

5

Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana

Moreira-Turcq P.^{1,2}

Aniceto K.³

Quintana Cobo I.³

Cordeiro R.C.³

Chavarri E.A.⁴

Fraizy P.^{1,2}

Guyot J.L.^{1,2}

Moreira L.S.³

Santini W.^{1,2}

Turcq B.^{1,5}



¹ Institut de Recherche pour le Développement- IRD

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

³ Universidade Federal Fluminense - UFF, Niterói, Brasil

⁴ Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM, Lima, Perú

⁵ Laboratoire d'Océanographie et du Climat : expérimentations et approches numériques – LOCEAN (CNRS, IRD, Museum National d'Histoire Naturelle, Université Paris 6), Paris, France

RESÚMENES

Español

Los suelos, las aguas y los sedimentos de la cuenca amazónica son importantes compartimentos del ciclo de carbono, el cual se encuentra parcialmente almacenado en los bosques inundables y en los lagos de inundación de la región (20% de la superficie total de la cuenca). Estudiar los procesos de sedimentación lacustres a diferentes escalas espaciales y de tiempo permite mejorar la estimación del balance biogeoquímico del carbono (uno de los gases de efecto invernadero responsable del cambio climático actual, el CO₂). Las tasas de sedimentación en las áreas de inundación dependen de varios factores, como el tipo de agua de los lagos y del tipo de conexión que tienen con los ríos. El análisis en laboratorio de muestras de sedimentos, que mantienen la secuencia de deposición, sirve para determinar las condiciones geológicas, meteorológicas, los cambios en el ecosistema e incluso acciones de origen humano que pueden haber afectado los regímenes de sedimentación y la composición de los sedimentos a lo largo del tiempo.

Francés

Impact du changement climatique sur la sédimentation et l'accumulation de carbone dans les lacs de l'Amazonie péruvienne
Les sols, les eaux et les sédiments du bassin amazonien sont des compartiments importants du cycle du carbone, qui est partiellement stocké dans les forêts et les lacs inondés dans la région (20% de la superficie totale du bassin). Connaître les processus de sédimentation lacustres à différentes échelles spatiales et temporelles permet d'améliorer l'estimation de l'équilibre biogéochimique du carbone (un des gaz responsables du changement climatique actuel, CO₂). Les taux de sédimentation dans la plaine inondable dépendent de plusieurs facteurs, y compris le type d'eau des lacs et le type de connexion avec les rivières. Les analyses de laboratoire des échantillons de sédiments, qui maintiennent la séquence de dépôt, sont utilisées pour déterminer les caractéristiques géologiques, les conditions météorologiques, les changements dans l'écosystème et même les actions humaines qui peuvent avoir une incidence sur les régimes de sédimentation et la composition des sédiments au fil du temps.

Ingles

Impact of climate change on sedimentation and accumulation of carbon in lakes in the Peruvian Amazon

The soils, waters and sediments of the Amazon basin are important compartments of the carbon cycle, which are partially stored in flooded forests and lakes of flooding in the region (20% of the total basin area). The study of lacustrine sedimentation processes at different spatial and temporal scales allows improving the estimation of biogeochemical carbon balance (one of the greenhouse gases responsible for the current climate change, CO₂). Sedimentation rates in flood areas depend on several factors, such as the type of water from lakes and the type of connection this water has with rivers. The laboratory analysis of sediment samples, which maintain the deposition sequence, is used to determine geological and meteorological conditions; as well as changes in the ecosystem, even actions arising from humans that may have affected the sedimentation regimes and sediment composition along the time.

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana

El estudio de la transferencia de materia, en una gran cuenca hidrográfica como la amazónica, permite el establecimiento de balances (balance de masa, balance de energía, balance hídrico, etc.). El uso de los balances constituye una pieza clave para que se pueda avanzar en la comprensión de los procesos de erosión/alteración/sedimentación y en particular, en cuestiones ligadas al ciclo del carbono.

Uno de los más importantes, sino el más importante, almacén de carbono del mundo está en la Amazonía. No solamente en el bosque amazónico, sino también en los suelos, en las aguas, así como en los sedimentos. Se trata de importantes compartimentos del ciclo de carbono a nivel regional, pero es indiscutible su papel en el ciclo global del carbono.

Los ríos de la cuenca amazónica discurren dentro de las planicies inundables, compuestas de bosques inundables y de lagos de inundación. Estos sistemas fluviales son uno de los ecosistemas naturales más buscados por la ocupación humana debido a su gran fertilidad [1]. Precisamente por su enorme riqueza biológica, estos espacios albergan una alta productividad, además de una multitud de cadenas alimentarias.

Las planicies de inundación de la Amazonía son componentes importantes de la hidrología, de la biogeoquímica y de la ecología de la cuenca. Estas planicies de inundación representan un área de hasta el 20% de la superficie total de la cuenca. Las variaciones hidrológicas de los lagos son una consecuencia directa de las variaciones hidrológicas de los ríos (variaciones

decaudales). Durante un ciclo hidrológico anual, el agua y el material disuelto y particulado (partículas sólidas en suspensión en el agua) son intercambiados entre el río y los lagos. Cuando el nivel de las aguas de los ríos aumenta durante las crecidas, estas traen nutrientes y materiales particulados que van a depositar. Durante las aguas bajas, una gran parte del material que entró y de la materia orgánica que fue producida "in situ" (materia compuesta de carbono e hidrógeno proveniente de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, animal o vegetal) puede quedar retenida en los lagos.

Desde un punto de vista hidrológico y sedimentario, las zonas de inundación tienen un papel de almacén temporal o permanente de material disuelto y particulado. El tiempo de almacenamiento puede variar de algunos meses (agua y sustancias disueltas) hasta algunos centenares o millares de años (sedimentos). En el balance biogeoquímico del carbono, esas zonas inundables actúan como un filtro (una parte del material que entra por los ríos se queda retenida en los sedimentos) y también como un reactor químico (considerando que las aguas ricas en nutrientes favorecen la producción "in situ").

A pesar de la importancia que la Amazonía representa para el ciclo global del carbono, todavía se sabe poco sobre la importancia de la sedimentación del mismo en los lagos de planicie de inundación. Existen estimaciones sobre la cantidad de carbono almacenado en los suelos y en la vegetación amazónicos [2,3], sin embargo, lo que se está almacenando en los lagos de la Amazonía peruana aún está siendo poco explorado [4,5].

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana



Foto aérea de los lagos de inundación del Perú, región de Iquitos. Foto: © UFF / Quintana Cobo, Isabel.

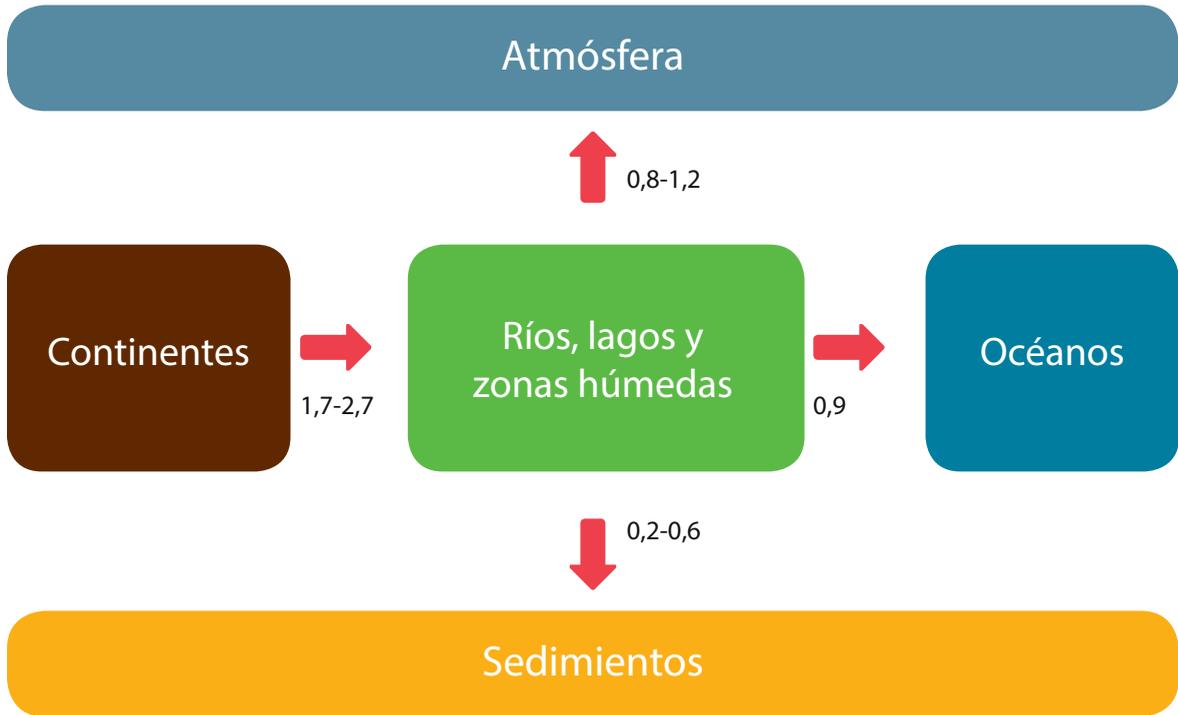
Las influencias antropogénicas (causadas por acciones del hombre) están causando un cambio climático global. Algunos de los cambios que podemos observar al respecto están relacionados con el aumento del contenido de humedad en la atmósfera, el cambio en los patrones de precipitación sobre los continentes, la intensificación de la precipitación y principalmente, el aumento del carbono en la atmósfera. Estudios globales estiman que las aguas continentales reciben alrededor de 1,7 a 2,7 PgC (1 PgC = 1 Peta-gramo de carbono = 1 000 millones de toneladas de carbono) por año viniendo de los suelos, de los cuales, 0,8 a 1,2 PgC vuelve a la atmósfera en forma de CO₂; 0,9 PgC se entrega al océano y alrededor de 0,2 a 0,6 PgC por año está enterrado en los sedimentos continentales en

forma de carbono orgánico [6]. La cuenca amazónica con cerca de 800 000 km² de llanuras de inundación es una de las principales regiones del mundo implicada en este secuestro de carbono [7,8]. Cambios en los caudales y en la geomorfología de los ríos (es decir las formas y los relieves ocasionados por la dinámica fluvial) pueden afectar de forma global, el papel de las planicies de inundación de la Amazonía.

La Cuenca Amazónica y las planicies inundables

La cuenca amazónica es la más grande del mundo, siendo responsable de la mayor contribución en agua dulce y sedimentos a los océanos. Cubre aproximadamente el 40% de América del Sur y tiene un

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana



Esquema de los flujos globales de carbono en Pg de C (1PgC=1015 g C).

área total de 6,5 millones de km². Aporta anualmente al océano 6,6 billones de litros de agua (6.6. 1012m³) y 800 millones de toneladas de sedimento. En el Perú la cuenca amazónica representa más del 76% de su territorio y contiene el 97% de sus recursos hídricos.

Debido a la topografía plana de la cuenca amazónica y a las altas variaciones en el nivel de los ríos, grandes áreas son permanentemente o temporalmente inundadas. Estas áreas comprenden bosques inundados y también lagos de inundación. Estos lagos de inundación pueden representar hasta 1 600 000 km². A diferencia de los ríos amazónicos,

caracterizados por una baja actividad autotrófica (es decir una baja actividad de los organismos que utilizan únicamente sustancias inorgánicas del medio - agua, sales minerales y dióxido de carbono - para su nutrición). los lagos de inundación presentan una fuerte producción acuática originada por la fotosíntesis (la conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz) de las algas microscópicas llamadas fitoplancton o de plantas como por ejemplo las gramíneas o las macrófitas acuáticas.

De este modo, los lagos de inundación amazónicos son considerados unos de los ecosistemas

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana



Presencia de vegetación sub-acuática en los lagos. Foto: © UFF / Cordeiro, Renato C.

más productivos del mundo. Se estima que la producción orgánica para estos sistemas llega a cerca de 8,4 millones de toneladas de carbono por año, donde las macrófitas contribuyen con cerca de 5 millones de toneladas ; los árboles y las gramíneas con cerca de 2,4 millones de toneladas y el plancton con 1 millón de toneladas de carbono por año [1]. La producción orgánica, en los diferentes sistemas de lagos de inundación amazónicos, está principalmente influenciada por el tipo de agua (blanca, negra y clara). Los lagos, así como los ríos amazónicos, son conocidos y clasificados en función de sus características físico-químicas como son el pH, la concentración de sólidos en suspensión, la concentración de materia orgánica disuelta, la productividad acuática, etc. El conjunto de estas características da origen a diferentes tipos

de aguas. Según esta clasificación, la Amazonía tiene tres tipos de aguas ; las aguas negras, caracterizadas por un pH ácido y ricas en materia orgánica disuelta originada por lixiviación de la materia orgánica de los suelos (proceso en el que un disolvente líquido, en este caso el agua, pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido) ; las aguas blancas, caracterizadas por una alta concentración de material inorgánico disuelto y de sólidos en suspensión, este material tiene su origen a partir de la erosión de los Andes ; y finalmente las aguas claras, donde se encuentra una fuerte actividad fotosintética y donde el pH es básico y puede llegar hasta los 8,3.

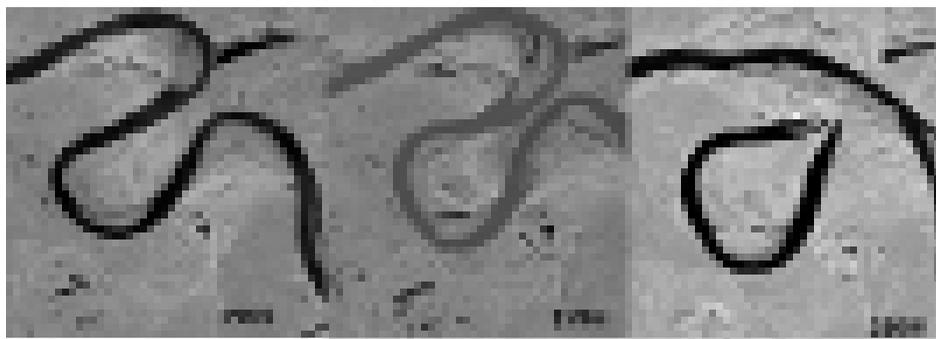
5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana

Las planicies inundables han desempeñado un papel fundamental en la economía amazónica debido a la fertilidad de sus suelos, a la gran densidad de peces y a la presencia de otros animales vertebrados. El fácil acceso que presentan estos ecosistemas los hace muy vulnerables a las amenazas por parte de la población. Las planicies inundables del Bajo Amazonas se encuentran en una situación crítica a causa de una presión creciente de la agricultura, de la pesca comercial local y de una expansión pecuaria.

Alta Dinámica Sedimentaria de los Ríos Amazónicos

Los ríos de la cuenca amazónica presentan diferentes tipos de patrones de canales en planta, desde meándricos (que tienen un canal principal presentando una gran sinuosidad) hasta “anabranching” (que constan de múltiples canales que se dividen y vuelven a conectar). Los ríos meándricos tienden a tener mayores tasas de migración lateral (es decir de desplazamiento de su cauce) que los ríos “anabranching”, logrando así una mayor amplitud y curvas más alargadas.

Una peculiaridad de la zona alta de la cuenca amazónica es el activo dinamismo en la creación y el desarrollo de los meandros. Existen lugares donde se puede observar, en unas pocas décadas, el nacimiento y la muerte de un meandro. La Amazonía peruana está drenada por numerosos afluentes de diferentes tamaños de ancho, descarga líquida, carga sedimentaria, pero igual contexto geo-estructural. Para el caso de los ríos que fluyen en la cuenca del Río Marañón, tienden a tener un cierto grado de estabilidad, donde la línea central del río no cambia dramáticamente durante décadas, aunque se observan cicatrices de un pasado más activo que el actual. La situación es diferente para los ríos ubicados en la cuenca del Río Ucayali: parece que el propio Ucayali y algunos afluentes buscan el equilibrio constantemente a través de la alta dinámica de sus meandros. Eso incluye corte del meandro (llamado “cut off”) y procesos de cambio en el curso del río (llamados avulsiones). Ciertos factores externos (como los relieves, el régimen hidrológico, los aportes de sedimentos, la vegetación, etc.) explican estas diferencias entre los ríos peruanos.



Dinámica de la migración de los meandros del Río Ucayali.

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana

Sedimentación y acumulación de carbono en los lagos

La sedimentación es el principal proceso por el cual la materia orgánica particulada e inorgánica en suspensión en la columna de agua (columna conceptual de agua que va desde la superficie hasta los sedimentos del fondo) es almacenada en los sistemas lacustres. En los lagos de las zonas templadas, una gran parte de la producción orgánica eutrófica (en aguas ricas en componentes nutritivos) llega hasta el sedimento durante los periodos de alta producción, como por ejemplo, durante la primavera y el verano. Pero en general una cantidad importante de esta producción (más del 90%) es remineralizada (cuando la descomposición de la materia orgánica particulada devuelve el nitrógeno, fósforo y carbono a sus formas solubles a través de la actividad metabólica de ciertos organismos) en la columna de agua o en la superficie de los sedimentos. En la zona tropical también: entre 80 y 95% de la materia orgánica producida es remineralizada en la columna de agua. Debido a las menores variaciones anuales de temperatura de las aguas en estas regiones, la producción orgánica de los lagos tropicales tiende a ser influenciada por otros factores como por ejemplo la lluvia, la descarga de los ríos o también por la mezcla vertical en la columna de agua.

A pesar de la importancia que la Amazonía representa para el ciclo global del carbono, todavía se sabe poco sobre la importancia de la sedimentación del mismo en los lagos de planicie de inundación.

El balance sedimentario de la cuenca amazónica durante el Cuaternario (los últimos dos millones de años) está determinado por las altas tasas de erosión debidas a la elevación continua de la cordillera de los Andes y las altas tasas de sedimentación en los lagos de las llanuras de inundación. Una gran proporción de sedimentos gruesos se deposita a los pies de los relieves, mientras que los sedimentos más finos son transportados como carga suspendida a lo largo del continente hasta el Océano Atlántico. Sabemos que alrededor del 80% de los sedimentos transportados por los ríos amazónicos transitan por los lagos de las planicies de inundación y pueden quedar retenidos allí. Esta retención puede ocurrir a diferentes escalas de tiempo (de centenas a miles de años). Junto con los sedimentos también queda retenido el carbono particulado orgánico. En consecuencia, este carbono acumulado en los lagos representa un almacén de carbono en la cuenca amazónica, cuya importancia no ha sido debidamente considerada hasta ahora.

Los estudios de sedimentación lacustre son realizados por medio de testigos sedimentarios: son muestras de sedimentos, extraídas de diferentes maneras, que mantienen la secuencia de deposición de los sedimentos y que son posteriormente analizados en laboratorios para determinar las condiciones geológicas, meteorológicas, los cambios en el ecosistema e incluso acciones de origen humano que pueden haber afectado los regímenes de sedimentación y la composición de los sedimentos. Las edades de los sedimentos son determinadas por el decaimiento de los elementos radioactivos como el carbono 14 y el plomo 210.

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana



Plataforma para la colecta de testigos en lagos (Lago Quistococha, Iquitos). Foto: © IRD / Moreira-Turcq, Patricia.

La sedimentación en los lagos de inundación no es un proceso uniforme y constante ni espacialmente ni temporalmente. Los ríos son muy dinámicos y, por lo tanto, la sedimentación en los lagos de las planicies de inundación se ve afectada por dicha dinámica. Un primer caso es una sedimentación progresiva, producto de las inundaciones estacionales del río. Otro caso es una sedimentación caracterizada por sedimentos más gruesos aportados por la mayor energía de inundaciones más fuertes. Y finalmente, durante algunos eventos hidrológicos extremos, se observa el depósito de paquetes sedimentarios caracterizados

por una misma edad como resultado de una o varias inundaciones sucesivas [9].

Estudios anteriores [10,7] muestran que las tasas de sedimentación son variables a lo largo de la cuenca amazónica, incluso en el interior de un mismo sistema de lagos. Estas variaciones parecen estar directamente relacionadas con el tipo de conexiones que los lagos poseen con el curso principal (temporal o permanente), la proximidad al curso principal (los lagos próximos al río tienen tasas de sedimentación mayores) y finalmente por la geometría de los canales

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana

de conexión (más o menos meándricos). Los depósitos sedimentarios registran también los cambios paleo-hidrológicos y paleo-ambientales de los últimos milenios: podemos, a través de estos registros, detectar alteraciones en la vegetación y en la dinámica sedimentaria de los ríos y lagos, y así identificar los cambios climáticos ocurridos en los ecosistemas a lo largo del tiempo.

Los lagos de inundación (aguas negras, claras y blancas) a pesar de los pocos estudios que han sido realizados hasta la fecha [5,7,8], pueden ser caracterizados por tener tasas de sedimentación relativamente altas en comparación con otros lagos aislados de la región amazónica.



Lagos de inundación (aguas blancas). Foto: © IRD / Moreira-Turcq, Patricia.

La sedimentación, así como la acumulación de carbono en los lagos de inundación de la Amazonía, depende también del tipo de agua de los lagos y del tipo de conexión que tienen con los ríos. Los lagos de aguas negras son muy influenciados por los aportes de su cuenca de drenaje y van a tener tasas de sedimentación más bajas a pesar de presentar altas concentraciones de carbono en los sedimentos. Esto explicará una tasa relativamente baja de

5 Impacto del cambio climático en la sedimentación y en la acumulación de carbono en los lagos de la Amazonía peruana

acumulación de carbono (promedio de 10 g de carbono /m²/año) como es el caso del Lago Quistococha, cerca de la ciudad de Iquitos.

En el caso de los lagos más influenciados por el río, las tasas de sedimentación mayores de hasta algunos centímetros por año serán caracterizadas por una tasa de acumulación de carbono mayor (pudiendo alcanzar hasta 100 g de carbono/m²/año) a pesar de las



Lagos de inundación (aguas negras). Foto : © UFF / Quintana Cobo, Isabel.

bajas concentraciones de este. Esta reserva de carbono aún no se ha cuantificado en la Amazonía y muchas incertidumbres persisten en cuanto a su importancia para el ciclo regional y global del carbono.

La cuenca amazónica tiene un papel muy importante en el cambio climático global, ya que es un gran almacén de agua y de carbono. Los cambios de los ambientes amazónicos pueden afectar retroactivamente el clima global. Una de las mayores incertidumbres sobre el cambio climático actual son los impactos regionales del clima en el futuro. Los datos disponibles parecen indicar un aumento en la intensidad de los eventos de lluvias en los continentes. En la Amazonía, esto podría corresponder a un aumento en la amplitud de las descargas y de la ocurrencia de eventos extremos (ver Espinoza et al., este volumen). Esto tendría consecuencias directas sobre la sedimentación y las tasas de acumulación de carbono en los lagos de inundación.

Por otro lado, existen datos recientes que muestran que eventos hidrológicos extremos han sido más importantes en el pasado [9]. Estos eventos fueron responsables de acumulaciones de sedimento y de carbono en los lagos nunca antes observadas. Por lo tanto, es necesario considerar los estudios de variabilidad climática e hidrológica actual y pasada (paleo-clima y paleo-hidrología) para comprender mejor los principales factores responsables de los eventos climáticos extremos que ocurrieron en el pasado, que ocurren en el presente y que podrán ocurrir en el futuro.

REFERENCIAS

- 1 - Junk WJ (1997) General aspects of floodplain ecology with special reference to amazonian floodplains. In: Junk WJ (Ed.) The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system. Berlin: Springer, p. 3-20.
- 2 - Cerri CEP, Easter M, Paustian K, Killian K, Coleman K, Bernoux M, Falloon P, Powlson DS, Batjes NH, Milne E., Cerri CC (2007) Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 :58–72.
- 3 - Tian H, Melillo JM, Kicklighter DW, Mcguire AD, Helfrich III JVK, Moore III B, Vorosmarty C (2000) Climatic and biotic controls on annual carbon storage in Amazonian ecosystems. *Global Ecology & Biogeography* 9: 315-335.
- 4 - Lähteenoja O, Ruokolainen K, Schulman L, Oinonen M (2009) Amazonian peatlands: an ignored C sink and potential source. *Global Change Biology* 15: 2311–2320.
- 5 - Aniceto K, Moreira-Turcq P, Cordeiro RC, Fraizy P, Quintana I, Turcq B (2014) Holocene paleohydrology of Quistococha Lake (Peru) in the upper Amazon Basin: Influence on carbon accumulation. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, in press.
- 6 - IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2013: The Physical Science Basis*, 2013.
- 7 - Moreira-Turcq P, Jouanneau JM, Turcq B, Seyler P, Weber O, Guyot JL (2004) Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in the low Amazon region: insights into sedimentation rates. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 214(1-2):27-40.
- 8 - Moreira LS, Moreira-Turcq P, Turcq B, Caquineau S, Cordeiro RC (2012) Paleohydrological changes in an amazonian floodplain lake: Santa Ninha Lake. *Journal of Paleolimnology* 48 : 339-350.
- 9 - Moreira-Turcq P, Turcq B, Moreira L, Amorim M, Cordeiro RC, Guyot JL. A 2700 cal yr BP extreme flood event revealed by sediment accumulation in Amazon floodplains *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, in press
- 10 - Smith-Morril L (1987) The Exchange of carbon, nitrogen, and phosphorus between the sediments and water-column of an Amazon floodplain lake. Phd thesis, University of Maryland.

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

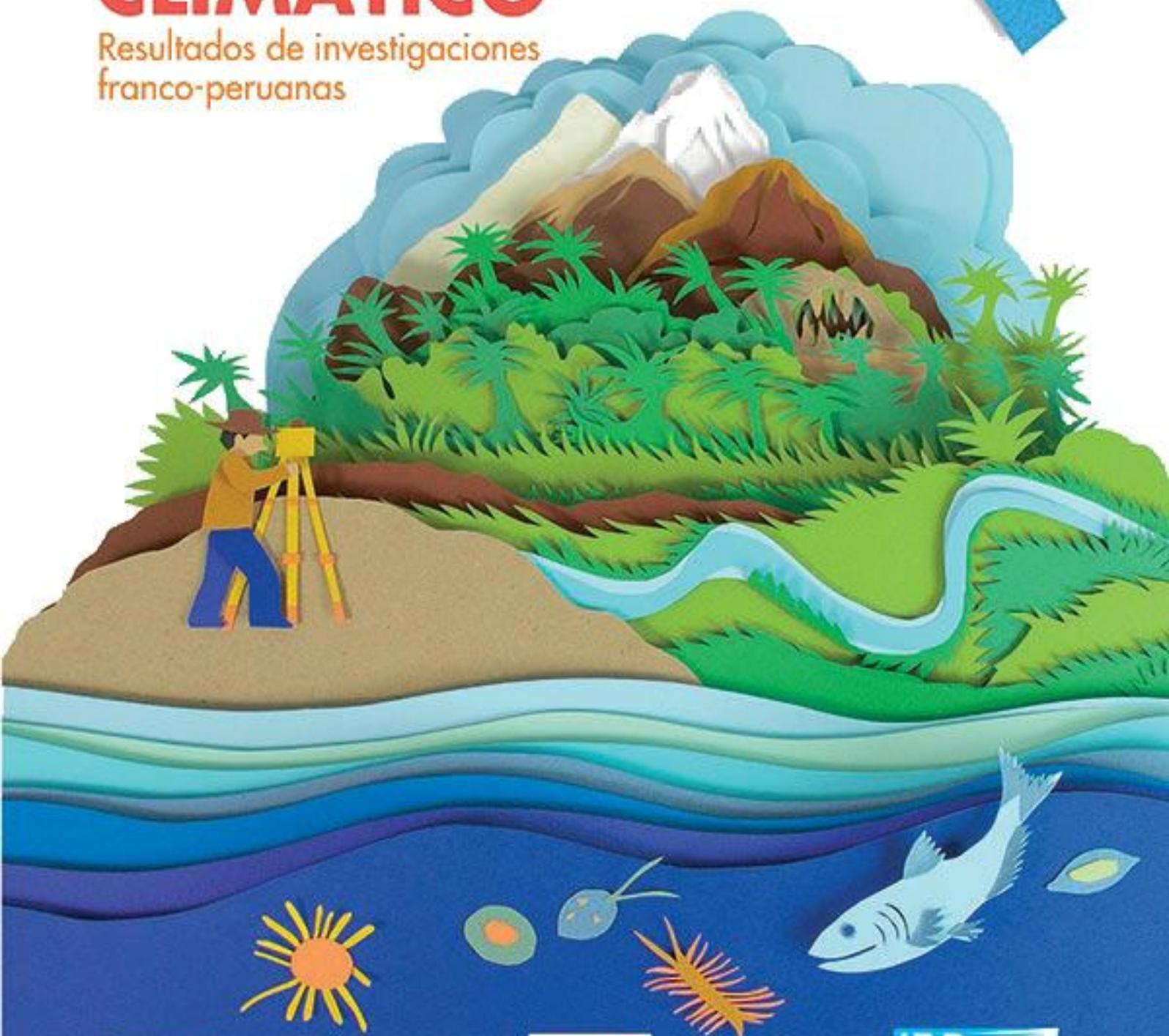
Primera impresión Noviembre 2014, 500 ejemplares

© 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