



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



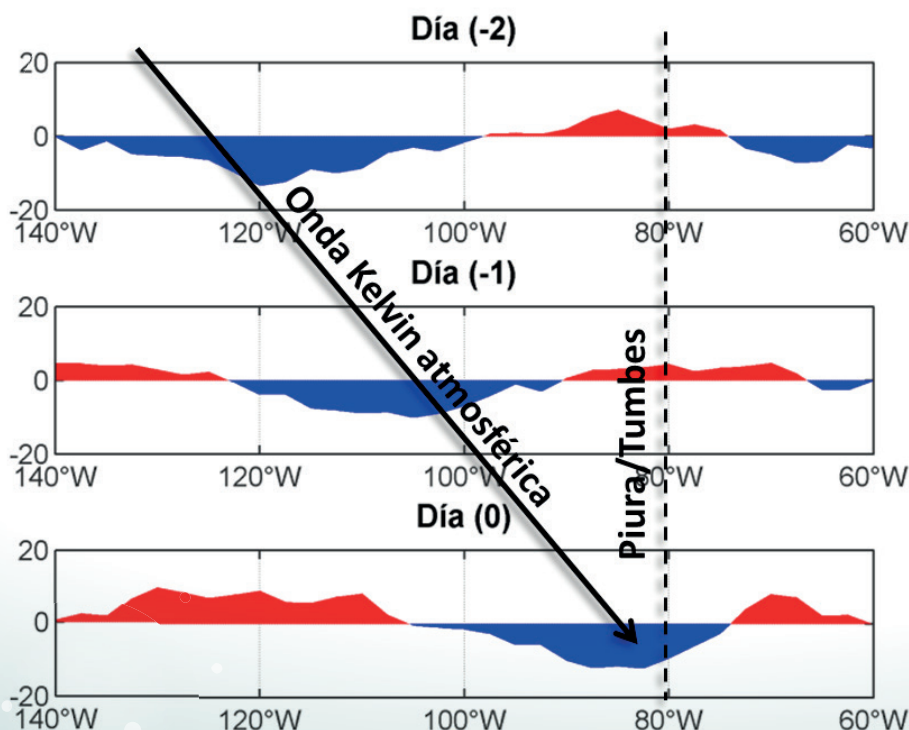
Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

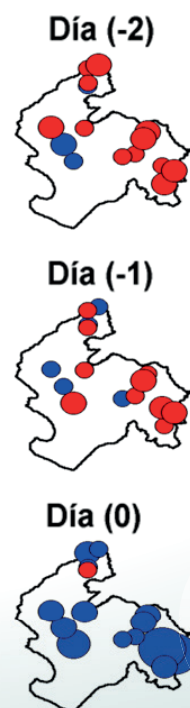
Boletín Técnico

Ondas Kelvin atmosféricas y lluvia en la costa norte durante El Niño 1997 - 98

Nubosidad alta (azul) a lo largo de la línea ecuatorial



Anomalías de lluvia en Piura y Tumbes (azul positivo)



Patrones diarios de precipitación y su relación con la circulación atmosférica durante eventos extremos El Niño en la costa norte peruana

Introducción

El Niño puede provocar eventos climáticos extremos en todo el mundo, como las inundaciones y las sequías. En la costa norte peruana, dependiendo de su magnitud, genera intensas lluvias e inundaciones, tal como ocurrió durante los años 1982-83 y 1997-98 donde se produjeron fuertes impactos socioeconómicos. Estos eventos han sido catalogados como de magnitud extraordinaria por el comité del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).

El entendimiento de los procesos físicos, la frecuencia e intensidad de eventos El Niño en un sistema climático cambiante, ha pasado de ser un tema estrictamente científico a un tema del ámbito político, económico y social. A su vez, a raíz de los eventos que produjeron los mayores impactos a nivel mundial, se ha estudiado el rol de las diversas variables climáticas asociadas a este fenómeno. Sin embargo, a pesar de que numerosos estudios han involucrado aspectos a escala global de El Niño, comparativamente, pocos estudios se han enfocado en los aspectos regionales o locales a lo largo de la costa noroeste de Sudamérica (Takahashi, 2004; Douglas et al., 2009).

En el presente artículo se busca comprender las condiciones meteorológicas que favorecen los eventos de precipitaciones intensas dentro de un evento El Niño. Para ello se sintetiza el estudio de León (2014), en el cual se realizó un análisis de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones diarias en las regiones de Tumbes y Piura durante los eventos El Niño extraordinario de 1982-83 y 1997-98. Esto permitió determinar la relación entre la ocurrencia de días lluviosos y secos y la circulación atmosférica durante dichos eventos.

Teorías sobre la generación de lluvias extremas en la costa norte peruana

El análisis de la circulación atmosférica asociada a precipitaciones intensas durante el evento El Niño 1997-98 fue ejecutado por Takahashi (2004) y Douglas et al. (2009), quienes propusieron dos teorías sobre la generación de lluvias extremas en la costa norte peruana. Takahashi (2004) menciona la existencia de una cuasi-periodicidad de presencia de lluvias de una semana durante los periodos de diciembre de 1982 a febrero de 1983 y diciembre de 1997 a abril de 1998. Según el estudio, un acrecentamiento del flujo de vientos provenientes del oeste en la tropósfera baja sobre Piura durante días lluviosos, parece estar relacionado a ondas atmosféricas ecuatoriales de Kelvin que se infiere que se presentan en un periodo de 7 a 10 días.



Ing. Karen León
Asistente de Investigación
Instituto Geofísico del Perú

Ingeniera Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), con cursos de especialización en variabilidad hidroclimática, sistemas de información geográfica (SIG), y modelación hidrológica e hidráulica. Actualmente trabaja en el Instituto Geofísico del Perú, donde se desempeña como asistente de investigación. Recientemente sus estudios están enfocados en el análisis de aspectos climáticos en la costa norte peruana, como el desarrollo de climatologías y evaluación de eventos extremos meteorológicos.

Douglas et al. (2009) estudiaron la variabilidad sinóptica de la precipitación y la nubosidad sobre la costa norte de Perú y Ecuador durante el evento de 1997-98. A diferencia del estudio de Takahashi (2004), donde se usó la precipitación como indicador de días lluviosos, en este trabajo se emplearon las anomalías del viento zonal (longitudinales). Se obtuvieron ciertos aspectos de la circulación atmosférica para dichas anomalías, comunes incluso durante el periodo de 1990-2005: los vientos del norte sobre el Golfo de México, la circulación ciclónica cerca al este de los Estados Unidos y los vientos del oeste sobre el Pacífico Ecuatorial Este. Por lo cual, ellos sugieren que existe una relación entre los ciclones extratropicales del Hemisferio Norte, los vientos y las variaciones de la precipitación a lo largo de las costas de Perú y Ecuador.

Variabilidad espacio-temporal de la precipitación diaria durante eventos El Niño extraordinarios

Para comprender los patrones espacio-temporales de la precipitación diaria durante los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98, León (2014) aplicó la técnica de Análisis de Componentes Principales, o ACP, usando datos diarios de precipitación provenientes de 29 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) ubicadas en las regiones de Tumbes y Piura (técnica empleada en Mikami, 1988). Posteriormente, al igual que en el estudio de Takahashi (2004), León (2014) seleccionó una serie de días lluviosos y secos para el estudio de la circulación atmosférica. El periodo de análisis fue: enero a mayo de 1983 (15 estaciones) y diciembre de 1997 a mayo de 1998 (29 estaciones).

El principal modo de variabilidad temporal (EOF-1) de las precipitaciones durante los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98 (Figura 1) explica el 19.3% y 23.4% de la varianza, respectivamente. En ambos eventos existe correlación positiva con casi todas las estaciones meteorológicas. Para 1982-83, sólo una estación presenta una correlación con valor de -0.07 . Este primer modo de variabilidad de la lluvia indica que los valores positivos del componente están asociados a periodos lluviosos y los valores negativos a periodos secos en la región de estudio. Por lo tanto, se puede observar que, durante el evento El Niño 1982-83, el periodo más lluvioso se presentó durante marzo a abril de 1983, mientras el mes menos lluvioso fue febrero (Figura 1).

Patrones diarios de precipitación y su relación con la circulación atmosférica durante eventos extremos El Niño en la costa norte peruana

León K.

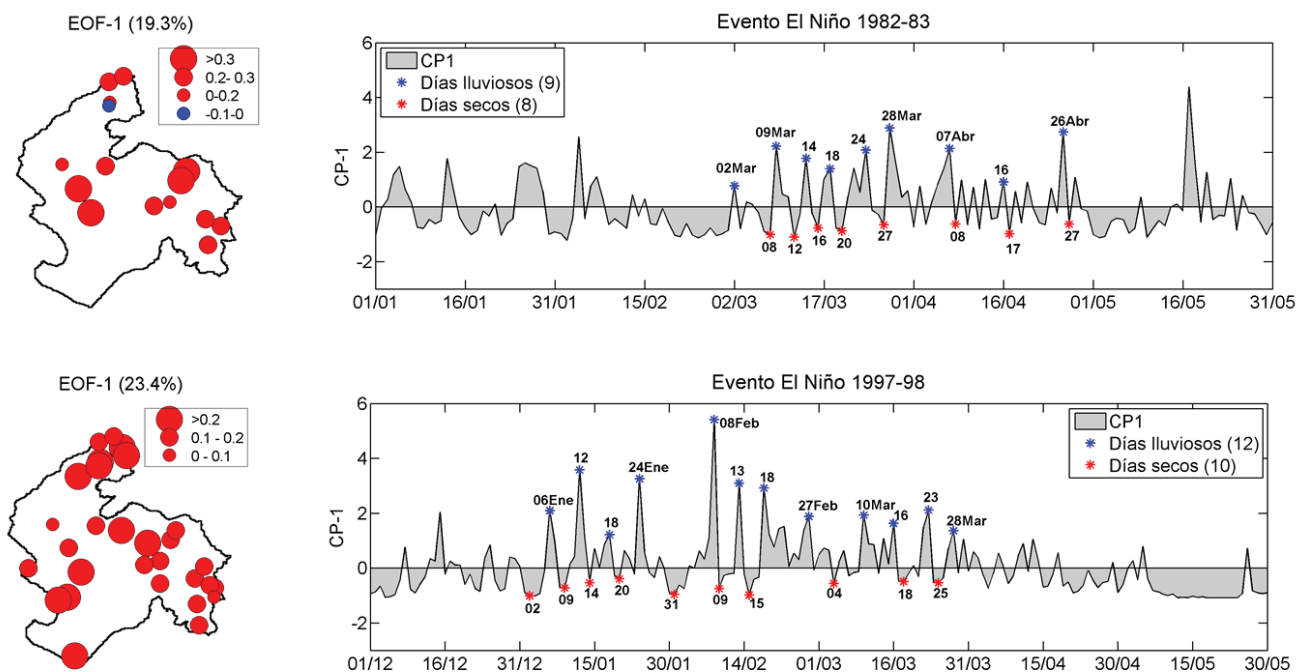


Figura 1. Variación espacial y temporal de la precipitación diaria del EOF-1 durante el evento El Niño 1982-83 (panel superior) y El Niño 1997-98 (panel inferior) (Fuente: León, 2014).

Por otro lado, la precipitación diaria durante el evento El Niño de 1997-98 presenta diferencias a escala temporal, respecto al evento de 1982-83. En la serie temporal del EOF-1 se observa que a partir de la primera semana de mayo de 1998 existe un descenso abrupto de la precipitación diaria. Además, en la zona de estudio, el periodo más lluvioso fue enero-marzo de 1998 (Figura 1).

De la selección de los días lluviosos y secos, se indica un total de 9 días lluviosos y 8 días secos para el periodo marzo-abril de 1983 y un total de 12 días lluviosos y 10 días secos para el periodo enero-marzo de 1998. Asimismo, existe una periodicidad promedio de 7 días entre los días lluviosos para ambos eventos El Niño, lo cual es similar a lo descrito en Takahashi (2004).

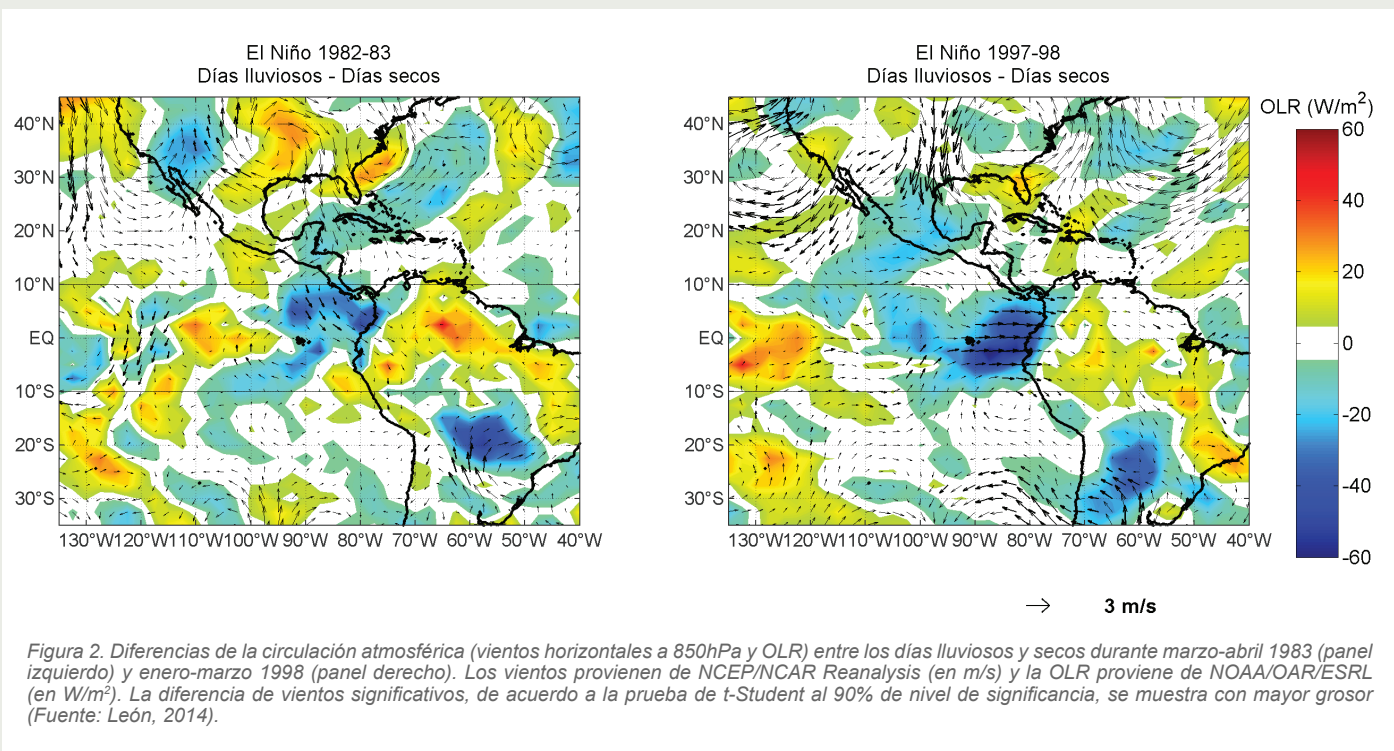
La circulación atmosférica y su relación con la ocurrencia de días lluviosos y secos durante eventos El Niño extraordinarios

León (2014) realizó el análisis de la circulación atmosférica mediante la generación de mapas de los promedios (comúnmente llamados composiciones) de variables climáticas, tanto para los días lluviosos como para los días secos definidos en la Figura 1. Las variables climáticas consideradas fueron la velocidad horizontal de vientos a 850 hPa del proyecto "Reanalysis" del NCEP/NCAR de la NOAA (Kalnay et al., 1996) y la radiación de onda larga saliente

(OLR) obtenida de los satélites de órbita polar del Centro Nacional de Data Climática de la NOAA (Liebmann y Smith, 1996) de los Estados Unidos.

Para resaltar las condiciones atmosféricas que distinguen un evento húmedo de un evento seco, León (2014) elaboró mapas de las diferencias de las condiciones atmosféricas promedio durante los días seleccionados como lluviosos y secos (Figura 2). De ello se obtiene que las anomalías de vientos más significativas durante los días lluviosos del evento El Niño 1982-83 provienen del noroeste de la zona de estudio, entre los 5°S y 10°N. Por otro lado, durante el evento El Niño 1997-98, las anomalías más significativas en los días lluviosos provienen del oeste y se ubican entre los 80°W-90°W y 5°N-10°S. Esta es una diferencia sustancial entre ambos eventos, respecto a la circulación atmosférica para la generación de días lluviosos y secos durante eventos extremos El Niño, aunque no se descartan deficiencias en los datos de Reanalysis.

Por otro lado, se observa mayor actividad convectiva durante los días lluviosos para las regiones de Tumbes y Piura, siendo la diferencia de mayor magnitud para el evento El Niño de 1997-98 que para el evento de 1982-83. Asimismo, en ambos eventos, existe menor actividad convectiva en la Amazonía (noroeste de Brasil) durante los días lluviosos (Figura 2). En efecto, la región amazónica sufrió un déficit de lluvias durante estos eventos (e.g. Espinoza et al., 2011).



Para observar cómo el fenómeno se desenvuelve en el tiempo, León (2014) promedió los valores de las anomalías de OLR y vientos zonales (este-oeste) para la región entre los $10^{\circ}N$ y $10^{\circ}S$ y entre los $140^{\circ}W$ y $60^{\circ}W$ del océano Pacífico (rectángulo central en Figura 2) durante los tres días previos (D-3) y los tres días posteriores (D+3) al día lluvioso considerado como día 0 (D0). Paralelamente, con el objetivo de observar el comportamiento de las lluvias, se calculó las anomalías porcentuales de precipitación tres días antes y tres días después del día considerado como lluvioso (D0) para cada estación meteorológica de la zona de estudio.

De los resultados se observa que, para el evento El Niño 1982-83, la aproximación de la actividad convectiva se presenta de manera mucho más rápida que para el evento El Niño 1997-98 (Figura 3). Para el evento de 1997-98, estas anomalías negativas de OLR (color azul) se observan claramente tres días antes del día lluvioso (D-3) desde los $140^{\circ}W$ y progresivamente se aproximan a la zona de estudio ($80^{\circ}W$) hacia el día lluvioso (D0), mientras que para el evento de 1982-83 la anomalía no presenta un valor muy elevado tres días antes, siendo más claro para el D-2. Sucesivamente desaparece (D-1) y reaparece abruptamente durante el día lluvioso (D0).

Asimismo, se muestran anomalías positivas de vientos zonales (hacia el este) para el evento de 1982-83, las cuales aparentemente propagan la actividad convectiva (Figura 3). Sin embargo, el rol de los vientos zonales no es muy claro para el evento de 1997-98, donde solo se aprecia una anomalía positiva de viento zonal en los $80^{\circ}W$ para el día lluvioso (D0). Por tanto, las anomalías de vientos del oeste son un factor importante para la generación de lluvias muy intensas en la costa norte peruana.

Esta actividad convectiva desata abundante precipitación en la costa norte peruana principalmente en el día considerado

como lluvioso (anomalías porcentuales mayores al 250%; Figura 4). Respecto a la distribución día a día de la precipitación, se observa que antes del día lluvioso (D-1) se inicia la precipitación en la planicie costera, en el día lluvioso (D0) se desarrolla la precipitación en toda la región de estudio y en los días posteriores (D+1 y D+2) la precipitación se localiza principalmente en la parte alta. Este comportamiento es mucho más notorio durante el evento de 1997-98 dada la mayor densidad de estaciones meteorológicas.

Conclusiones

La precipitación diaria en las regiones de Tumbes y Piura durante los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98, presenta una alta variabilidad espacio-temporal con días lluviosos y secos, siendo las anomalías de los vientos provenientes del noroeste (El Niño de 1982-83) y del oeste (El Niño de 1997-98) importantes para la generación de días lluviosos en la costa norte peruana. No obstante, luego de observar los resultados del análisis de la propagación de estas anomalías tres días antes (D-3) y tres días después (D+3) del día lluvioso (D0), se corrobora que los vientos del oeste son los que propician la convección y, por tanto, la precipitación intensa en la zona de estudio.

Para el evento de 1997-98, la propagación de las anomalías de vientos no se presenta en los días previos al día lluvioso tal como se presentó en las anomalías de OLR. En ambos eventos se observa claramente la aproximación de la actividad convectiva a lo largo del Pacífico Ecuatorial Central hacia la costa norperuana, la cual genera las precipitaciones más intensas en el día considerado como lluvioso y precipitaciones menos abundantes en los tres días previos y tres posteriores. Este desplazamiento se produce de manera mucho más rápida durante el evento El Niño 1982-83, mientras que en el evento 1997-98 ocurre de manera

Patrones diarios de precipitación y su relación con la circulación atmosférica durante eventos extremos El Niño en la costa norte peruana

León K.

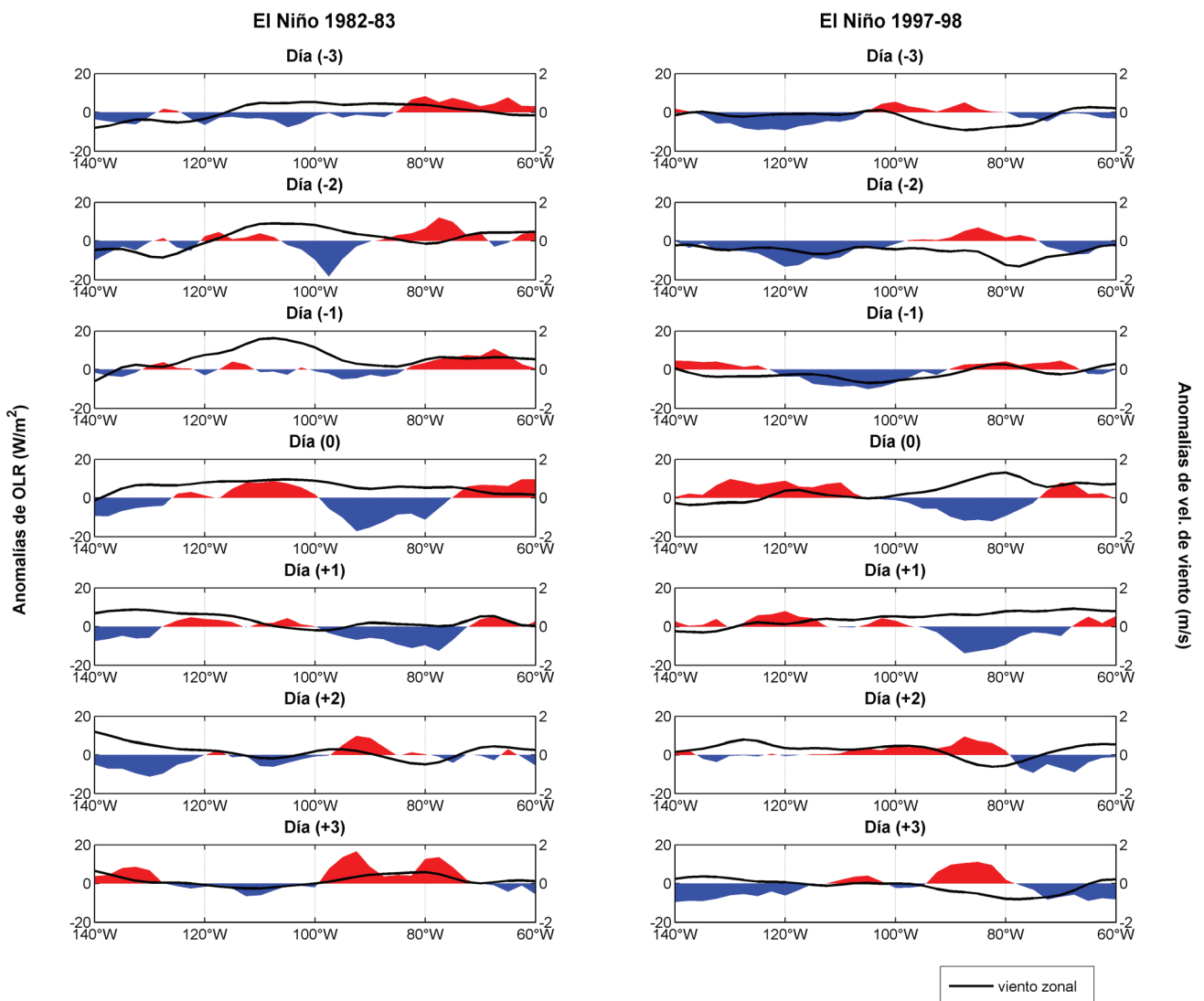


Figura 3. Anomalías de OLR (NOAA/OAR/ESRL) y vientos zonales (NCEP/NCAR Reanalysis) durante días lluviosos menos promedio del periodo (mar83-abr83 y ene98-mar98, respectivamente) tres días antes y tres días después del día lluvioso (D0) entre los 10°N-10°S para el evento El Niño 1982-83 (panel izquierdo) y El Niño 1997-98 (panel derecho). A los 80.5°W se encuentra la costa norte peruana (Fuente: León, 2014).

casi uniforme hacia las regiones de Tumbes y Piura. Por otro lado, la precipitación se genera en dirección oeste-este desde la planicie costera (D-1) hacia la zona de los Andes (D+2).

Estos resultados complementarían y reforzarían la hipótesis propuesta en Takahashi (2004), donde se analizó un solo caso (evento El Niño de 1997-98) y, según la cual, el flujo

de vientos provenientes del oeste en la tropósfera baja en la costa norte peruana estaría relacionado a ondas convectivas ecuatoriales Kelvin. Por otro lado, el rol de los sistemas de latitudes medias del Hemisferio Norte sugerido por Douglas et al. (2009) no fue observado. Finalmente, los resultados encontrados en León (2014) proporcionan bases para la previsión de lluvias intensas asociadas a eventos El Niño extraordinarios en la costa norte del Perú.

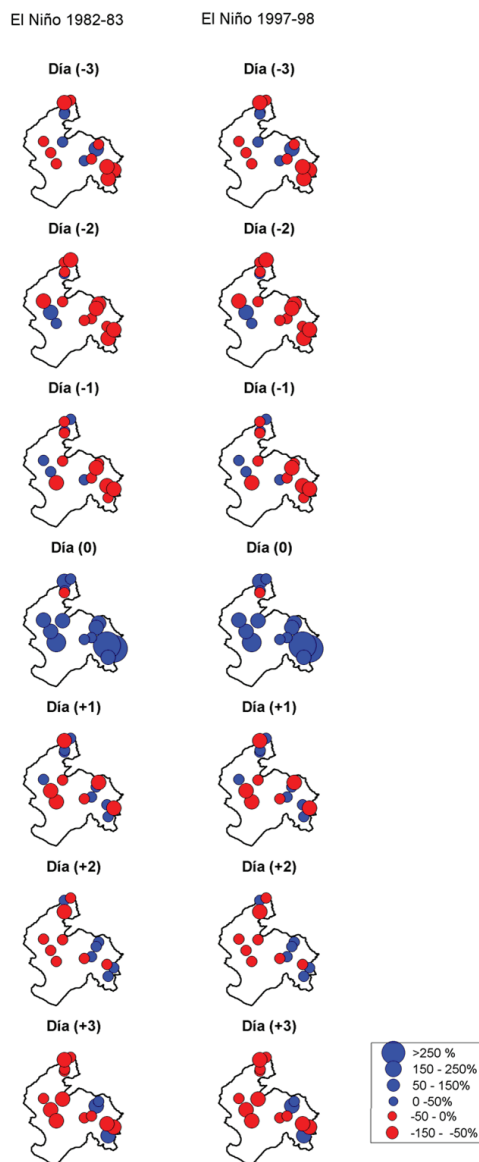


Figura 4. Anomalías porcentuales de precipitación observada tres días antes y tres días después del día lluvioso (D0) para el evento El Niño 1982-83 (panel izquierdo) y El Niño 1997-98 (panel derecho) (Fuente: León, 2014).

Referencias

Douglas, M. W., J. Mejia, N. Ordinola, y J. Boustead, 2009: Synoptic Variability of Rainfall and Cloudiness along the Coasts of Northern Peru and Ecuador during the 1997/98 El Niño event, *Monthly Weather Review*, Vol. 137, pp. 116-136.

Espinoza, J. C., J. Ronchail, J.-L. Guyot, C. Junquas, P. Vauchel, 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*, DOI:10.1029/2011GL047862.

Garreaud R., J. M. Wallace, 1998: Summertime incursions of midlatitude air into subtropical and tropical South America, *Monthly Weather Review*, 126:2713–2733.

Horel, J. D. y Cornejo-Garrido, A. G., 1986: Convection along the coast of northern Peru during 1983: Spatial and temporal variation of clouds and rainfall", *Monthly Weather Review*, 114: 2091–2105.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.

Jones C., L. Carvalho, 2002: Active and break phases in the South American Monsoon system, *Journal of Climate*, 15:905–914.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437–471.

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

Lavado, W. S. y 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.

León, K., 2014: Análisis espacio-temporal de las precipitaciones y caudales durante los eventos el niño (1982-83 y 1997-98) en la costa norte peruana, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Liebmann, B. y Smith, C. A., 1996: Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 1275-1277.

Liebmann B., G. N. Kiladis, J. A. Marengo, T. Ambrizzi, J. D. Glick, 1999: Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone, *Journal of Climate*, 12:1877–1891.

Mikami, T., 1988: Precipitation in northern Peru during the 1982–1983 El Niño: Variations in daily precipitation patterns. *Tropical Rainfall Measurements*, editado por: Theon, J. S. and Fugono, N., Deepak Publishing, pp. 147–150.

Ordinola, N., M. Douglas, H. Yauri, y L. Flores, 2001: Distribución de lluvias en el norte del Perú y sur de Ecuador durante el episodio El Niño 1997-1998, Documento no publicado, p. 24.

Shlens, J., 2005: A tutorial on Principal Component Analysis, Systems Institute for Nonlinear Science, University of California, EE.UU., p. 13.

Takahashi, K., 2004: The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru during 1997-1998 and 2002 El Niño events, *Annales Geophysicae*, 22: 3917–3926.

Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, B. Dewitte, 2011: ENSO Regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophysical Research Letters*, 38, L10704, doi: 10.1029/2011GL047364.

Venegas, S. A., 2001: *Statistical Methods for Signal Detection in Climate*. DCESS, Niels Bohr Institute for Astronomy, Physics and Geophysics, University of Copenhagen, Denmark, DCESS Report #2, p. 96.