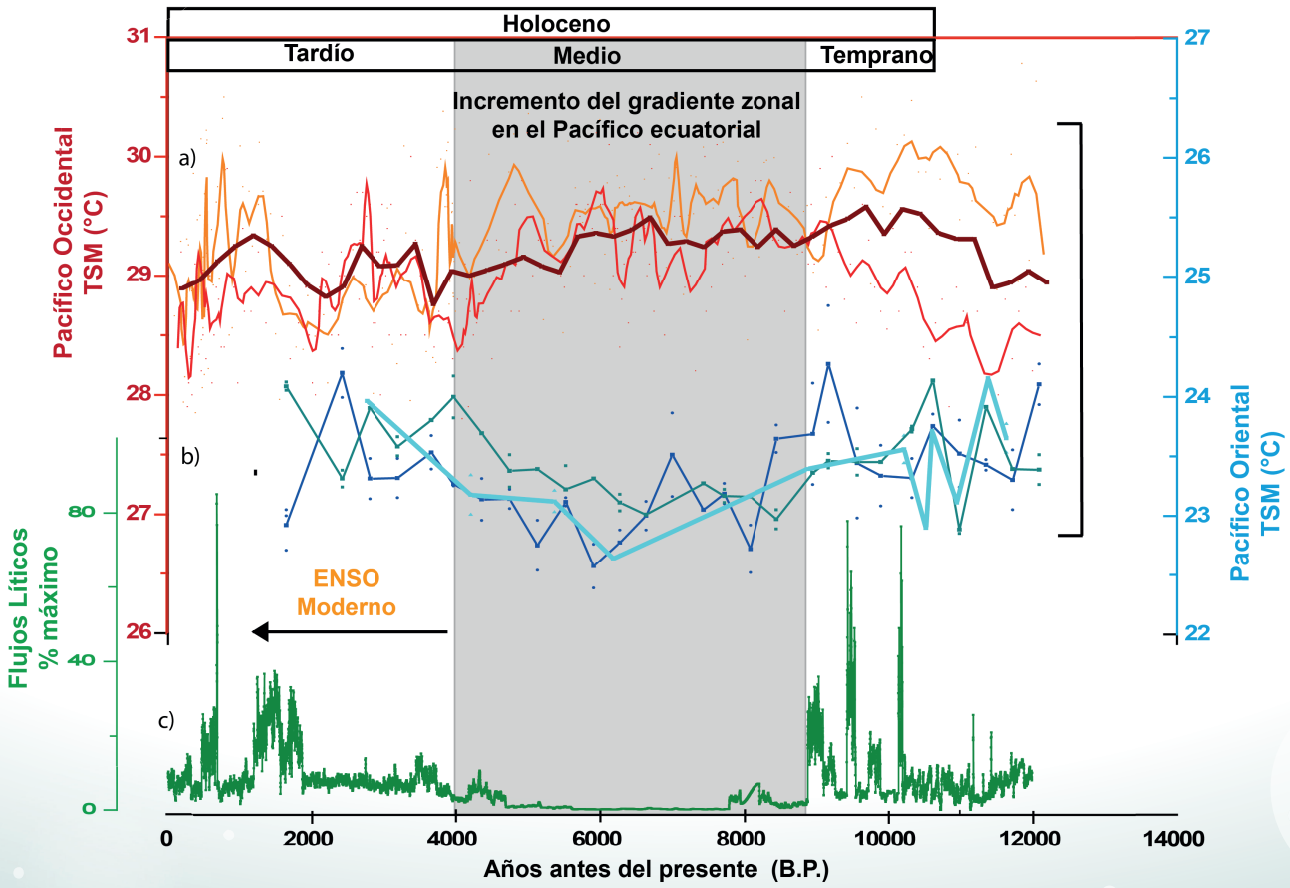
PERÚ Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú - IGP

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

# “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

## Boletín Técnico

## Registros Paleoclimáticos de El Niño en el Holoceno




PERÚ PROGRESO PARA TODOS

Vol. 3 Nº 2 Febrero 2016

# Variabilidad hidroclimática decadal-interdecadal en los Andes sur del perú

*Hans M. Segura, Ing.[1]; Jhan Carlo Espinoza, Dr.[1]; Clementine Junquas, Dra.[2]; Ken Takahashi, Ph.D.[1]*
*[1]Instituto Geofísico del Perú*
*[2]IRD/UGA/CNRS/G-INP, LTHE UMR 5564, Grenoble, Francia.*

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

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

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

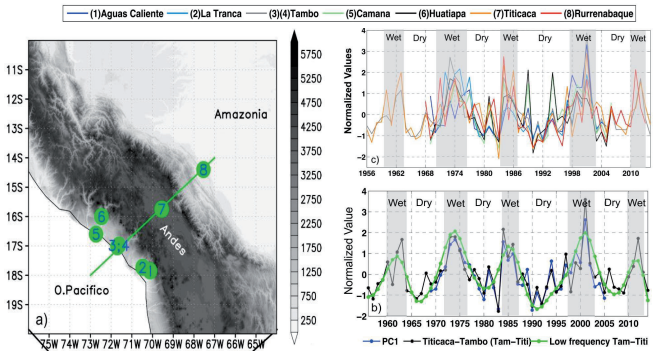



*Figura 1. a) Ubicación de las estaciones hidrológicas utilizadas en este estudio. b) Series hidrológicas anuales (promedio enero a marzo) normalizadas de las siete series de datos analizadas. c) Serie normalizada del promedio de Tambo y Titicaca (Tam-Titi; línea negra) y la serie filtrada con periodos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

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

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

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

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

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

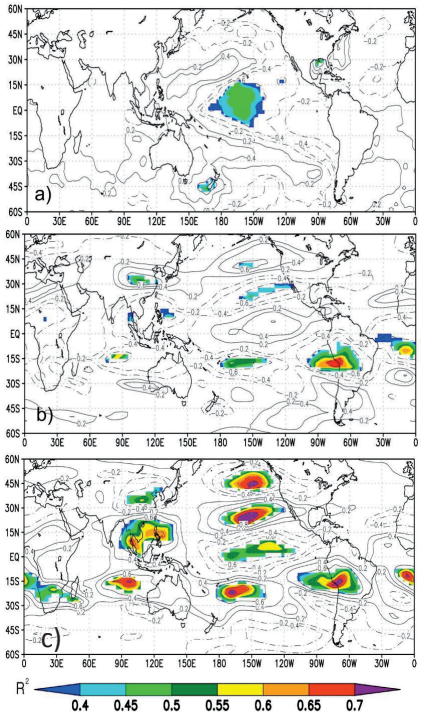



*Figura 2. Mapa de correlaciones (contorno) entre LTam-Titi y a) la temperatura superficial del mar (TSM) de baja frecuencia y b) el viento zonal a 200hPa (U200) de baja frecuencia. Los valores positivos (negativos) están representados con líneas sólidas (discontinuas). En a) y b) los coeficientes de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

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

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

## Referencias


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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Vuille, M., R. S. Bradley, R. Healy, M. Werner, D. R. Hardy, L. G. Thompson, and F. Keimig, 2003: Modeling δ18O in precipitation over the tropical Americas: 2. Simulation of the stable isotope signal in Andean ice cores, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 108(D6).*