



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

INFORME MENSUAL: marzo de 2015

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

Marzo, 2015

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 mensual, IRI
 - b. Anomalías de precipitación últimos 30 días, TRMM
- V. Análisis de las previsiones
 - 5.1. Análisis de la temperatura superficial del mar
 - a. Pronóstico de la TSM a nivel global
 - b. Pronóstico de la región Niño 3.4
 - c. 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, 2012 y 2013) y Yoon & Zeng (2010), así como en Lavado et al. (2012), entre otros.

En este informe mensual correspondiente al mes de marzo 2015, 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° a 150°W), asimismo, el análisis de los flujos de humedad y su divergencia en la región (20°N a 30°S, 20°W a 100°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 son reportados en magnitudes de m/s, ambos en formato gráfico.

a) Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Durante el mes de marzo 2015 el Pacífico ecuatorial Central, la región Niño 3.4 mostró anomalías positivas de TSM de 0.6°C en promedio (Tabla 1), semejante al mes anterior (dominio de áreas en amarillo pálido en Fig. 1). Asimismo, la región del Pacífico ecuatorial Este (Niño 1+2) mostró ligeras anomalías positivas de TSM de 0.1°C en promedio (domino de área en blanco en Fig. 1 y Tabla 1), con un ascenso de 0.6°C respecto al mes anterior. En general, el Pacífico ecuatorial presenta condiciones neutras a cálidas débiles, tal como ha sido reportado por el ENFEN en su Comunicado Oficial N°05-2015 (marzo).

La región del Atlántico tropical Norte (NATL) mostró anomalías negativas de TSM de -0.2°C en promedio para el mes de marzo (parcialmente de color verde pálido al lado este, ver Fig. 1 y Tabla 1), con un descenso respecto al mes de febrero. Por otro lado, la región Atlántico tropical Sur (SATL) mostró anomalías neutras de TSM de 0.0°C en promedio (parcialmente de color amarillo pálido en el extremo sur, ver Fig. 1 y Tabla 1), con un ligero descenso respecto al mes anterior.

En resumen, la TSM de la región del Pacífico ecuatorial muestran condiciones neutras a cálidas débiles y las regiones del Atlántico tropical muestran condiciones neutras a frías débiles durante marzo de 2015 (Fig. 1).

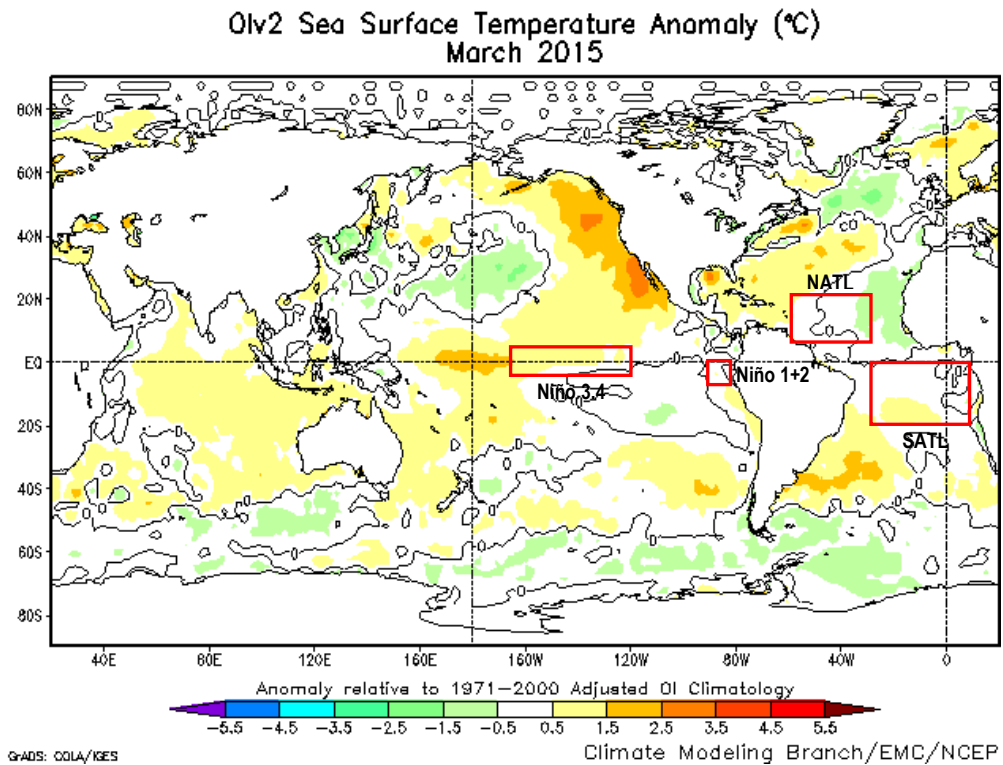


Fig. 1: Anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en °C del mes de marzo de 2015. Las anomalías son calculadas utilizando la climatología del periodo base 1971-2000. Fuente NOAA/NCEP.

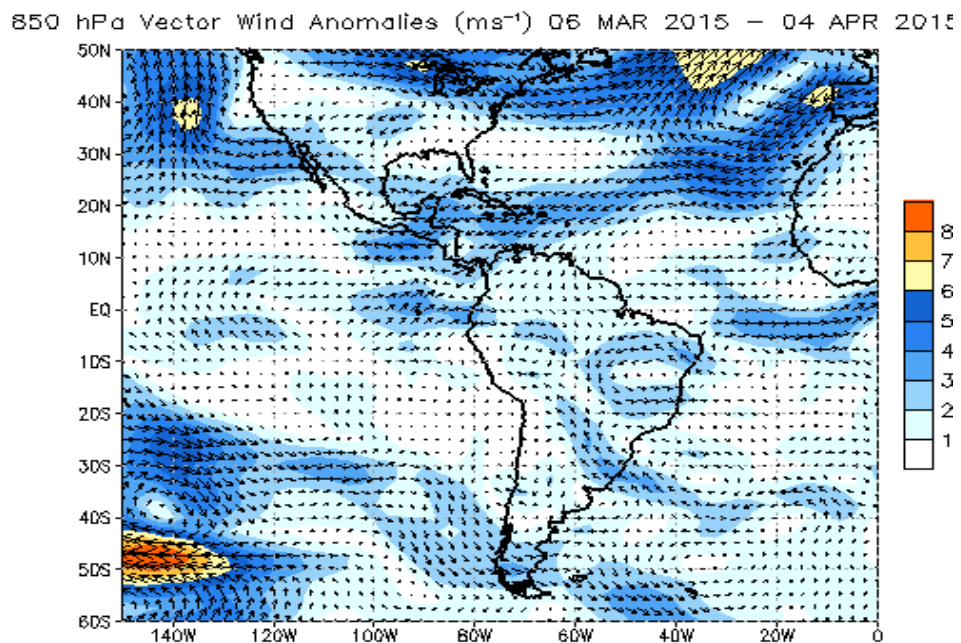
MARZO 2015								
MES	TSM PACÍFICO				TSM ATLÁNTICO			
	Niño 1+2 0-10S 90W-80W		Niño 3.4 5N-5S 170W-120W		N. ATL 5N-20N 60W-30W		S. ATL 0-20S 30W-10E	
MAR 14	-0.8	25.9	-0.2	27.0	-0.3	25.3	0.1	27.2
ABR 14	-0.4	25.2	0.2	28.0	-0.3	25.6	0.1	27.2
MAY 14	1.3	25.6	0.5	28.3	-0.3	26.0	0.4	26.6
JUN 14	1.6	24.5	0.5	28.1	-0.3	26.5	0.3	25.3
JUL 14	1.4	23.0	0.2	27.4	-0.3	26.9	0.0	23.8
AGO 14	1.3	21.9	0.2	27.0	-0.2	27.5	0.0	23.1
SET 14	1.0	21.3	0.5	27.2	0.1	28.2	0.0	23.0
OCT 14	0.8	21.5	0.5	27.2	0.3	28.4	0.0	23.3
NOV 14	0.7	22.3	0.9	27.5	0.1	27.7	-0.5	23.5
DIC 14	0.1	22.9	0.8	27.4	0.0	26.8	-0.4	24.4
ENE 15	-0.4	24.1	0.5	27.1	0.1	26.1	0.1	25.7
FEB 15	-0.6	25.6	0.6	27.3	0.3	25.8	0.1	26.7
MAR 15	0.1	26.7	0.6	27.8	-0.2	25.4	0.0	27.2

Tabla 1. Temperatura superficial del mar (Anomalías 1ra. columna y °C 2da. columna) para los 12 meses más recientes. 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.

Las anomalías de TSM en el Atlántico subtropical Sur (costas de Argentina, Uruguay y sur de Brasil) continúan siendo positivas (alrededor de 1.5°C en forma extendida), con un ascenso respecto al mes anterior. Estas anomalías positivas produjeron abundantes lluvias en el suroeste de la cuenca amazónica (ríos Madre de Dios y Madeira) durante el verano de 2014 (Espinoza et al., 2014).

b) Anomalías de la Circulación Atmosférica

En la región del Pacífico tropical, cerca de la costa norte peruana, se observó debilitamiento de los vientos Alisios con ligeras influencias de anomalías positivas de vientos del noreste considerando los niveles bajos de la tropósfera (Fig. 2). Asimismo, en la región del Atlántico tropical se observó debilitamiento de los vientos Alisios principalmente en la región ecuatorial (Fig. 2). Dentro del continente Sudamericano, se ha intensificado con respecto al mes anterior (ver reporte de febrero) la incursión de anomalías de vientos provenientes del Atlántico tropical Norte y Mar Caribe hacia la zona central y oeste de la cuenca Amazónica.



Data Source: NCEP/CDAS - Climatology (1981-2010)
(Wind speed > 1 ms⁻¹ shaded)

Fig. 2: Anomalia de vientos en niveles bajos (850 hPa) de la atmósfera, (del 05 de marzo al 04 de abril de 2015). Las anomalías fueron calculadas utilizando el periodo base los promedios entre 1981 y 2010. Fuente: NOAA/NCEP.

Asimismo, se observó incursión de vientos desde el Atlántico tropical Sur hacia el sureste de la cuenca Amazónica (Fig. 2). Esta anomalía de vientos se ha venido observando en los meses anteriores (ver informes de diciembre a febrero).

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°x2.5° y resolución temporal diaria. El periodo de análisis es del año 1970 al presente (45 años), sobre 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 de la superficie a 300 hPa, para más detalle revisar Satyamurty *et al.* (1998).

Durante el periodo de análisis, predominaron anomalías de convergencias de flujo de humedad en gran parte de la región central y oeste de la cuenca Amazónica (Amazonía colombiana y norte de la Amazonía peruana; Fig. 3). Además, se observa convergencia de flujos de humedad en gran parte de la Amazonía peruana (cuencas de Ucayali, Huallaga, Marañón, Pastaza, Tigre y Napo), probablemente asociadas a ingresos de humedad desde el Atlántico tropical Norte, Mar Caribe y Atlántico tropical Sur, descrito en la Figura 2.

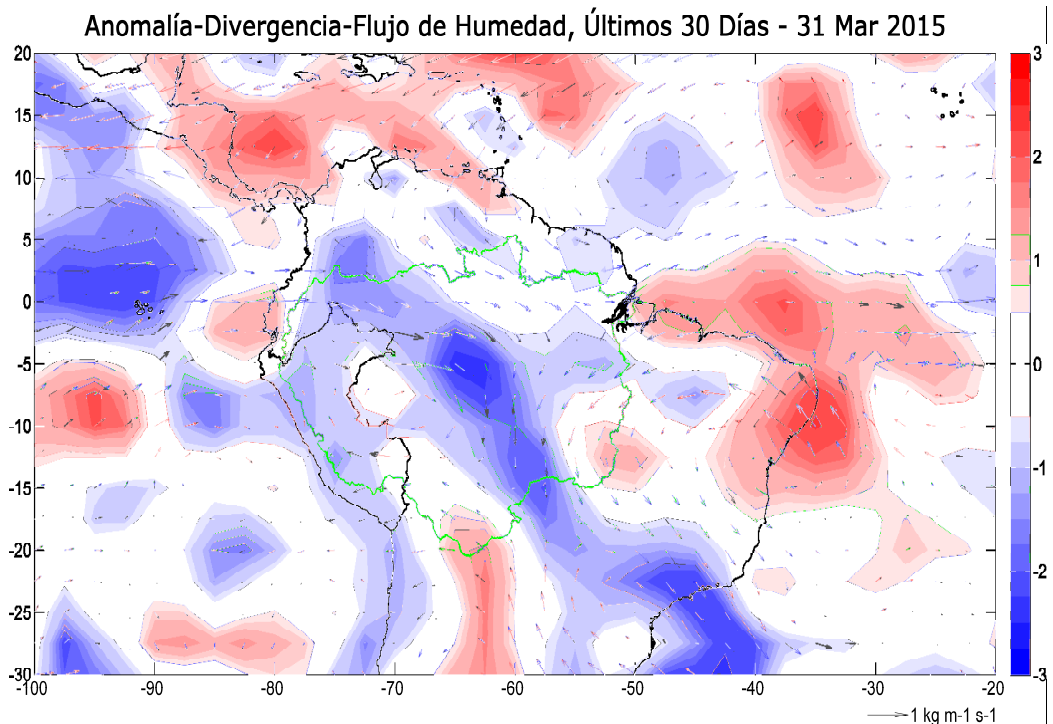


Fig. 3: Anomalías de flujo de humedad integrado en los niveles de 1000 hPa a 300 hPa de la atmósfera y su divergencia. El periodo corresponde de 01 al 31 de marzo 2015. Las anomalías son calculadas utilizando el periodo base de 1970 a 2014. Se muestra límites de la cuenca Amazónica en línea verde.

4.2. Análisis de Precipitaciones

Esta sección presenta el análisis de las anomalías de precipitación de dos fuentes de datos: 1) International Research Institute for Climate and Society (IRI) y 2) Radar Tropical Rainfall Measuring Mission a tiempo real (TRMM-3B42RT), para más detalle revisar Huffman et al. (2010). Los datos (mapas) reportados por el IRI son anomalías de precipitación en mm/mes a nivel global, Sudamérica y otros, mientras TRMM-RT reportan datos diarios a nivel global, pero procesados para la región de interés (7°N a 22°S; 82°W a 48°W) haciendo uso del programa Matlab®, mostrando anomalías de precipitación en mm/día.

a) Anomalías de Precipitación IRI

El reporte del IRI muestra anomalías de precipitación en unidades de mm/mes basándose en estimaciones de la precipitación del conjunto de datos CAMS_OPI v0208 del Centro de Predicción del Clima de NOAA NCEP. El período utilizado para el cálculo de la climatología es 1979-2000 a una resolución horizontal de 2.5° de

latitud/longitud. Las zonas en color verde en el mapa indican precipitación superior a la media climatológica, y las zonas en color marrón en el mapa indican zonas con precipitación inferior a la media climatológica. Los contornos se dibujan en incrementos de +/- 10, 25, 50, 100,... 500 mm/mes, para mayor detalle revisar Janowiak and Xie (1999).

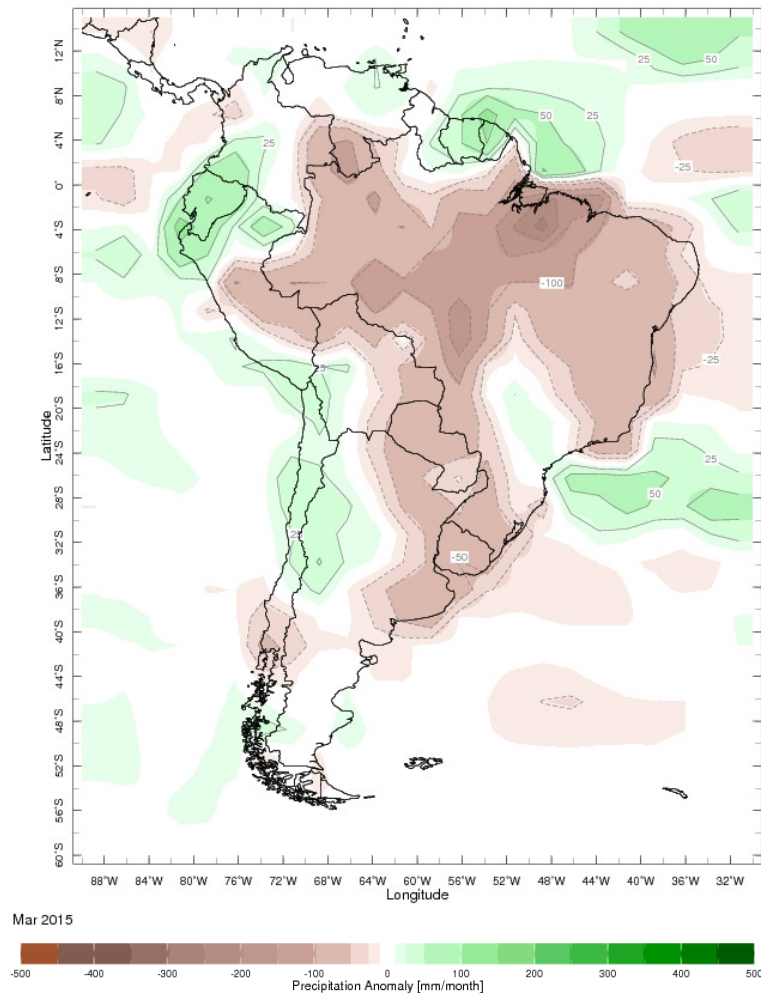


Fig. 4: Anomalías de precipitación (mm/mes) para el mes de marzo de 2015. Las anomalías fueron calculadas con respecto al periodo base de los promedios mensual de 1979 a 2000. Fuente: International Research Institute for Climate and Society (IRI).

Durante el mes de marzo, según la información de la Figura 4 se observaron anomalías de precipitación inferiores a lo normal en gran parte de la cuenca Amazónica (anomalías negativas inferiores a 150 mm/mes, ver Fig. 4). Por otro lado, se muestra la presencia de anomalías de precipitación sobre lo normal en el extremo noroeste (norte de la Amazonía peruana y ecuatoriana) y suroeste (sur de

la Amazonía peruana y suroeste de la Amazonía boliviana) de la cuenca Amazónica (anomalías positivas inferiores a 100 mm/mes, ver Fig. 4).

En general, las precipitaciones por debajo de los valores climatológicos en gran parte de la cuenca Amazónica difieren de las convergencias de flujos de humedad en esta región provenientes del Atlántico tropical Norte y Sur, que son trasladados hacia la región central de la misma y la zona de los Andes.

b) Anomalías de Precipitación Radar TRMM-RT

Durante el periodo de 01 hasta 31 de marzo 2015, según datos de TRMM-RT, la magnitud de las precipitaciones estuvo por debajo de lo normal (anomalías de -6 mm/día en promedio) principalmente en algunas regiones del suroeste (Amazonía boliviana) y noroeste (Amazonía colombiana) de la cuenca Amazónica (Fig. 5). En la región oeste, gran parte de la Amazonía peruana central muestran anomalías negativas de precipitación (anomalías de -5 mm/día en promedio).

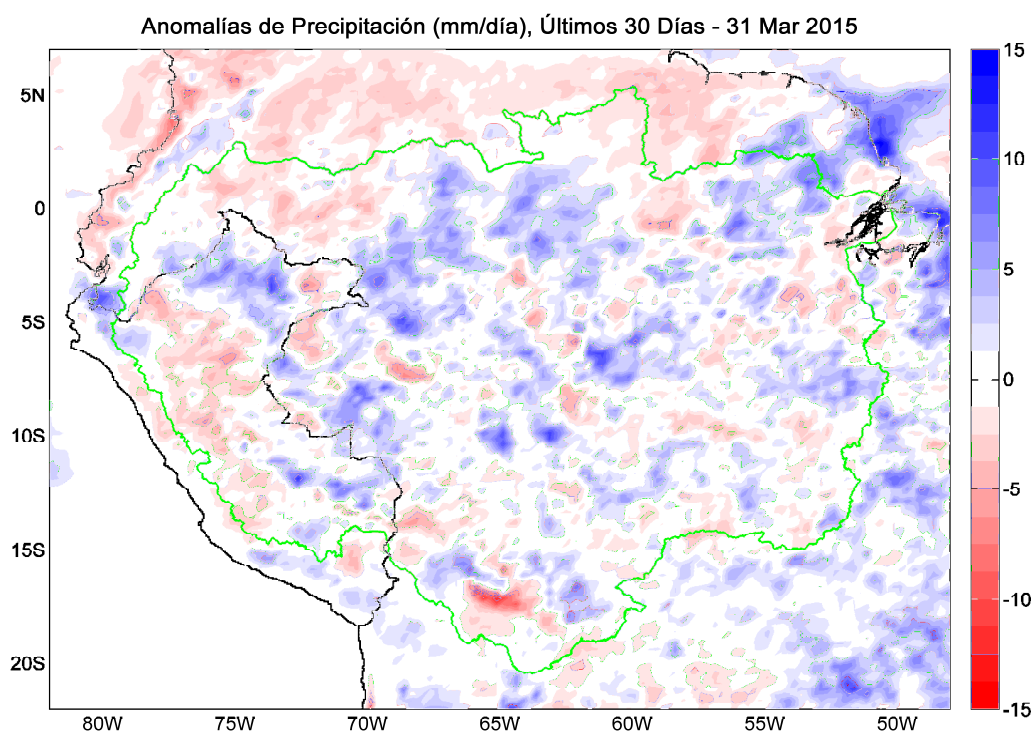


Fig. 5: Anomalías de precipitación estimadas por el TRMM-RT en mm/día para marzo de 2015. Las anomalías fueron calculadas con respecto al periodo base promedio 2001-2014. Se muestra límites de la cuenca Amazónica en línea verde. Las anomalías de precipitación del TRMM-RT actualizadas a tiempo real puede verse en: <http://www.igp.gob.pe/eventos-extremos-amazonia-peruana/>

Según lo mostrado por la fuente de datos del TRMM-RT, se presentan anomalías positivas de precipitación en el central-norte de la cuenca Amazónica (principalmente alrededor de la triple frontera Perú-Colombia-Brasil) y en el norte y sur de la Amazonía peruana que coinciden con las convergencias de flujos de humedad en esta región. Los datos de precipitación provenientes del IRI difieren del TRMM-RT en gran parte de la región analizada, a excepción de la Amazonía peruana.

V. Análisis de las Previsiones

En esta 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 intensas lluvias 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).

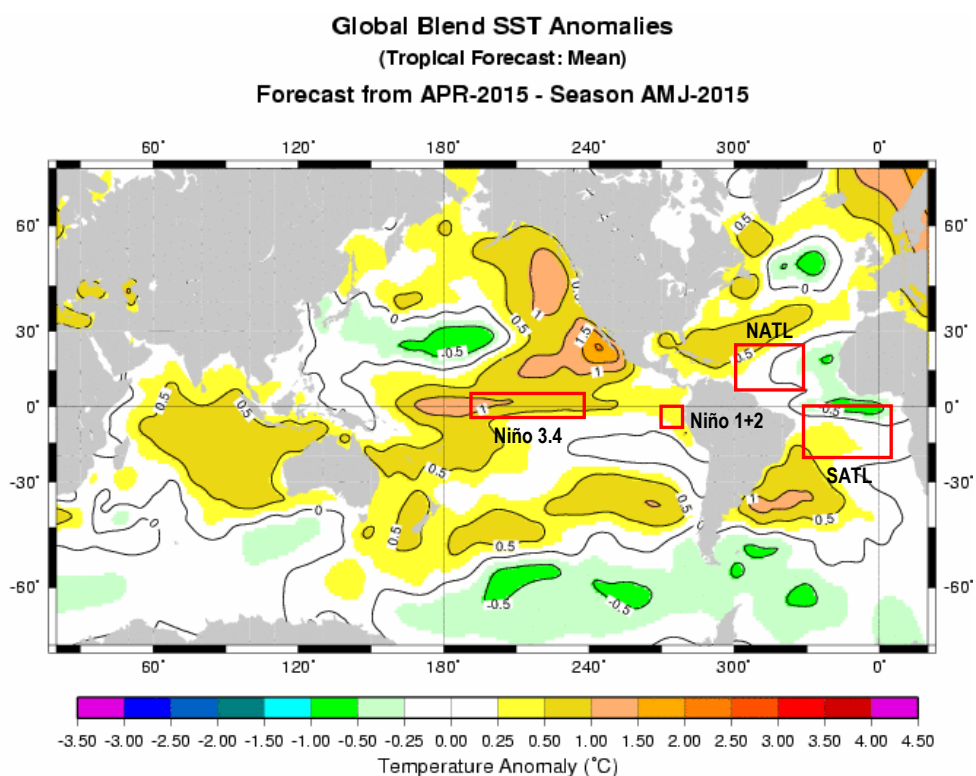
5.1. Análisis de la Temperatura Superficial del Mar

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).

a) Pronóstico de la TSM a nivel Global

Según el reporte del IRI, los pronósticos de anomalías de TSM, para el trimestre abril-junio (AMJ) de 2015, proyectan condiciones cálidas moderadas para la región Niño 3.4 (dominio de color amarillo oscuro con mancha de color coral al lado oeste en Fig. 7) y condiciones neutrales (ligeramente cálidas) para la región Niño 1+2 (dominio de color amarillo pálido en Fig. 7). Asimismo, el Comunicado Oficial ENFEN N° 05-2015 (marzo) manifiesta que, a partir del mes de mayo se presentaría un evento El Niño Costero (región Niño 1+2) con una magnitud entre

débil y fuerte dependiendo del modelo, en forma similar para el Pacífico central (región Niño 3.4).



IRI 2015 Mar 30 12:32:07

Fig. 7: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (°C) a nivel global, para el trimestre abril-junio (AMJ). Rectángulos rojos indican regiones de análisis. Fuente: International Research Institute for Climate and Society (IRI).

Para la región del Atlántico tropical Norte (NATL) se prevén anomalías de TSM en condiciones neutras (región de color amarillo/verde pálido, ver Fig. 7) para el trimestre AMJ. Para la región del Atlántico tropical Sur (SATL) pronostican anomalías de TSM neutras a ligeramente cálidas (región parcialmente de color amarillo pálido con manchas de color verde en el extremo superior, ver Fig. 7). Cabe resaltar que las anomalías positivas de TSM persistirían en la región subtropical del Atlántico Sur (regiones con anomalías positivas menores a 1.5°C, en forma más localizada, ver Fig. 7).

b) Pronóstico de la Región El Niño 3.4

En cuanto 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 al margen de las condiciones cálidas débiles de acuerdo al ensamble de los modelos (TSM sobre el promedio climatológico con 0.9°C en promedio, ver Fig. 8). Las proyecciones mantendrían una tendencia positiva pronunciada hasta el mes de agosto de 2015 sobrepasando 1.5°C , para luego retomaría una tendencia positiva más suave, ver Figura 8.

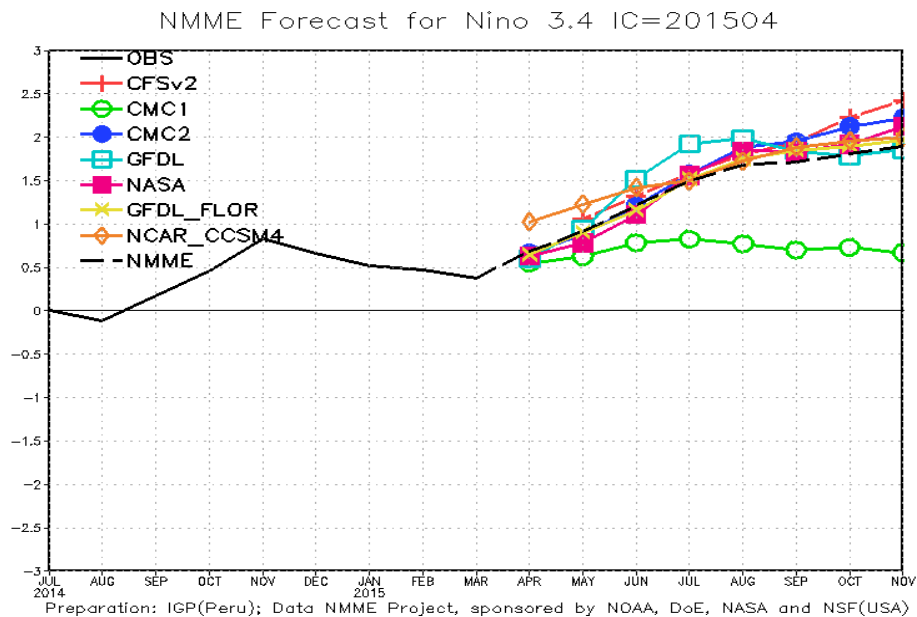


Fig. 8: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) por modelos acoplados para la región Niño 3.4 (5°N - 5°S , 120°W - 170°W) del Pacífico ecuatorial central, a partir de condiciones de fines de marzo 2015. Fuente: CPC/NCEP/NOAA.

c) Pronóstico de la región Atlántico Tropical Norte

Según el reporte del IGP elaborados con datos del NMME, los modelos de pronósticos de fines de marzo 2015 pronostican que las anomalías de TSM en el Atlántico tropical Norte (NATL) para el próximo trimestre abril-junio (AMJ) mostrarían condiciones neutrales (TSM cercanas al promedio climatológico, ver Fig. 9). Sin embargo, las proyecciones mostrarían ligeras anomalías positivas de TSM de alrededor de 0.2 en promedio para el mes de junio. La región mantendría

una ligera tendencia positiva hasta el mes de setiembre alcanzando un valor de 0.5°C, pero en el rango de las condiciones neutrales.

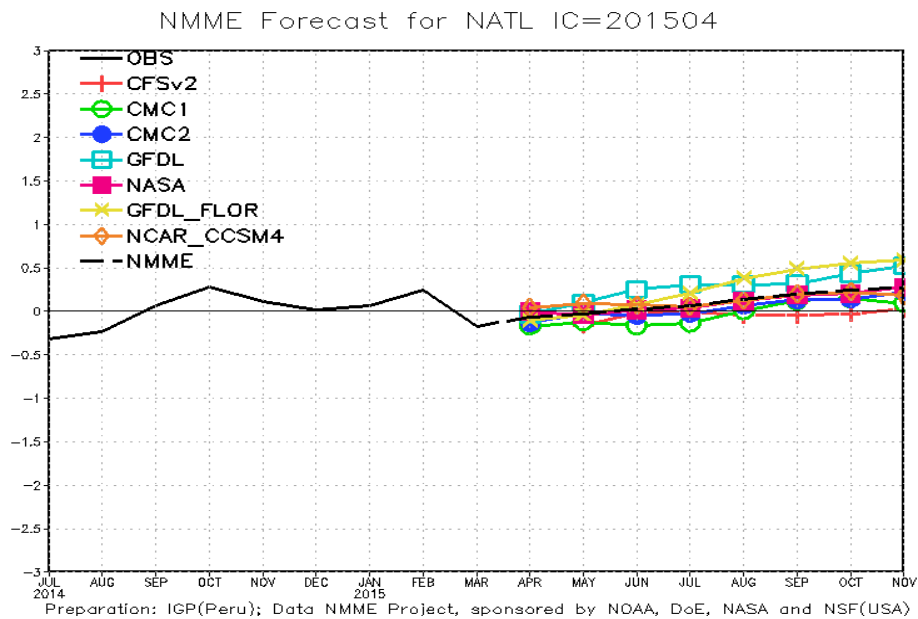


Fig. 9: Pronóstico de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) para la región del Atlántico tropical Norte (NATL: 5°N-20°N, 30°W-60°W), a partir de condiciones de fines de marzo 2015. Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP).

5.2. Análisis del Pronóstico de las Precipitaciones

En el reporte del CPTEC, los pronóstico de anomalías de precipitaciones para los próximos 03 meses abril-junio (AMJ) 2015 con datos observados de fines de marzo, mostrarían dominio de anomalías negativas de precipitación en la región este de la cuenca Amazónica (región adyacente a la desembocadura), con valores de hasta -4 mm/día (Fig. 10).

En general, gran parte de la cuenca Amazónica mostrarían una distribución de lluvias en condiciones normales (dominio de color blanco en la Figura 10). Sin embargo, el extremo norte de la Amazonía peruana y alrededor de la triple frontera (parte de la cuenca del Napo) presentarían anomalías de precipitación sobre lo normal (valores inferiores a 2 mm/día).

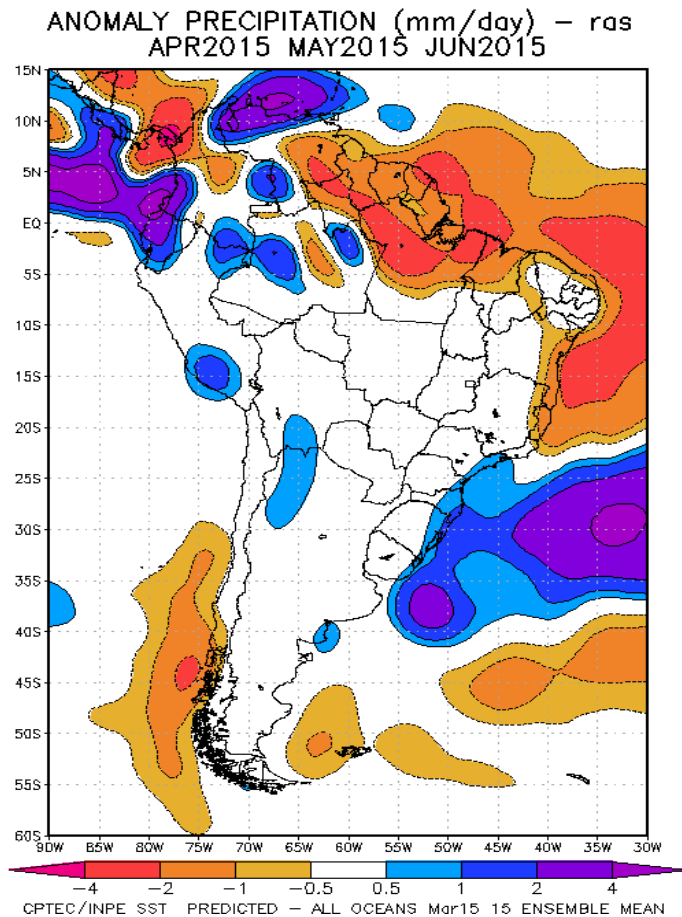


Fig. 10: Pronóstico de las anomalías de la precipitación (mm/día) método **ras** para los meses de AMJ del 2015 en América del Sur, con datos observados del mes de marzo. Fuente: CPTEC/INPE.

VI. Conclusiones

Durante el mes de marzo 2015, la TSM en el Pacífico ecuatorial región Niño 3.4 presentó condiciones cálidas débiles (anomalías positivas de TSM de 0.6°C), semejante al mes anterior. La región Niño 1+2 presentó condiciones neutrales (ligeras anomalías positivas de TSM de 0.1°C). El Atlántico tropical Norte (NATL) y el Atlántico tropical Sur (SATL) presentan condiciones neutrales (ligeras anomalías negativas de TSM de -0.2°C y 0.0°C respectivamente).

Durante el periodo de análisis (marzo), predominaron anomalías de convergencias de flujo de humedad en gran parte de la región central de la cuenca Amazónica extendiéndose hacia el noroeste (Amazonía colombiana y norte de la Amazonía peruana y sureste (norte de la cuenca La Plata). Adicionalmente, se observa convergencia de flujos de humedad en gran parte de la Amazonía peruana (cuencas de

Ucayali, Huallaga, Marañón, Pastaza, Tigre y Napo), probablemente asociadas a la intensificación de flujos de humedad desde el Atlántico tropical Norte, Mar Caribe y de la incursión de vientos y flujos de humedad del Atlántico tropical Sur hacia la zona sureste de la cuenca.

Hasta fines del mes de marzo 2015, Según lo mostrado por la fuente de datos del TRMM-RT, se presentan anomalías positivas de precipitación en el central-norte de la cuenca Amazónica (principalmente alrededor de la triple frontera Perú-Colombia-Brasil) y en el norte y sur de la Amazonía peruana que coinciden con las convergencias de flujos de humedad en esta región. Los datos de precipitación provenientes del IRI difieren del TRMM-RT en gran parte de la región analizada, a excepción de la Amazonía peruana.

Respecto a las condiciones hidroclimáticas en los próximos meses, los modelos numéricos indican que a partir del mes de mayo se presentaría un evento El Niño Costero (región Niño 1+2) con una magnitud entre débil y fuerte dependiendo del modelo y en forma similar para el Pacífico central (región Niño 3.4). Estas anomalías de TSM han sido documentadas en el Comunicado Oficial ENFEN N° 05-2015 (marzo). La ocurrencia de un calentamiento en el Pacífico central en los próximos meses podría generar déficits de precipitaciones en la región Amazónica y en el flanco este de los Andes, como ha sido documentado en estudios previos (e.g. Espinoza et al., 2011; Lavado & Espinoza, 2014). Por lo tanto, la evolución de las variables oceánicas y atmosféricas deben ser monitoreadas en los próximos meses, considerando que se inicia el periodo de aguas bajas en los ríos amazónicos. Sin embargo, los pronósticos de precipitaciones provenientes del CPTEC mostrarían anomalías neutras en gran parte de la cuenca Amazónica para los meses de abril a mayo.

La base de datos de las variables hidroclimáticas se sigue actualizando continuamente, compilando informaciones provenientes de diferentes agencias internacionales de investigación del clima e instituciones locales (NOAA, IRI, CPTEC, SENAMHI, etc.). Desde el mes de febrero las variables de precipitación se encuentran a tiempo real en la página web <http://www.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. (2012). 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. Marengo J.A. Ronchail J. Molina J., Noriega L., Guyot J.L. (2014). The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical south Atlantic SST gradient. *Environm. Res. Lett.* 9 124007 doi:10.1088/1748-9326/9/12/124007
- Janowiak, J. E., and P. Xie. (1999). CAMS-OPI: A global satellite-rain gauge merged product for real-time precipitation monitoring applications. *Journal of Climate* 12:3335-3342.
- 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 W. & Espinoza J.C. (2014). “Impactos de El Niño y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007)”, *Revista Brasileira de Meteorología*, v.29, n.2, 171-182.
- 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).
- Ronchail, J., Cochonneau, G., Molinier, M., Guyot, J. L., Goretti de Miranda Chaves, A., Guimarães, W. & de Oliveira, E. (2002). Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans. *Int. J. Climatol.* 22, 1663–1686.
- 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.