



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

INFORME MENSUAL: mayo de 2018

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



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

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

Mayo, 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 mayo 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 mayo de 2018 la región del Pacífico ecuatorial Central (Niño 3.4) mostró ligeras anomalías negativas de TSM de -0.1°C en promedio (región con predominancia de color blanco en Fig. 1 y Tabla 1). Asimismo, la región del Pacífico ecuatorial Este (Niño 1+2) mostró anomalías negativas de TSM de -0.5°C en promedio (Tabla 1 y región con predominancia de color verde claro en Fig. 1) con un ligero ascenso respecto al mes de abril. El Comunicado Oficial N°07-2018 (junio) del ENFEN confirma que en la región Pacífico ecuatorial central se viene presentando condiciones normales, mientras que en la región oriental aún se mantienen condiciones ligeramente frías.

La TSM en la región del Atlántico tropical Norte (NATL) mostró condiciones ligeramente frías con anomalías de TSM de -0.5°C en promedio (región con predominancia de color blanco, ver Fig. 1 y Tabla 1), con un ligero descenso respecto al mes de abril. Asimismo, la TSM del Atlántico tropical Sur (SATL) mostró condiciones ligeramente frías con anomalías de -0.1°C durante el periodo de análisis (Fig. 1 y Tabla 1).

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

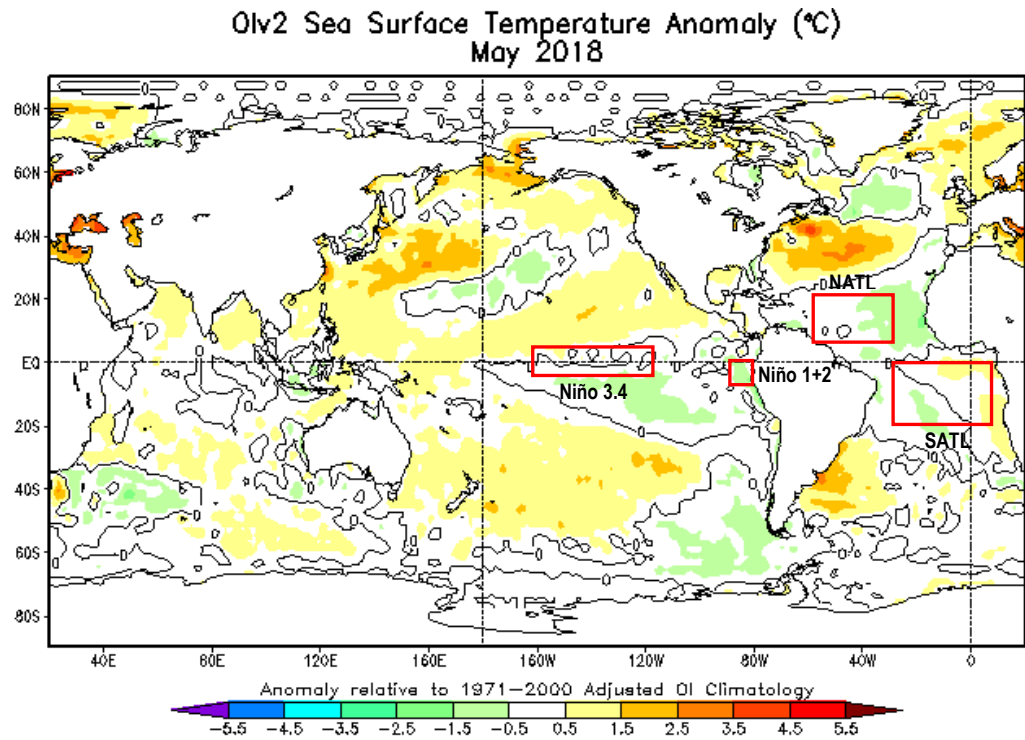


Fig. 1: Anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en °C del mes de mayo de 2018. Las anomalías son calculadas utilizando la climatología del periodo base 1971-2000. Fuente CPTEC/INPE/BRASIL.

MAYO 2018								
MES	TSM PACÍFICO				TSM ATLÁNTICO			
	NIÑO 1+2 0-10S 90W-80W	NIÑO 3.4 5N-5S 170W-120W	N. ATL 5N-20N 60W-30W	S. ATL 0-20S 30W-10E				
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
ABR 18	-1.0	24.6	-0.4	27.4	-0.2	25.7	-0.1	27.0
MAY 18	-0.5	23.7	-0.1	27.7	-0.5	25.9	-0.1	26.2

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 incursiones de flujos de humedad provenientes del Atlántico tropical Norte y del Mar Caribe hacia el extremo norte del continente. De otro lado, al este de la cuenca del Amazonas se observó un debilitamiento de los vientos Alisios, asimismo, se observa un debilitamiento de vientos Alisios en el Pacífico ecuatorial Este, los que produjeron una mayor concentración de flujo de humedad en gran parte de la región noroeste de la cuenca del Amazonas (Fig. 2).

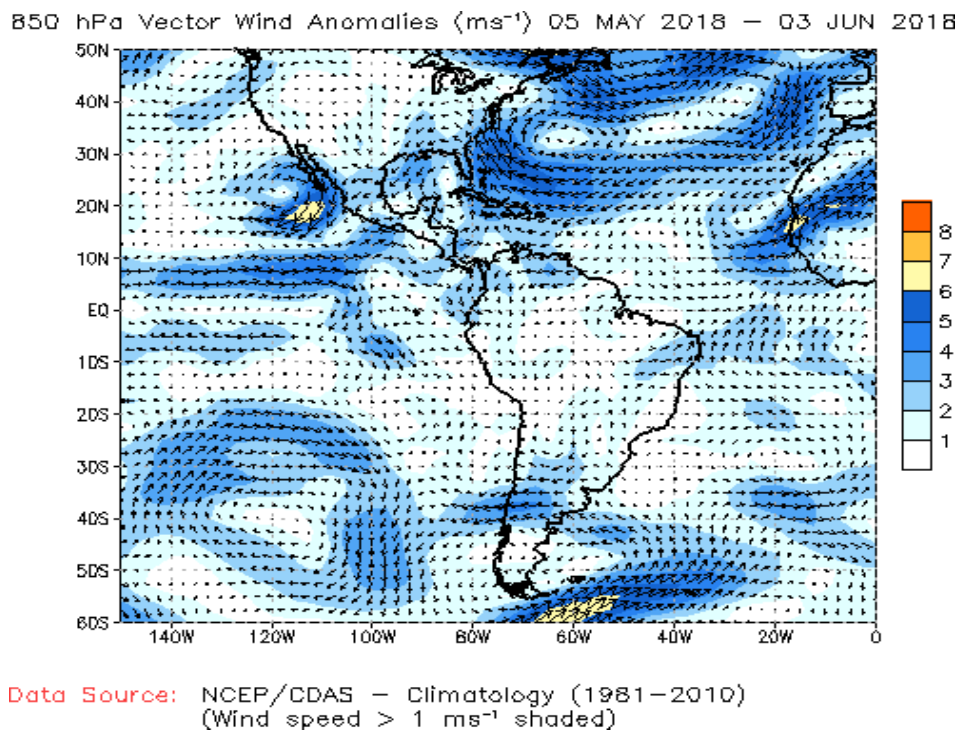


Fig. 2: Vectores de Anomalías de viento en niveles bajos (850 hPa) de la atmósfera, (del 05 mayo al 03 de junio de 2018). Las anomalías fueron calculadas utilizando el periodo base los promedios entre 1981 y 2010. Fuente: NOAA/NCEP.

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).

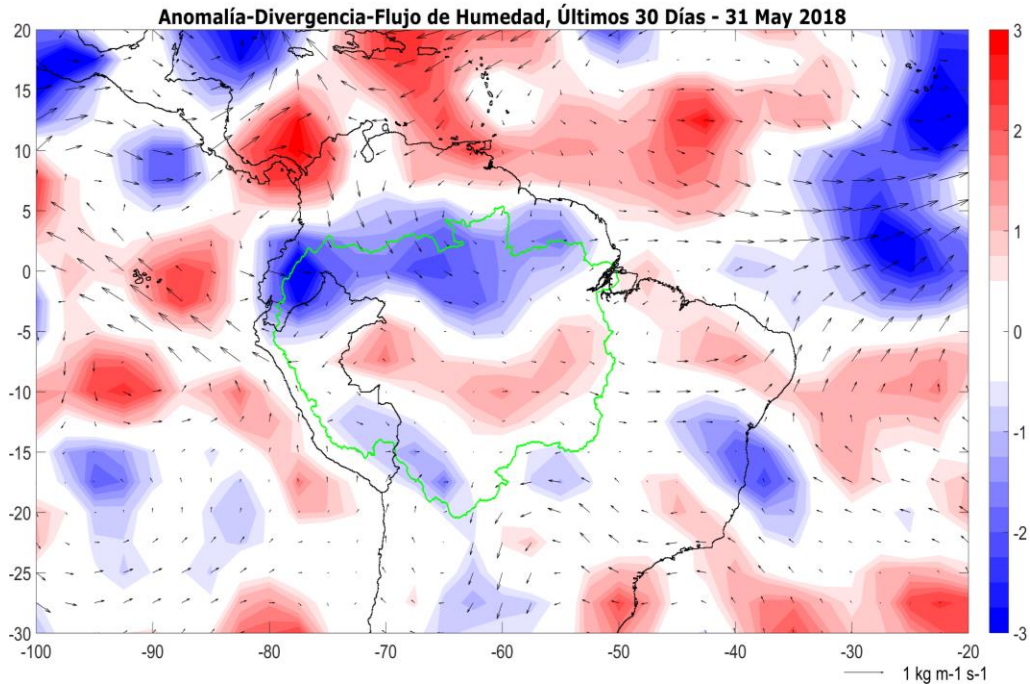


Fig. 3: Anomalías de flujo de humedad integrado en los niveles de 1000 hPa a 300 hPa de la atmósfera (vectores) y su divergencia (colores). El periodo corresponde del 01 hasta el 31 de mayo 2018. Las anomalías son calculadas utilizando el periodo base de 1970 a 2017. Los límites de la cuenca Amazónica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

En la Figura 3 se observa una fuerte convergencias de flujos de humedad en gran parte de la región norte de la cuenca amazónica, acentuadas en la Amazonía ecuatoriana, norte de la Amazonía peruana y colombiana, además, en gran parte de la cuenca del río Negro. Asimismo, se observan ligeras convergencias de flujos de humedad en el sur de la Amazonía peruana y la Amazonía boliviana. Por otro lado, se muestran divergencia de flujos de humedad en la región central y sureste de la cuenca del Amazonas.

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 mayo 2018, según datos de TRMM-RT, los valores de la precipitación fueron superiores al promedio climatológico en gran parte de la Amazonía colombiana y norte de la Amazonía peruana (cuenca del río Napo y cuenca del río Putumayo), cuyas anomalías alcanzaron en promedio 7 mm/día. Al mismo tiempo, se observaron anomalías positivas de precipitación de hasta 5 mm/día en promedio, en gran parte de la cuenca del río Negro y Branco (ver Fig. 4). Además, se observó anomalías positivas de precipitación de hasta 6 mm/día en promedio, en la Amazonía boliviana. Por otro lado, se observaron precipitaciones inferiores al promedio climatológico en la región central y sureste de la cuenca del Amazonas y como en la región central de la Amazonia peruana (ver Fig. 4).

Las condiciones de precipitación mostradas por la fuente de datos del TRMM-RT en la cuenca del Amazonas podrían atribuirse a las incursiones de flujo de humedad desde el Atlántico tropical Norte y del Mar Caribe. Además, el debilitamiento de vientos Alisios en el Pacífico ecuatorial Este (ver Fig. 2). Así, generándose convergencias de flujos de humedad sobre la región norte de la cuenca del Amazonas (Fig. 3) que originaron exceso de lluvias en la región noroeste de la cuenca Amazónica, parte de la región norte de la Amazonía peruana y parte de la colombiana (Fig. 4).

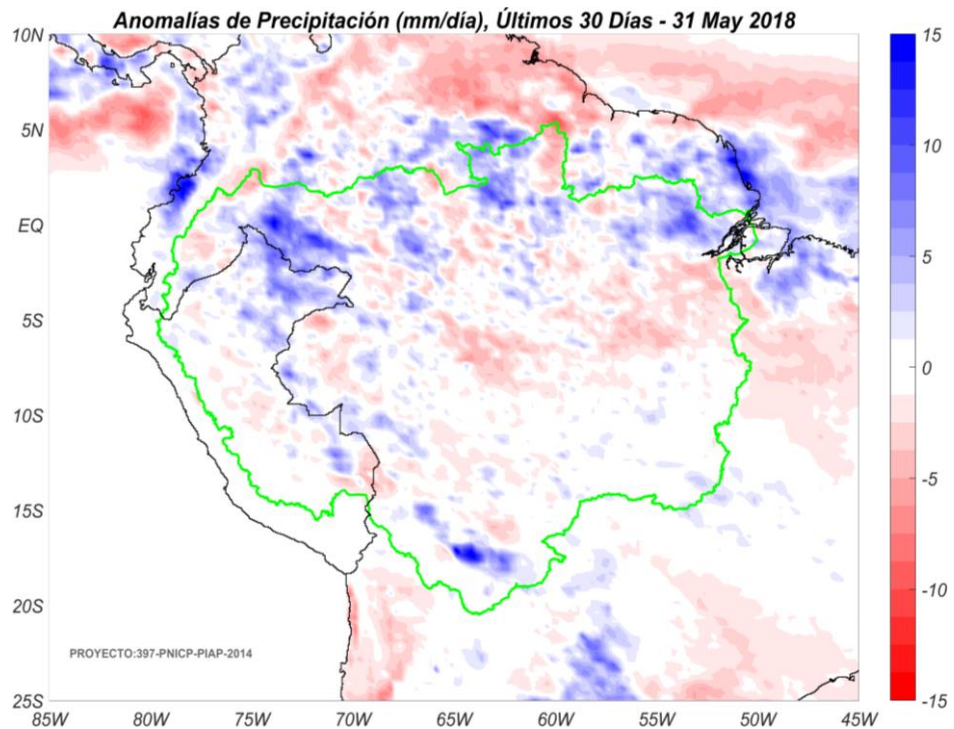


Fig. 4: Anomalías de precipitación estimadas por el TRMM-RT en mm/día hasta 31 de mayo de 2018. Las anomalías fueron calculadas con respecto al periodo base promedio 2000-2017. Se muestra los límites de la cuenca Amazónica en líneas de color verde. Las anomalías de precipitación del TRMM-RT actualizadas 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).

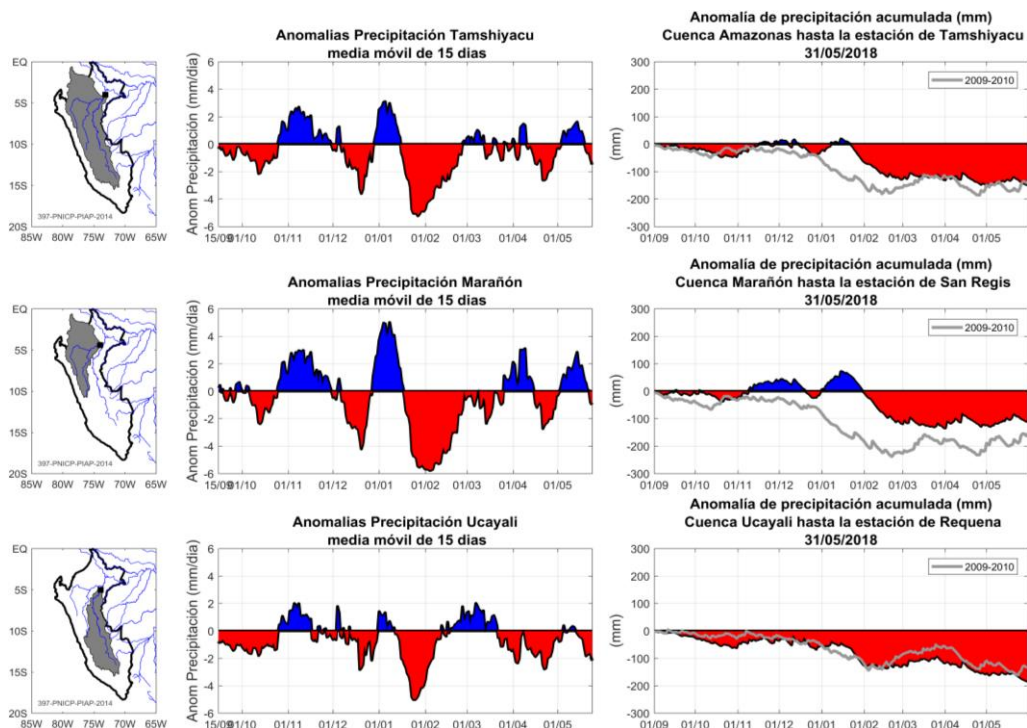


Fig. 5: Evolución temporal de anomalías de precipitación integradas en las principales cuencas hidrográficas de la Amazonía peruana: el río Amazonas hasta la estación Tamshiyacu (arriba), el río Marañón hasta la estación San Regis (medio) y el río Ucayali hasta la estación Requena (abajo). En la columna 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 dos principales cuencas de la Amazonía peruana (Amazonas y Marañón) presentaron condiciones más húmedas de lo normal, desde inicios del mes de mayo, que sobrepasaron los 1.5 mm/día, sin embargo, mostrándose condiciones más secas en la última semana. Por otro lado, en la cuenca del río Ucayali presento condiciones más secas de lo normal, desde la segunda semana de mayo, que sobrepasaron los -2.0 mm/día. En general, las tres cuencas principales del río Amazonas, presentan condiciones

ligeramente más secas de lo normal considerando el conjunto del presente año hidrológico (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 -150 mm. Además, en la cuenca del río Ucayali se observa déficit de precipitación acumulada para el presente año hidrológico, que alcanza los -180 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 -120 mm en promedio.

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 14 de junio 2018. Las estaciones de Tamshiyacu, San Regis, Requena, Pucallpa y Yurimaguas registraron anomalías de nivel de agua cercanas al promedio histórico, siendo estas anomalías de 0.9%, 2.1%, 0.8%, 0.6% y 0.2%, respectivamente. En la parte norte de la Amazonía peruana se observó convergencia de flujos de humedad traducido en mayores anomalías positivas de precipitación durante el mes de mayo (Figuras 3 y 4), consecuentemente, en niveles de agua por encima de lo normal, como se observó marcadamente en la estación de San Regis instalada en el río Marañón. En resumen, la mayoría de los ríos se encuentran en el tramo de descenso (ver Fig. 6).

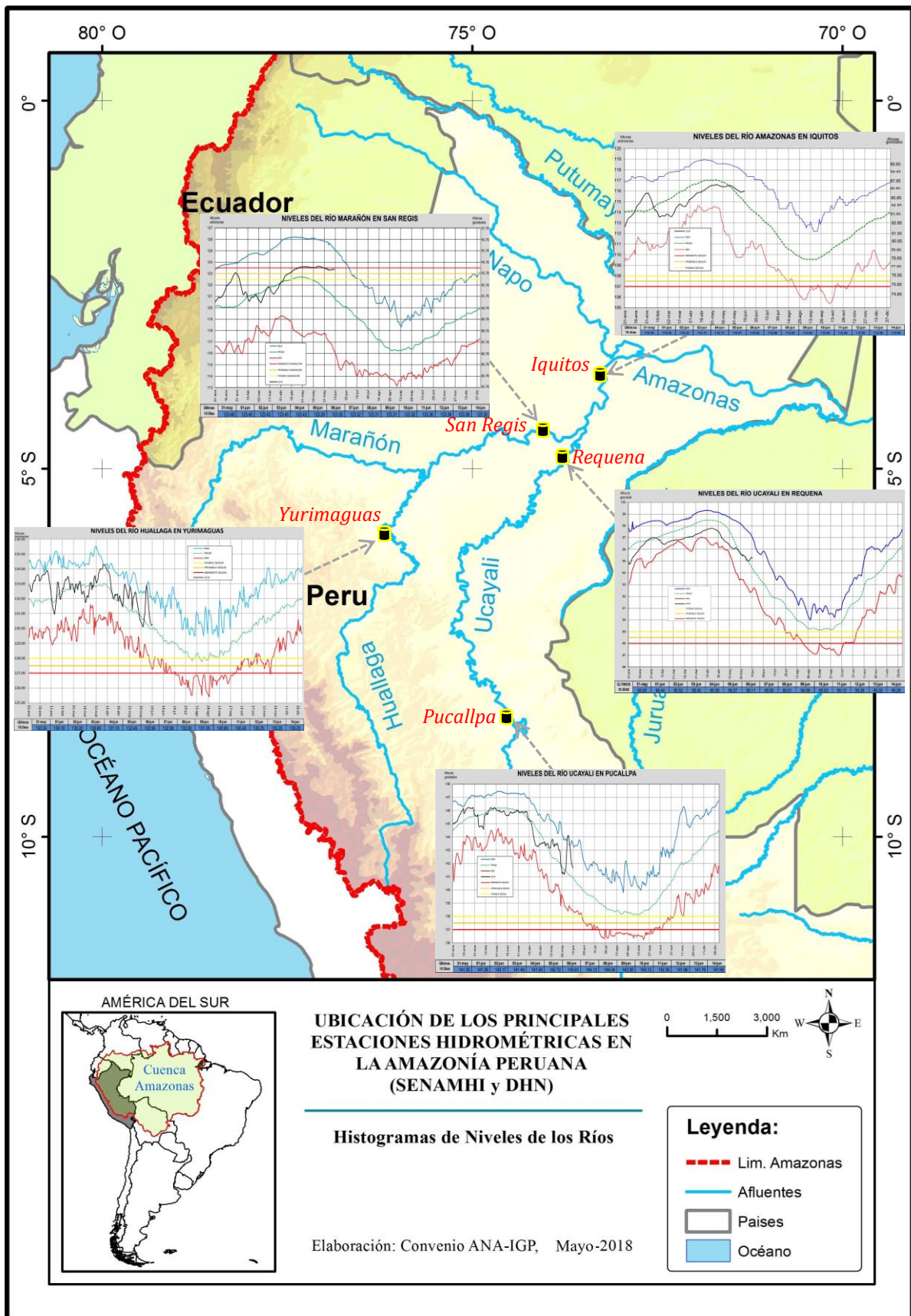


Fig. 6: Histograma de niveles de ríos diarios de los principales ríos de la Amazonía peruana. Fuente: DHN (<https://www.dhn.mil.pe/>).

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).

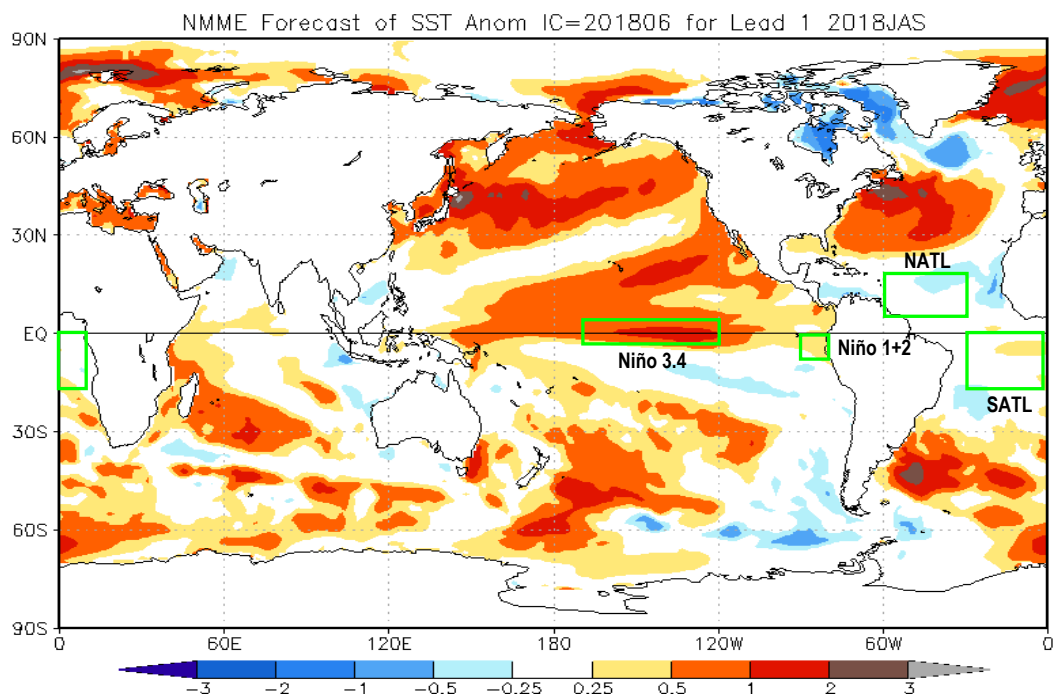


Fig. 7: Pronóstico de las anomalías de TSM (°C) a nivel global, para el trimestre julio-setiembre 2018 (JAS). Rectángulos verdes indican regiones de análisis. Fuente: *National Multi-Model Ensemble (NMME)*.

Según el reporte del NMME, los pronósticos de anomalías de TSM, para el trimestre julio-setiembre 2018 (JAS), 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 cálidas (región con influencia de color amarillo, ver Fig. 7). Asimismo, 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 moderadamente cálidas (1.0°C; predominancia de color rojo en Fig. 7), de igual manera, se proyectan temperaturas normales a cálidas débiles para la región Niño 1+2 (región con predominancia de color amarillo en Fig. 7). Por otro lado, el Comunicado Oficial ENFEN N° 07-2018 (junio) señala que, para el Pacífico central (Niño 3.4), los resultados de los modelos de las agencias internacionales indican en promedio condiciones cálidas débiles de julio a octubre. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2) estos mismos modelos señalan en promedio condiciones neutras de julio a setiembre de 2018.

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 (JJA), presentarían condiciones ligeramente cálidas de acuerdo con el ensamble de los modelos (anomalías de TSM por encima del promedio climatológico con 0.5°C, ver Fig. 8). Sin embargo, a partir del mes de junio del año 2018 presentarían condiciones ligeramente cálidas en contraste al mes de mayo, manteniendo los próximos meses una tendencia positiva (ver Figura 8).

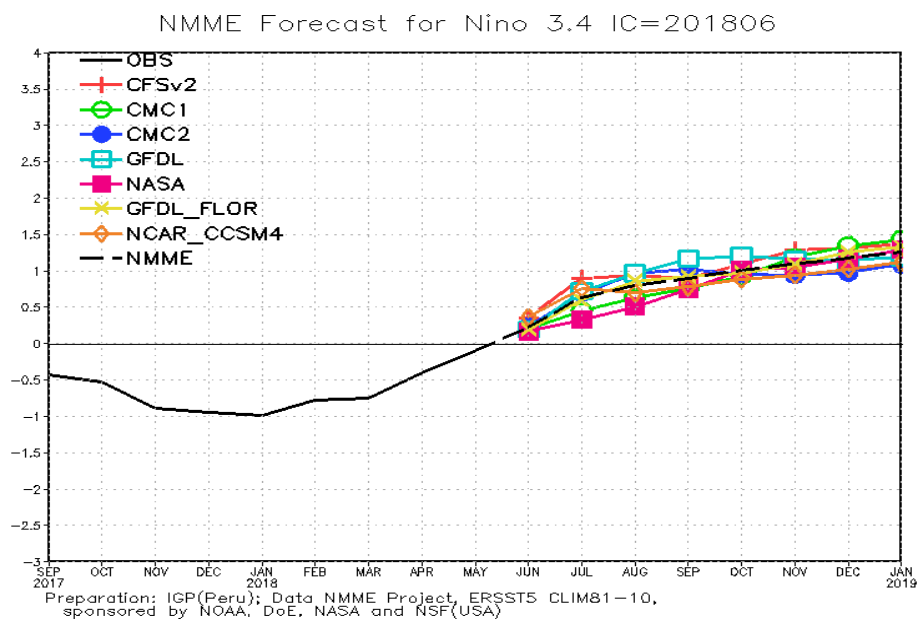


Fig. 8: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) por modelos acoplados para la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W) del Pacífico ecuatorial central, a partir de condiciones de fines de mayo 2018. Fuente: *Instituto Geofísico del Perú (IGP)*.

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 mayo 2018 pronostican que las anomalías de TSM en el Atlántico tropical Norte (NATL) para el próximo trimestre junio-agosto 2018 (JJA) mostrarían condiciones ligeramente frías (anomalías de TSM por debajo del promedio climatológico con -0.3°C en promedio se mantendrían, pero, dentro del rango neutral, ver Fig. 9).

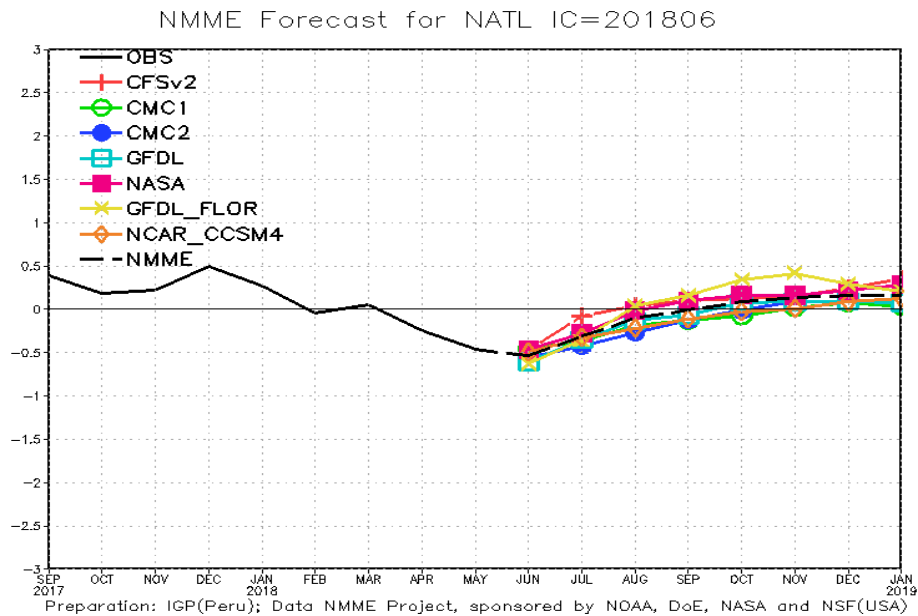


Fig. 9: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) para la región del Atlántico tropical Norte (NATL: 5°N-20°N, 30°W-60°W), a partir de condiciones de fines de mayo 2018. Fuente: *Instituto Geofísico del Perú (IGP)*.

5.2. Análisis del Pronóstico de las Precipitaciones

Según el reporte del CPTEC, el pronóstico de anomalías de precipitaciones para los próximos 03 meses junio-agosto (JJA) 2018 con datos observados de fines de mayo, mostrarían dominio de condiciones normales en gran parte de las regiones del sur de la cuenca del Amazonas, incluido gran parte de la Amazonía peruana. Sin embargo, se mostrarían anomalías de precipitación inferiores al promedio climatológico, en el noreste de la cuenca del Amazonas y regiones cercanas a la desembocadura con un déficit de -2 mm/día en promedio (Fig. 10). De otro lado, mostrarían anomalías de precipitación superiores al promedio climatológico en gran parte de la Amazonía colombiana.

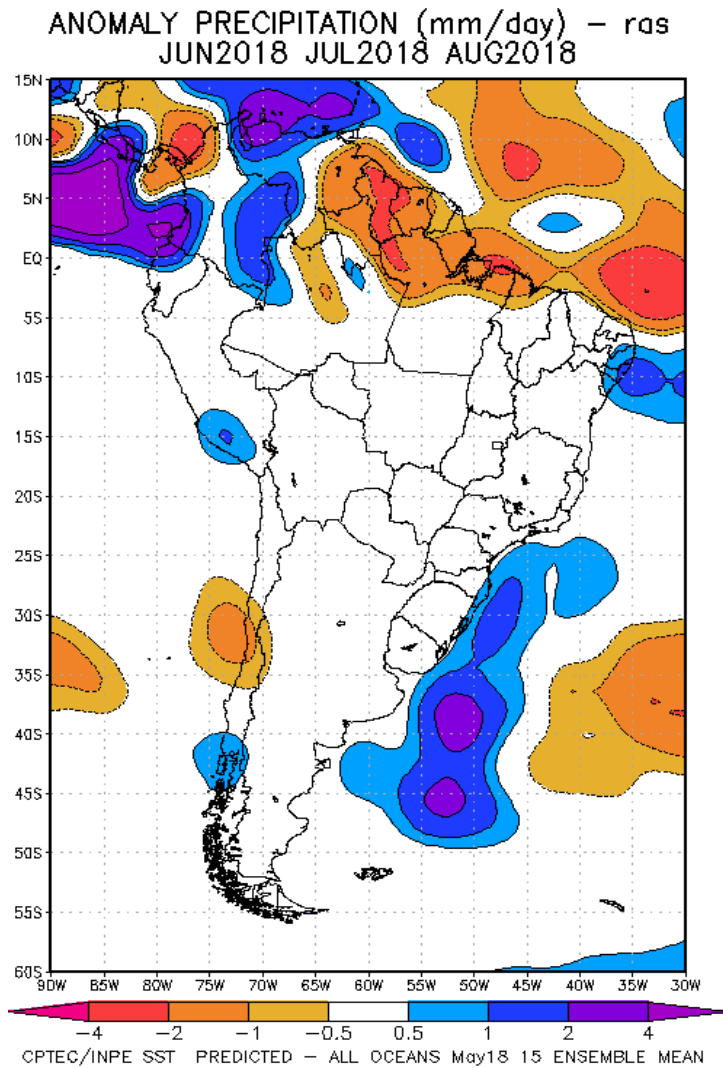


Fig. 10: Pronóstico de las anomalías de la precipitación (mm/día) método ras para el trimestre JJA del 2018 en América del Sur, con datos observados del mes de mayo de 2018. Fuente: CPTEC/INPE.

VI. Conclusiones

Durante el mes de mayo 2018 el Pacífico ecuatorial Central (región Niño 3.4) mostró condiciones frías débiles (anomalías negativas de TSM de -0.1°C). Asimismo, la región Niño 1+2 presentó condiciones frías (anomalías negativas de TSM de -0.5°C) con un ligero ascenso respecto al mes anterior, según lo indicado por el ENFEN en su Comunicado Oficial N°07-2018 (junio). El Atlántico tropical Norte (NATL) mostró condiciones frías con anomalías de -0.5°C de TSM, asimismo, condiciones ligeramente frías para el Atlántico tropical Sur (SATL).

Para el periodo de análisis (mayo) se observó una incursión de flujo de humedad desde el Atlántico tropical Norte y del Mar Caribe, asimismo, se observó debilitamiento de los

vientos Alisios en el extremo este de la cuenca del Amazonas y en el Pacífico ecuatorial Este. Estas condiciones han generado exceso de lluvias en la región norte de la cuenca amazónica, incluido el norte de la Amazonía peruana, durante el mes de mayo. Los niveles de agua de los principales ríos Amazónicos permanecen por encima del promedio climatológico, pero encontrándose todas en la fase de descenso. Anomalías negativas de precipitación han sido más importantes en la parte sur de la Amazonía peruana que en la parte norte.

Respecto a las condiciones oceánicas para el próximo trimestre (JJA), el ENFEN señala en su Comunicado Oficial ENFEN N°07-2018 (junio) que, para la región de El Niño 3.4, los resultados de los modelos de las agencias internacionales indican en promedio condiciones cálidas débiles de julio a octubre. Para la región de El Niño 1+2 estos mismos modelos señalan en promedio condiciones neutras de julio a setiembre.

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.