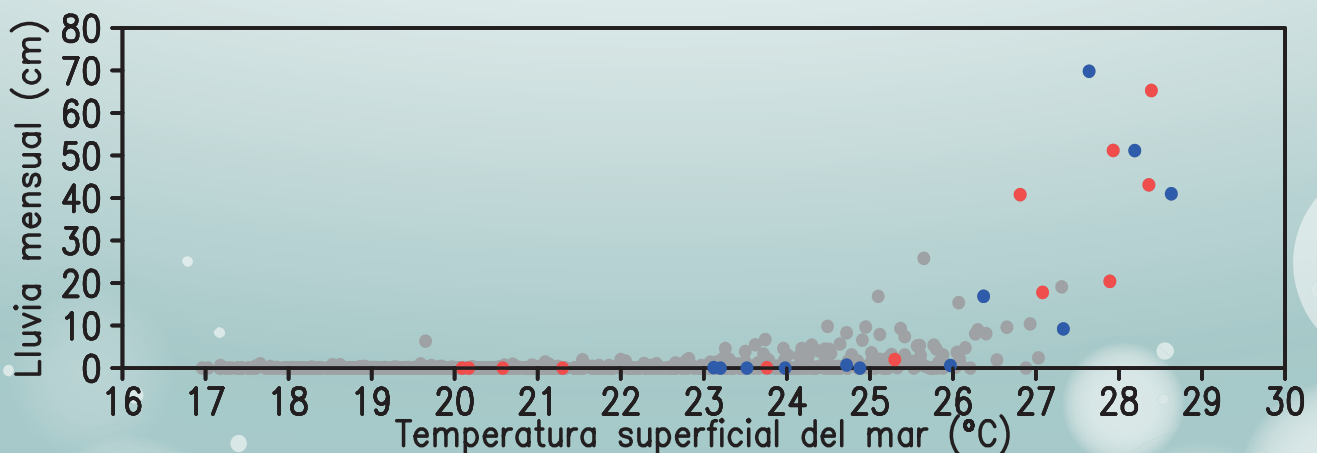
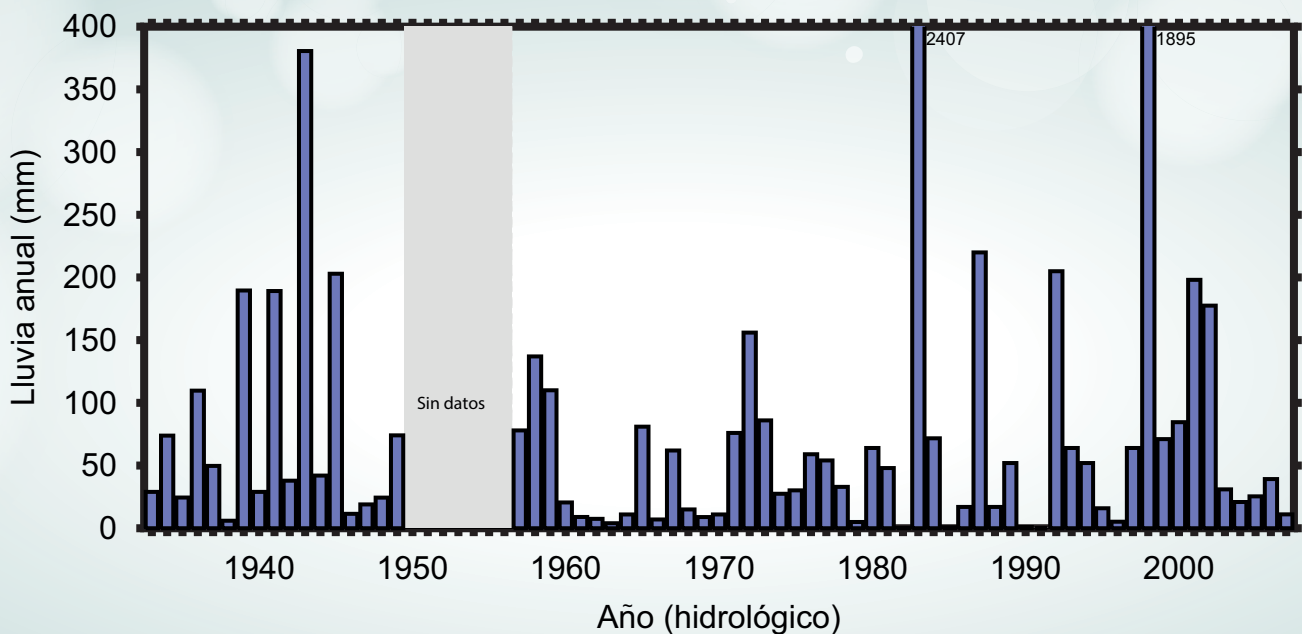


Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

## Boletín Técnico

Lluvia anual en Piura



# Artículo de Divulgación Científica

## ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?

### ¿Por qué no llueve en la costa?

El Perú es un país tropical y, sin embargo, no llueve en nuestra costa. ¿Por qué no llueve? La respuesta, en resumen, es que nuestra atmósfera es muy estable debido a la frialdad de las aguas de nuestro mar y la subsidencia atmosférica.

Veamos primero las condiciones necesarias para que exista una lluvia tropical, una lluvia fuerte, un aguacero u, en términos científicos, un proceso de “convección profunda”. Hablamos de lluvias intensas que acumulen de 6 a 15 cm de agua sobre el suelo en sólo unas cuantas horas, quizás con truenos y relámpagos, no de lloviznas como las que tenemos en invierno. Imagínense estos niveles sobre toda una gran extensión superficial y pueden entender lo que esto significa en términos de caudales sobre las calles de las ciudades, o los ríos y quebradas que recolectan todo este gran volumen de agua. En Lima, solo una décima de centímetro de lluvia puede inundar partes de la ciudad.

Para que llueva fuerte se necesita que la atmósfera sea inestable. ¿Qué significa esto? Una atmósfera es inestable cuando una parcela de aire a nivel de superficie que se ha calentado un poco más que sus vecinas, empieza a ascender y no deja de hacerlo hasta alcanzar alturas sobre los 10-15 km. Al ascender los aires se expanden y enfrían. El enfriamiento produce la condensación de la humedad, la formación de una nube tipo “cumulonimbo” y la lluvia que cae a la superficie.

En el caso de la costa del Perú, tenemos normalmente una condición que no permite el crecimiento de este tipo de nubes. Si bien lo típico es que la temperatura disminuya con la altitud, en la costa peruana es común una “inversión de temperatura”, que consiste en una capa donde más bien la temperatura aumenta abruptamente en lugar de disminuir (ver Figura 1, panel



Ph.D. Ronald F. Woodman Pollitt  
Presidente Ejecutivo del  
Instituto Geofísico del Perú

Ph.D. y Mag. en Física Aplicada de la Universidad de Harvard, Boston, EE.UU. e Ingeniero Mecánico Electricista de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Actualmente es Presidente Ejecutivo del Instituto Geofísico del Perú y Presidente de la Academia Nacional de Ciencias del Perú. Anteriormente desarrolló sus labores profesionales en diversas instituciones internacionales, incluyendo la NASA, Universidad de Harvard, Max Planck Institut für Aeronomie, Cornell University, entre otros. Es reconocido como uno de los principales investigadores científicos del mundo en Aeronomía y ha publicado más de un centenar de artículos indexados en prestigiosas publicaciones científicas. Además, como piurano, ha estado siempre interesado en el Fenómeno El Niño y ha realizado varios estudios al respecto.

izquierdo), lo cual hace que la atmósfera sea tremendamente “estable”. Esta inversión ocurre a lo largo de la costa a una altura de aproximadamente 700-1000 m sobre el nivel del mar. Raros son los lugares en el mundo que muestran una inversión tan pronunciada, donde el salto en las temperaturas en la capa de inversión puede llegar hasta 15 °C.

Cuando una parcela asciende, su presión disminuye y su temperatura baja por la expansión resultante a una tasa de 10 °C por cada kilómetro de ascenso. Por ejemplo, en la Figura 1 (panel izquierdo) una parcela cerca de la superficie con una temperatura de 17 °C, tras ascender 1 km, tendría una temperatura de 7 °C. Por otro lado, en este ejemplo vemos que sobre la inversión los aires son bastante más calientes, con temperaturas de más de 20 °C y, por lo tanto, son mucho más livianos que la parcela. Consecuentemente, esta no puede flotar y cae de vuelta hacia la superficie. Decimos entonces que tenemos una atmósfera estable: el aire está atrapado por debajo de 1 km y no es posible el desarrollo vertical necesario para lluvias intensas.

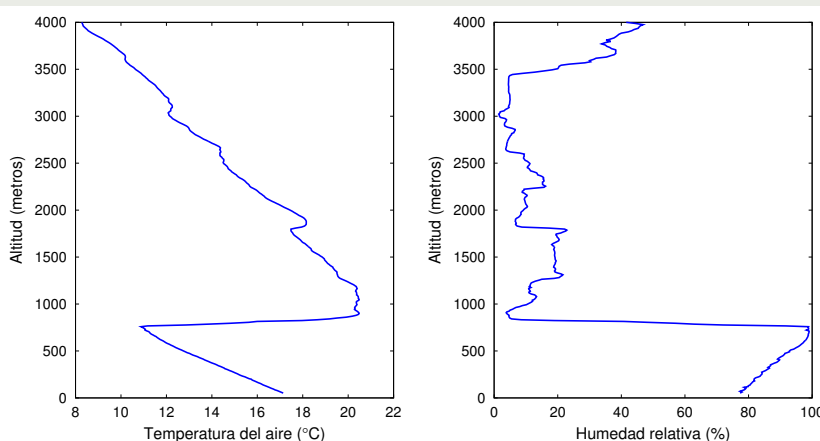


Figura 1. Perfiles típicos de temperatura del aire y humedad relativa sobre el mar a 200 km de la costa de Lima, obtenidos con una radiosonda el 17 de octubre del 2008. (Datos: Proyecto VOCALS REX).

# ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?

Woodman R. y Takahashi K.

Ph.D. Ken Takahashi Guevara

Investigador Científico del Instituto Geofísico del Perú



Ph.D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EE.UU. y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo del área de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. Además, es investigador principal del proyecto "Impacto de la Variabilidad y Cambio Climático en el Ecosistema de Manglares de Tumbes". Recientemente su investigación está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos, los procesos de interacción entre el océano y atmósfera, identificar la variabilidad a escala decadal en el Pacífico sureste.

Sin embargo, en nuestra costa, los aires debajo de los 1000 m están típicamente llenos de humedad. Le basta ascender unas pocas centenas de metros para enfriarse hasta el punto de condensación, es decir a una humedad relativa de 100%, formando el conocido "colchón de nubes" que da a nuestro cielo costero su típico gris y que, en el caso de la Figura 1 (panel derecho), se esperaría ver a altitudes entre 600 y 700 m. Más arriba de la inversión, el aire puede ser muy seco y esta abrupta transición entre el "colchón de nubes" y el cielo despejado por encima se puede observar muy claramente al despegar o descender en avión en la costa o por las carreteras entre la costa y la sierra. El tamaño de las gotitas de agua que se forman en estas nubes es tan pequeño que estas no precipitan (si lo hacen producen la llamada garúa) y es por eso que, a pesar de tener humedad, nuestra costa es desértica. Como veremos más adelante, la inversión de temperatura (y la supresión de las lluvias intensas) deja de existir sólo en condiciones de El Niño.

## ¿A qué se debe la inversión?

En primer lugar, los aires por encima de los 1000 m son

particularmente cálidos y secos en nuestra costa, en buena parte gracias al bloqueo que los Andes hacen a los grandes vientos del oeste a las latitudes de Chile, que son desviados hacia el norte y forzados a descender frente a Perú<sup>1</sup>. La compresión asociada al descenso o "subsistencia" mantiene las altas temperaturas por sobre la inversión. Además, este aire descendente originalmente ascendió de la superficie en tormentas que le removieron su humedad, lo cual, junto con su alta temperatura al descender, puede resultar en humedad relativa muy baja, menor a 10 o 20 % (ver Figura 1, panel derecho).

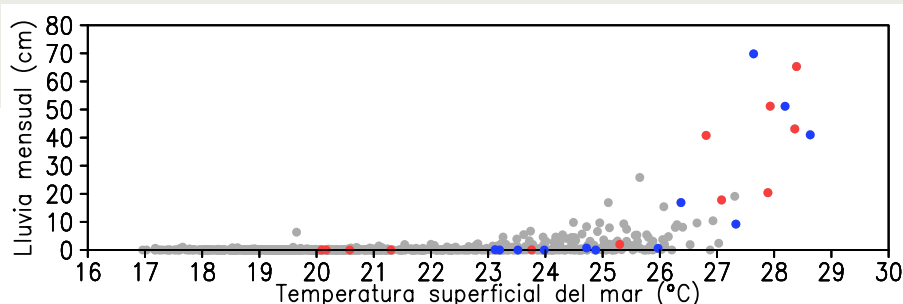
Por otro lado, el mar peruano tiene temperatura muy baja para nuestras latitudes debido al afloramiento costero. Por ejemplo, a pesar de que Lima (12°S) está más cerca de la línea ecuatorial que Río de Janeiro (23°S), en promedio su temperatura del mar es de aproximadamente 19 °C, unos 6 °C menos que en Río. Los aires en nuestra costa adquieren la baja temperatura del mar y esta es mezclada por turbulencias hasta unos 1000 m, dentro de la llamada "capa límite planetaria". Allí se encuentran con los aires tropicales y no pueden ascender más. Este aire frío y el aire tropical descendente son un poco como agua y aceite, casi no se mezclan, y donde se encuentran se forma la inversión.

## ¿Qué se requiere para que llueva en la costa?

Para eliminar totalmente la inversión de temperatura necesitaríamos calentar la superficie del mar (y el resto de la capa límite planetaria) en más de 10 °C y esto definitivamente resultaría en lluvias tropicales intensas en la costa. Sin embargo, esta condición extrema nunca se ha dado y probablemente nunca se dé. En la práctica, es suficiente con que la temperatura exceda unos 26 °C para tener mucha lluvia<sup>2,3</sup>, tal como se puede apreciar para Piura en la Figura 2. Por debajo de esta temperatura es improbable (pero no imposible) que llueva en forma intensa. Se observa en la figura que durante los eventos El Niño extraordinarios de 1982-83 y 1997-98 las temperaturas excedieron 28 °C y la lluvia mensual alcanzó 70 cm en Piura.

Este requerimiento es más fácil de satisfacer conforme

Figura 2. Lluvia mensual (cm) del aeropuerto de Piura vs temperatura superficial del mar (°C) frente a Piura (82°W, 6°S. Datos: NOAA ERSST v3b). Los periodos julio 1982 - junio 1983 y julio 1997 - junio 1998 se indican en rojo y azul, respectivamente. Periodo total: 1932-2008 (falta 1950-56).



vamos hacia el norte y nos acercamos al verano, de manera que la temperatura en condición normal es cada vez más caliente. Esto se ilustra en la Figura 3, donde vemos que frente a Paíta la temperatura excede 24 °C en febrero y marzo, por lo que basta con una anomalía de unos 2 °C para alcanzar el valor mínimo. Por otro lado, en agosto y setiembre frente al Callao el promedio es menor que 17 °C, por lo que la anomalía necesaria para las lluvias intensas es de ¡9 °C! En resumen, es bastante más probable que un calentamiento anómalo pueda tener impactos sobre las lluvias en la costa en verano y en el norte.

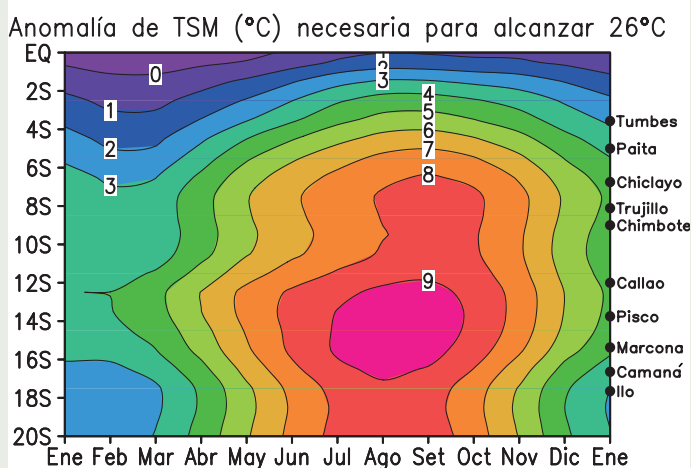
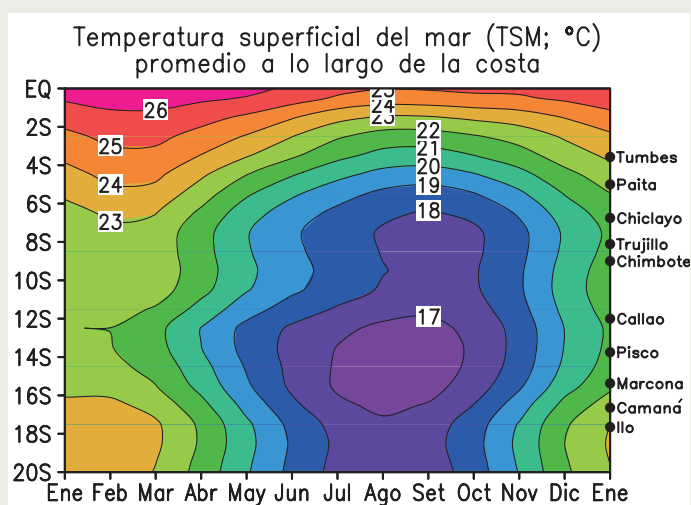


Figura 3. Temperatura superficial del mar (°C) promedio a lo largo de la costa y la anomalía necesaria para alcanzar 26 °C. (Datos: NOAA OI SST v2 del punto de grilla más costero con suavizado ligero, periodo base: 1982-2010).

## Las lluvias y El Niño en un contexto histórico

Piura es el lugar apropiado para el estudio histórico de

las precipitaciones, con la ventaja que observaciones históricas de las lluvias se remontan a la época de su fundación. Hay que recordar que Piura fue la primera ciudad fundada por los españoles al sur de Panamá, en 1532, y que la denominación de El Niño (por el Niño Jesús) viene de la observación de los pescadores sechuranos y paiteños, quienes bautizaron la corriente de aguas calientes provenientes del norte después de Navidad “corriente del Niño”<sup>4</sup>. Es importante resaltar que en la terminología moderna hay diversidad de aplicaciones al término “Fenómeno de El Niño”. Para la comunidad internacional es un fenómeno global que involucra el calentamiento del Océano Pacífico ecuatorial, pero no necesariamente de nuestra costa. Además, si el fenómeno no ocurre en verano, probablemente no estará asociado a lluvias. Con estas salvedades, la primera cronología del fenómeno basada en la ocurrencia de grandes precipitaciones registradas en la tradición piurana en el siglo XIX, desde su fundación, fue recopilada por Eguiguren<sup>5</sup> en 1893 y extendida hasta los tiempos presentes por Woodman (1983) y Mabres et al. (1992)<sup>6</sup>. Como consecuencia de los estudios mencionados, se llega a la conclusión que nunca, en los 481 años de la historia de la ciudad, hubieron lluvias tan intensas como las de 1982-83 y 1997-98.

Las fuertes lluvias de los El Niño de 1982-83 y 1997-98 (rojo y azul en la Figura 2, respectivamente) y la gran cobertura que estas tuvieron en la prensa y televisión, tanto a nivel nacional como internacional, hacen que en la actualidad se confundan las manifestaciones de un fenómeno El Niño “normal” con las de un Niño “extraordinario”<sup>7,8</sup>. Cuando El Niño ocurre en verano, el clima del norte se puede tropicalizar, llegando a llover, pero no necesariamente al nivel desastroso de 1982-83 o 1997-98. En la Figura 4 se muestran, en milímetros anuales, las lluvias acumuladas en la ciudad de Piura desde 1932. Se ha escogido una escala máxima de 400 mm para poder enseñar en forma visible la precipitación de sólo unos cuantos milímetros alcanzada en muchos de los años secos, pero esta resulta insuficiente para mostrar las lluvias acumuladas en 1983, las cuales llegaron a ¡2400 mm! Para poderlas representar en la misma escala, necesitaríamos un gráfico tan alto que se saldría del tamaño disponible en esta página. El gráfico incluye varios años calificados como El Niño, todos aquellos con precipitaciones acumuladas por encima de los 135 mm, algunos de ellos muy lluviosos (como los años 41, 87 y 92) pero, como se puede apreciar, lejos de llegar al nivel de 1983 o 1998. Notar que años con precipitaciones que son a duras penas una veintava parte de las ocurridas en un año extraordinario, ya califican como años El Niño (débil). El promedio de las precipitaciones en la ciudad de Piura, incluyendo años El Niño “normales”, es de sólo 60 mm anuales, por lo que las lluvias de 1983 fueron aproximadamente equivalentes al acumulado en *los cuarenta años precedentes*. Dudamos que exista otra



# ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?

Woodman R. y Takahashi K.

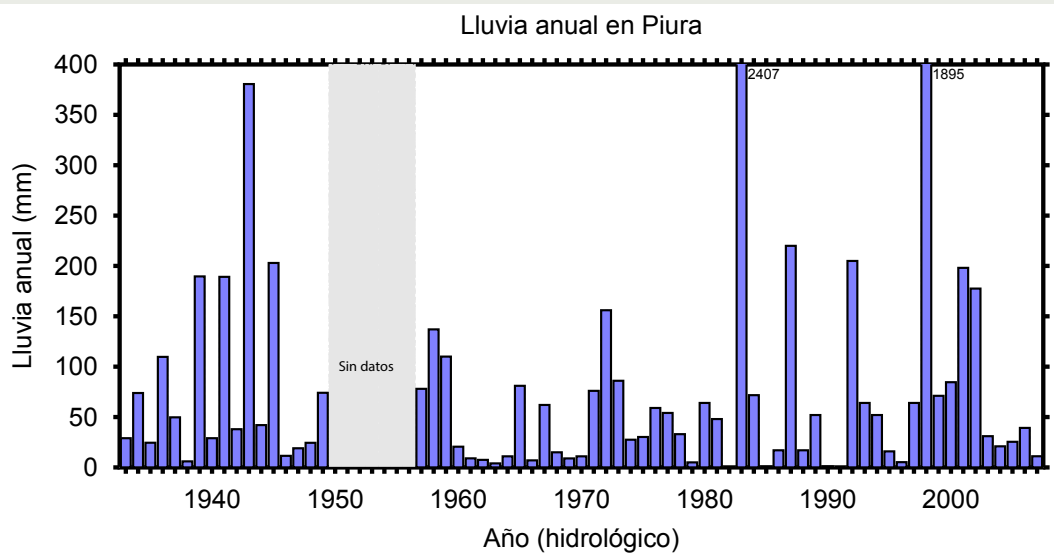


Figura 4. Lluvia anual (mm) en la ciudad de Piura (año hidrológico = setiembre-agosto).

región en el mundo en la que se haya presentado una precipitación que difiera tanto del comportamiento normal.

En los últimos dos siglos, sólo el año 1925 seguido por 1891 (el más intenso del siglo XIX<sup>5</sup>) compiten para ganarse el calificativo de fenómenos El Niño extraordinarios. Hasta antes de la ocurrencia de El Niño de 1983, el año 1925 rompía todos los records de lluvias en las memorias de nuestros mayores en la zona norte del país. Están todavía en los propios recuerdos de juventud de uno de los autores (R.W.) las conversaciones de sus padres y amigos en Piura en los primeros meses de cada verano: “¿Lloverá o no lloverá?”. Y cuando se iniciaban las lluvias y estas se ponían fuertes, el tema variaba: “¿Lloverá como en 1925? Porque en el año 25...”. En la actualidad, el 25 ha sido reemplazado por el 83 o 98. El año 1925 fue un año excepcional, particularmente porque en marzo las temperaturas excedieron en 8 °C lo normal. Sin embargo, se estima que la lluvia total en Piura en 1925 fue aproximadamente la mitad que en 1983<sup>9</sup>, principalmente por la diferencia en la duración de los eventos.

Es ilustrativo considerar las extraordinarias temperaturas experimentadas en los últimos meses de 1997, que se presentó en sus inicios como un año más frío que lo normal, pero súbitamente subió la temperatura y a partir de marzo 1997 ya calificaba como El Niño<sup>10</sup>. La temperatura del mar en Puerto Chicama, en La Libertad, excedía en más de 6 °C lo normal en julio y agosto, anomalía dos veces más alta que en el famoso El Niño de 1972-73, que estuvo asociado a estragos en la pesca en el Perú. Felizmente fueron anomalías récord fuera de la época de lluvias, con temperaturas absolutas todavía lejos de producir precipitaciones en la zona norte del país, pero que sin embargo tienen consecuencias en la pesca, la industria textil y en la producción agrícola de productos

que requieren temperaturas bajas en invierno, un invierno que brilló por su ausencia.

## Referencias

<sup>1</sup>Takahashi, K., y D. S. Battisti, 2007: Processes controlling the mean tropical Pacific precipitation pattern: I. The Andes and the eastern Pacific ITCZ, *Journal of Climate* 20, 14, 3434-3451.

<sup>2</sup>Woodman, R., 2005: Modelo Estadístico de Pronóstico de las Precipitaciones en la Costa Norte del Perú, Volumen Especial N° 6 Alberto Giesecke Matto, Sociedad Geológica del Perú.

<sup>3</sup>Takahashi, K., 2004: The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997-1998 and 2002 El Niño events, *Annales Geophysicae* 22, 3917-3926.

<sup>4</sup>Carrillo, C. N., 1892: Hidrografía oceánica, *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, Tomo II, 72-110.

<sup>5</sup>Eguiguren, V., 1894: Las lluvias en Piura, *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, Tomo IV, Nos. 7, 8 y 9.

<sup>6</sup>Mabres, A., R. Woodman, y R. Zeta, 1993: Algunos Apuntes Históricos Adicionales sobre la Cronología de El Niño, *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 395-406. Lectura complementaria.

<sup>7</sup>Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophysical Research Letters*, 38, L10707, doi:10.1029/2011GL047364.

<sup>8</sup>Takahashi, K., 2014: Variedades de El Niño, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, No. 2, Febrero, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

<sup>9</sup>Woodman, R.F., 1983: Recurrencia del Fenómeno El Niño con Intensidad Comprable a la del Niño 1982-1983", *Ciencia Tecnología y Agresión Ambiental: El Fenómeno El Niño*, CONCYTEC, 301-332.

<sup>10</sup>ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, *Nota Técnica*.