

# 1

## Control geológico y climático del sistema Andino-Amazónico y de su biodiversidad

Salas-Gismondi R.<sup>1</sup>

Baby P.<sup>2,3</sup>

Roncal J.<sup>4,5</sup>

Junquas C.<sup>2,6</sup>

Espinoza J.C.<sup>7</sup>

Pintaud J.C.<sup>2,5</sup>

Tejada J.<sup>1</sup>

Calderon Y.<sup>8</sup>

Antoine P.O.<sup>9</sup>

Roddaz M.<sup>3</sup>



<sup>1</sup> Departamento de Paleontología de Vertebrados, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM, Lima, Perú.

<sup>2</sup> Institut de Recherche pour le Développement - IRD

<sup>3</sup> Géosciences Environnement Toulouse - GET (CNRS, IRD, Observatoire Midi-Pyrénées, Université Toulouse 3), Toulouse, France

<sup>4</sup> Department of Biology, Memorial University of Newfoundland - MUN, St. John's, NL A1B 3X9, Canada.

<sup>5</sup> Diversité, adaptation, développement des plantes - DIADE (IRD, Université Montpellier 2), Montpellier, France.

<sup>6</sup> Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement – LTHE (CNRS, IRD, Université Joseph Fourier), Grenoble, France.

<sup>7</sup> Instituto Geofísico del Perú - IGP, Lima, Perú.

<sup>8</sup> Perupetro S. A., Lima, Perú.

<sup>9</sup> Institut des Sciences de l'Évolution - ISEM (CNRS, IRD, Université Montpellier 2), Montpellier, France.

# RESÚMENES

## Español

Los excepcionales recursos naturales de la Amazonía son el fruto de una larga historia geológica y climática en la que los Andes juegan un papel determinante. Desde su creación hasta la actualidad, el impacto de esta cadena montañosa sobre el ambiente de la región ha dado forma a las faunas y floras sucesivas y sus distribuciones. Regulador de las precipitaciones y de la fantástica biodiversidad animal y vegetal de la región, el sistema geo-climático andino-amazónico debe ser considerado como un elemento fundamental a la hora de estudiar el impacto del cambio climático en la región.

## Francés

Contrôle géologique et climatique du système Andino-Amazonien et de sa biodiversité

Les ressources naturelles exceptionnelles de l'Amazonie sont le fruit d'une longue histoire géologique et climatique où les Andes jouent un rôle déterminant. Depuis son apparition jusqu'à nos jours, l'impact de cette chaîne de montagne sur l'environnement de la région a donné forme aux faunes et flores successives et leurs distributions. Régulateur des précipitations et de la fantastique biodiversité de la région, le système géo-climatique andino-amazonien doit être considéré comme un élément fondamental si l'on souhaite étudier l'impact du changement climatique dans la région.

## Inglés

Geological and climatic control of Andean-Amazonian system and its biodiversity

The extraordinary natural resources of the Amazon region are the result of a long geological and climatic history, where the Andes play a decisive role. This mountain range has impacted on the environment of the region, arraying Flora and Fauna, and its successive distribution since its origin to the present. As a regulator of rainfalls and of the fantastical animal and vegetal biodiversity of the region, the Andean-Amazon geo-climate system must be considered as an essential element to study the Climate Change impact in the region.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca Amazónica es actualmente la cuenca sedimentaria continental más extensa del planeta. Se extiende desde la vertiente oriental de los Andes Centrales hasta el Océano Atlántico (Fig. 1).

Su historia es íntimamente ligada al crecimiento de los Andes, y comienza hace 100 millones de años cuando emergen sus primeros relieves, moderados y esporádicos, en la margen occidental del continente sudamericano. Desde esta época, la Amazonía Andina evoluciona en función de la interacción de procesos internos (tectónica) y de procesos de superficie (alteración, erosión, sedimentación), donde el clima,

que si bien desempeña un rol mayor, también se encuentra afectado por el crecimiento de los Andes. Este sistema geo-climático (Fig. 2) ha controlado la evolución del medio ambiente físico y biológico de la cuenca amazónica, así como el origen y la distribución de sus excepcionales recursos naturales.

### Historia geológica y climática

Sin los Andes no existiría la Amazonía. El sistema Andino Amazónico es un sistema dinámico cuyo motor es el desplazamiento y la colisión de las placas tectónicas de Nazca y de Sudamérica. Este sistema, empujado y deformado por el prisma orogénico de los Andes Orientales (que corresponde a

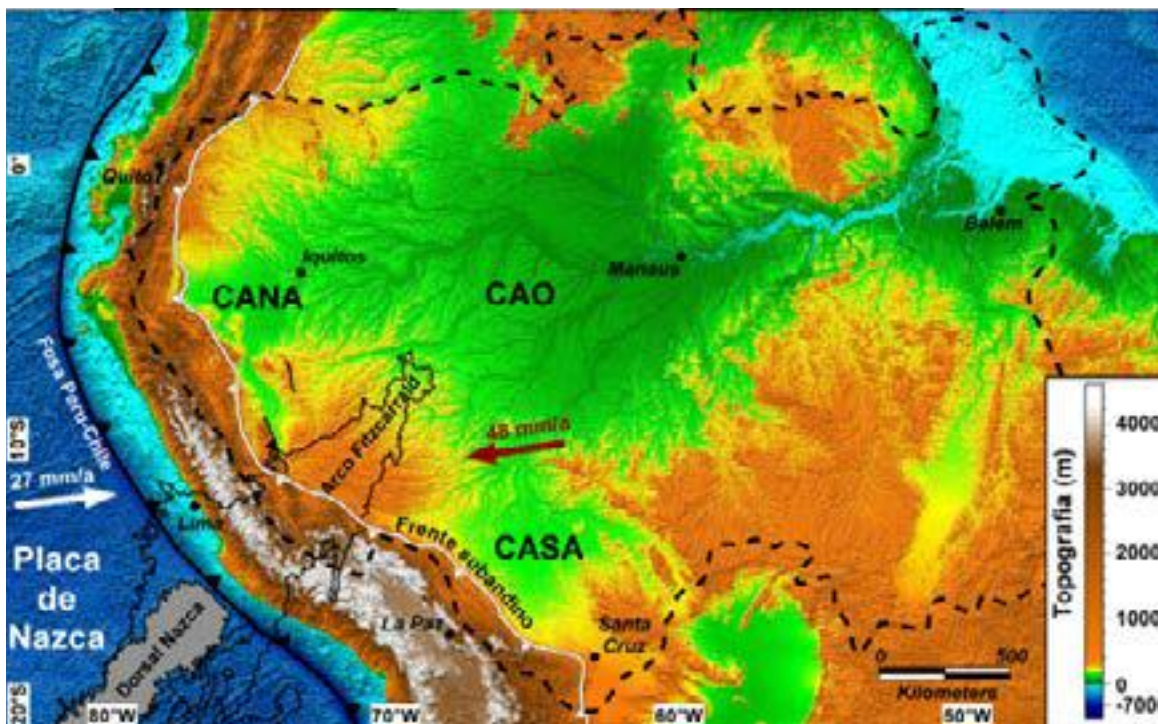


Figura 1: Modelo numérico de campo Tierra-Mar de los Andes y de la cuenca amazónica ; CANA : Cuenca de Ante-país Nor Amazónica ; CASA : Cuenca de Ante-país Sur Amazónica ; CAO : Cuenca Amazónica Oriental (modificado según [15,27]).

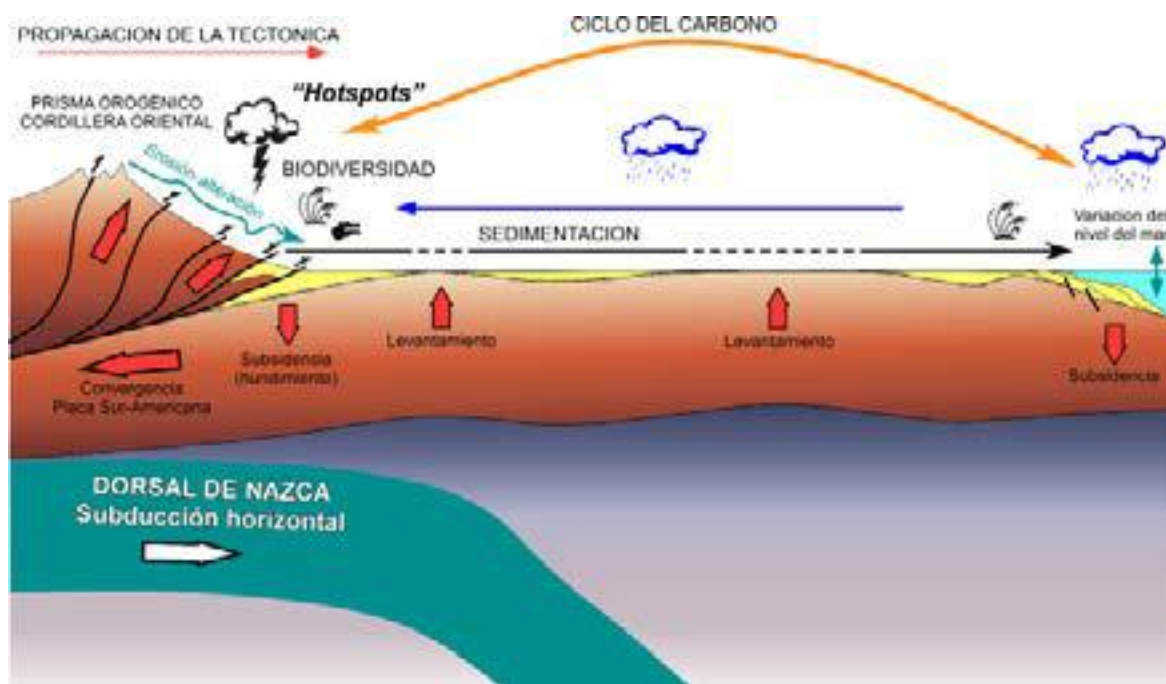


Figura 2: El sistema Andino Amazónico, un laboratorio natural excepcional para entender las relaciones entre procesos geológicos, climáticos y biológicos implicados en la dinámica de la biodiversidad.

la Cordillera Oriental en la Figura 2), crece verticalmente formando relieves, pero se desplaza también hacia el Océano Atlántico varios centímetros por año. Estudios geológicos realizados en el Perú muestran que el frente de deformación amazónico de la cadena Andina (frente subandino en la Figura 1) se trasladó más de 100 Km. hacia el cratón brasilero (una masa de corteza continental que no ha sufrido todavía fragmentaciones o deformaciones) en menos de 40 millones de años. Durante la propagación del prisma orogénico hacia el oriente, los sedimentos, producto de la erosión de los relieves andinos, fueron transportados por los ríos amazónicos y depositados sobre el cratón brasilero y/o trasladados hacia el Océano Atlántico. Actualmente, la cantidad de sedimentos exportada por los Andes hacia

la cuenca amazónica se estima en 2 000 millones de toneladas por año, es decir el 30-40% de la producción mundial [1,2,3]. La mitad de esos sedimentos quedan atrapados en el pie de monte del sistema Andino Amazónico [4], alimentando así con nutrientes toda la actividad biológica.

En lo que se refiere al clima, a partir del Cenozoico (hace 65 millones de años), el relieve de los Andes constituyen el único obstáculo importante para el flujo atmosférico en el hemisferio sur, provocando un contraste climático entre una vertiente amazónica húmeda y una vertiente pacífica árida. A escala geológica, ciertos estudios sugieren que el clima ha controlado parte de la propagación del prisma orogénico

## 1 Control geológico y climático del sistema Andino-Amazónico y de su biodiversidad

andino [5] y los flujos de erosión y de sedimentos que alimentan la cuenca amazónica [6,7].

Para entender mejor la influencia de la orografía (morfología del relieve) sobre el clima, los investigadores usan modelos climáticos para realizar experimentos numéricos donde el clima es simulado en configuraciones en las cuales se puede cambiar la orografía. Estos modelos son capaces de simular las principales características climáticas globales y del continente sudamericano, y sus variaciones en el tiempo. Basándose en esta metodología, varios estudios han recreado como sería el clima sin la presencia de los Andes [8,9,10,11,12]. Los resultados muestran no solamente cambios en el clima regional sino también en el clima global. En términos de influencias globales, los más notables son los cambios que afectarían los dos anticiclones subtropicales que bordean el continente sudamericano: el anticiclón del Océano Pacífico Sur y el anticiclón del Océano Atlántico Sur. Sin los Andes, el anticiclón del Pacífico Sur penetraría por el borde Oeste del continente, y al contrario el anticiclón del Atlántico Sur sería empujado hacia el Este, lo que provocaría una disminución de entrada de humedad por este lado, en la cuenca Amazónica. Además, la formación de los Andes provoca una aceleración del viento del Norte en su borde Este [13], implicando un importante transporte de humedad desde los trópicos hacia el Sur del continente [14]. Esta aceleración del viento es canalizada entre los Andes en el Oeste y el cratón brasilero en el Este. Es también responsable de la presencia de zonas de máxima pluviometría, llamadas "hotspots" de lluvias. Se pueden observar hoy en día varios "hotspots" de lluvias a lo largo del borde Este

de los Andes. Un estudio en curso [15] se interesa en la formación del más intenso de todos, situado en la región de Quincemil (Cuzco). Los primeros resultados muestran que su localización está ligada a una etapa particular de la formación de los Andes. En el Norte de la región de Cuzco y de Madre de Dios, el pie de los Andes se caracteriza por un desnivel topográfico progresivo de 500 m hasta el nivel del mar, llamado Arco de Fitzcarrald. El levantamiento de este arco se interpreta como una consecuencia de la subducción horizontal de la dorsal de Nazca en el lado Este de los Andes [16]. Aunque este relieve es relativamente bajo en comparación con los Andes (algunas centenas de metros de altura), es uno de los primeros obstáculos topográficos que encuentra el viento del Norte-Este proveniente del Océano Atlántico. Este viento es responsable del transporte de la humedad del Océano Atlántico y de la evapotranspiración amazónica hacia los Andes. Los primeros experimentos numéricos confirman que la presencia del Arco de Fitzcarrald sería responsable de un desvío del viento, canalizando el flujo de humedad hasta el "hotspot" de la región de Quincemil. En ausencia de la barrera morfológica del Arco de Fitzcarrald, experimentos muestran que el flujo de humedad tomaría una dirección Sur-Este paralela a los Andes, limitando la convección de flujos y la formación de "hotspots" en esta región.

Los Andes constituyen el único obstáculo importante para el flujo atmosférico en el hemisferio sur, provocando un contraste climático entre una vertiente amazónica húmeda y una vertiente pacífica árida.

### Diversidad faunística del ecosistema proto-Amazónico

En la larga historia geológica de la cuenca amazónica, el sistema de drenaje moderno - transcontinental- del Río Amazonas se instaló hace solo 10 millones de años [17]. Antes, la cuenca amazónica fue ocupada en varios periodos por un inmenso y complejo sistema acuático, medio lago-medio estuario, paralelo a los Andes y conectado al Mar Caribe. Es en este medio ambiente controlado por el crecimiento de los Andes que se desarrolló la biodiversidad amazónica. Las comunidades vegetales de esta cuenca proto-Amazónica, ya controlada por el crecimiento de los Andes, alcanzaron picos de diversidad durante el Eoceno y el Mioceno medio (entre 55 y 11 millones de años).

Los bosques eran habitados por marsupiales, xenartros (armadillos, osos hormigueros y perezosos) y ungulados nativos, la fauna endémica de mamíferos que evolucionó en Sudamérica insular luego de la extinción de los dinosaurios. El mamífero del orden de los piroterios llamado *Baguatherium*, herbívoro parecido a un rinoceronte que habitó la zona de Bagua (Amazonas), fue un notable representante de esta extraña fauna primordial. Gracias a los recientes descubrimientos en Contamana (Ucayali) sabemos que los roedores del infraorden de los caviomorfos (al cual pertenece el actual capibara) más antiguos de Sudamérica llegaron desde África hace unos 42 millones de años [18]. Hace unos 26 millones de años, pequeños primates que también cruzaron el Atlántico desde África, se sumaron a la fauna de mamíferos sudamericanos. En el Perú, el resto más antiguo de un



Sistema Pebas: Ambiente protoamazónico hace 13 millones de años. Foto: © Peña, Daniel.

## 1 Control geológico y climático del sistema Andino-Amazónico y de su biodiversidad

primate Cebidae (familia que incluye actualmente a los monos capuchinos) tiene unos 18 millones de años y se descubrió en el río Alto Madre de Dios (Cusco) [19].

Durante los últimos 25 millones de años, los Andes experimentaron un acelerado crecimiento que influyó sustancialmente en las características del ecosistema proto-Amazónico. Coincidentemente, datos moleculares y paleontológicos indican que varios grupos de organismos con representantes modernos en Amazonía empiezan a diversificarse a partir de esta época. La actividad tectónica también favoreció la formación de un enorme sistema lacustre en proto-Amazónica Occidental. Hace 13 millones de años, este ambiente conocido como Sistema Pebas, alcanzó gran complejidad ecológica y llegó a cubrir más de un millón de kilómetros cuadrados. Sus aguas nacían principalmente en los Andes y drenaban en el Mar Caribe. En el 2005, una expedición franco-peruana prospectó y descubrió restos de la variada fauna que habitó este ecosistema en el área del Arco de Fitzcarrald (Ucayali) [20,21,22]. En los ambientes acuáticos vivían delfines rosados del género *Inia* y otros afines al delfín del Ganges. Entre los cocodrilos existían numerosas especies de caimanes, incluyendo el caimán enano *Paleosuchus*, el gran *Purussaurus* y el caimán con pico de pato *Mourasuchus*. Las pacaranas y ronsocos aparecen en esta época. Insectos y arácnidos conservados en ámbar procedentes delazonadelquitos demuestran que existió una enorme biodiversidad [23]. Hace unos 12 millones de años, incursiones marinas y nuevos picos de crecimiento andino marcaron el fin del Sistema Pebas y el origen del sistema fluvial amazónico. Caimanes, gaviales y tortugas, parientes de las charapas y taricayas, se convirtieron en verdaderos gigantes. La

fauna de la Amazonía moderna es el resultado de una historia antigua y de un evento relativamente reciente: el gran intercambio biótico americano, en el que la fauna terrestre y de agua dulce emigró de América del Norte a través de Centroamérica hacia América del Sur y viceversa, como resultado del surgimiento del Istmo de Panamá.

### El rol geológico en la especiación y estructuración de las selvas amazónicas

El sistema Andino Amazónico forma un laboratorio natural excepcional para entender las relaciones entre procesos geológicos y biológicos implicados en la dinámica de la biodiversidad.

Existen varias hipótesis que tratan de explicar el por qué la diversidad en los trópicos es tan elevada. Una de las más aceptadas indica que el levantamiento de los Andes ocasionó una serie de arreglos estructurales en el paisaje Andino Amazónico, creando nuevas oportunidades y nichos o espacios en los cuales nuevas especies se crean o adaptan. Poblaciones ampliamente distribuidas en el continente sudamericano previas al levantamiento andino, y por ende, previas a la formación de la cuenca amazónica, se fragmentaron como consecuencia de la formación de montañas y ríos, o inmigraron hacia los nuevos espacios con condiciones ambientales favorables, creando nuevas especies en ambos casos. Una manera indirecta de saber si efectivamente la actividad geológica y re-estructuración superficial geográfica y climática influenciaron en el origen y distribución de las especies actuales, es estimando la edad de estas mismas. Utilizando el registro fósil, y diferentes

## 1 Control geológico y climático del sistema Andino-Amazónico y de su biodiversidad

modelos de mutación de ADN (el reloj molecular), es posible estimar la fecha de origen de distintas especies. El boom de estas dataciones moleculares en distintos grupos de plantas y animales, durante los últimos 10 años, ha llevado a la conclusión de que la mayor parte de la actual biodiversidad en el sistema Andino Amazónico se originó en el Mioceno y el Pleistoceno, durante los últimos 20 millones de años [24,25].

Si bien las edades de especiación (proceso mediante el cual una población de una determinada especie da lugar a otra u otras especies) y de actividad

geológica de los Andes son contemporáneas, no constituye suficiente evidencia científica para probar que los eventos geológicos favorecieron la creación de nuevas especies a través de la fragmentación de poblaciones. Como parte de una prueba más rigurosa, es necesario saber si existe una correspondencia espacial y temporal entre la edad de formación de montañas, ríos y arcos, y la edad y patrón espacial de evolución de especies. Para probar esta hipótesis, hemos utilizado un grupo de palmas distribuidas principalmente en la Amazonía Occidental llamado los "Huicungos". Estas palmas son abundantes y localmente muy apreciadas

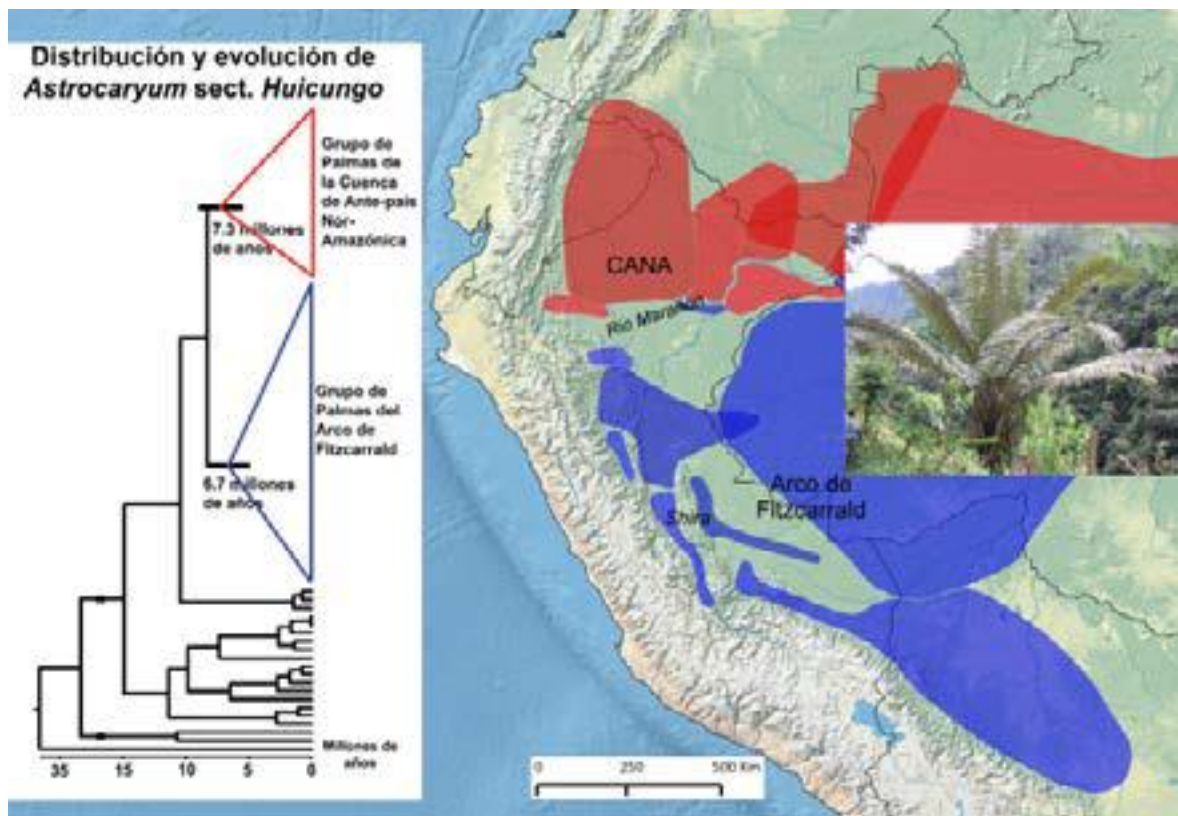


Figura 4: Distribución y evolución de *Astrocaryum* sect. *Huicungo* en el Arco de Fitzcarrald y en la CANA (Cuenca de Ante-país Nor Amazónica).



por su fibra. La Amazonía Occidental cuenta con un mayor número de especies que la Amazonía Central y del Este, por ello determinar los procesos de especiación en esta parte es interesante y podría extrapolarse a otras regiones. Utilizando las técnicas de secuenciamiento de ADN y de datación molecular, descubrimos que estas palmeras se congregan genéticamente en dos grupos: uno relacionado a la unidad morfológica del Arco de Fitzcarrald [16,26], y el segundo ubicado en la Cuenca de Ante-país Nor Amazónica (CANA) (Fig. 1). Esta división genética se localiza aproximadamente a los 5 grados Sur. Así mismo, estos dos grupos de especies comenzaron a evolucionar alrededor de los 6,7 y 7,3 millones de años atrás, respectivamente (Fig. 4). Es interesante resaltar que estos grupos se ubican en regiones con historias geológicas contrastantes, la primera caracterizada por levantamiento y erosión, y la segunda sujeta a hundimiento y deposición de sedimentos. Actualmente, el límite entre esos dos dominios morfo-estructurales está materializado por el Río Marañón

y su prolongación, el Río Amazonas. Dataciones termocronológicas (que permiten determinar la edad del enfriamiento de un rocamiendiendolasproporciones de varias formas de ciertos isótopos) en la zona del Shira (Fig. 4) muestran que el levantamiento tectónico de esta región, que pertenece al Arco de Fitzcarrald, empezó hace  $9 \pm 2$  millones de años [27], lo que entra en el rango de las dataciones moleculares del inicio de la especiación de las palmas "Huicungos". Por otra parte, estudios geológicos indirectos muestran que el drenaje transcontinental del Río Amazonas, y por ende la individualización de la Cuenca de Ante-país Nor Amazónica, se iniciaron entre 6 y 10 millones de años [28]. Finalmente, este estudio geo-biológico no solamente muestra que las dataciones moleculares cuidadosamente hechas en base a varios registros fósiles coinciden con eventos de la tectónica andina, pero permiten también una mejor calibración de la historia geológica del Arco de Fitzcarrald y de la Cuenca de Ante-país Nor Amazónica.

## REFERENCIAS

- 1 - Guyot J.L., Filizola N.P., Laraque A. (2005). Régime et bilan du flux sédimentaire de l'Amazone à Obidos (Para, Brésil) de 1995 à 2003. *Sediment budgets* (Horowitz A.J., Walling D.E., Eds.), IAHS, Wallingford (Royaume Uni), 291: 347-354.
- 2 - Filizola, N., Guyot, J.L. (2009) Suspended sediment yields in the Amazon Basin: an assessment using the Brazilian national data set. *Hydrol. Process.* 23, 3207–3215.
- 3 - Filizola N.P., Guyot J.L., Wittmann H., Martinez J.M., De Oliveira E. (2011). The significance of suspended sediment transport determination on the Amazonian hydrological scenario. *Sediment Transport in Aquatic Environments* (Manning A.J., Ed.): 45-64.
- 4 - Baby, P., Guyot, J.L., Herail, G. (2009) Tectonic control of erosion and sedimentation in the Amazon Basin of Bolivia. *Hydrol. Processes* DOI: 10.1002/hyp.7391.
- 5 - McQuarrie, N., Ehlers, T.A., Barnes, J.B. & Meade, B. (2008) Temporal variation in climate and tectonic coupling in the central Andes. *Geology*, 36, 999-1002.
- 6 - Uba, C.E., Kley, J., Strecker, M.R. & Schmitt, A.K. (2009). Unsteady evolution of the Bolivian Subandean thrust belt: the role of enhanced erosion and clastic wedge progradation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 281, 134-146.
- 7 - Carretier S., V. Regard, R. Vassallo, G. Aguilar, J. Martinod, R. Riquelme, E. Pepin, R. Charrier, G. Hérail, M. Farías, J-L Guyot, G. Vargas, and C. Lagane. Slope and climate variability control of erosion in the Andes of central Chile *Geology*, February 2013, v. 41, p. 195-198, first published on November 13, 2012, doi:10.1130/G33735.1
- 8 - Junquas C, Li L, Vera C, Le Treut H, Takahashi K. (Submitted). Influence of South America orography on summertime precipitation in Southeastern South America, *Climate Dynamics*.
- 9 - Gandu AW, Geisler JE (1991). A primitive equations model study of the effect of topography on the summer circulation over tropical South America. *J. Atmos. Sci.*, 48, 1822-1836.
- 10 - Figueroa S, Satyamurty P, Da Silva Dias P L (1995). Simulations of the summer circulation over the south american region with an eta coordinate model. *J. Atmos. Sci.*, 52(10), 1573–1584.

## 1 Control geológico y climático del sistema Andino-Amazónico y de su biodiversidad

- 11 - Rodwell M, Hoskins B (2001). Subtropical anticyclones and summer monsoons. *J. Clim.*, 14, 3192–3211
- 12 - Insel N, Poulsen C J, Ehlers T A (2010). Influence of the Andes Mountains on South American moisture transport, convection, and precipitation. *Climate Dynamics*, 35, 1477-1492.
- 13 - Campetella C M, Vera C S (2002). The influence of the Andes Mountains on the South American low-level flow. *Geophys. Res. Lett.* 1, 29(17), 1826. doi:10.1029/2002GL015451.
- 14 - Berbery E, Barros V (2002). The hydrologic cycle of the la plata basin in South America. *J. Hydrometeorol*, 3(6), 630–645.
- 15 - Junquas C, Takahashi K, Baby P, J-C Espinoza (in preparation) Influence of the andean orography on the precipitation hotspots East of the Andes.
- 16 - Espurt, N., Baby, N., Brusset, S., Roddaz, M., Hermoza, W., Regard, V., Antoine, P.O., Salas-Gismondi, R & Bolaños R. (2007). How does the Nazca Ridge subduction influence the modern Amazonian foreland basin? *Geology*, 35, 515-518.
- 17 - Hoorn, C., Wesselingh, F.P., ter Steege, H., et al (2010). Amazonia through time: andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330, 927-931.
- 18 - Antoine, P.-O., Marivaux, L., Croft, D.A., Billet, G., Ganerød, M., Jaramillo, C., Martin, T., Orliac, M.J., Tejada, J., Duranthon, F., Fanjat, G., Rouse, S. & Salas-Gismondi, R., 2012. Middle Eocene rodents from Peruvian Amazonia reveal the pattern and timing of caviomorph origins and biogeography. *Proceedings of the Royal Society B: Biology* 279, 1319-1326
- 19 - Marivaux, L., Salas-Gismondi, R., Tejada, J., Billet, G., Louterbach, M., Vink, J., Bailleul, J., Roddaz, M. & Antoine, P.-O., 2012. A platyrrhine talus from the early Miocene of Peru (Amazonian Madre de Dios Sub-Andean Zone). *Journal of Human Evolution* 63, 696-703.
- 20 - Antoine, P.-O., Baby, P., Benammi, M., Brusset, S., De Franceschi, D., Espurt, N., Goillot, C., Pujos, F., Salas-Gismondi, R., Tejada, J. & Urbina M., 2007. The Laventan Fitzcarrald local fauna, Amazonian Peru. 4th European Meeting on Paleontology and Stratigraphy of Latin America, Madrid, Sept. 12-14, 2007. *Cuadernos del Museo Geominero* 8, 19-24.

## 1 Control geológico y climático del sistema Andino-Amazónico y de su biodiversidad

21 - Salas-Gismondi, R., Antoine, P.-O., Baby, P., Benammi, M., Espurt, N., Pujos, F., Tejada, J., Urbina, M. & De Franceschi, D, 2007. Middle Miocene crocodiles from the Peruvian Amazonian basin (Fitzcarrald Arch). 4th European Meeting on Paleontology and Stratigraphy of Latin America, Madrid, Sept. 12-14, 2007. Cuadernos del Museo Geominero 8, 355-360.

22 - Goillot, C., Antoine, P.-O., Tejada Lara, J., Pujos, F. & Salas-Gismondi, R., 2011. Middle Miocene Uruguaytheriinae (Mammalia, Astrapotheria) from Peruvian Amazonia and a review of the astrapotheriid fossil record in northern South America. *Geodiversitas* 33, 331-345

23 - Antoine, P.-O., De Franceschi, D., Flynn, J.J., Nel, A., Baby, P., Benammi, M., Calderón, Y., Espurt, N., Goswami, A. & Salas-Gismondi, R., 2006. Amber from Western Amazonia reveals Neotropical diversity during the middle Miocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103, 13595-13600

24 - Rull, V. (2011). Neotropical biodiversity: timing and potential drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 26, 508-513.

25 - Smith, B.T., McCormack, J.E., Cuervo, A.M., et al. (2014). The drivers of tropical speciation. *Nature* doi:10.1038/nature13687.

26 - Espurt, N., Baby, P., Brusset, S., Roddaz, M., Hermoza, W. & Barbarand, J. (2010). The Nazca ridge and uplift of the Fitzcarrald arch: implications for regional geology in northern south America. *Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past* 1st edition (ed. by C. Hoorn and F.P. Wesselingh), 89-100. Wiley-Blackwell.

27 - Gautheron, C., Espurt, N., Barbarand, J., Roddaz, M., Baby, P., Brusset, S., Tassan-Got, L., Douville, E. (2013). Direct dating of thick- and thin-skin thrusts in the Peruvian Subandean zone through apatite (U-Th)/He and fission track thermochronometers. *Basin Research*, 25, 419-435.

28 - Roddaz, M., Baby, P., Brusset, S., Hermoza, W. & Darrozes, J.M. (2005). Forebulge dynamics and environmental control in western Amazonia: the case study of the arch of Iquitos (Peru). *Tectonophysics*, 399, 87–108.

# 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

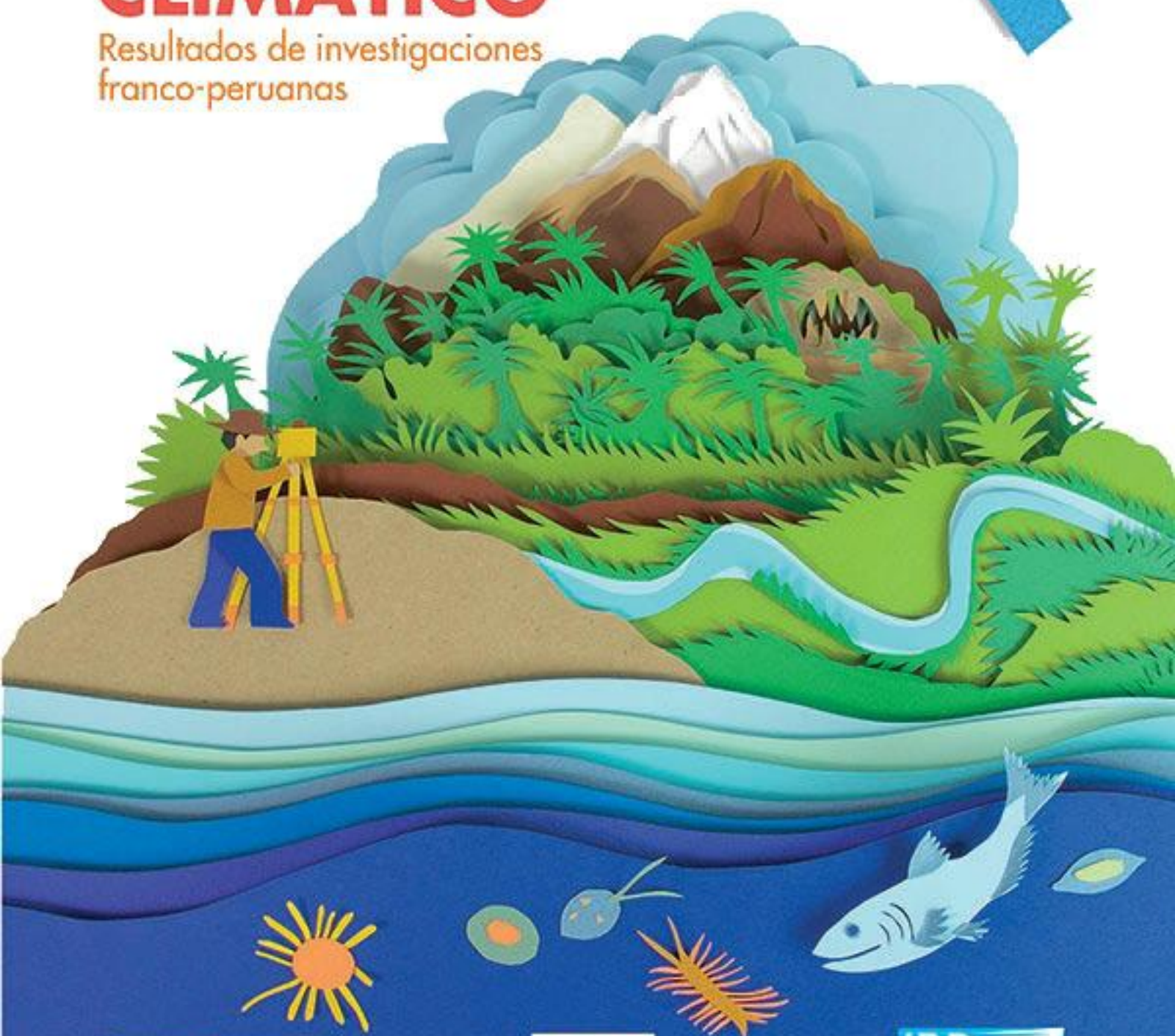
Primera impresión Noviembre 2014, 500 ejemplares

© 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