-driven rainfall threshold in northern Chile: Multiple cosmogenic nuclide data and sediment yield budgets. *Geomorphology* 83, 97-120; DOI:10.1016/j.geomorph.2006.06.029 (2007).
- 16.- Montecinos, A. & Aceituno, P. Seasonality of the ENSO-Related Rainfall Variability in Central Chile and Associated Circulation Anomalies. *Journal of Climate* 16, 281-296; DOI:10.1175/1520-0442(2003)016<0281:SOTERR>2.0.CO;2 (2003).
- 17.- Aalto, R. et al. Episodic sediment accumulation on Amazonian flood plains influenced by El Niño/Southern Oscillation. *Nature* 425, 493-497; DOI:10.1038/nature02002 (2003).
- 18.- Restrepo, J. D. & Kjerfve, B. Magdalena river: interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sediment load estimates. *Journal of Hydrology* 235, 137-149; DOI:10.1016/S0022-1694(00)00269-9 (2000).
- 19.- Warne, A. G. et al. Regional controls on geomorphology, hydrology, and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology* 44, 273-307; DOI:10.1016/S0169-555X(01)00179-9 (2002).
- 20.- Armijos, E. et al. Yields of suspended sediment and dissolved solids from the Andean basins of Ecuador. *Hydrological Sciences Journal* 58, 1478-1494; DOI:10.1080/02626667.2013.826359 (2013).
- 21.- Tote, C. et al. Effect of ENSO events on sediment production in a large coastal basin in northern Peru. *Earth Surf. Process. Landforms* 36, 1776-1788; DOI:10.1002/esp.2200 (2011).
- 22.- Barsch, D. & Caine, N. The Nature of Mountain Geomorphology. *Mountain Research and Development* 4, 287-298; DOI:10.2307/3673231 (1984).
- 23.- Morera, S. B., Crave, A. & Guyot, J. P. in 13th International Symposium on River Sedimentation (ISRS 2016). (Taylor & Francis Group, (eds S. Wiprecht et al.) 82 (2016).
- 24.- Cai, W. et al. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Clim. Change* 4, 111-116; DOI:10.1038/nclimate2100 (2014).
- 25.- Widlansky, M. J. et al. Changes in South Pacific rainfall bands in a warming climate. *Nature Clim. Change* 3, 417-423; DOI:10.1038/nclimate1726 (2013).
- 26.- Dadson, S. J. et al. Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature* 426, 648-651; DOI:10.1038/nature02150 (2003).
- 27.- Fryirs, K. (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms* 38, 30-46; DOI:10.1002/esp.3242 (2013).
- 28.- Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P. & Guyot, J. L. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). *Scientific Reports* 7, 11947; DOI:10.1038/s41598-017-12220-x (2017).

Relación entre el Pacífico Ecuatorial Occidental y la temperatura subsuperficial del mar en la costa peruana

Andrés Rodríguez y Kobi Mosquera
Instituto Geofísico del Perú

La onda Kelvin cálida (downwelling Kelvin wave) es una perturbación en el océano Pacífico que puede alterar el desarrollo estacional de distintas variables oceánicas (ver Mosquera, 2014). Regionalmente se tiene entendido que cuando una onda Kelvin cálida arriba al Perú, esta incrementa el nivel del mar y la profundidad de la termoclina y, en consecuencia, puede afectar el afloramiento de aguas frías y ricas en nutrientes (Barber y Chávez, 1983). Adicionalmente, si la onda Kelvin cálida arribara en la estación de verano, en donde climatológicamente la Temperatura Superficial del Mar (TSM) alcanza sus máximos valores, entonces podría contribuir a incrementar la TSM, y por ende la humedad, hasta valores que pueden generar precipitaciones intensas en la costa peruana (Woodman y Takahashi, 2014). Adicionalmente, si bien se puede establecer su tiempo de llegada a la costa peruana luego de ser formada, existen procesos físicos en el océano que pueden afectar sus características (Mosquera y Dewitte, 2016). Frente a esto es importante conocer más detalles de la dinámica de la onda Kelvin y, además, cómo ésta impacta en la costa peruana.

La relación entre la variabilidad en el Pacífico ecuatorial oriental y la variabilidad entre el Pacífico occidental han sido estudiados por varios autores (Anderson et al., 1984; Picaut y Verstraete, 1976; Enfield y Lukas, 1984; Spillane et al., 1987; Enfield, 1987). Todos ellos hacen referencia a la Oscilación Madden Julian (MJO, por sus siglas en inglés), siendo la MJO uno de los componentes de la variabilidad intraestacional tropical de la atmósfera, además ellos han encontrado en variables oceanográficas oscilaciones próximas a las de la MJO. Lo que llevó a la búsqueda de variables coherentes o relacionadas entre sí para intentar saber cuál es el precursor o forzante de las variables. Picaut y Verstraete (1976) encontraron una fuerte coherencia para una oscilación de banda de 40-50 días entre el nivel del mar en la costa y la TSM en el Golfo de Guinea. Luther (1980) encontró una señal de propagación de 35-80 días en el nivel del mar en las islas del Pacífico ecuatorial. Particularmente para el Perú, Enfield y Lukas (1984) observaron una oscilación de 45 días en el nivel del mar que estuvo bien correlacionada con la oscilación intraestacional de los vientos zonales del Pacífico occidental. Spillane et al. (1987) encuentran una oscilación de 40-60 días en el nivel de mar en el Pacífico ecuatorial que va desde el centro del Perú hasta el norte de California, para el periodo de 1971-1975. Enfield (1987), aplicando la misma metodología que Spillane et al. (1987), extiende la búsqueda de la fuente de energía, coherencia, propagación y forzante en el Pacífico ecuatorial de ese modo comprueba si la oscilación oceánica está relacionada con su contraparte atmosférica.

Este estudio tiene como objetivo entender cuáles son las forzantes en el Pacífico ecuatorial occidental para la costa peruana, siguiendo la metodología de Spillane et al. (1987) y la de Enfield (1987). Además, motivados por la hipótesis que la contraparte atmosférica se manifiesta en la temperaturas subsuperficiales del Perú, evaluamos si existe una coherencia en la señal de 40-60 días entre la temperatura sub superficial en tres puntos de la costa de Perú; Paita, Callao, Matarani, y la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E y el esfuerzo de viento zonal en 147°E. Los resultados de este trabajo contribuirán al entendimiento de la dinámica oceánica en la costa peruana, en especial, cuando se desarrolla un evento El Niño y La Niña.

Datos y Metodología

Por el momento se decidió trabajar con el Sistema Mundial de Datos Oceánicos (GODAS, por sus siglas en inglés), el cual proporciona información oceánica global asimilando datos observados, como boyas, flotadores, etc. Se usó las pentadas de esfuerzo de viento zonal y la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E en el ecuador, se escogió 147°E porque, según Enfield (1987), esta región está dentro de la mayor varianza explicada (50%-70%) para la señal de vientos de 40-57 días. Además se escogió tres puntos a lo largo de la costa del Perú; Paita, Callao, Matarani y sus perfiles de temperatura en profundidad. Todos estos datos se trabajaron para el periodo 1982-2015.

Para calcular la coherencia de las series, primero, se tienen que calcular las anomalías. Para ello se calcularon las climatologías mensuales de la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E, el esfuerzo de viento en 147°E, también en los puntos en la costa, considerando además que cada punto en profundidad es tratado como una serie de tiempo particular, luego las series se interpolan en el tiempo para conseguir la climatología diaria, y así poder restar el dato del modelo menos la climatología diaria para el mismo día y quedarnos con la anomalía.

Antes de calcular la coherencia, calculamos el autoespectro a cada serie (no mostrado) donde observamos picos significativos alrededor de la banda de 40-60 días, sobre todo para el Callao. Luego, con estos espectros calculamos la coherencia (ver Enfield, 1987) entre la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C y el esfuerzo de viento zonal en 147°E y los tres puntos de la costa en profundidad. Todos los resultados del cálculo de la coherencia están con un nivel de confianza del 90%.

Resultados preliminares

De acuerdo al análisis de coherencia espectral los valores próximos a uno son los que presentan una buena relación de coherencia entre las frecuencias. En cuanto a la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E, en Paita (Fig. 1a) se presenta en los primeros 100 metros de profundidad una buena coherencia pero estas se encuentran por encima de los 200 días, posiblemente relacionadas con oscilaciones estacionales, sin embargo entre los 200 y 300 metros de profundidad se concentran valores de 0.75 de coherencia en la banda de 40 a 50 días aproximadamente, además en toda la profundidad de Paita se observan oscilaciones muy altas. En el Callao (Fig. 1b) presenta una coherencia de 0.8 para la banda de 40-60 días entre los 200 y 300 metros de profundidad, además de observar altas coherencias para periodos por debajo de los 35 días desde los 400 m hasta los 1200 m de profundidad. Matarani (Fig. 1c), presenta altas coherencias en para frecuencias altas y bajas sin embargo, la banda de 30-60 días es la que presenta una configuración particular y con valores de coherencia altos (> a 0.75).

En cuanto al esfuerzo de viento zonal en Paita (Fig. 1d) y Callao (Fig. 1e) claramente se observa que los valores altos de coherencia se presentan entre los periodos de 30-60 días, a una profundidad entre los 200 y 400 metros. Para Matarani (Fig. 1f), la coherencia disminuye un poco y aparecen valores de coherencia por encima de 0.5 desde los 200 m hasta los 1200 metros de profundidad, además hay un alta coherencia para la banda de 20-50 días alrededor de los 400 metros.

Relación entre el Pacífico Ecuatorial Occidental y la temperatura subsuperficial del mar en la costa peruana

Andrés Rodríguez y Kobi Mosquera
Instituto Geofísico del Perú

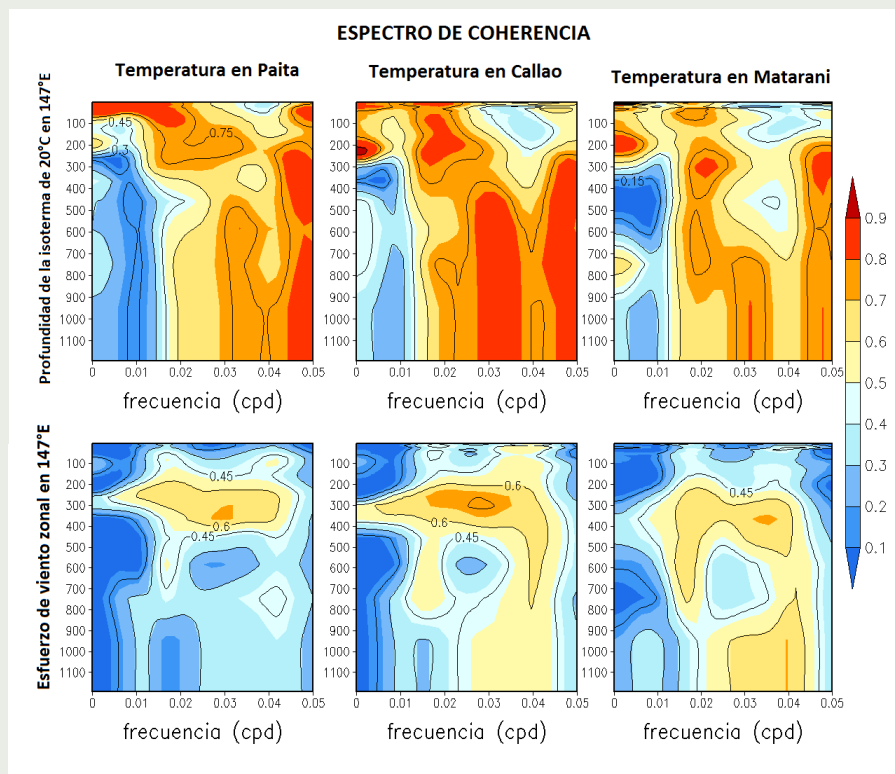


Figura 1: Espectro de Coherencia, mostrado en frecuencia de ciclos por día (cpd), en el perfil la profundidad en los tres puntos de la costa. (a) Coherencia espectral entre la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E y la temperatura subsuperficial en Paita. (b) Coherencia espectral entre la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E y la temperatura subsuperficial en Callao. (c) Coherencia espectral entre la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E y la temperatura subsuperficial en Matarani. (d) Coherencia espectral entre el esfuerzo de viento en 147°E y la temperatura subsuperficial en Paita. (e) Coherencia espectral entre el esfuerzo de viento en 147°E y la temperatura subsuperficial en Callao. (f) Coherencia espectral entre el esfuerzo de viento en 147°E y la temperatura subsuperficial en Matarani. La escala de la coherencia se ubica a la derecha.

En resumen, la señal intraestacional de la profundidad de la isoterma de 20°C en 147°E de la banda de 30-60 días del Pacífico occidental, no se manifiesta claramente con la temperatura subsuperficial de la franja costera, a pesar de presentar altos valores de coherencia estos se ven superpuestos por otras frecuencias, sin embargo en los tres puntos hay una alta coherencia para la banda de 40-60 días entre los 200 y 400 metros de profundidad. En cuanto a la señal intraestacional del esfuerzo de viento zonal, esta se manifiesta de manera más clara en la temperatura subsuperficial de la franja costera. Esto estaría apoyando nuestra hipótesis indicando que la variabilidad en la franja costera subsuperficial estaría siendo forzado por la contraparte atmosférica en el Pacífico occidental.

Queda pendiente realizar el mismo procedimiento para periodos más cortos, además de realizarlo con otras fuentes de datos.

Referencias

- Anderson, J.R., D. E. Stevens and P. R. Julian, 1984: Temporal variation of the tropical 40-50 day oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 2431-2438.
- Barber, R.T. y Chavez, F.P., 1983: Biological consequences of El Niño. *Science* 222, 1203-1210.
- Enfield, D. B., and R. B. Lukas, 1984: Low-frequency sea level variability along the South American Coast in 1982-83. *Trop. Ocean-Atmos. Newslett.*, 28, 2-4.
- Enfield, D. B., 1987: The intraseasonal oscillation in the eastern Pacific sea level: How is it forced?. *J. Phys. Oceanogr.*, 17: 1860-1876.

Madden, R. A., and P. R. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind field in the tropical Pacific., *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708.

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.

Mosquera, K., B. Dewitte and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1002/2014JC010044.

Mosquera, K., y B. Dewitte, 2016: ¿Por qué las ondas Kelvin oceánicas no impactaron tanto la TSM en la costa de Perú durante el evento El Niño 2015/16?, Boletín Técnico "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño", Vol. 3, No. 3, Marzo, Instituto Geofísico del Perú.

Picaut, J., and J. M. Verstraete, 1976: Mise en évidence d'une onde de 40-50 jours de période sur les côtes de Guinée. *Cah. O. R. S. T. O. M., ser. Oceanogr.*, 14, 3-14.

Spillane, M. C., D. B. Enfield and J. S. Allen, 1987: Intra-seasonal oscillation in the sea level along the west coast of Americas. *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 313-325.

Woodman, R. y Takahashi, K., 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", Instituto Geofísico del Perú, Junio, 1, 6, 4-7.

Autoridades de Piura y Tumbes recibieron capacitación sobre El Niño 2017



Representantes del IGP, SENAMHI, CENEPRED e INDECI Piura, en el taller "El Niño 2017" realizado en la ciudad de Piura.

El Instituto Geofísico del Perú -IGP organizó en Piura y Tumbes del 16 al 17 de agosto, el taller "El Niño 2017".

Esta capacitación tuvo como finalidad compartir los conocimientos científicos desarrollados por el IGP y las demás instituciones que conforman la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).

El evento se realizó en el marco del Programa Presupuestal por Resultados 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", y contó con la participación del Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), el Instituto del Mar del Perú (Imarpe), Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de

Desastres (Cenepred), el Gobierno Regional de Piura e instituciones académicas.

Durante el taller se realizaron las presentaciones a cargo del Dr. Ken Takahashi, investigador científico del IGP con el tema "El Niño en el Perú: Definiciones, mecanismos, impactos y predicción", la ponencia "Lluvias extremas en la costa norte bajo el contexto del Niño costero 2017" por el Ing. Hector Yauri, hidrometeorólogo del SENAMHI, "El fenómeno El Niño costero 2017 y sus consecuencias" a cargo del Coronel en retiro Orizon Perez del INDECI



Dr. Ken Takahashi, explicando los impactos del fenómeno El Niño en la ciudad de Piura.

Talleres “El Niño 2017”



Dr. Takahashi atendiendo a los medios de comunicación en Piura

Piura, “La prevención y reducción del riesgo de desastres frente a la ocurrencia de un FEN costero” a cargo de la Ing. Luz Gallo, coordinadora de enlace regional de CENEPRED Piura y “El Niño costero 2017 y sus impactos en la pesquería”, por el Ing. Luis Vasquez, investigador científico del IMARPE.

Asimismo, en la ciudad de Tumbes se realizaron las ponencias “El Niño 2017 y los impactos en los recursos hidrobiológico” a cargo de la Dra. Marilú Bouchon, investigadora principal del área de dinámica de poblaciones del IMARPE con el tema “Situación del Fenómeno El Niño costero 2017 en la región Tumbes, niveles de atención en la gestión reactiva en los procesos de

preparación, respuesta y rehabilitación” por el Ing. Oscar Ortiz, especialista de gestión de riesgo de desastres del INDECI Tumbes, respectivamente.

Cabe destacar que los taller contaron con la presencia de representantes locales, autoridades regionales, entidades públicas y organizaciones no gubernamentales, entre otros.



Representantes del IGP, IMARPE y Cenepred en el taller “ El Niño 2017 “ en la ciudad de Tumbes.



Dr. Ken Takahashi (IGP), Orizon Perez (Indeci Piura), Ing. Mariela Gallo (Cenepred) con los asistentes representantes de instituciones públicas, académicas y autoridades de la ciudad de Piura.

Docentes de Instituciones educativas recibieron capacitación sobre El Niño 2017 en Chiclayo

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) realizó el viernes 24 de noviembre el Taller “**El Niño 2017**” en la ciudad de Chiclayo, el cual contó con la asistencia de más de 140 docentes de diferentes instituciones educativas de la región Lambayeque.

Dicha capacitación se realizó en el marco del Programa Presupuestal por Resultados 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, y tuvo como finalidad compartir los conocimientos científicos que realiza el IGP y demás instituciones que conforman la comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).

Durante el taller se realizaron las presentaciones a cargo del Dr. Kobi Mosquera, investigador científico del IGP con el tema “*El Niño en el Perú: Definiciones, mecanismos, impactos y predicción*”, la Mgtr, Alejandra Martínez, investigadora científica del IGP “*Agenda de investigación sobre impactos socioeconómicos de eventos El Niño en la costa norte peruana*”, la Dra. Marilú Bouchon, Investigadora principal del área de dinámica de poblaciones de IMARPE, con el tema “*Efectos de El Niño sobre los recursos hidrobiológicos en el mar peruano con énfasis en El Niño 2017*”, el Ing. Eduardo Portugués, especialista en sistemas de información geográfica y geomática (CENEPRED) con el tema “*Escenarios de riesgo durante la emergencia del Niño Costero y su importancia para la toma de decisión*” y el Ing. Marco Yarlaque, especialista en Gestión de Riesgos de



Representantes del IGP, SENAMHI, CENEPRED e INDECI Chiclayo, en el taller “El Niño 2017” realizado en la ciudad de Chiclayo.

Talleres “El Niño 2017”



Representantes del IGP, SENAMHI, CENEPRED e INDECI Chiclayo, en el taller “El Niño 2017” realizado en la ciudad de Chiclayo.

Gobierno Regional de Lambayeque, Banco Central de Reserva de Piura, SUNASS, Universidad de Lambayeque, entre otros.

Asimismo, durante la tarde el Dr. Mosquera brindó una capacitación sobre el fenómeno El Niño a más de 200 profesores y directores de la región Lambayeque en el auditorio principal del colegio Santa María Reina en la ciudad de Chiclayo.

Desastres del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) con “Impacto del FEN Costero 2017 en la región Lambayeque : acciones de preparación, respuesta y rehabilitación. Prospectiva de la Gestión del Riesgo de Desastres en Lambayeque”.

Cabe destacar que al taller también asistieron representantes del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Proyecto Especial Olmos, Municipalidades distritales,



Representantes del IGP, SENAMHI, CENEPRED e INDECI Chiclayo, en el taller “El Niño 2017” realizado en la ciudad de Chiclayo.



Dr. Kobi Mosquera capacita a directores y profesores de la región Lambayeque



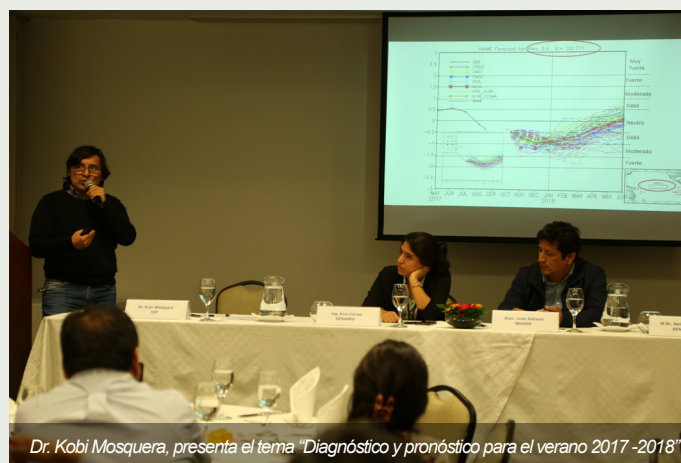
Dr. Kobi Mosquera (IGP) y el Ing. Marco Yarlaque (INDECI) junto a docentes de la región Lambayeque.

Científicos analizaron perspectivas de El Niño y La Niña para el verano 2017/2018

El Instituto Geofísico del Perú- IGP realizó el martes 05 de diciembre el taller “**Perspectivas de El Niño y La Niña para el verano 2017/2018**”. En este evento algunas instituciones que conforman la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional sobre el Fenómeno El Niño (ENFEN), entre ellas el Instituto Geofísico del Perú, compartieron información sobre las condiciones actuales del océano y atmósfera, así como sus perspectivas y potenciales escenarios para el verano 2017/2018.

El taller tuvo por objetivo explicar sobre las condiciones oceánicas y atmosféricas actuales en la región del Pacífico Tropical y qué se espera para el verano 2017/2018.

Además, se expusieron temas sobre las precipitaciones en el Perú durante los eventos La Niña, así como los aspectos meteorológicos que se dieron en febrero del año 2008, los cuales produjeron una de las lluvias más fuertes en la región de Piura.



Finalmente se explicará sobre la pesquería durante un evento La Niña costera.

Las presentaciones estuvieron a cargo del Dr. Kobi Mosquera, investigador científico del IGP con el tema “*Diagnóstico y pronóstico para el verano 2017- 2018*”, la Ing. Kris Correa, especialista en climatología del SENAMHI, “*Impactos de La Niña del Pacífico central sobre las lluvias en los Andes y Amazonía*”, el M.Sc. Nelson Quispe,



Talleres “El Niño 2017”



Dr. Kobi Mosquera (IGP), Ing. Kris Correa (SENAMHI), Blgo. José Salcedo (IMARPE) y el M.Sc. Nelson Quispe (SENAMHI)

Subdirector de la Subdirección de Predicción Meteorológica del SENAMHI “*Las lluvias de febrero del 2008*” y el Blgo. José Salcedo, representante de IMARPE con el tema “*La pesca durante La Niña Costera*”.

Finalmente, se organizó una mesa de prensa donde los representantes de SENAMHI, Instituto Geofísico del Perú- IGP y el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) capacitan a periodistas de Agencia de Noticias Andina, Willax Televisión, Diario Correo y radio Nacional sobre los impactos del fenómeno La Niña y El Niño.

Cabe destacar que el taller se realizó en el marco del Programa Presupuestal por Resultados 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”.



El M.Sc. Nelson Quispe (SENAMHI) explica a los medios de comunicación sobre los impactos de La Niña costera.



Mesa de prensa con los medios de comunicación Agencia Andina, Diario Correo, Willax Televisión y radio Nacional.



© 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:

