

Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

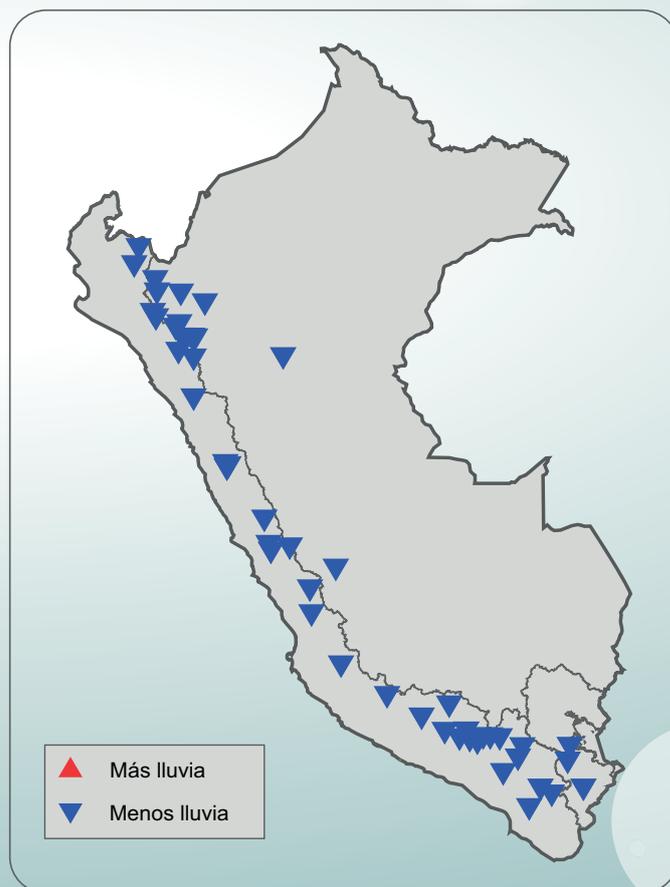
"Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"

Boletín Técnico

Impactos de diferentes tipos de El Niño en las lluvias en el Perú



El Niño en el Pacífico Oriental



El Niño en el Pacífico Central

Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú

Introducción

A nivel internacional, el fenómeno El Niño es considerado como el primer modo de variabilidad climática interanual tanto en los trópicos como a escala global (Ropelewski y Halpert, 1987). Durante las últimas décadas, algunos autores han descrito los impactos de los eventos El Niño sobre las lluvias en el Perú, generalmente enfocándose en regiones específicas y con un número limitado de estaciones pluviométricas. Estos estudios han mostrado que si bien las lluvias en la costa norte están estrechamente relacionadas con la temperatura superficial del mar (TSM) costera (ej. Woodman, 1999; Takahashi, 2004), los comportamientos de las precipitaciones en los Andes presentan correlación inversa, aunque moderada, pero mayormente con la TSM en el Pacífico ecuatorial central (Lagos et al., 2008; Silva et al., 2008; Lavado et al., 2012). Debido a esto, los impactos de El Niño y La Niña en el Perú dependerán del tipo de estos eventos (ver Takahashi et al., 2011 y Takahashi, 2014).

Adicionalmente, recientes trabajos han documentado el rol de La Niña y teleconexiones atmosféricas asociadas en las intensas precipitaciones y elevados caudales en la cuenca amazónica peruana (Espinoza et al., 2012; Espinoza et al., 2013). Los autores muestran que las teleconexiones de las condiciones frías en el Pacífico central asociadas a La Niña generan un incremento del transporte de humedad proveniente del Atlántico tropical norte y del Mar Caribe hacia el oeste de la cuenca amazónica. Estos mecanismos se traducen en un incremento de la convergencia del transporte de humedad en dicha zona, como ocurrió durante noviembre 2011 y abril de 2012, produciendo el caudal más elevado que se tenga registro en el río Amazonas.

En el presente artículo se sintetiza el estado del conocimiento sobre la influencia de los diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias en el Perú a la escala anual. En números posteriores de este boletín se profundizará este tema en detalles, como la estacionalidad de los impactos de El Niño/La Niña, sus efectos no-lineales, etc.

Índices de El Niño/La Niña y las lluvias a nivel nacional

En el estudio de Lagos et al. (2008) se utilizaron datos



Ph. D. Waldo S. Lavado Casimiro
Encargado de la Dirección de Hidrología Aplicada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

Ph. D. en Hidrología de la Université Paul Sabatier Toulouse III, Toulouse, Francia e Ingeniero Agrícola y M. Sc. en Ingeniería de recursos hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Actualmente es encargado de la Dirección de Hidrología Aplicada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), donde se desempeña como especialista en climatología e hidrología. Forma parte del Observatorio de Investigación en medio ambiente ORE-HYBAM, sobre los grandes ríos amazónicos. Es autor y revisor de diversos artículos científicos de revistas indexadas nacionales e internacionales y recientemente su investigación está enfocada en el modelado hidrológico, estudios hidro-climáticos y en aplicación de herramientas de sensoramiento remoto en hidrología.

de estaciones pluviométricas en aeropuertos proporcionados por CORPAC y se calcularon correlaciones con los índices de TSM tradicionales, denominados Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, donde la primera es adyacente a la costa de Perú y las demás corresponden a regiones del Pacífico ecuatorial cada vez más alejadas de la costa. Considerando

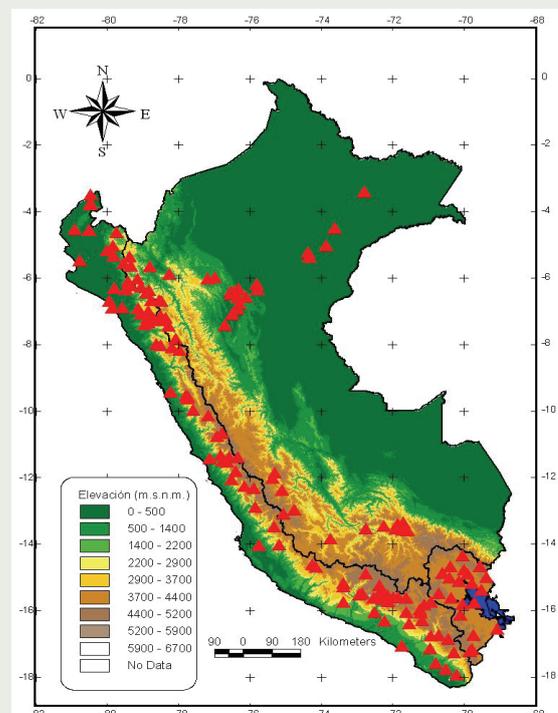


Figura 1. Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas en el presente estudio (85 estaciones en la vertiente del Pacífico, 49 en la vertiente del río Amazonas y 21 en la vertiente del lago Titicaca). La información es disponible para el periodo 1965-2007.

Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú

Lavado W. & Espinoza J. C.

Ph. D. Jhan Carlo Espinoza
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú



Ph.D. en Ciencias del Medio Ambiente de la Université Pierre et Marie Curie, París, Francia e Ingeniero Agrícola y M.Sc. en Ingeniería de recursos hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú (IGP), donde se desempeña como especialista en clima e hidrología de la cuenca amazónica. Es autor de numerosos artículos científicos y es revisor de revistas internacionales. Desde 2004 forma parte del Observatorio de Investigación en medio ambiente ORE-HYBAM y recientemente su investigación está enfocada en la dinámica del clima y sus impactos en los eventos hidrológicos extremos en la región tropical y en la cuenca del río Amazonas.

Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), para el periodo 1965-2007, distribuidas en las tres vertientes hidrográficas del Perú (Figura 1): 85 sobre la vertiente del Pacífico (VP), 21 sobre la vertiente del Titicaca (VT) y 49 sobre la vertiente Amazónica (VA). Además, con la finalidad de discriminar bien la influencia de diferentes regiones en el Pacífico ecuatorial sobre la variabilidad pluviométrica en el territorio peruano, los autores usaron dos índices oceánicos recientemente definidos que sintetizan la variabilidad del Pacífico ecuatorial central (índice C) y la del Pacífico ecuatorial oriental (índice E) y que son, por construcción, no correlacionados entre sí (Takahashi et al., 2011; datos en <http://www.met.igp.gob.pe/datos/EC.txt>). Los resultados de Lavado y Espinoza (2014) muestran que existe una correlación directa y significativa al 95% entre el calentamiento costero (índice E) y las lluvias a lo largo de toda la costa peruana, pero también en los Andes occidentales en la parte norte, mas no en el resto de la región andina (Figura 2a). Por otro lado, la correlación es inversa y significativa al 95% entre el calentamiento en el Pacífico central (índice C) y las lluvias en todos los Andes occidentales, así como en algunas estaciones en el Altiplano y los Andes orientales (Figura 2b). Estos resultados indican que El Niño costero (valores positivos del índice E) está asociado a más lluvia de lo normal en toda la región costera y los Andes nor-occidentales, mientras que El Niño en el Pacífico central (índice C positivo) se relaciona con menos lluvia de lo normal en la región andina y amazónica. Los impactos de un evento El Niño costero y un evento El Niño central son opuestos en los Andes nor-occidentales, por lo que el resultado neto de un evento El Niño dependerá del patrón

los índices Niño 1+2 y 4, se obtuvieron mapas de correlación similares, correlaciones positivas en la costa norte y negativas en el Altiplano, lo cual refleja que estos índices Niño tienen similitudes en sus comportamientos. Sin embargo, las correlaciones son mayores en la costa norte con Niño 1+2 y en el Altiplano con Niño 4, lo cual sugiere que estos impactos son los más directos.

Lavado y Espinoza (2014) revisitaron el problema utilizando una base de datos pluviométrica bastante más extensa constituida de 155 estaciones del Servicio

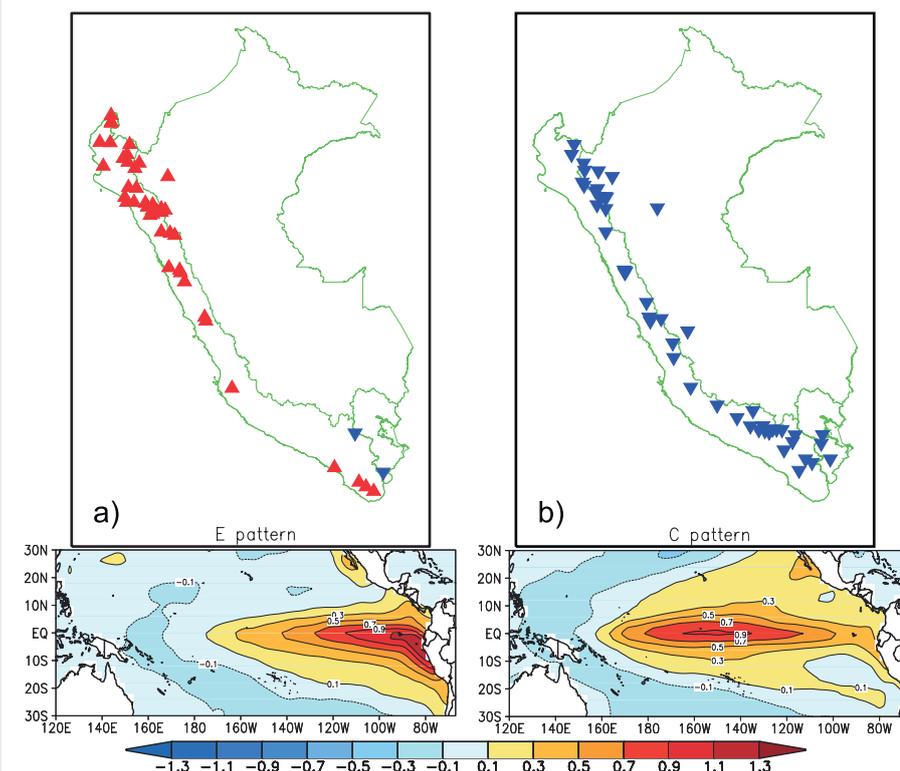


Figura 2. Correlaciones significativas al 95% entre las lluvias anuales y los valores medio anuales de a) índice E y b) índice C. Los triángulos rojos representan correlaciones positivas y los triángulos azules representan correlaciones negativas. Abajo se observan los patrones de anomalía de TSM ($^{\circ}\text{C}$) correspondientes a un valor unitario del índice E (izquierda) y C (derecha). Para mayores detalles sobre los índices E y C, ver Takahashi (2014) y Takahashi et al. (2011).

espacial del calentamiento del mar, que es más diverso de lo que antes se pensaba (ver Takahashi, 2014).

Principales modos de variabilidad pluviométrica interanual y anomalías de temperatura superficial del mar

Otro enfoque para entender los patrones espaciales de las variaciones de las lluvias es la técnica de componentes principales (CPs) o funciones ortogonales empíricas (EOF, Dillon and Goldstein, 1984). Lavado y Espinoza (2014) usaron los datos pluviométricos de SENAMHI y aplicaron la técnica de CPs con el objetivo de identificar los principales modos de la variabilidad espacio-temporal de las lluvias en el Perú durante el periodo 1965-2007. Adicionalmente, los autores relacionaron las principales CPs con la variabilidad de la TSM del Pacífico ecuatorial utilizando tanto los índices E y C, como la TSM global y el Índice de Oscilación Sur (IOS). El IOS representa variaciones atmosféricas de gran escala en el Pacífico y normalmente se relaciona con El Niño central.

Lavado y Espinoza (2014) muestran que el principal modo de variabilidad de las lluvias (CP-1, Figura 3a) explica el 37% de la variancia de las precipitaciones y está asociado a las variaciones de la TSM en el Pacífico este (Figura 3c), en particular a las fuertes anomalías positivas ocurridas en los dos eventos El Niño extraordinarios (1983 y 1998), durante los cuales se produjeron:

i) Abundantes lluvias en la costa peruana, especialmente en la costa Norte (Figura 3b). Este fenómeno ha sido tradicionalmente asociado con una alta anomalía positiva de la TSM de la región cercana a la costa norte y un incremento de vientos del oeste de bajo nivel sobre la costa norte del Perú, lo cual favorece la convección en el flanco oeste de los Andes (Takahashi et al., 2004).

ii) Menos precipitación en la cuenca amazónica (Figura 3b) asociada a un debilitamiento de los vientos alisios del noreste y un incremento del Low-Level Jet al este de los Andes (Marengo et al., 2004), lo cual produce una divergencia del flujo de humedad en el oeste de la cuenca amazónica, como mostrado en Espinoza et al. (2011) para el caso de 1998.

Por otro lado, el segundo modo de variabilidad de las precipitaciones (CP-2) explica el 25% de la variancia total de las lluvias en el Perú (Figura 3d). Los valores altos de CP-2 están asociados a condiciones más frías de lo normal en el Pacífico ecuatorial central (eventos La Niña, Figura 3f).

Estos eventos producen más lluvias de lo normal en los Andes y en la cuenca amazónica (Figura 3e). Además, valores altos del CP-2 corresponden a años de crecidas excepcionales del río Amazonas (1971, 1986, 1989, 1999) como fue documentado en Espinoza et al. (2013). Condiciones frías en el Pacífico ecuatorial central, asociadas a La Niña, influyen las precipitaciones de la cuenca amazónica mediante procesos de teleconexión y generan un tren de ondas en la altura de geopotencial a 850 hPa, con anomalías positivas sobre el sur y norte del Atlántico. Estas anomalías favorecen una mayor entrada de humedad hacia el oeste de la cuenca amazónica y una retención de los vientos húmedos en la Amazonía peruana, generando una mayor convergencia de humedad sobre esta región (Espinoza et al., 2013).

Lavado y Espinoza (2014) muestran también que la correlación entre el IOS y el CP1 resulta relativamente modesta ($r=-0.42$), mientras que la variación en la TSM del Pacífico este, sintetizada por el índice E, explica considerablemente mejor la variabilidad del CP-1 ($r=0.86$). Para el caso del CP2, ambos índices IOS y la variación de la TSM del Pacífico central, sintetizada por el índice C, muestran una moderada correlación con las variaciones del CP-2 ($r=0.59$ y $r=-0.53$, respectivamente).

En conclusión, las investigaciones previas orientadas a entender los impactos de El Niño/La Niña en las lluvias en el Perú muestran la importancia de considerar al menos estas dos variedades de El Niño (tipo E y tipo C) para comprender los impactos que puede tener este fenómeno en las lluvias a nivel nacional. Asimismo, los índices E y C resultan atractivos para sintetizar la variabilidad de la TSM en el Pacífico y el índice E está bien correlacionado con el principal modo de variabilidad de las precipitaciones en el Perú. Las correlaciones entre la variabilidad de las lluvias en la región andina, la VT y la VA, con el IOS y el índice C no alcanzan valores muy altos, lo cual sugiere que existen otros factores climáticos (no necesariamente en el Pacífico) que podrían explicar la variabilidad pluviométrica en estas regiones.

Recientemente, diversos estudios muestran que existen otros componentes regionales que presentan teleconexiones significativas con las lluvias en el Perú, como por ejemplo la TSM en el Atlántico tropical (Silva et al., 2008; Espinoza et al., 2009, Espinoza et al., 2011 y Lavado et al., 2012), y, en conjunto con la circulación atmosférica, permiten explicar los extremos hidrológicos en la región andina y en la cuenca amazónica peruana. Estos temas serán tratados en detalle en números posteriores del presente boletín.

Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú

Lavado W. & Espinoza J. C.

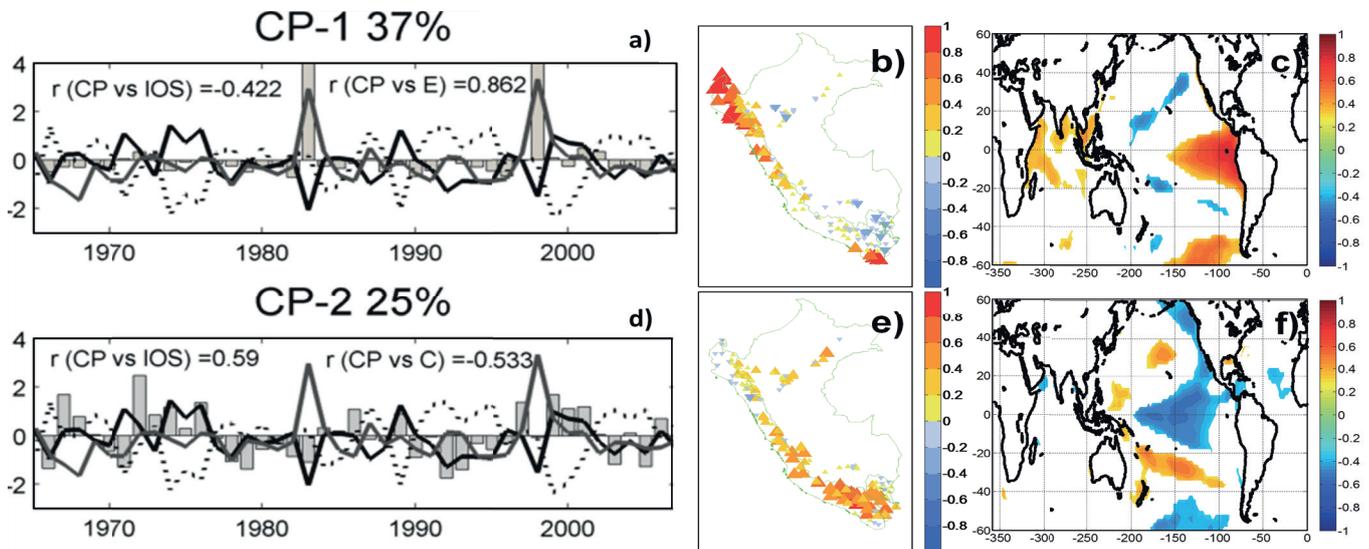


Figura 3. Valores anuales (septiembre a agosto) para el período 1965-2006 de a y d) Componentes principales 1 y 2 (barras grises) versus IOS (línea negra), E (línea gris) y C (línea punteada), solo los r (coeficiente de correlación) significativos son mostrados; b y e) muestran "loadings" de los componentes principales y la temperatura superficial del mar (TSM).

Referencias

- Dillon, W., and M. Goldstein, 1984: *Multivariate Analysis. Methods and applications*, John Wiley and Sons editors, 157-186.
- Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, N. Filizola, L. Noriega, C. W. S. Lavado, R. Pombosa, 2009: Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador), *International Journal of Climatology*, 29: 1574-1594.
- Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas, P. Vauchel, C. W. S. Lavado, G. Drapeau, R. Pombosa, 2011: Climate variability and extremes drought in the upper Solimões River (Western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought, *Geophysical Research Letters*, 38 L13406, doi:10.1029/2011GL047862.
- Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas, P. Vauchel, C. W. S. Lavado, G. Drapeau, R. Pombosa, 2012: From drought to flooding: understanding the abrupt 2010-2011 hydrological annual cycle in the upper Solimões River (Western Amazon basin), *Environmental Research Letters*, 7 (2): 024008, doi:10.1088/1748-9326/7/2/024008.
- Espinoza, J. C., J. Ronchail, F. Frappart, C. W. S. Lavado, W. Santini, J. L. Guyot, 2013: The major floods in the Amazonas River and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970 – 2012 period: A focus on the 2012 flood, *Journal of Hydrometeorology*, doi: 10.1175/JHM-D-12-0100.1.
- Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, and K. Mosquera, 2008: El Niño-related precipitation variability in Perú, *Adv. Geosci.*, 14: 231-237.
- Lavado, C. W. S., J. Ronchail, D. Labat, J. C. Espinoza, J. L. Guyot, 2012: A basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969-2004) Pacific, Titicaca and Amazonas drainages, *Hydrological Sciences Journal*, 57(4):1-18, doi:10.1080/02626667.2012.672985.
- Lavado, C. W. S., y J.C. Espinoza, 2014: Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), *Revista Brasileira de Meteorologia*, aceptado.
- Marengo, J. A., W. Soares, C. Saulo, and M. Nicolini, 2004: Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability, *J. Climate*, 17, 2261-2280.
- Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, 1987: Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, 115(8): 1606-1626.
- Silva, Y., K. Takahashi, R. Chávez, 2008: Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes), *Advances In Geosciences*, 14: 261-264.
- Takahashi, K., 2004: The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997 – 1998 and 2002 El Niño, *Annales Geophysicae*, 22: 3917-3926.
- Takahashi, K., 2014: Variedades de El Niño, *Boletín mensual "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, No. 2, Febrero, Instituto Geofísico del Perú, 4-7.
- Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, and B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L10704, doi: 10.1029/2011GL047364.
- Woodman, R. F., 1999: Modelo estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la costa norte del Perú. *El Fenómeno El Niño. Investigación para una prognosis*, 1er encuentro de Universidades del Pacífico Sur: Memoria, 93-108, Piura-Perú.