



En el Marco del Proyecto 397-PNICP-PIAP-2014

INFORME MENSUAL: marzo de 2018

EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS EN LA AMAZONÍA PERUANA: Sistema de Alerta para la Previsión



Foto: Crecida de caudal del río Amazonas, 2017.

Elaboración: Ing. Lucio Vergara S. (ANA) lvergara@ana.gob.pe

Revisión: Dr. Jhan Carlo Espinoza (IGP) jhan-carlo.espinoza@igp.gob.pe

Marzo, 2018

Lima-Perú

CONTENIDO

- I. Introducción
- II. Objetivo
- III. Datos hidroclimáticos
- IV. Análisis de las condiciones iniciales
 - 4.1. Análisis de las condiciones globales del clima
 - a. Temperatura superficial del mar
 - b. Circulación atmosférica global
 - c. Flujos de humedad y su divergencia
 - 4.2. Análisis de la precipitación
 - a. Anomalías de precipitación últimos 30 días, TRMM
 - b. Evolución temporal de anomalías de precipitación
 - 4.3. Análisis de registro de niveles de ríos
- V. Análisis de las previsiones
 - 5.1. Análisis de la temperatura superficial del mar
 - a. Pronóstico de la región Niño 3.4
 - b. Pronóstico de la región NATL
 - 5.2. Análisis del pronóstico de las precipitaciones
- VI. Conclusiones
- VII. Referencias

EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS EN LA AMAZONÍA PERUANA:

Sistema de Alerta para la Previsión

I. Introducción

El presente informe mensual del estudio “Eventos Hidrológicos Extremos en la Amazonía Peruana: Sistema de Alerta Cualitativo para la Previsión”, está elaborado en el marco del observatorio ORE-HYBAM y es posible gracias al convenio interinstitucional entre la Autoridad Nacional del Agua y el Instituto Geofísico del Perú. Asimismo, este documento constituye un producto del proyecto 397-PNICP-PIAP-2014. Esta cooperación interinstitucional tiene como objetivo la elaboración e implementación del estudio en mención, con la finalidad de contar con un sistema estacional que permita prever los impactos de los eventos hidrológicos extremos en la sociedad de la Amazonía peruana.

Durante los últimos años, estudios científicos han evidenciado la influencia de la temperatura superficial del mar anómalos de algunas regiones oceánicas circundantes en la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos en la Amazonía peruana, como es descrito en Espinoza et al. (2009, 2011, 2012a y 2013) y Yoon & Zeng (2010), así como en Lavado et al. (2012), entre otros.

En este informe mensual correspondiente al mes de marzo 2018, se presentan los resultados del análisis de las condiciones actuales hasta el último día del mes y la previsión de las variables hidroclimáticas para los próximos 03 meses.

II. Objetivo

Establecer el sistema de alerta cualitativo estacional que permita conocer, bajo un criterio técnico, las condiciones hidrológicas más probables de los principales ríos Amazónicos peruanos durante las estaciones críticas del año. Esto permitirá prever la posible ocurrencia de eventos hidrológicos extremos.

III. Conjunto de Datos

La base de datos de las variables hidroclimáticas, se viene actualizando diariamente, semanalmente y mensualmente con información proveniente de diferentes agencias internacionales de investigación del clima y disciplinas afines, así como de servicios nacionales y locales. Para más detalle revisar el primer informe mensual y complementario correspondiente al mes de setiembre de 2013.

IV. Análisis de Condiciones Iniciales

4.1. Condiciones Globales y Regionales del Clima

En esta sección presentamos el análisis de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) del Pacífico ecuatorial y Atlántico tropical, de la circulación atmosférica regional con dominio de América del Sur (50°N a 60°S, 0°W a 150°W), asimismo, el análisis de los flujos de humedad y su divergencia en la región (20°N a 30°S, 100°W a 20°W). Las informaciones provienen de la Administración Nacional Oceánica Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés). Las anomalías de TSM son reportados en grados Celsius (°C) y las anomalías de vectores de viento en m/s, ambos en formato gráfico.

a) Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Durante el mes de marzo de 2018 la región del Pacífico ecuatorial Central (Niño 3.4) mostró anomalías negativas de TSM de -0.7°C en promedio (región con dominio de color verde claro en Fig. 1 y Tabla 1). Asimismo, la región del Pacífico ecuatorial Este (Niño 1+2) mostró anomalías negativas de TSM de -0.8°C en promedio (Tabla 1 y región parcialmente de color verde claro en Fig. 1) con un ligero descenso respecto al mes de febrero. El Comunicado Oficial N°05-2018 (abril) del ENFEN confirma el proceso de normalización de la TSM frente a la costa peruana y en el Pacífico Central.

La TSM en la región del Atlántico tropical Norte (NATL) mostró condiciones cercanas a lo normal con anomalías de TSM de 0.1°C en promedio (región con dominio de color blanco, ver Fig. 1 y Tabla 1), con un ligero ascenso respecto al mes de febrero. Por otro lado, se observó un descenso de las anomalías de TSM respecto al mes de febrero, así mostrándose anomalías de TSM negativas de -0.4°C en promedio en la región Atlántico tropical Sur (SATL; ver Fig. 1 y Tabla 1).

En resumen, la TSM en el Pacífico ecuatorial, muestran condiciones ligeramente más frías de lo normal, asimismo, en la región del Atlántico tropical Sur, muestra condiciones ligeramente frías, durante el mes de marzo 2018 (Fig. 1).

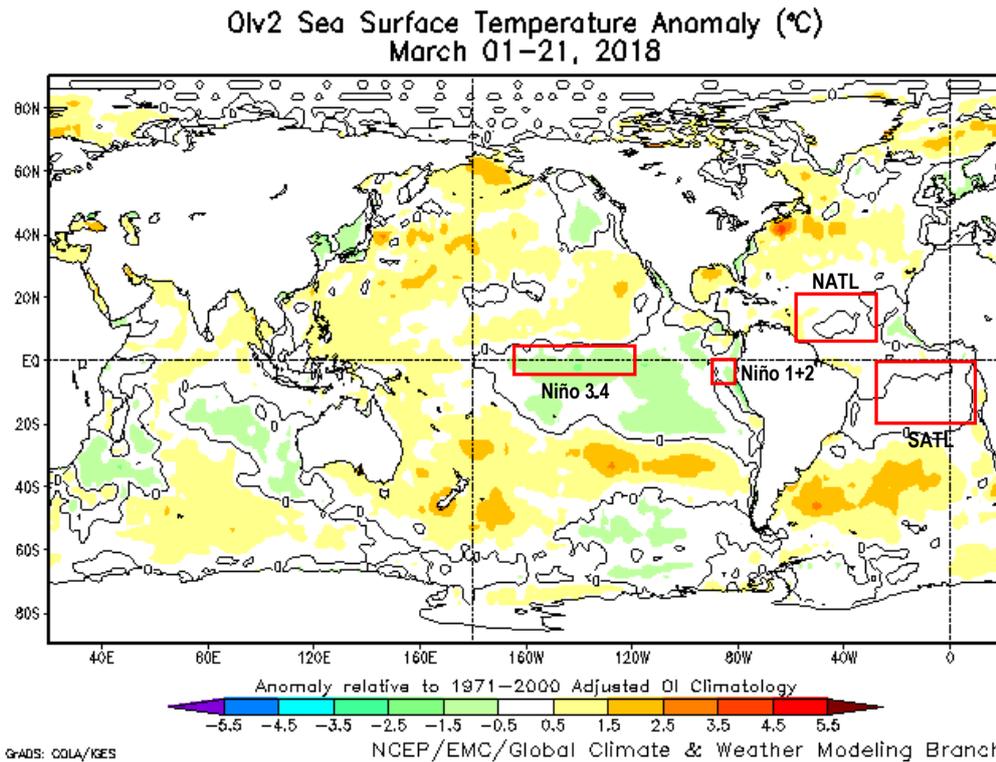


Fig. 1: Anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en °C del mes de marzo de 2018. Las anomalías son calculadas utilizando la climatología del periodo base 1971-2000. Fuente NOAA/NCEP.

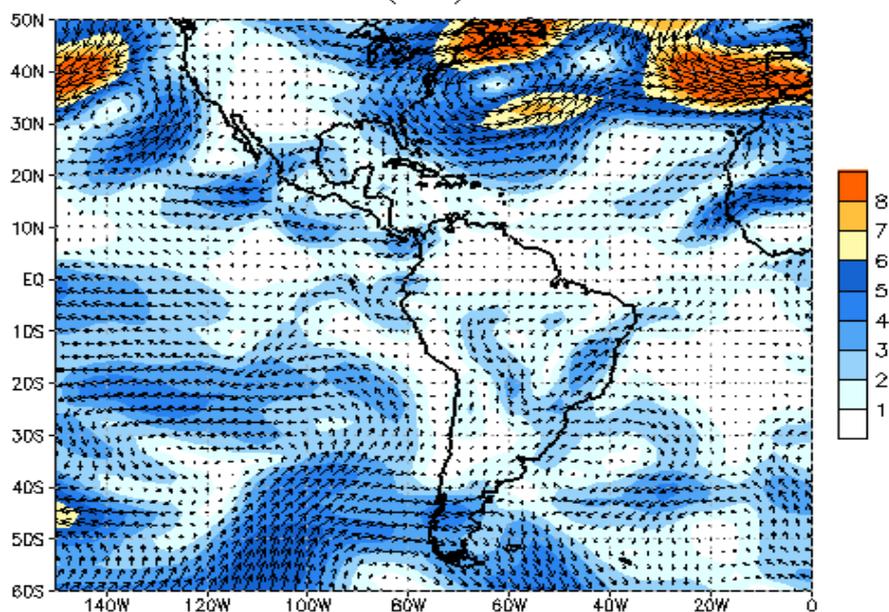
MARZO 2018								
MES	TSM PACÍFICO				TSM ATLÁNTICO			
	NIÑO 1+2	NIÑO 3.4			N. ATL			
	0-10S	5N-5S	90W-80W	170W-120W	5N-20N	5N-20N	0-20S	30W-10E
MAR 17	1.9	28.5	0.1	27.3	0.1	25.7	0.1	27.2
ABR 17	0.9	26.5	0.3	28.1	0.3	26.2	0.2	27.2
MAY 17	0.8	25.1	0.5	28.3	0.5	26.9	0.2	26.4
JUN 17	0.1	23.0	0.6	28.2	0.5	27.3	0.5	25.4
JUL 17	-0.1	21.5	0.4	27.6	0.6	27.8	0.1	23.9
AGO 17	-0.5	20.2	-0.2	26.7	0.5	28.3	0.3	23.4
SET 17	-0.7	19.7	-0.4	26.3	0.4	28.5	0.1	23.2
OCT 17	-1.3	19.5	-0.5	26.2	0.2	28.3	0.2	23.6
NOV 17	-1.2	20.4	-0.9	25.8	0.2	27.9	0.0	24.0
DIC 17	-1.4	21.4	-0.8	25.8	0.5	27.3	-0.3	24.5
ENE 18	-0.8	23.7	-0.8	25.8	0.3	26.3	-0.1	25.6
FEB 18	-0.6	25.6	-0.9	25.8	0.0	25.6	-0.3	26.3
MAR 18	-0.8	25.8	-0.7	26.5	0.1	25.7	-0.4	26.7

Tabla 1. Temperatura superficial del mar (Anomalías 1ra. columna y °C 2da. columna) para los últimos 12 meses. Las anomalías son variaciones respecto a la climatología de 1981-2010 (Smith & Reynolds, 1998), de regiones oceánicas relevantes para la previsión de eventos extremos en la Amazonía peruana.

b) Anomalías de la Circulación Atmosférica

Se observó una débil incursión de vientos provenientes del Atlántico tropical Norte y del Mar Caribe en el extremo norte del continente. Asimismo, al este de la cuenca del Amazonas se observó débil ingreso de los vientos Alisios, que fueron direccionados hacia la cuenca del río de La Plata. Por otro lado, el debilitamiento de vientos Alisios en el Pacífico ecuatorial Este, produjo una mayor concentración de flujo de humedad en gran parte de la región central y sur de la cuenca del Amazonas (Fig. 2).

850 hPa Vector Wind Anomalies (ms^{-1}) 02 MAR 2018 – 31 MAR 2018



Data Source: NCEP/CDAS – Climatology (1981–2010)
(Wind speed > 1 ms^{-1} shaded)

Fig. 2: Vectores de Anomalías de viento en niveles bajos (850 hPa) de la atmósfera, (del 02 marzo al 31 de marzo de 2018). Las anomalías fueron calculadas utilizando el periodo base los promedios entre 1981 y 2010. Fuente: NOAA/NCEP.

c) Anomalías de Transporte de Humedad y su Divergencia

Los flujos de humedad y su divergencia fueron elaborados con datos de reanálisis NCEP/NCAR de la NOAA, con una resolución espacial de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ y resolución temporal diaria. El periodo de análisis es del año 1970 al presente (48 años), en la región entre 20°N - 30°S y 100°W - 20°W .

El flujo de humedad integrado verticalmente, F_w , en un punto de cuadrícula está dado por la siguiente ecuación:

$$F_w = \frac{1}{g} \int_{1000}^{300} q \cdot V \cdot dp$$

donde g es la aceleración de la gravedad, q es la humedad específica, V es el vector de viento horizontal, y p es la presión. Los flujos son integrados desde la superficie hasta 300 hPa, para más detalle revisar Satyamurty *et al.* (1998).

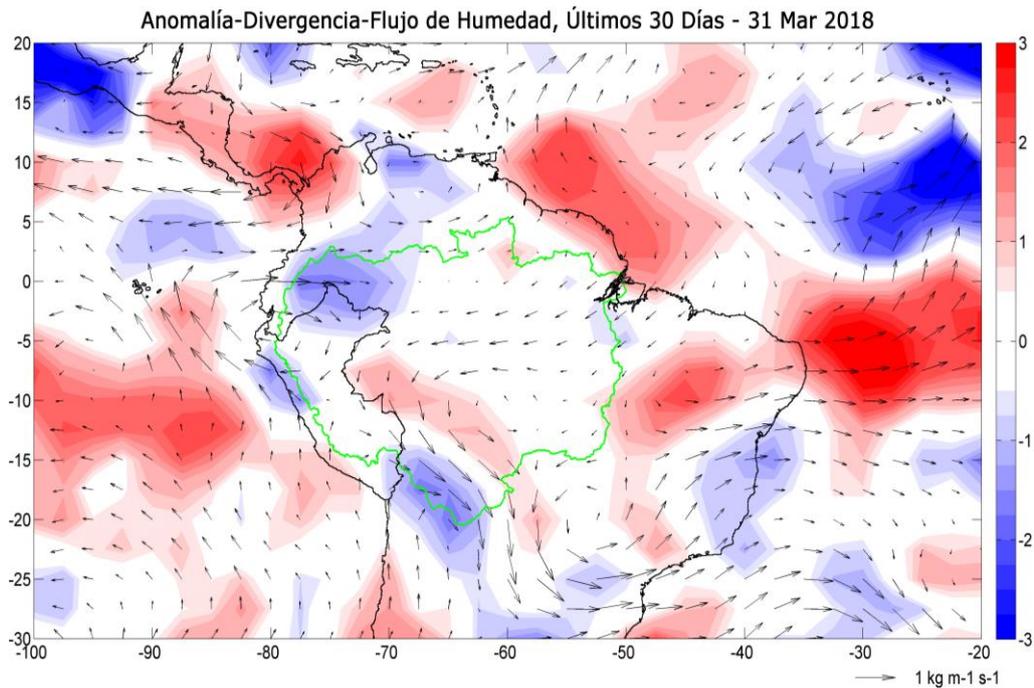


Fig. 3: Anomalías de flujo de humedad integrado en los niveles de 1000 hPa a 300 hPa de la atmósfera (vectores) y su divergencia (colores). El periodo corresponde del 01 hasta el 31 de marzo 2018. Las anomalías son calculadas utilizando el periodo base de 1970 a 2017. Los límites de la cuenca Amazónica se muestran en línea verde.

En la Figura 3 se observa convergencia de flujos de humedad en gran parte de la región noroeste de la cuenca amazónica, acentuadas en la Amazonía colombiana, ecuatoriana y norte de la Amazonía peruana. Asimismo, se observa convergencia de flujos de humedad en el sur de la Amazonía boliviana. Por otro lado, se observan divergencias de flujos de humedad en la región de la triple frontera Perú-Brasil-Bolivia y norte de la Amazonía boliviana.

4.2. Análisis de Precipitaciones

Esta sección presenta el análisis de las anomalías de precipitación del producto de Radar Tropical Rainfall Measuring Mission a tiempo real (TRMM-3B42RT), para más detalle revisar Huffman et al. (2010). Los datos de TRMM-RT son reportados a paso de tiempo diarios a nivel global, pero procesados para la región de interés (10°N a 25°S; 85°W a 45°W) haciendo uso del programa Matlab®, mostrando anomalías de precipitación en mm/día.

a) Anomalías de Precipitación Radar TRMM-RT

Durante el periodo de 01 hasta 31 de marzo 2018, según datos de TRMM-RT, los valores de la precipitación fueron superiores al promedio climatológico en gran parte de la región sureste de la cuenca del Amazonas, cuyas anomalías alcanzaron en promedio 7 mm/día. Además, se observaron anomalías positivas de precipitación de hasta 8 mm/día en promedio, en el sur de la Amazonia peruana concentrada en la cuenca alta del río Madre de Dios, también en el suroeste de la Amazonía boliviana, ambas regiones caracterizadas por presentar zonas de máxima precipitación (Espinoza *et al.*, 2015) (ver Fig. 4). Por otro lado, se observaron precipitaciones inferiores al promedio climatológico en la mayor parte de la región norte de la cuenca Amazónica, incluido gran parte de la Amazonía peruana. Sin embargo, más lluvia de lo normal se observó en la región cercana a Iquitos y a la triple frontera Perú-Colombia-Brasil.

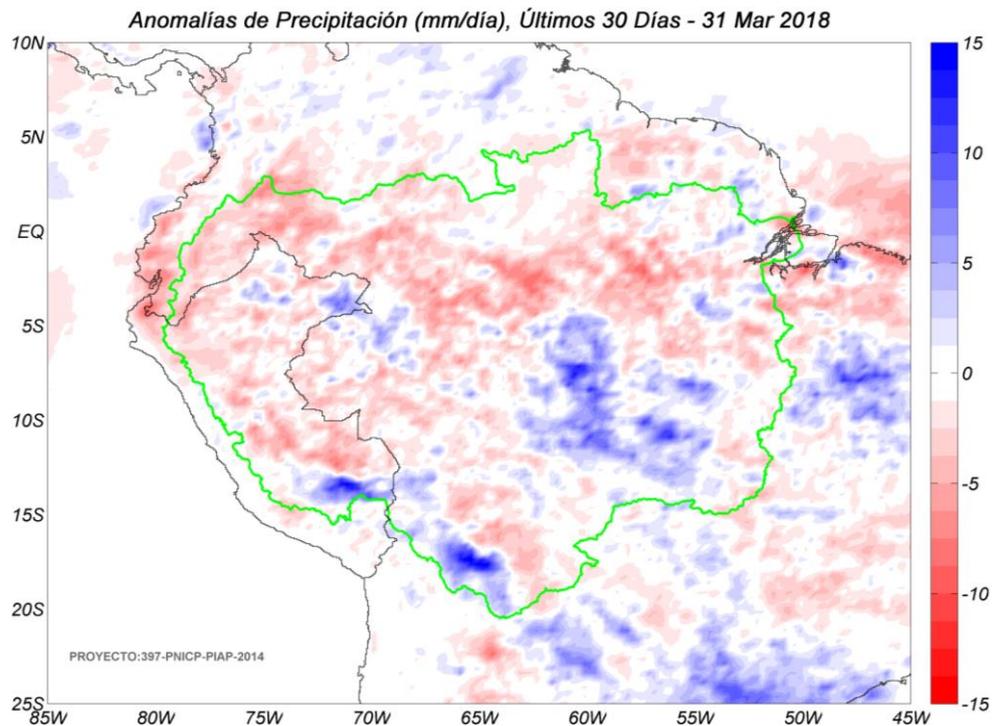


Fig. 4: Anomalías de precipitación estimadas por el TRMM-RT en mm/día hasta 31 de marzo de 2018. Las anomalías fueron calculadas con respecto al periodo base promedio 2000-2017. Se muestra los límites de la cuenca Amazónica en líneas de color verde. Las anomalías de precipitación del TRMM-RT actualizadas a tiempo real puede verse en: <http://intranet.igp.gob.pe/eventos-extremos-amazonia-peruana/>.

b) Evolución Temporal de Anomalías de Precipitación para las Cuencas Amazónicas Peruanas

La evolución temporal de anomalías de precipitación para las principales cuencas hidrográficas de la Amazonía peruana fue calculada utilizando las estimaciones del producto TRMM-RT. El periodo para la obtención del armónico de la precipitación es del 2000 al 2017 para cada cuenca (la estación de Tamshiyacu en el río Amazonas, la estación de San Regis en el río Marañón y la estación de Requena en el río Ucayali. Ver ubicación de las estaciones y cuencas de drenaje en la Fig. 5). Los armónicos consisten en la representación de las fluctuaciones o variaciones en una serie de datos como la suma de una serie de funciones de senos y cosenos.

Utilizando el análisis de armónicos de la precipitación, se calculó la anomalía de precipitación diaria suavizadas mediante una media móvil de 15 días y la anomalía de precipitación acumulada desde el inicio del año hidrológico (01/09).

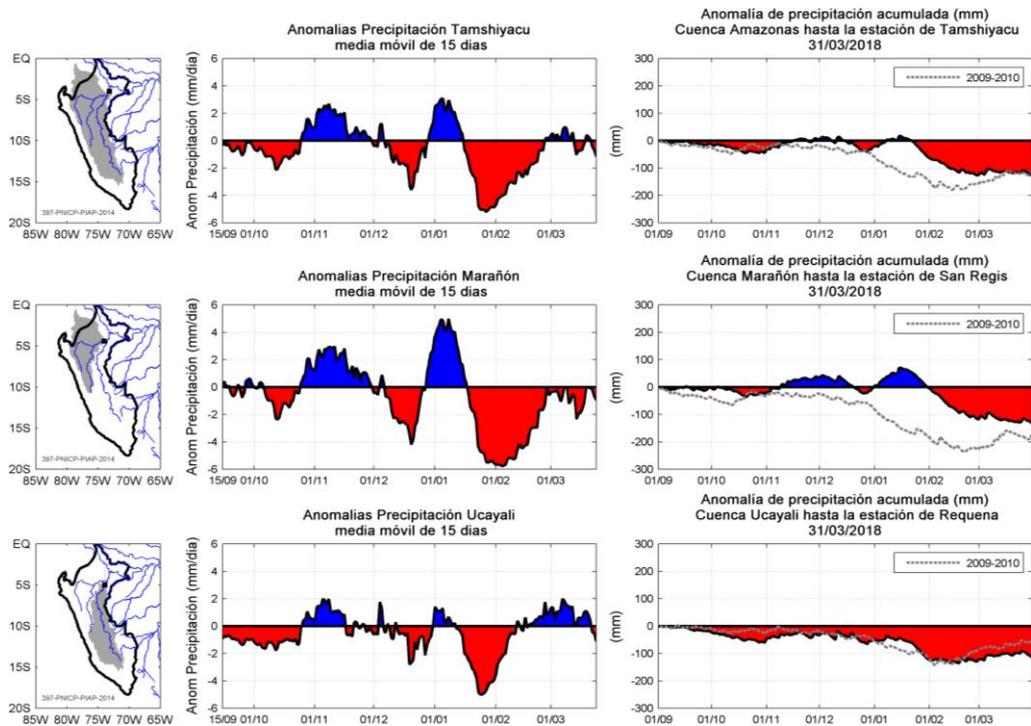


Fig. 5: Evolución temporal de anomalías de precipitación integradas en las principales cuencas hidrográficas de la Amazonía peruana: el río Amazonas hasta la estación Tamshiyacu (arriba), el río Marañón hasta la estación San Regis (medio) y el río Ucayali hasta la estación Requena (abajo). En la columna de la izquierda se observa la ubicación de las cuencas hidrográficas. En la columna del medio se muestran anomalías de precipitación. En la columna de la derecha se muestran anomalías acumuladas hasta la fecha indicada. En color azul se indican anomalías positivas de precipitación (valores por encima del promedio climatológico), en color rojo anomalías negativas de precipitación (valores por debajo del promedio climatológico). Las anomalías son calculadas considerando un periodo base de 2000 al 2017. La línea de color gris muestra la precipitación acumulada correspondiente a cada cuenca hidrográfica para el año 2009-2010. Para ver esta figura actualizada a tiempo real ir a: <http://intranet.igp.gob.pe/eventos-extremos-amazonia-peruana/>.

Las series temporales de precipitación promedio en las principales cuencas de la Amazonía peruana (Amazonas, Marañón) continuaron presentando condiciones ligeramente más secas de lo normal desde inicios del mes de marzo, que no sobrepasaron los -2.5 mm/día, a excepción de la cuenca del río Ucayali presenta condiciones más húmedas de lo normal durante el mes de marzo. Sin embargo, a fines del mes de marzo se observaron anomalías negativas de precipitación, para la cuenca del río Ucayali que sobrepasó los -1 mm/día. En general, las tres cuencas

principales del río Amazonas, presentaron condiciones muy cercanas al promedio climatológico (ver Fig. 5, columna central).

Por otro lado, en la cuenca del Amazonas hasta la estación de Tamshiyacu (cerca de Iquitos) la anomalía de precipitación acumulada para el presente año hidrológico es inferior al promedio climatológico con valor de -120 mm. Además, en la cuenca del río Ucayali se observa déficit de precipitación acumulada para el presente año hidrológico, que alcanza los -110 mm, esta cuenca presenta la menor contribución a la precipitación acumulada a la cuenca de Tamshiyacu (Fig. 5, derecha). En el norte de la Amazonía peruana, en la cuenca del río Marañón, la precipitación acumulada es deficitaria con magnitud de -130 mm en promedio, debido a las precipitaciones de los últimos 30 días en esta región, de acuerdo con lo descrito en la Figura 4.

4.3. Análisis de Niveles de Agua de los Ríos

El SEHINAV (Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía) de la Dirección de Hidrografía y Navegación, reporta a tiempo real los histogramas de niveles de los ríos de la amazonía peruana a paso de tiempo diario en alturas geoidales y arbitrarias, dichos productos se pueden encontrar en el siguiente enlace: <https://www.dhn.mil.pe/shna/index2.asp>.

Los niveles de agua de los principales ríos de la Amazonía peruana fueron analizados hasta el 16 de abril 2018. Las estaciones de Tamshiyacu y Requena registraron anomalías de nivel de agua por debajo del promedio climatológico de -0.8% en ambas estaciones, en contraste, San Regis y Yurimaguas registraron anomalías de nivel de agua por encima de lo normal de 0.6% y 0.8%, respectivamente. De otro lado, la estación de Pucallpa registró anomalías muy cercanas al promedio climatológico. En resumen, la mayoría de los ríos se encuentran en el tramo de transición (ver Fig. 5). En la parte sur de la Amazonía peruana se observó anomalías positivas de precipitación durante el mes de marzo (Figuras 3 y 4). En la Figura 6 también se puede observar que el río Ucayali en la zona alta presenta niveles cercanos a su promedio climático durante el mes de marzo, no obstante, durante el mes de marzo se observa disminución de lluvias y, consecuentemente, disminución de niveles en los principales ríos.

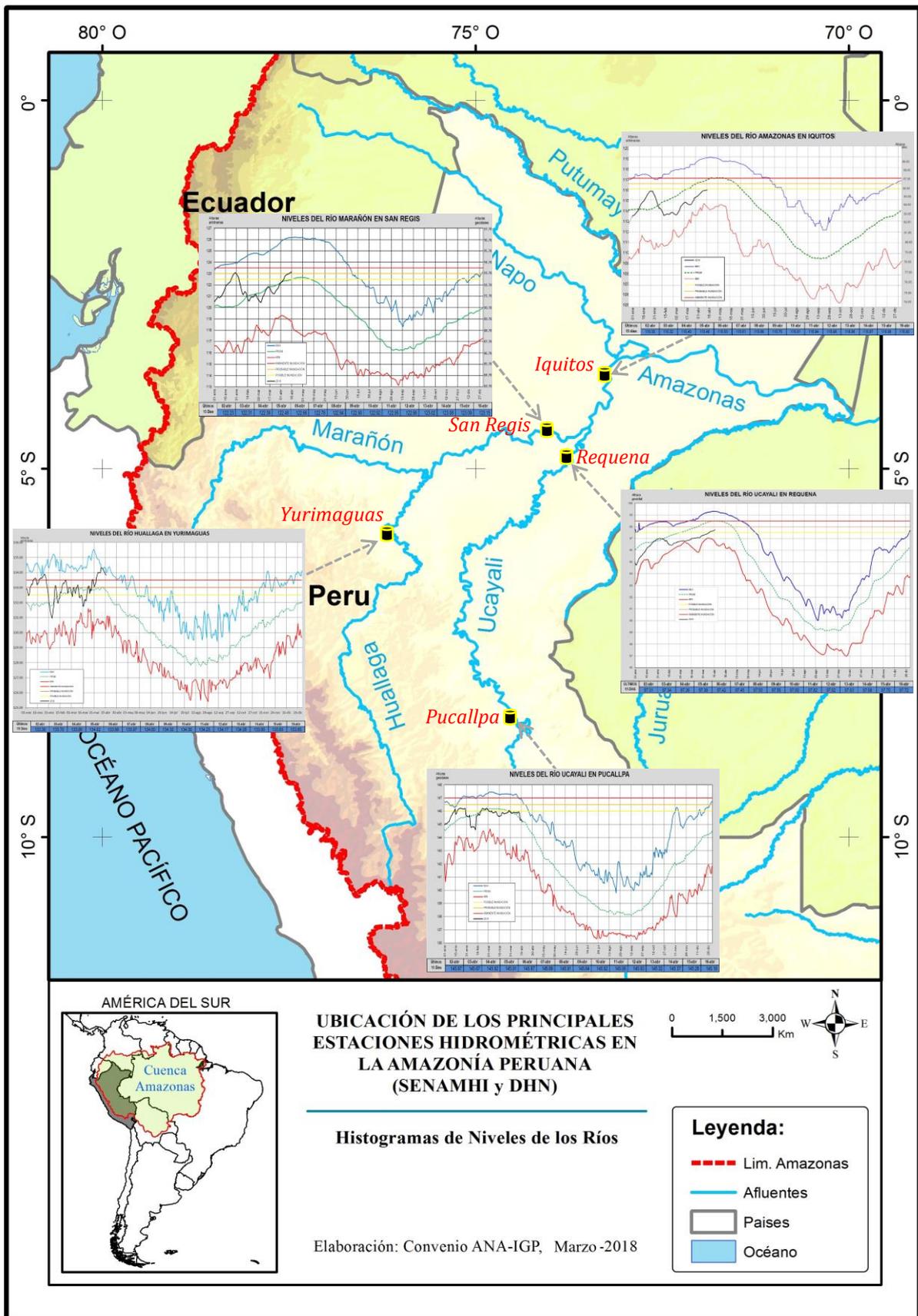


Fig. 6: Histograma de niveles de ríos diarios de los principales ríos de la Amazonía peruana. Fuente: DHN (<https://www.dhn.mil.pe/>).

V. Análisis de las Previsiones

En este capítulo se analizan los pronósticos de las anomalías de temperatura superficial del mar en las regiones más relevantes (Niño 3.4, Niño 1+2, NATL y SATL). Además, se analizan las anomalías de precipitación para los próximos 03 meses, que corresponden a la temporada de estiaje en la región de la Amazonía peruana. Los reportes provienen de las agencias internacionales y nacionales de pronóstico del clima (IRI, NOAA, CPTEC e IGP).

5.1. Análisis de la Temperatura Superficial del Mar

Esta sección contiene los pronósticos de anomalía de temperatura superficial del mar a nivel global desarrollados por el International Research Institute for Climate and Society (IRI) y el US National Multi-Model Ensemble (NMME). Los gráficos de pronósticos del Pacífico ecuatorial y el Atlántico tropical fueron elaborados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en el marco del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).

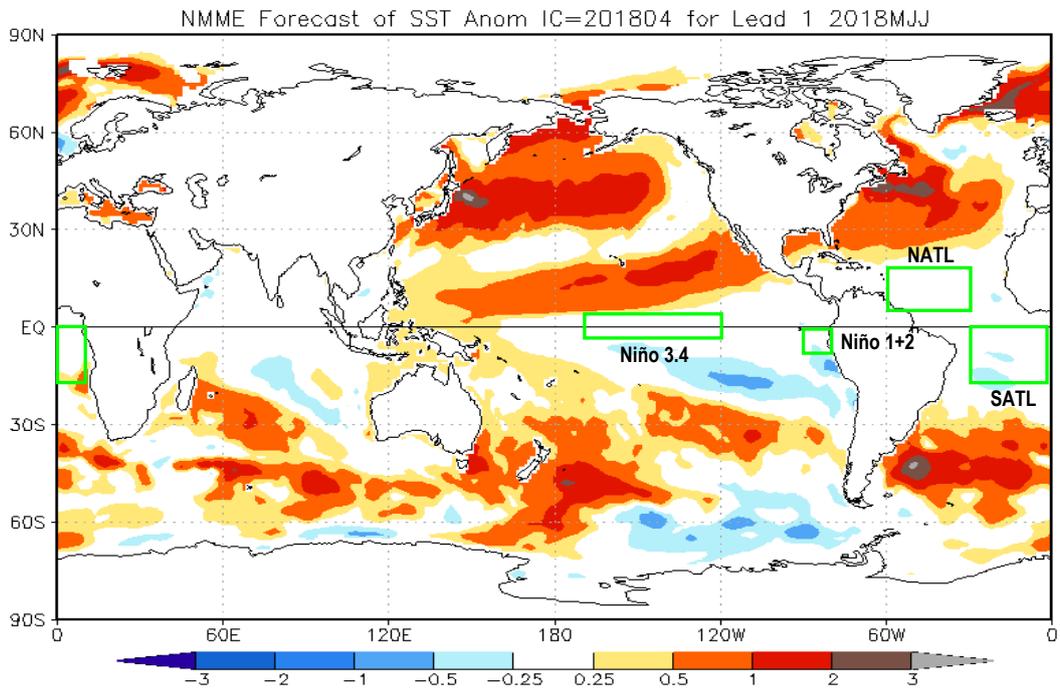


Fig. 7: Pronóstico de las anomalías de TSM (°C) a nivel global, para el trimestre mayo-julio 2018 (MJJ). Rectángulos verdes indican regiones de análisis. Fuente: *National Multi-Model Ensemble (NMME)*.

Según el reporte del NMME, los pronósticos de anomalías de TSM, para el trimestre mayo-julio 2018 (MJJ), para la región del Atlántico tropical Norte (NATL) se prevén condiciones normales (región con predominancia de color blanco, ver Fig. 7). Para la región del Atlántico tropical Sur (SATL) se pronostican condiciones ligeramente frías (región con influencia de color celeste, ver Fig. 7). Por otro lado, en la región subtropical del Atlántico Sur se observarían condiciones cálidas de moderadas a fuertes (región con anomalías positivas de TSM superiores a 2°C, en forma extendida, ver Fig. 7).

Para la región Niño 3.4 se proyectan condiciones normales (0.0°C; predominancia de color blanco en Fig. 7), de igual manera, se proyectan temperaturas normales a frías débiles para la región Niño 1+2 (región con atribución de color celeste en Fig. 7). Por otro lado, el Comunicado Oficial ENFEN N° 05-2018 (abril) señala que, los modelos de las agencias internacionales predicen condiciones neutras en la región Oriental y Central del Pacífico ecuatorial, al menos, hasta inicios de invierno, pero con una tendencia hacia condiciones cálidas alrededor de primavera.

a) Pronóstico de la Región El Niño 3.4

Con respecto a los reportes de NMME (North American Multi-Model Ensemble), las proyecciones de las anomalías de TSM en el Pacífico ecuatorial Central (Niño 3.4) para los próximos 03 meses (AMJ), presentarían condiciones ligeramente frías de acuerdo con el ensamble de los modelos (anomalías de TSM por debajo del promedio climatológico con -0.3°C, ver Fig. 8). Sin embargo, durante los próximos meses mantendría una tendencia positiva, llegando a normalizarse durante el mes de junio del año 2018 (ver Figura 8).

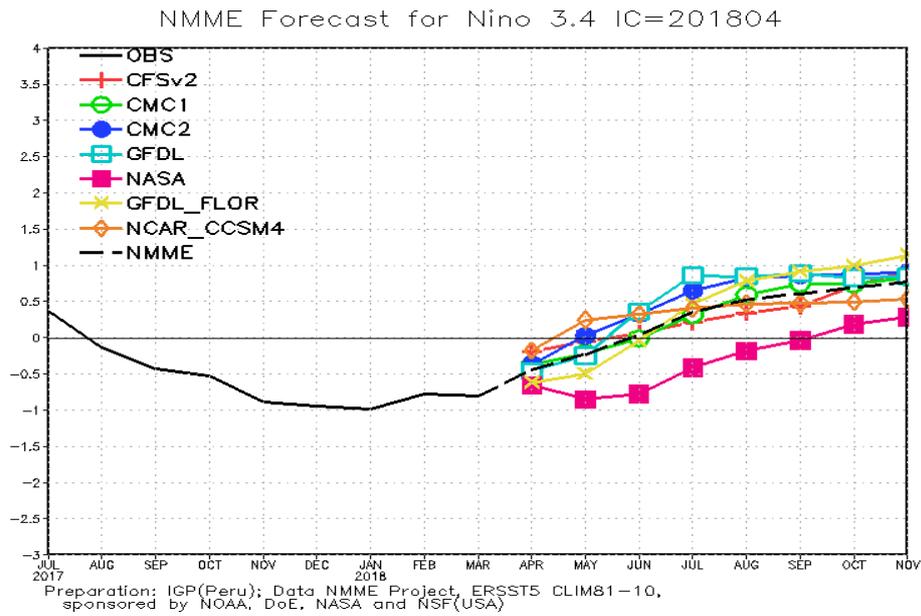


Fig. 8: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) por modelos acoplados para la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W) del Pacífico ecuatorial central, a partir de condiciones de fines de marzo 2018. Fuente: *Instituto Geofísico del Perú (IGP)*.

b) Pronóstico de la región Atlántico tropical Norte

Según el reporte del IGP elaborado con datos del NMME, los modelos de pronósticos de fines de marzo 2018 pronostican que las anomalías de TSM en el Atlántico tropical Norte (NATL) para el próximo trimestre abril-junio 2018 (AMJ) mostrarían condiciones normales (anomalías de TSM muy cercano al promedio climatológico con 0.0°C en promedio se mantendrían, pero, dentro del rango neutral, ver Fig. 9).

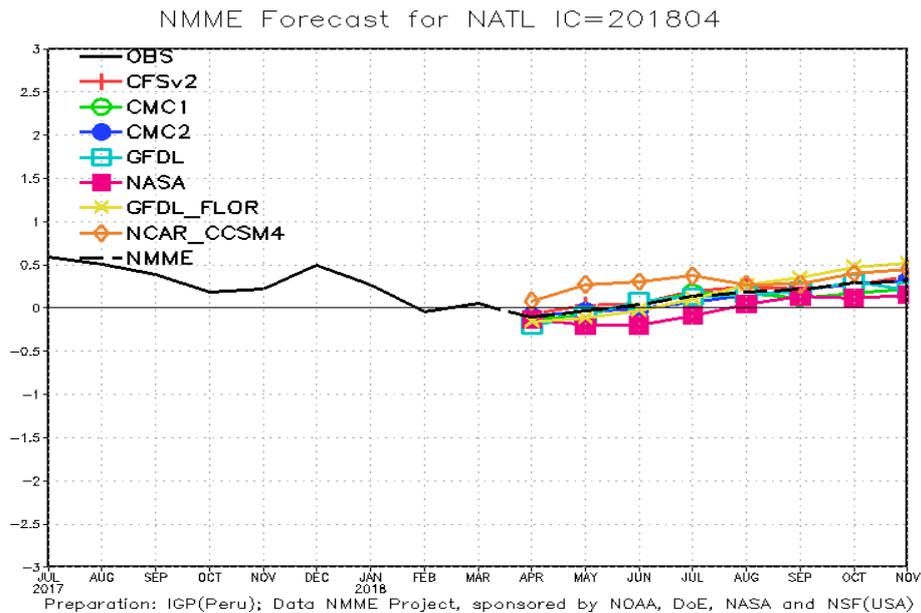


Fig. 9: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) para la región del Atlántico tropical Norte (NATL: 5°N-20°N, 30°W-60°W), a partir de condiciones de fines de marzo 2018. Fuente: *Instituto Geofísico del Perú (IGP)*.

5.2. Análisis del Pronóstico de las Precipitaciones

Según el reporte del CPTEC, el pronóstico de anomalías de precipitaciones para los próximos 03 meses abril-junio (AMJ) 2018 con datos observados de fines de marzo, mostrarían dominio de condiciones normales en gran parte de la cuenca del Amazonas, incluido la región Andino-Amazónica del Perú. Sin embargo, se mostrarían anomalías de precipitación inferiores al promedio climatológico, en el noreste de la cuenca del Amazonas con un déficit de -2 mm/día en promedio (Fig. 10). De otro lado, mostrarían anomalías de precipitación superiores al promedio climatológico en la región norte de la triple frontera Brasil-Colombia-Perú (sureste de la Amazonía colombiana).

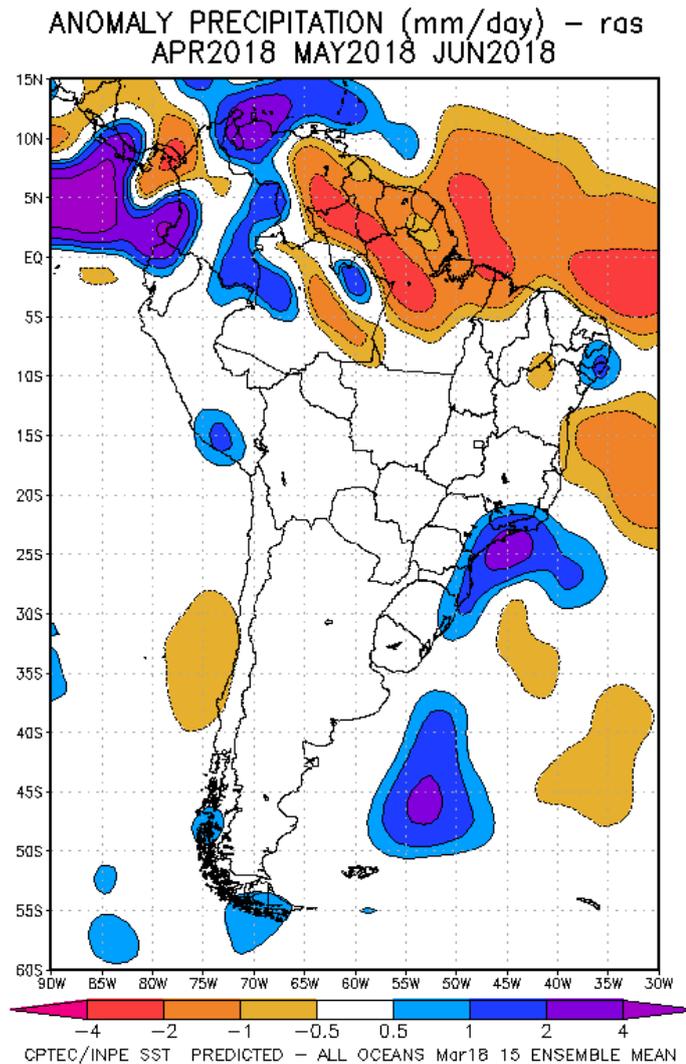


Fig. 10: Pronóstico de las anomalías de la precipitación (mm/día) método ras para el trimestre AMJ del 2018 en América del Sur, con datos observados del mes de marzo de 2018. Fuente: CPTEC/INPE.

VI. Conclusiones

Durante el mes de marzo 2018 el Pacífico ecuatorial Central (región Niño 3.4) mostró condiciones frías débiles (anomalías negativas de TSM de -0.7°C). Asimismo, la región Niño 1+2 presentó condiciones frías (anomalías negativas de TSM de -0.8°C) con un ligero descenso respecto al mes anterior, según lo indicado por el ENFEN en su Comunicado Oficial N°05-2018 (abril). El Atlántico tropical Norte (NATL) mostró condiciones ligeramente cálidas con anomalías de 01°C de TSM y condiciones ligeramente frías con anomalías negativas de TSM de -0.4°C para el Atlántico tropical Sur (SATL).

Para el periodo de análisis (marzo) se observó una débil incursión de flujo de humedad desde el Atlántico tropical Norte y del Mar Caribe y un debilitamiento de los vientos Alisios en el Pacífico ecuatorial Este. Estas condiciones han generado menos lluvia de lo normal en casi toda la cuenca amazónica durante el mes de marzo. El nivel de agua de los principales ríos Amazónicos del sur permanece por debajo del promedio climatológico, no se observaron incrementos sustanciales, pero encontrándose en la fase de transición. Anomalías negativas de precipitación han sido más importantes en la parte norte de la Amazonía peruana que en la parte sur.

Respecto a las condiciones oceánicas para el próximo trimestre (AMJ), el ENFEN señala en su Comunicado Oficial ENFEN N° 05-2018 (abril) que, los modelos de las agencias internacionales predicen condiciones neutras en la región Oriental y Central del Pacífico ecuatorial, al menos, hasta inicios de invierno, pero con una tendencia hacia condiciones cálidas alrededor de primavera.

La base de datos de las variables hidroclimáticas se sigue actualizando continuamente, recopilando informaciones provenientes de diferentes agencias internacionales de investigación del clima e instituciones locales (NOAA, IRI, CPTEC, SENAMHI, etc.). Desde el mes de febrero 2015 las variables de precipitación se encuentran a tiempo real en la página web <http://intranet.igp.gob.pe/eventos-extremos-amazonia-peruana/>.

VII. Referencias

- Espinoza J. C., Guyot J-L, Ronchail J, Cochonneau G, Filizola N, Fraizy P, de Oliveira E, Ordoñez J J and Vauchel P (2009). Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004) *J. Hydrol.* 375 297–311
- Espinoza J. C., Ronchail J., Guyot J. L., Junquas C., Vauchel P., Lavado W., Drapeau G. y Pombosa R. (2011). “Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought”. *Geophys. Res. Lett.* 38 L13406.
- Espinoza J. C., Ronchail J., Frappart F., Lavado W., Santini W., y Guyot J. L. (2012a). 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*.
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Frappart, F., Lavado, W., Santini, W., and Guyot, J.L. (2013). The Major Floods in the Amazonas River and Tributaries (Western Amazon Basin) during the 1970–2012 Period: A Focus on the 2012 Flood, *J. Hydrometeorol*, 14, 1000–1008.

- Espinoza J.C., Chavez S., Ronchail J., Junquas C., Takahashi K., Lavado W. (2015). Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resources Res.* 51, doi:10.1002/2014WR016273.
- Huffman G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, (2010) "The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA)". Chapter 1 in *Satellite Applications for Surface Hydrology*, F. Hossain and M. Gebremichael, Eds. Springer Verlag, ISBN: 978-90-481-2914-0, 3-22.
- Lavado C W S, Ronchail J, Labat D, Espinoza J C and Guyot J L (2012). "Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas watersheds" *Hydrol. Sci. J.* at press (doi:10.1080/02626667.2012.672985).
- Satyamurty P., Nobre C. A., Silva Dias P.L. (1998). "Tropics - South America". In: Karoly DJ, Vincent DG (Org.) *Meteorology and hydrology of the Southern Hemisphere*. Boston: *Meteorology Monograph*. 49:119–139.
- Yoon J. H. y Zeng H. (2010). "An Atlantic influence on Amazon rainfall". *Clim. Dyn.* 34 249–64.