

4

HYBAM*: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazonica

Santini W.^{1,2}

Guyot J.L.^{1,2}

Lavado W.³

Espinoza J.C.⁴

Vauchel P.^{1,2}

Cochonneau G.^{1,2}

Apaestegui J.⁴

Baby P.^{1,2}

Chavarri E.A.⁵

Espinoza-Villar R.⁶

Moreira-Turcq P.^{1,2}

Chiock F.⁷

Martinez J.M.^{1,2}



¹ Institut de Recherche pour le Développement - IRD

² Géosciences Environnement Toulouse - GET (CNRS, IRD, Observatoire Midi-Pyrénées, Université Toulouse 3), Toulouse, France

³ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, Lima, Perú

⁴ Instituto Geofísico del Perú - IGP, Lima, Perú

⁵ Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM, Lima, Perú

⁶ Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM, Lima, Perú

⁷ Autoridad Nacional del Agua - ANA, Lima, Perú

*HYBAM : Hydro-géochimie du Bassin Amazonien (Hidro-geoquímica de la Cuenca del río Amazonas)

RESÚMENES

Español

La cuenca Amazónica es la más grande del mundo. La instalación del observatorio HYBAM con una amplia red de estaciones hidrológicas ubicadas desde el piedemonte andino hasta el océano Atlántico permite, desde el 2003, la generación de registros periódicos y confiables (nivel del agua, caudal, concentración de sedimentos y otros parámetros físico-químicos de la calidad del agua) a lo largo de toda la cuenca. Hoy en día, el desarrollo de técnicas satelitales, como la altimetría, permite completar eficientemente los datos obtenidos por las redes de medición en los ríos. El recrudecimiento de eventos extremos en la Amazonía (inundaciones, sequías,) por efecto del cambio climático actual asociado a un cambio acelerado de ocupación de los suelos (deforestación, prácticas agrícolas), tiene una incidencia directa sobre la producción sedimentaria. Conocer los flujos de materiales transportados por los ríos es esencial tanto para la navegación fluvial como para guiar la explotación de los recursos naturales (agua, petróleo, minerales), para conocer el transporte de partículas contaminantes o para diseñar infraestructuras.

Francés

HYBAM: un observatoire pour mesurer l'impact du changement climatique sur l'érosion et les flux de sédiments dans la zone Andino-Amazonnienne
Le bassin de l'Amazone est le plus grand du monde. La mise en œuvre de l'observatoire HYBAM avec un vaste réseau de stations hydrologiques situées sur les contreforts des Andes jusqu'à l'océan Atlantique permet de générer, depuis 2003, des données régulières et fiables tout le long du bassin (hauteur d'eau, débit, concentration de sédiments et d'autres paramètres physico-chimiques de qualité de l'eau). De nos jours, la mise au point des techniques par satellite, tels que l'altimétrie, permet de compléter efficacement les données obtenues par les réseaux de mesure dans les rivières. L'intensification des événements extrêmes dans la région amazonienne (inondations, sécheresses), liés au changement climatique actuel associé à un changement rapide de l'utilisation des terres (déforestation, pratiques agricoles), ont un impact direct sur la production de sédiments. Connaître les flux de matières transportés par les rivières est essentiel pour la navigation fluviale ainsi que pour guider l'exploitation des ressources naturelles (eau, pétrole, minéraux), connaître le trajet de particules polluantes ou concevoir des infrastructures.

Inglés

HYBAM: an observatory to measure the impact of climate change on erosion and sediment flows in the Andean Amazon region
The Amazon basin is the largest basin in the world. The implementation of the HYBAM observatory, which has installed a large network of hydrological stations located from the Andean foothills down to the Atlantic Ocean, allows since 2003, generate periodical and reliable records (such as water level, flow, sediment concentration and other physicochemical parameters of water quality) along the entire basin. Nowadays, the development of satellite techniques, (such as altimetry), makes it possible to efficiently complete the data obtained by the measurement networks in rivers. The intensification of extreme events in the Amazon region (floods, droughts) occurred as a result of the current Climate Change associated with a more rapid change of land use (deforestation, agricultural practices) have a direct impact on sediment production. It is essential to know the flows of the materials transported by rivers, both for river navigation as well as to guide the exploitation of natural resources (water, oil, minerals), to know the transport of particulate pollutants, or to design infrastructures.

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

Los sedimentos son los archivos de la Tierra. Nos cuentan las increíbles transformaciones tectónicas y climáticas por las cuales pasó nuestro planeta. A una escala geológica del tiempo, la erosión de los continentes controla el nivel del principal gas de efecto invernadero presente en la atmósfera, el dióxido de carbono (CO₂), a través de la alteración química de los silicatos [1] y el enterramiento de los residuos orgánicos en los suelos o los márgenes continentales. Los períodos de erosión y alteración intensos provocan una disminución del CO₂ atmosférico y por lo tanto un descenso de la temperatura global. El levantamiento de grandes cadenas de montañas, como la cordillera de los Andes durante el Cenozoico (-65 millones de años hasta ahora) originó, a través de este proceso, un enfriamiento global del planeta, cuando el óptimo climático se había logrado durante el Eoceno (hace ~50 millones de años). En el contexto actual de altas emisiones de CO₂ en la atmósfera por las actividades humanas, una mejor comprensión de estos procesos se vuelve crucial.

El estudio de los ambientes de deposición de los sedimentos es esencial para guiar la exploración y explotación de los recursos naturales (agua, petróleo, minerales). Por otro lado, es importante tener datos sobre los flujos sedimentarios para tomarlos en cuenta en los diseños de las estructuras hidráulicas, para la navegación fluvial así como para conocer el transporte de partículas contaminantes, como el mercurio.

Productos de dos formidables máquinas, terrestre y climática, los sedimentos son entonces una fuente de información muy valiosa. Para que la

humanidad se prepare a afrontar los grandes desafíos futuros, principalmente climáticos y energéticos, es esencial cuantificar con precisión los flujos de materiales en suspensión hacia los océanos, tanto los actuales como los del pasado, para entender el conjunto de procesos vinculados al transporte de estos sedimentos (almacenamiento, resuspensión, alteración) y que permanecen en gran parte desconocidos.

HYBAM, un Observatorio de Investigación del Medio Ambiente único en el paisaje mundial

Desde el 2003, un equipo internacional de científicos (peruanos, bolivianos, ecuatorianos, brasileños, venezolanos, colombianos y franceses) trabaja conjuntamente sobre los ríos y llanuras de inundación de la cuenca fluvial más grande del mundo, la cuenca amazónica. En el Perú el observatorio reúne varias instituciones, el IRD, el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), la UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), más recientemente el IGP (Instituto Geofísico del Perú) y desde setiembre del 2014 la ANA (Autoridad Nacional del Agua).

El Río Amazonas es de hecho un gigante. En efecto, trae a los océanos la mitad de los flujos superficiales de agua dulce del mundo. Su caudal medio

Una red de estaciones hidrológicas permite el seguimiento temporal de los flujos sedimentarios y geoquímicos a lo largo de la cuenca amazónica, desde el piedemonte andino hasta el océano Atlántico.

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

de 206 000 m³ por segundo [2] es, de lejos, el más alto del mundo y es igual al volumen combinado de los seis ríos que lo siguen inmediatamente en la lista de los ríos ordenados según sus caudales.

Su cuenca hidrográfica, es inmensa: representa el 17% de las superficies continentales, delimitada por grandes macizos de rocas muy antiguas al norte (el Escudo de Guayana) y al sur (el Escudo de Brasil) y por la cadena de los Andes al oeste, donde se origina. El ciclo orogénico, o formación de los relieves, de los Andes ha marcado profundamente la historia de

esta cuenca y sigue teniendo un papel muy importante hoy en día. Con el 11% de la superficie de la cuenca, los Andes constituyen un obstáculo para las masas de aire húmedo provenientes del Atlántico Tropical Norte, también son la principal fuente de producción sedimentaria (95% de los sedimentos de la cuenca provienen de los Andes, y representan 8% de los aportes mundiales) y de elementos disueltos (6% de los aportes mundiales) transportados por el río hacia el océano. Particularmente activo, el frente oriental de la cadena es una zona rica en biodiversidad.



Foto 1: El río Amazonas, un gigante de líquido y de sedimentos. Foto cerca de Iquitos (Perú), donde ya el río alcanza 1 km de ancho y 40 metros de fondo. El color de sus aguas es debido a la fuerte concentración de arcillas y arenas. Foto: ©IRD / Santini, William.

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica



Figura 1: Red hidrológica del observatorio HYBAM en la cuenca amazónica: desde los piedemontes andinos hasta el océano Atlántico.

Como consecuencia de la falta de datos hidro-sedimentarios, el equipo de investigación de HYBAM ha implementado una red de estaciones hidrológicas para hacer un seguimiento temporal de los flujos sedimentarios y geoquímicos a lo largo de la cuenca amazónica, desde el piedemonte andino hasta el océano Atlántico.

Por primera vez, un muestreo fino y pertinente (una muestra cada 10 días en la llanura, hasta varias por día en los piedemontes) se llevó a cabo tomando en cuenta al ciclo hidrológico de los ríos, lo cual permitió identificar una fuerte variabilidad estacional de los flujos hidro-sedimentarios e invalidar los modelos simples

que acoplan los flujos de materiales únicamente con los flujos hídricos.

La disponibilidad de registros durante un tiempo suficientemente largo (> 10 años) y distribuido a lo largo de la cuenca amazónica permite cuantificar precisamente los balances de masa actuales (aportes al océano Atlántico, almacenamiento de los sedimentos en las zonas de subsidencias y erosión en las zonas de levantamiento). Estos registros permiten también estudiar la variabilidad de los aportes de sedimentos en el tiempo y en el espacio, entender mejor los mecanismos internos y externos que influyen la producción y el traslado de materiales, evaluar

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

el impacto de la actividad humana (deforestación, minería, etc.) sobre los procesos hidro-sedimentarios de la cuenca y determinar el papel de las llanuras de inundación sobre el transporte de los elementos y su transformación dentro de la cuenca amazónica misma. Estos trabajos sobre datos hidrológicos son relacionados con las observaciones realizadas a diferentes pasos de tiempos y con las velocidades de desplazamientos horizontales y verticales actuales del frente de la cadena andina.

La medición de los flujos

La implementación del observatorio HYBAM brindó datos precisos sobre los flujos exportados de las principales subcuencas andinas, y permitió conocer su evolución desde aguas arriba hasta aguas abajo. De esta forma, se pudo estimar que el caudal sólido del Río Amazonas es de alrededor de 800 millones de toneladas por año [3], la producción sedimentaria total de la cadena andina es de alrededor de 1 300 millones de toneladas por año (~500 km³) y la parte del flujo sedimentario almacenado en las zonas de subsidencia adyacentes a los Andes es de 40% [4]. Para representar el flujo de partículas a la salida de la cuenca, hay que imaginar un convoy de 20 millones de camiones de 40 toneladas, a lo largo de 360 000 kilómetros, o sea casi la distancia de la Tierra a la Luna!

En 10 años, más de 140 mil datos diarios de flujos han sido producidos y unas 11 mil muestras de materiales en suspensión han sido colectadas.

Sobre los ríos

El observatorio HYBAM moviliza recursos humanos y técnicos significativos para estudiar la dinámica hidro-sedimentaria y geoquímica de la cuenca amazónica. La medición de flujos es complicada debido a que los grandes ríos tropicales constituyen entornos difíciles de abarcar. Su escala es impresionante: ríos de varios miles de kilómetros, con tramos a veces de más de 10 kilómetros de ancho y 100 metros de profundidad. Las velocidades de las corrientes suelen ser mayores a 2 metros por segundo, y en las regiones de piedemonte pueden alcanzar 8 metros por segundo.

Varias variables hidrológicas son medidas en cada estación del observatorio HYBAM: el nivel del agua, el caudal, la concentración de sedimentos así como otros parámetros físico-químicos de la calidad del agua. Los caudales diarios son obtenidos gracias a una curva de calibración que correlaciona, para cada estación, el nivel de agua con el caudal. Estas curvas de calibración han sido elaboradas a partir de las mediciones de caudales realizadas con ADCP (perfiladores de corriente de efecto Doppler acústicos que pueden medir de forma eficaz los caudales de los ríos) en cada una de las estaciones de la red [5]. El observatorio fue el primero en introducir en América del Sur esta técnica revolucionaria para la hidrología, permitiendo la elaboración de crónicas de flujos precisas. Varias veces al año, durante las campañas de medición de caudales, un muestreo sedimentario de la sección del río se realiza con el fin de calibrar la relación que vincula la concentración de superficie (la muestra

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica



Foto 2: Maestro de sedimentos en los piedemontes Andinos de la cuenca del río Huallaga (Perú). Foto: ©IRD / Santini, William.

realizada por el observador) con la concentración media de la sección. Esta relación permite luego determinar los flujos sedimentarios diarios.

Así, del 2003 al 2013, más de 1 000 mediciones han sido realizadas, correspondiendo a 300 misiones de campo. Gracias a estas adquisiciones, el observatorio ha podido producir más de 140 000 datos diarios de flujos. Unas 11 000 muestras de MES (materiales en suspensión) han sido colectadas por los observadores de la red HYBAM. Esos datos son evaluados y archivados para ser luego puestos en línea en libre acceso en la página Web del observatorio (<http://www.ore-hybam.org>).

Monitoreo desde el espacio

La dificultad de acceder al campo y los costos vinculados a la instalación de nuevas estaciones requiere el uso de métodos alternativos. El desarrollo de técnicas satelitales como la altimetría (que mide la altitud de cuerpos de agua) y la medición de reflectancia (relacionada con la concentración en sedimentos en superficie de los ríos) permiten hoy en día completar eficientemente los datos obtenidos por las redes de medición en los ríos. De tal modo, diversos trabajos del observatorio HYBAM en la Amazonía han permitido establecer una relación entre la concentración en la superficie y la reflectancia [3,6], reconstituir series de

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica



Foto 3:

niveles de agua [7] y en ciertos casos generar curvas de descarga, acoplando la altimetría espacial a modelos hidrológicos de propagación de flujo. Si la dificultad de calibración aumenta subiendo aguas arriba de las cuencas (por la limitación del ancho de los ríos, por la densidad de las nubes del piedemonte andino y por la diversidad mineralógica de materiales en suspensión en la superficie) su uso permite sin embargo obtener una primera caracterización de los aportes sedimentarios laterales y de las zonas de sedimentación [8].

El clima, un control de la variabilidad de los flujos sedimentarios

A lo largo del Holoceno (desde hace unos 12 000 años hasta ahora), la cuenca amazónica ha sido sometida a cambios climáticos importantes vinculados a la actividad del mozón sudamericano [9], influyendo sobre la producción de sedimentos, el almacenamiento y la resuspensión de los sedimentos en las zonas de subsidencia. Los resultados de la comunidad científica HYBAM muestran así que los

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

Foto 4: Calibración de datos satelitales desde el Río Amazonas para procesar datos de reflectancia de superficie de río y volver a la concentración en sedimentos (Brasil). El uso de la teledetección permite completar las redes hidrológicas convencionales. Foto: © IRD / Santini, William.

flujos sedimentarios del pasado (hace unos 3 000 a 5 000 años atrás) fueron inferiores a los flujos actuales en las cuencas andinas [10]. Las llanuras de inundación registran, en este mismo período, variaciones fuertes de sedimentación [11], las cuales pueden ser a veces asociadas (como es el caso en la cuenca del Río Beni en Bolivia) a crecidas rápidas e intensas correlacionadas al fenómeno de La Niña. Estas crecidas arrancan volúmenes extraordinarios de sedimentos de los Andes, carbono y nutrientes que vienen a depositarse, en parte, en las zonas de subsidencia adyacentes al piedemonte, participando así en la construcción de la llanura de inundación [12].

Río más abajo, en el periodo 1996-2007, Martínez et al. [3] destacan variaciones significativas en el flujo de materiales entregado al Océano Atlántico por el Río Amazonas, para un caudal promedio estable. La fuerte variabilidad estacional registrada durante eventos extremos podría haberlo originado. En efecto, en el período de observación reciente, los resultados de la comunidad científica HYBAM demuestran, a lo largo de la cuenca amazónica, una intensificación de las crecidas desde finales de los años 1970s y una tendencia a estiajes (épocas de aguas bajas) severos desde los años 1990s [13,14]. Esos eventos son ligados al aumento de las temperaturas de los océanos, probablemente en

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

consecuencia de las actividades humanas. Las subcuencas de ante-país presentan evoluciones opuestas según las regiones, con una tendencia más húmeda en el norte (Ecuador y norte del Perú) y más seca en el sur (sur del Perú y Bolivia) [15,16], modificando los flujos de sedimentos.

Impactos de las actividades humanas sobre los flujos sedimentarios

La cuenca amazónica es una cuenca en proceso de transición: la ocupación humana aumenta y genera un cambio masivo de ocupación de los suelos (deforestación, prácticas agrícolas) en numerosas regiones. Estas modificaciones tienen una incidencia directa sobre la producción sedimentaria,

particularmente en el piedemonte andino donde la rocas susceptibles de ser erosionadas se encuentran expuestas a las intensas lluvias que caracterizan el cinturón sub-andino. El subsuelo de la cuenca amazónica (minas, hidrocarburos) ya está siendo explotado y la cantidad de proyectos a futuro es considerable. El enorme potencial y la demanda energética creciente incentivan los estados amazónicos a aumentar rápidamente la cantidad de proyectos hidroeléctricos (+300%) para hacer represas de una potencia superior a 2MW en los próximos 20 años [17]. Sin embargo, las crónicas de flujos líquidos y sedimentarios son escasas e incluso ausentes en la mayoría de las pequeñas cuencas y los impactos ecológicos potenciales son muy difíciles de evaluar.

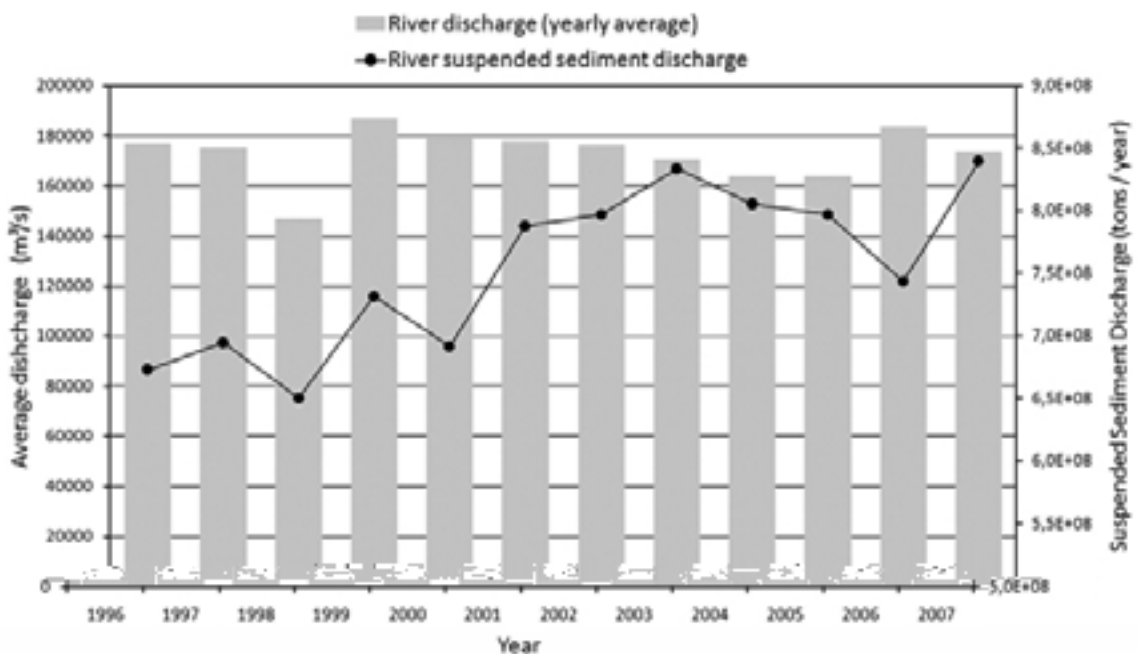


Figura 2: Caudal líquido y flujo de sedimentos del río Amazonas entre 1996 y 2007 en Óbidos (Brasil). Se observa una aumentación clara del volumen de sedimentos cargado por el río mientras que los caudales quedan estables. [3]

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

Los factores que alteran el equilibrio de la cuenca amazónica pueden ser de origen natural (variabilidad climática, tectónica) y se desarrollan sobre grandes escalas de tiempo. Desde lo que algunos científicos llaman el “Antropoceno”, el ser humano se convirtió en una nueva fuerza capaz de modificar rápidamente su entorno. La acumulación de gases de efecto invernadero, marcada por una fuerte aceleración en la segunda mitad del siglo pasado y las profundas modificaciones de la superficie terrestre (deforestación, minerías, obras, etc.) llevan a una desregulación de los grandes sistemas naturales como

las grandes cuencas mundiales (Amazonas, Orinoco, Congo, etc.). Esos sistemas influyen sobre el clima mundial y su degradación concierne el planeta entero.

Frente a estos desafíos, el papel de los observatorios es central: permiten la elaboración de crónicas a largo plazo, las cuales, una vez analizadas, llevan a una mejor comprensión de los mecanismos climáticos y tectónicos. Estos controlan la dinámica hidro-sedimentaria de las grandes cuencas mundiales y permiten discriminar los procesos naturales de los impactos ligados al ser humano.

REFERENCIAS

1 - Amiotte Suchet, P, Probst, JL., Ludwig, W.: Worldwide distribution of continental rock lithology: Implications for the atmospheric/soil CO₂ uptake by continental weathering and alkalinity river transport to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles* 17, 1038, (2003).

2 - Callède, J., Cochonneau, G., Ronchail, J., Alves, FV., Guyot, JL., Guimaraes, VS., Oliveira, E: Les apports en eau de l'Amazonie à l'Océan Atlantique. *Revue des Sciences de l'eau* 23, 247-273. (2010).

3 - Martinez, JM., Guyot, JL., Filizola, N., Sondag, F.: Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. *Catena* 79, 257–264 (2009).

4 - Baby, P. & Guyot, JL.: Tectonic control of erosion and sedimentation in the Amazon Basin of Bolivia. *Hydrological Processes* 23, 3225–3229 (2009).

5 - Filizola N. & Guyot JL.: The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determinations in the River Amazon. *Hydrological Sciences Journal* 49, 143-153 (2004).

6 - Espinoza Villar, R., Martinez, JM., Guyot, JL., Fraizy, P., Armijos, E., Crave, A., Bazán, H., Vauchel, P., Lavado, W.: The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins. *Journal of Hydrology* 444, 221–228 (2012).

7 - Calmant, S., Seyler, F., Crétaux, JF.: Monitoring Continental Surface Waters by Satellite Altimetry. *Surveys in Geophysics* 29, 247–269 (2009).

8 - Santini, W., Martinez, JM., Espinoza-Villar, R., Cochonneau, G., Vauchel, P., Moquet, JS., Baby, P., Espinoza, JC., Lavado, W., Carranza, J., Guyot, JL.: Sediment budget in the Ucayali River basin, an Andean tributary of the Amazon River, *AISH* 367 (2014)

9 - Apaestegui J., Cruz, FW., Sifeddine, A., Espinoza, JC., Guyot, JL., Khodri, M., Strikis, N., Santos, RV., Cheng, H., Edwards, L., Carvalho, E., Santini, W.: Hydroclimate variability of the South American Monsoon System during the last 1600 years inferred from speleothem isotope records of the north-eastern Andes foothills in Peru. *Climate of the past discussion* 10, 533–561 (2014).

4 HYBAM: un observatorio para medir el impacto del Cambio Climático sobre la erosión y los flujos de sedimentos en la zona Andino-Amazónica

- 10 - Wittmann, H., Von Blanckenburg, F., Guyot, JL., Laraque, A., Bernal, C., Kubik, PW.: Sediment production and transport from in situ-produced cosmogenic ^{10}Be and river loads in the Napo River basin, an upper Amazon tributary of Ecuador and Peru. *Journal of South American Earth Sciences* 31, 45–53 (2011).
- 11 - Moreira, LS., Moreira-Turcq, P., Turcq, B., Caquineau, S., Cordeiro, RC.: Paleohydrological changes in an Amazonian floodplain lake: Santa Ninha Lake. *Journal of Paleolimnology* 48, 339–350 (2012).
- 12 - Aalto, R., Maurice-Bourgoin, L., Dunne, T., Montgomery, D., Nittrouer, C., Guyot, JL.: Episodic sediment accumulation on Amazonian flood plains influenced by El Niño/Southern Oscillation. *Nature* 25, 493–497 (2003).
- 13 - Callède, J., Guyot, JL., Ronchail, J., Molinier, M., Oliveira, E.: L'Amazone à Óbidos (Brésil): étude statistique des débits et bilan hydrologique. *Hydrological Sciences* 47, 321–334 (2002).
- 14 - Callède, J., Guyot, JL., Ronchail, J., Hôte, YL., Niel, H., Oliveira, E. Evolution du débit de l'Amazone à Óbidos de 1903 à 1999. *Hydrological Sciences Journal* 49, 85–98 (2004).
- 15 - Espinoza, JC., Guyot, JL., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., De Oliveira, E., Ordoñez, JJ., Vauchel, P.: Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *Journal of Hydrology* 375, 297–311 (2009).
- 16 - Espinoza, JC., Ronchail, J., Guyot, JL., Junquas, C., Drapeau, G., Martinez, JM., Santini, W., Vauchel, P., Lavado, W., Ordoñez, J., Espinoza, R.: From drought to flooding: understanding the abrupt 2010–11 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries. *Environmental Research Letters* 7, 024008 (2012).
- 17 - Finer, M. & Jenkins, CN.: Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *Plos One* 7, e35126 (2012).

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