

3

Eventos hidrológicos extremos en la cuenca amazónica peruana: presente y futuro

Espinoza J.C.¹

Ronchail J.²

Guimberteau M.³

Guyot J.L.^{4,5}

Lavado W.⁶

Santini W.^{4,5}



¹ Instituto Geofísico del Perú - IGP, Lima, Perú

² Laboratoire d'Océanographie et du Climat : expérimentations et approches numériques – LOCEAN (CNRS, IRD, Museum National d'Histoire Naturelle, Université Paris 6), Paris, France

³ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement – LSCE (CEA, CNRS, Université Versailles Saint Quentin), Paris, France

⁴ Institut de Recherche pour le Développement - IRD

⁵ Géosciences Environnement Toulouse - GET, (CNRS, IRD, Observatoire Midi-Pyrénées, Université Toulouse 3), Toulouse, France

⁶ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, Lima, Perú.

RESÚMENES

Español

Recientemente, severos eventos hidrológicos extremos han ocurrido en el Río Amazonas, como intensas sequías e inundaciones, las cuales han perjudicado a las principales ciudades amazónicas y a las zonas rurales. Esos eventos hacen parte de una tendencia hacia estiajes siempre más bajos. Mientras que el caudal más bajo fue observado en septiembre de 2010 (8 300 m³/s) en la estación hidrométrica de Tamshiyacu, una rápida transición hacia uno de los caudales más altos fue observado en abril 2011 (45 000 m³/s). Finalmente en abril de 2012, durante el siguiente periodo de aguas altas, el Río Amazonas experimentó su caudal histórico más elevado (55 400 m³/s). Los modelos climatológicos e hidrológicos permiten prever caudales futuros. Para la mitad del siglo 21 se calcula un aumento de 7% de los caudales de crecida, lo que significa extremos aún mayores que los actuales e inundaciones más amplias.

Francés

Évènements hydrologique extrêmes dans le bassin amazonien péruvien : présent et futur

La région du fleuve Amazone a récemment connu des évènements hydrologiques extrêmes: des inondations et des sécheresses qui ont porté préjudice tant aux villes amazoniennes qu'aux zones rurales. Ces événements s'inscrivent dans une tendance vers des étiages toujours plus prononcés. Alors que le débit le plus bas a été observé en septembre 2008 (8 300 m³/s) à la station hydrométrique de Tamshiyacu, celui-ci a été rapidement suivi d'une rapide transition vers l'un des débits les plus hauts en avril 2011 (45 000 m³/s). Finalement en avril 2012, lors de la saison suivante de hautes eaux, le fleuve Amazone a présenté un débit historique très élevé (55 400 m³/s). Les modèles climatologiques et hydrologiques permettent de prévoir les débits futurs. D'ici la moitié du 21^{ème} siècle, on estime qu'il y aura une augmentation de 7% des débits de crue, ce qui signifie des extrêmes encore plus élevés qu'actuellement et des inondations de plus grande ampleur.

Inglés

Extreme hydrological events in the Peruvian Amazon Basin: present and future

The Amazon River has recently experienced severe extreme hydrological events - such as floods and droughts - that have harmed both the main Amazonian cities as rural areas. These events are part of a continuous trend towards low flow. While the lowest rate was observed in September 2008 (8,300 m³/s) at the Tamshiyacu hydrometric station, it was observed a rapid transition to one of the highest rates in April 2011 (45,000 m³/s). In April 2012, during the next period of high water, the Amazon River experienced its highest flow in its history (55 400 m³/s). Climatological and hydrological models are used to predict future rates. An increase of 7% of flood flows is calculated by the middle of the 21st century, which means even greater extreme floods than the current ones and larger.

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del Río Amazonas es la más grande del mundo. Su vertiente cubre alrededor de 6,5 millones de km² y su caudal medio es el mayor del mundo, estimado en 200 000 m³/s [1]. Debido a su extensión geográfica, la cuenca del Amazonas se caracteriza por una fuerte variabilidad espacial de las lluvias y de los regímenes hidrológicos [2,3].

El oeste de la cuenca amazónica en Perú, tiene un área de drenaje de 750 000 km² en la estación hidrométrica de Tamshiyacu sobre el Río Amazonas, y un caudal medio de 32 000 m³/s, aproximadamente el 16% del caudal en la desembocadura del Amazonas [3,4]. Este caudal varía considerablemente de una estación a otra siguiendo la variabilidad de las lluvias, con un periodo de monzón en el verano y un periodo más seco en invierno (Fig. 1). En agosto-septiembre, el caudal baja generalmente hasta 15 000 m³/s y sube hasta 44 500 m³/s al inicio del mes de mayo. Así se observan caudales máximos que son tres veces mayores que los caudales mínimos, lo que supone una adaptación importante de las poblaciones que viven principalmente a orillas del río. Por ejemplo las casas pueden ser flotantes para seguir el nivel del río o tener pilotes para quedarse fuera del alcance de las aguas durante la estación de aguas altas (Fig. 2)

Recientemente, eventos hidrológicos extremos se han registrado en la cuenca amazónica, los cuales llamaron la atención de la comunidad científica mundial. Estos eventos extremos han dado lugar a severas inundaciones como en 1999, 2009 y 2012

[5,6,7,8], y periodos de fuertes sequías como en 1998, 2005 y 2010 [9,10], los cuales resultan muy perjudiciales para las poblaciones así como para la agricultura y los ecosistemas amazónicos [11,12,13].

En este trabajo se realiza una breve descripción de la variabilidad hidrológica actual en la cuenca amazónica peruana y se resumen los resultados más relevantes sobre los eventos hidrológicos extremos ocurridos recientemente. Además, se describe el futuro de la hidrología en el marco del cambio climático actual. Este estudio se ha hecho posible gracias a nuevos datos obtenidos del observatorio HYBAM (Hidrología y Geodinámica de la cuenca Amazónica, <http://www.ore-hybam.org>).

Tendencias y eventos hidrológicos extremos en la amazonía peruana

En la Amazonía peruana se ha registrado una tendencia negativa en la precipitación media anual y una consecuente disminución del caudal en la estación de Tamshiyacu para el periodo 1970-2004 (Fig. 3). Así también sequías frecuentes han sido observadas desde finales de los años 1980s. Entre ellas, la sequía del 2010 fue particularmente severa y llevó a las autoridades a declarar estado de emergencia público en la Amazonía peruana, debido a problemas en el transporte fluvial y el abastecimiento de alimentos a la población.

En la Amazonía peruana, las sequías muy fuertes de 1995, 1998, 2005 y 2010 han sido asociadas con un débil transporte de vapor de agua desde el Océano Atlántico, el cual provee humedad a esta región, hacia la

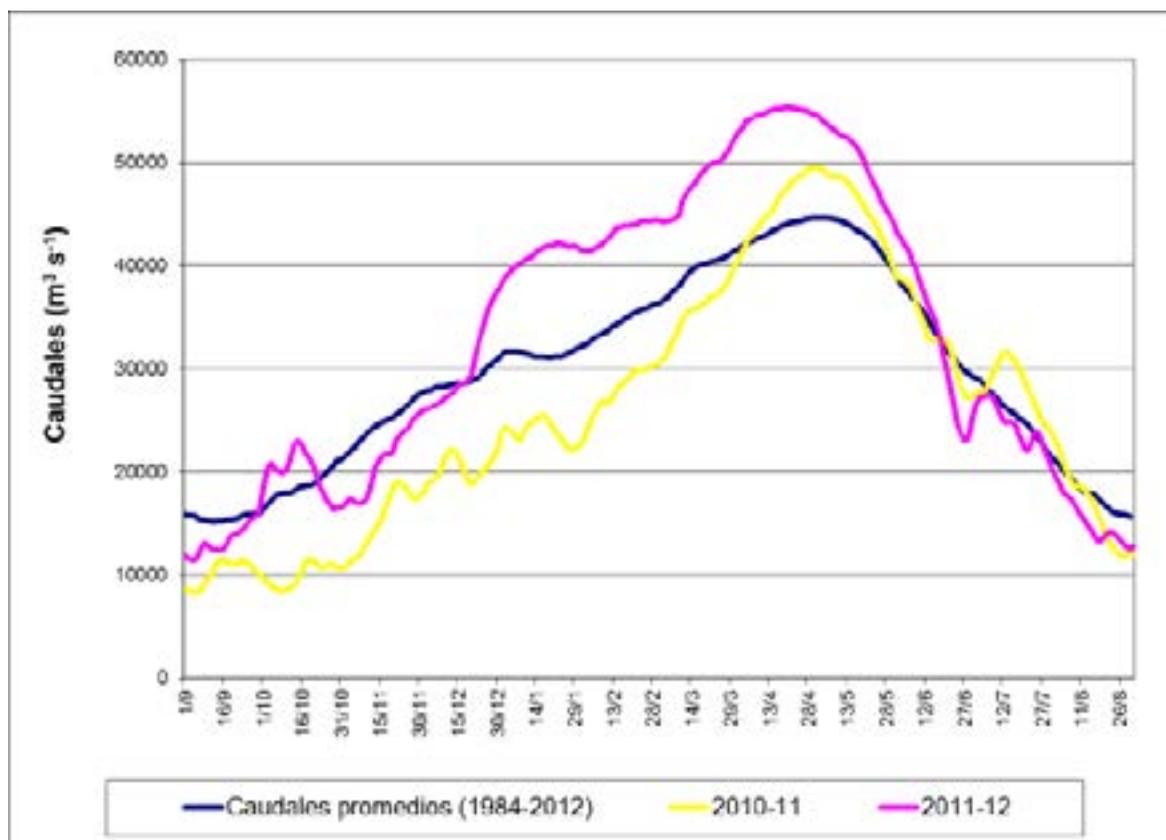


Figura 1: Caudales promedio en Tamshiyacu durante el ciclo hidrológico, desde septiembre, inicio de la estación de lluvias, hasta agosto (curva azul) y caudales durante dos años extremos, 2010-11 (curva amarilla) y 2011-2012 (curva violeta).

Amazonía peruana, que se relaciona con temperaturas altas del Atlántico Tropical Norte y vientos alisios débiles. Sin embargo, en 1998, hacia el final del evento El Niño 1997-1998, caracterizado por fuertes temperaturas en el Pacífico Tropical, la sequía estuvo relacionada con movimientos del aire hacia el suelo (subsistencia) que, al contrario de movimientos ascendentes, no favorecen la formación de nubes y lluvias. En el 2010, la adición del fenómeno El Niño durante el verano austral seguido por un episodio muy cálido en el océano Atlántico Tropical ha dado lugar a una sequía excepcional [10,14,15]. En la Figura 1, se ve que el caudal mínimo

alcanzó 8 000 m³/s, sea 6 000 m³/s menor de lo normal. En esas condiciones, se forman playas en el río (Fig.4) y entre otros inconvenientes, la reducción del nivel del agua dificulta la circulación de los barcos que tienen que seguir los canales sinuosos que permanecen en el lecho del río. Esto genera que el transporte de productos tome más tiempo y sea más caro. A veces también barcos largos no pueden llegar hasta los puertos, etc.

Durante el año hidrológico 2010-2011, sin embargo, se ha observado en la estación de



Figura 2: Casas sobre pilotes (izquierda) y casa flotante (derecha) en el barrio de Belén (Iquitos). Fotos: © IRD / Ronchai, Josyanne.

Tamshiyacu una gran diferencia entre los caudales de estiaje, durante septiembre 2010 ($8\,300\text{ m}^3/\text{s}$) y los caudales de crecida, durante el mes de mayo de 2011 ($49\,500\text{ m}^3/\text{s}$) (Fig. 1): los caudales de crecida fueron cinco veces más importantes que durante el estiaje. Esta transición sin precedentes originó además un record en la cantidad de sedimentos transportados por el río Amazonas, medido en la estación Tamshiyacu en Perú [16]. Efectivamente, cuando ocurre una sequía, el suelo queda poco cohesionado y menos cubierto de vegetación, en consecuencia puede ser arrastrado fácilmente por la lluvias del período siguiente.

Un año más tarde, en abril del 2012, durante el siguiente periodo de aguas altas, el Río Amazonas experimentó su caudal histórico más elevado ($55\,400\text{ m}^3/\text{s}$) (Fig. 1). El cual ocurrió sólo 20 meses después de la sequía de septiembre del 2010, lo cual pone en evidencia la intensificación de los eventos hidrológicos extremos en la cuenca amazónica. Recientemente, Espinoza et al. [8] ha mostrado que los años de fuertes crecidas (1986, 1993, 1999, 2012) están

caracterizados por bajas temperaturas superficiales del mar en el Pacífico Ecuatorial Central (eventos La Niña) que favorecen un fuerte ingreso de vapor de agua sobre el oeste de la cuenca amazónica, produciendo fuertes lluvias y caudales. Durante el verano del 2012, el vapor de agua llegó desde el Mar Caribe en el noroeste de la cuenca amazónica, produciendo abundantes lluvias y un temprano desborde del Río Marañón. Su pico anual se presentó durante abril del 2013 (un mes antes de lo normal). Este fenómeno hizo que los picos de los Ríos Marañón y Ucayali han ocurrido de manera casi simultánea, explicando un caudal histórico del Río Amazonas (Fig. 5) y una inundación en la ciudad de Iquitos (Fig. 6).

Recientemente, eventos extremos han dado lugar a severas inundaciones y periodos de fuertes sequías los cuales resultan muy perjudiciales para las poblaciones así como para la agricultura y los ecosistemas amazónicos.

3 Eventos hidrológicos extremos en la cuenca amazónica peruana: presente y futuro

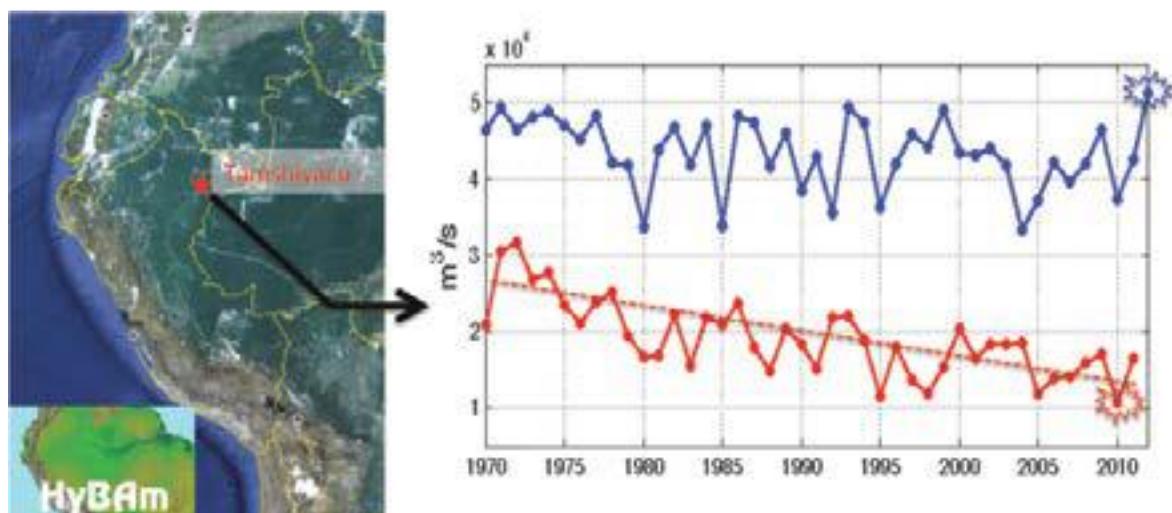


Figura 3: Variabilidad interanual (1984-2012) de los caudales de estiaje (línea roja) y de crecida (línea azul) en la estación de Tamshiyacu. Adaptado de [10]. Se subrayan eventos extremos recientes: estiaje de 2010 y crecida de 2012.



Figura 4: Playas a lo largo del Río Ucayali. Foto: © IRD / Ronchail, Josyanne.

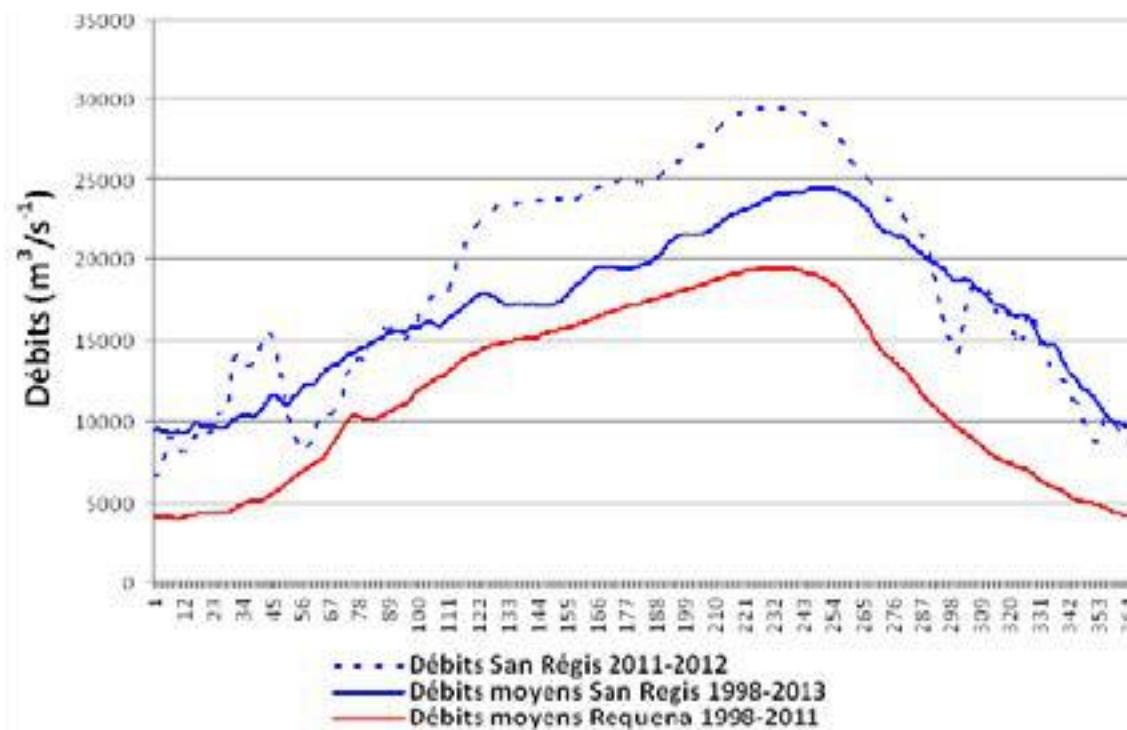


Figura 5: Ciclos hidrológicos promedio del Río Marañón en San Régis y del Ucayali en Requena y ciclo del Río Marañón en 2011-2012. Los caudales del Río Ucayali en 2011-2012, cerca de la normal, no son representados. Fuente de datos: HYBAM, adaptado de Espinoza et al. 2013

A parte la degradación de infraestructuras urbanas (desagües, alcantarillados, etc.) y los prejuicios a las poblaciones (200 000 personas fueron damnificadas en Loreto), fueron identificados casos mortales de leptospirosis, enfermedad favorecida por la contaminación de las aguas por orinas de animales domésticos; además, los casos de infecciones respiratorias, de enfermedades diarreicas, de dengue hicieron colapsar los servicios médicos de Iquitos. Se inundaron también cultivos en las orillas de los ríos y en el 2012 como en el 2009 disparó el precio de los productos alimentares; por ejemplo, el precio de los tomates superó los 5 soles desde abril hasta julio del 2009, alcanzando 7 soles

en junio 2009, y superó 4 soles en julio y agosto 2012 (en vez de 2-3 soles en otros periodos) según datos del Ministerio de Agricultura y Riego.

Caudales futuros

El modelo hidrológico del Instituto Pierre Simon Laplace (IPSL - Francia) ha sido utilizado para simular caudales futuros, considerando dos periodos del siglo 21 (la mitad y el final del siglo). Este modelo ha sido forzado en sus límites por datos climáticos simulados por 8 modelos de circulación global bajo un escenario de emisiones de gases de efecto invernadero de amplitud media (el escenario llamado

3 Eventos hidrológicos extremos en la cuenca amazónica peruana: presente y futuro

SRESA1). Como las proyecciones climáticas prevén un aumento de las lluvias en la parte noroeste de la cuenca amazónica, los caudales máximos medios en Tamshiyacu aumentarían de 7% a mediados del siglo 20 y de 12% en el final del siglo 21 [17]. Los caudales mínimos no deberían cambiar mucho, contrariamente a otras regiones de la cuenca amazónica, en particular en el sur (Río Madeira por ejemplo, y sur del Perú en la cuenca del Río Ucayali) y el norte (Río Negro) donde los caudales mínimos van a disminuir drásticamente.

Esas proyecciones son muy importantes para las poblaciones ribereñas cuya actividad está regulada por la variabilidad actual de las aguas (que se encuentra perturbada por los eventos extremos de los años pasados). El tema de su adaptabilidad ya se encuentra

en debate, debido a que la capacidad de adaptación de las poblaciones a estos eventos es un tema de particular interés. La problemática de su adaptabilidad ya está cuestionada.

En asociación a estos cambios, el sur de la cuenca amazónica sufrirá de un incremento particular de la temperatura, como consecuencia del calentamiento global. Esto, en combinación con la disminución de las lluvias proyectada por los modelos climáticos, traería impactos severos en los ecosistemas. Efectivamente, modelos que evalúan la respuesta de los biomas naturales a los cambios del clima, prevén un cambio del ecosistema de bosque tropical por el de sabana (proceso de sabanización) para finales del siglo 21.



Figura 6: Inundación en Iquitos en 2012. Foto: © IRD / Santini, William.

CONCLUSIONES

En la parte oeste de la cuenca amazónica (Amazonas peruano), se ha observado una significativa disminución de lluvias y de caudales de estiaje, trayendo como consocia la ocurrencia de severas sequías, entre las más importantes las de 1995, 1998, 2005 y 2010. La mayor frecuencia de las sequías en los últimos años, está relacionada con la tendencia al calentamiento del Atlántico Tropical Norte desde los años 1970s.

Por otro lado, caudales muy altos han ocurrido con mayor frecuencia durante los últimos años y el caudal más elevado desde 1970 fue observado durante abril del 2012, el cual ha sido relacionado con el evento La Niña 2011-12. La mayor frecuencia de los eventos hidrológicos extremos documentados en este trabajo, puede traer importantes impactos sociales, como en la salud, transporte de mercaderías, incendios forestales, y en los recursos naturales en general. Además, simulaciones hidrológicas muestran que los caudales máximos y medios podrían incrementarse en el futuro, lo que sugiere una amplificación de los extremos hacia valores de aguas altas mayores que en el presente.

Dado este panorama, resulta importante cuantificar dichos impactos y establecer políticas para la previsión de los eventos hidrológicos extremos presentes y desarrollar análisis de vulnerabilidad y de adaptabilidad de las personas y de sus actividades a los cambios futuros.

REFERENCIAS

- 1 - Callède, J., Cochonneau, G., Ronchail, J., Alves, V., Guyot, J., et al. 2010. Les apports en eau de l'Amazonie à l'Océan Atlantique, *Rev. Sci. l'Eau*, 23, 247–273, 11174, 11189, 11191, 11192, 11209, 11212
- 2 - Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.-L., Cocheneau, G., Filizola, N., et al. 2009a. Spatio-Temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal of Climatology* 29: 1574–1594.
- 3 - Espinoza, J.C., Guyot, J.-L., Ronchail, J. Cochonneau, G., Filizola, N., et al. 2009b. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974-2004). *Journal of Hydrology* 375: 297–311.
- 4 - Espinoza, J.-C., Fraizy, P., Guyot, J.-L., Ordoñez, J., Pombosa, R., Ronchail, J. 2006. La variabilité des débits du rio Amazonas au Pérou. *Climate Variability and Change-Hydrological impacts. IAHS Publ*, 308:424–429.
- 5 - Ronchail, J., Guyot, J.L., Espinoza, J.C., Fraizy, P., Cochonneau, G., et al. 2006. Impact of the Amazon tributaries on major floods at Óbidos. 5th FRIEND World Conference - Climate variability and change, Hydrological impacts. IAHS, 11/2006, La Havane (Cuba), 220-225.
- 6 - Chen, J. L., Wilson, C.R., Tapley, D.B. 2010. The 2009 exceptional Amazon flood and interannual terrestrial water storage change observed by GRACE, *Water Resources*, 46, 1-10, doi:10.1029/2010WR009383.
- 7 - Marengo, J. A., Tomasella, J., Soares, W.R., Alves, L.M., Nobre C. 2011b. Extreme climatic events in the Amazon basin, *Theoretical and Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-011-0465-1.
- 8 - Espinoza J.C., Ronchail J., Frappart F., Lavado W., Santini W., 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. Hydromet.* doi: 10.1175/JHM-D-12-0100.1.
- 9 - Marengo, J., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M., de Oliveira, G., et al. 2008. The drought in Amazonia in 2005. *J. of Clim.*, 21:495–516.

3 Eventos hidrológicos extremos en la cuenca amazónica peruana: presente y futuro

10 - Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas, P. Vauchel, W., et al. 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought, *Geophysical Research Letters*, 38(13), 1-6, doi:10.1029/2011GL047862.

11 - Asner, G. P., N. Alencar. 2010. Drought impacts on the Amazon forest: The remote sensing perspective, *New Phytol.*, 187,569–578, doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03310.x

12 - Xu, L., Samanta, A., Costa, M., Ganguly, S., Nemani, R., Myneni, R. 2011. Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought, *Geoph. Res. Lett.*, 38, L07402, doi:10.1029/2011GL046824.

13 - Fernandes, K., Baethgen, W., Bernardes S., DeFries, R., Hewitt, DG., et al 2011. North Tropical Atlantic influence on western Amazon fire season variability, *Geoph. Res. Lett.*, 38(12), 1-5, doi:10.1029/2011GL047392.

14 - Lewis, S. L., P. M. Brando, O. L. Phillips, G. M. F. van der Heijden, and D. Nepstad (2011), The 2010 Amazon drought., *Science*, 331(6017), 554, doi:10.1126/science.1200807.

15 - Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, LM., Soares, WR., Rodriguez, DA. 2011a. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geoph. Res. Lett.*, 38(13), doi:10.1029/2011GL047436.

16 - Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas, G. Drapeau, Martinez J.M., Santini W., P. Vauchel, W. Lavado, Espinoza R. 2012. From drought to flooding: understanding the abrupt 2010-2011 hydrological annual cycle in the upper Solimões River (Western Amazon basin). *Environ. Res. Lett.* 7 024008 doi:10.1088/1748-9326/7/2/024008

17 - Guimberteau M., Ronchail J., Espinoza J.C., Lengaigne M., Sultan B., Polcher J., Drapeau G. Guyot J.L., Ducharne A. and Ciais P. 2013. Future changes in precipitation and impacts on extreme stream_flow over Amazonian sub-basins. *Environ. Res. Lett.* 8 014035 doi:10.1088/1748-9326/8/1/014035

EL PERÚ FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Resultados de investigaciones franco-peruanas

Coordinadores:

Sonia González Molina (MINAM)

Jean-Joinville Vacher (IRD)

Editora científica:

Anne Grégoire (IRD)



Ouvrage publié à l'occasion de la Conférence des Parties de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques - COP20.

Obra publicada en el marco de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - COP20.

Coordination éditoriale

Coordinación editorial

Sonia González Molina

Jean-Joinville Vacher

Révision des textes

Revisión de los textos

Anne Grégoire

Traductions

Traducciones

Anne Grégoire

Liliana Lalonde

Eduardo Neira

Mise en page et illustrations

Diseño e ilustraciones

Siembra

Impression

Impresión

Forma e imagen

Première impression Novembre 2014, 500 exemplaires

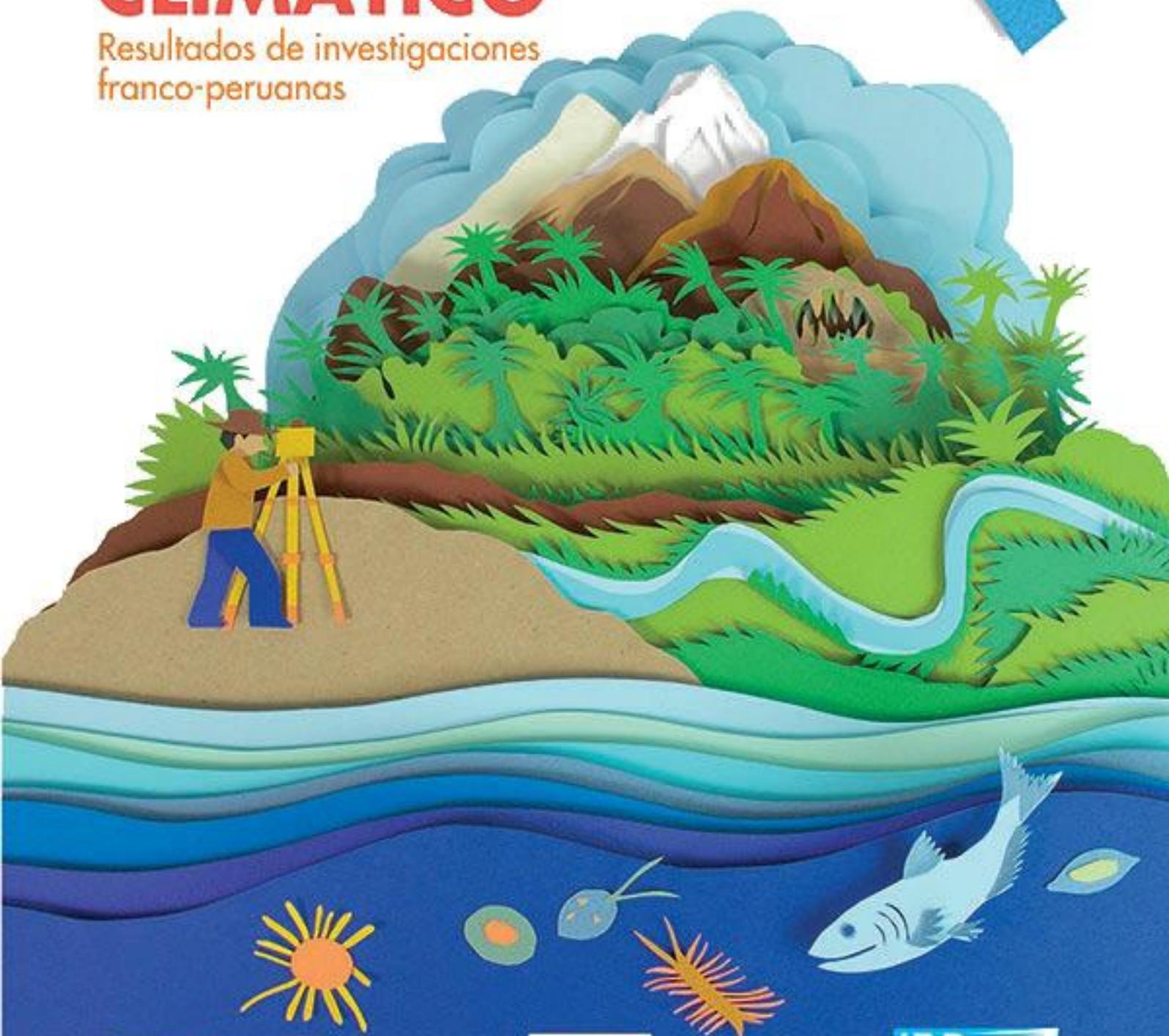
Primera impresión Noviembre 2014, 500 ejemplares

© IRD, 2014

ISBN 978-2-7099-1906-7

EL PERÚ FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Resultados de investigaciones
franco-peruanas



Con el apoyo de la Embajada de Francia en el Perú y la Cooperación Regional Francesa para los Países Andinos