



Cambio en la polaridad del drenaje Amazónico durante el Cretaceo-Paleoceno temprano impulsado por la abertura del océano Atlántico ecuatorial y el surgimiento de los Andes al norte de Sudamérica (ejemplo: Cuenca Huallaga)

Christian Hurtado^(1,4), Martin Roddaz^(1,2), Roberto Ventura Santos⁽¹⁾, Patrice Baby⁽²⁾, Pierre-Olivier Antoine⁽³⁾, Ysabel Calderón⁽⁴⁾ & Elton Luiz Dantas⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratório de Geocronologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF 70910-000, Brazil

⁽²⁾ Géosciences-Environnement Toulouse, Université de Toulouse, UPS (SVT-OMP), CNRS, IRD, 14 Avenue Édouard Belin, F-31400 Toulouse, France

⁽³⁾ Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (ISE-M, UMR 5554, CNRS/UM/IRD/EPHE), c.c. 64, Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex 05, France

⁽⁴⁾ PERUPETRO S.A., Avenida Luis Aldana 320 San Borja- Lima

INTRODUCCIÓN

La formación y ruptura de los “super continentes” está acompañada por movimientos verticales que generan reorganización en el sentido drenaje a escala continental. El drenaje de las cuencas como el Amazonas y Orinoco, en el norte de Sudamérica muestra evidencia de tal reorganización desde el Cretáceo (Potter, 1997; Hoorn et al., 2010). Sin embargo, la mayoría de estudios recientes se centran en la configuración del Neógeno y en particular en la transcontinentalización del río Amazonas (Figueiredo et al., 2009; Gorini et al., 2014; Hoorn et al., 2017; van Soelen et al., 2017). Estos estudios muestran que, al menos desde el Neógeno, la historia del sistema de drenaje amazónico está vinculado con el desarrollo de la cadena andina (Hoorn et al., 2017; Van Soelen et al., 2017). Sin embargo, no está claro si existió o no un vínculo similar en tiempos pre-Neógeno. El ciclo orogénico andino comenzó durante el Jurásico, siguiendo una brecha en la actividad de subducción entre el Pérmico tardío y el Triásico tardío. Desde entonces, la subducción de la placa oceánica ha sido un proceso tectónico predominante en el suroeste

de Sudamérica (Ramos & Aleman, 2000). Estudios disponibles indican que, entre el Jurásico y el Cretáceo temprano, el margen andino estaba sujeto al desarrollo de un arco esencialmente volcánico y una cuenca tipo tras-arco (por ejemplo, Jaillard y Soler, 1996; Mpodozis y Ramos, 1990). Más tarde, durante finales del Cretáceo o el Paleógeno temprano, el inicio de la compresión en el cinturón andino condujo a la formación de la retro-cuenca de ante-país (DeCelles et al., 2011; DeCelles y Horton, 2003; Di Giulio et al., 2012; Horton y otros, 2001; Louterbach y otros, 2018; Nie et al., 2010; Parra et al., 2012; Roddaz et al., 2010; Sempere et al., 1997). Como resultado, estos mecanismos geodinámicos pueden haber promovido una gran reorganización del drenaje en el norte de Sudamérica. El presente estudio corresponde a un análisis de la proveniencia de rocas sedimentarias que componen el intervalo Triásico-Jurásico hasta el Eoceno localizadas en el margen occidental del sistema de retro-cuenca de ante-país Amazónica conformado por las cuencas Valle Medio Magdalena-Llanos (Colombia), Oriente (Ecuador), Huallaga-Ucayali-Madre de Dios (Perú).

MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Los datos usados corresponde a nueva información y referencias relacionado con dataciones bioestratigráficas, dataciones U-Pb en zircón detrítico y composiciones Sr-Nd en rocas sedimentarias de afloramientos y pozos en las cuencas Magdalena (Horton et al., 2015 & Nie et al., 2012), Llanos (Bande et al., 2012 & Bayona et al., 2008), Oriente (Vallejo et al., 2017 & Martin-Gombojav et al., 2007), Huallaga (nueva data, Hurtado et al., 2018), Ucayali (BP, 2008) y Madre de Dios (Lousterbach et al., 2018).

La nueva data adquirida corresponde a 21 muestras de rocas sedimentarias obtenidas del intervalo Mesozoico y Cenozoico Temprano en afloramientos de la cuenca Huallaga. De estas muestras, 7 muestras de areniscas fueron usadas para dataciones U-Pb en zircon y 14 muestras de limoli-

tas y arcillas fueron usadas para mediciones de composición isotópica de Sr-Nd. Las nuevas dataciones bioestratigráficas fueron obtenidas del trabajo de Antoine et al. (2016). Los análisis de U-Pb fueron realizados con LA-MC-ICP-MS en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad de Brasilia (UnB). Las muestras de isotopos de Sr-Nd fueron analizadas en la Universidad de Brasilia (UnB) y Geosciences Environment Toulouse (GET) en Francia.

Los resultados han sido comparados en cuencas adyacentes mediante las correlaciones cronoestratigráficas e isotópicas. Hacia el norte han sido correlacionados con las cuencas Llanos, Magdalena y Oriente. Hacia el Sur fueron correlacionados con las cuencas Ucayali y Madre de Dios.

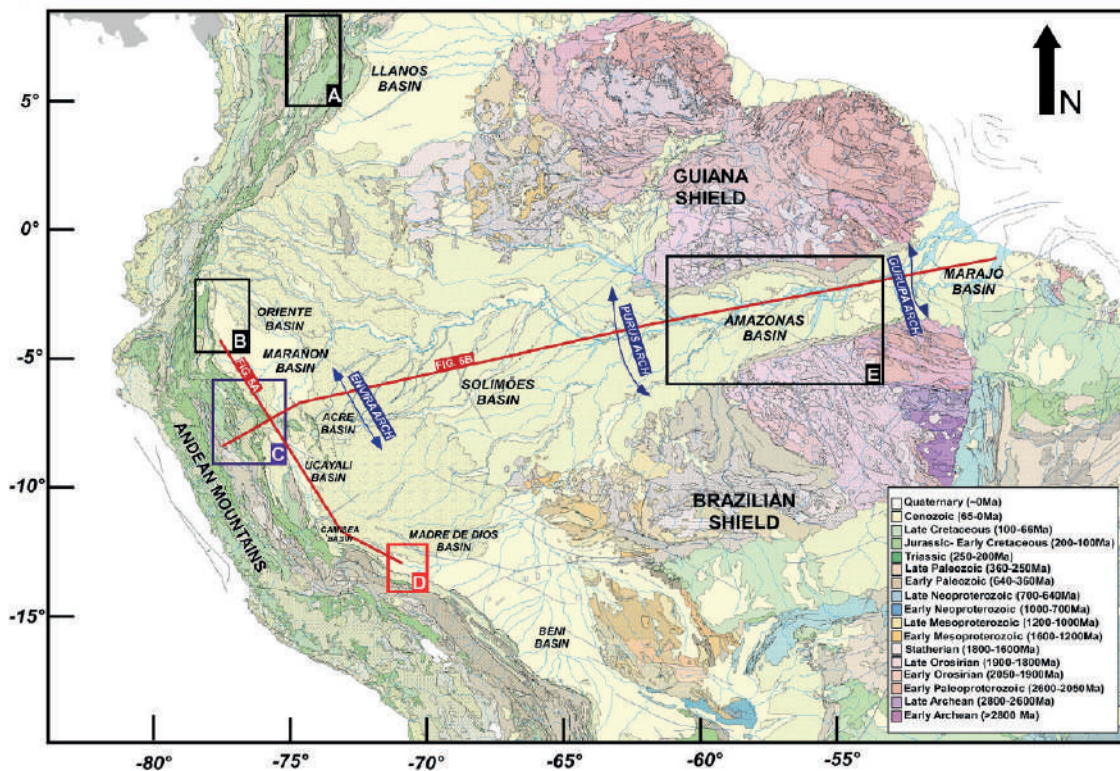


Figura 2: Mapa geológico de los Andes y la cuenca Amazónica modificado del mapa tectónico de la CPRM (Servicio Geológico Brasileiro). Los rectángulos en negro y rojo indica los estudios previos de proveniencia sedimentaria. El recuadro "C" representa el área de estudio (Cuenca Huallaga).

RESULTADOS

Las muestras donde se midió Nd reflejan un cambio isotópico importante alrededor del Jurásico-Cretáceo y los límites Cretáceo-Paleógeno. A diferencia de las mediciones de Sr, las com-

posiciones isotópicas de Nd (ϵ Nd, épsilon neodimio) de las muestras del Cretáceo son bastante constantes durante este intervalo de tiempo, presentando un valor entre -16.8 y -18.6 (Figura 1). Cuando se compara con los valores de ϵ Nd (0) del Cretáceo, las muestras del Jurásico-Triásico

y Cenozoico temprano producen valores ϵNd (0) superiores a -12.0, lo que indica una entrada de sedimentos proveniente de fuentes con Nd más radiogénico producto del desarrollo de un arco volcánico (Figura 1).

El espectro de edades de zircón obtenidas a través de la sucesión Mesozoica-Cenozoica temprana de la cuenca del Huallaga permite separar las muestras en tres grupos principales que corresponden al Triásico-Jurásico, Cretácico y Paleoceno Temprano -Eoceno. Las muestras Triásico-Jurásico contienen poblaciones de zircones de edad predominantemente Neoproterozoico y Grenville con edades pico que ocurren a 0.9-1.3 Ga (31-33%) y 0.5-0.7 Ga (21-28%) (Figura 1). Las muestras del intervalo Albiano- Maastrichtiano presentan poblaciones de zircones de edad predominantemente de 0.9-1.3 Ga (40% y 12%, respectivamente), 1.3-1.54 Ga (20% y 15% respectivamente), 1.54-1.82 Ga (12% y 42%, respectivamente), 1.82-2.0 Ga (5% y 20% respectivamente) (Figura 1). Un tercer patrón de poblaciones de zircón se observa en muestras del Paleoceno Temprano-Eoceno. Este intervalo se caracteriza por la primera aparición de zircones con edades menores a 120 Ma (hasta 16%). En contraste con las muestras de Triásico-Jurásico y Paleoceno Temprano-Eoceno, los cambios en la proveniencia del zircón parecen ocurrir entre el Albiano- Maastrichtiano.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Los resultados de las rocas sedimentarias del Triásico-Jurásico de la cuenca Huallaga sugieren que la fuente se ubicó hacia el oeste en la actual Cordillera Oriental y Occidental que pudo haber experimentado un levantamiento y erosión en un contexto de rifting propio del sistema de tras-arco. Patrones similares fueron encontrados las rocas sedimentarias del Jurásico-Cretácico Inferior de la Cordillera Oriental de Colombia (Horton et al., 2010). Las rocas sedimentarias Jurásicas presentan fuentes locales del basamento andino. Hacia el sur en la cuenca Ucayali las poblaciones de edades U-Pb en zircones son correlativas con el basamento de los Andes presentando principalmente edades del Neoproterozoico y Grenville (Chew et al., 2007). Sin embargo es difícil extrapolar estos resultados en toda la cuenca del Amazónica debido a la poca cantidad de información disponible para establecer comparaciones y las diferentes orientaciones de las cuencas extensionales del Triásico-Jurásico como se observan en los mapas

de Ramos (2009) y McGroder et al. (2015).

Este no es el caso para la configuración del Cretáceo, donde la distribución de zircones derivados de áreas cratónicas en rocas del Albiano-Maastrichtiano sugiere la existencia de un importante sistema de drenaje hacia el oeste durante este intervalo de tiempo. La fuente cratónica ha sido reportada en rocas del Albiano-Maastrichtiano de la Cordillera Oriental en Colombia (Horton et al., 2010) y la Cuenca de Oriente en Ecuador (Martin-Gombojav y Winkler, 2008; Vallejo et al., 2017). Hacia las cuencas peruanas tales como Huallaga, Ucayali y Madre de Dios tenemos reconocido las poblaciones de edades U-Pb corresponden a las zonas occidental (Greenville, Rondonia y Rio Negro-Jurena) y central (Ventuari-Tapajos) del Cratón Brasileiro respectivamente. En Brasil, varios estudios han presentado evidencia de este levantamiento de las áreas cratónicas durante el Cretáceo Terminal (Harman et al., 1998; Morais Neto et al., 2009; Peulvast y Bétard, 2015; Potter, 1997; Zonneveld, 1985). La exhumación del Cratón Brasileiro Central-Oriental está documentado por datos de trazas de fisión que indican que se produjeron entre 3-7 km de denudación de sedimentos después del Paleozoico desde los 130 a 60 Ma (Harman et al., 1998). La elevación de los cratones de Brasil y Guayana ocurrió luego de que la fase rifting del Océano Atlántico Ecuatorial (es decir, Barremiano temprano a Aptiano; Basile et al., 2005) y el inicio de la acreción oceánica (Aptiano tardío, Basile et al., 2013). La ruptura final entre continentes ocurrieron durante finales de Albiano (Moulin et al., 2010) y es registrado en el margen brasilero por una discordancia importante (Soares Junior et al., 2011).

La sucesión sedimentaria del Maastrichtiano-Paleoceno temprano del la retro-cuenca de ante-país Amazónica registró un cambio importante en su procedencia sedimentaria, que indica un cambio en el sistema de drenaje de ríos de la Amazonia alimentados por una fuente cratónica del este y de los ríos de la Amazonia alimentado por una fuente andina del oeste. Este cambio de procedencia se registra en diferentes segmentos de la sucesión sedimentaria de la retro-cuenca de ante-país Amazónica y ocurrió entre el Maastrichtiano -Paleoceno. En Colombia, la primera llegada de detritos andinos en la cuenca del Valle Medio de Magdalena ocurrió ya en tiempos del Paleoceno (Formación Lisama, Horton et al., 2015; Nie et al., 2012). En la cuenca Oriente ecuatoriana,

los zircones presentan edades entre 80 y 200 Ma desde el Maastrichtiano (Formación Tena) atestiguan una fuente andina ubicada en la Cordillera Oriental de Ecuador (Vallejo et al., 2017). Para la cuenca Huallaga los resultados de zircon en el Paleoceno Temprano muestran poblaciones con edades menores a los 120 Ma y representan un 16 % muy correlativas con la Cordillera Occidental peruana. Una procedencia orogénica andina es también documentado en el ciclo sedimentario del Maastrichtiano tardío -Paleoceno en la cuenca de Madre de Dios, que se interpreta como la etapa inicial de la erosión andina en el sur de la Amazonía peruana (Louterbach et al., 2018).

La importancia de determinar estos cambios en la geodinámica ayudan a comprender los procesos en que se forman los principales elementos del sistema petrolero en las actuales cuencas subandinas. Para el Cretáceo los principales reservorios de las

cuenas Llanos (Formaciones Une y Guadalupe, Sánchez et al., 2015), Oriente (Formaciones Tena, Napo y Hollin, Baby et al., 2013), Huallaga (Formaciones Cushabatay, Agua Caliente y Vivian, Hurtado et al., 2018), Ucayali (formaciones Nia Superior, Chonta y Vivian; BP, 2008) y Madre de Dios (formaciones Chonta y Vivian, Louterbach et al., 2018) presentan en su mayoría influencia de la red de drenaje cratónica. En el Perú la formación Vivian representa una de los reservorios de mayor interés y esto se debe a la relación que tiene en “distancia “con la zona Central- Oriental del Cratón Brasileiro. Seguidamente la influencia del desarrollo de la cadena orogénica andina durante el Maastrichtiano - Paleoceno genera el desarrollo del sistema de cuenca de ante-pais y la acumulación de sedimentos que forman la sobrecarga que permitirá la expulsión de hidrocarburo durante el Cenozoico.

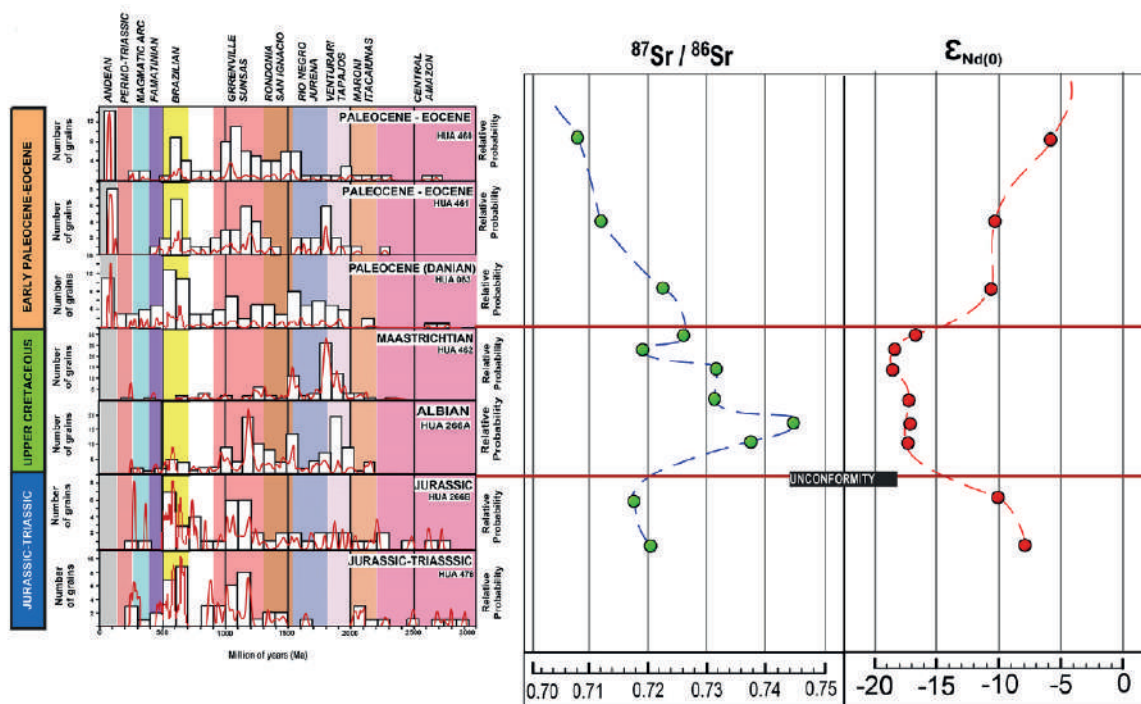


Figura 1: Evolución estratigráfica de edades U-Pb en zircon detrítico (histogramas), composición isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (línea punteada azul) y valores de $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ (línea punteada roja) para las muestras de roca sedimentaria del intervalo Triásico-Eoceno en la cuenca Huallaga. Se observan los cambios en la procedencia determinado por las líneas en rojo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bande, A., Horton, B.K., Ramirez, J., Mora, A., Parra, M., Stockli, D.F., 2012. Clastic deposition, provenance, and sequence of Andean thrusting in the frontal Eastern Cordillera and Llanos foreland basin of Colombia. Geological

Society of America Bulletin 124 (1/2), 59e76.

Bayona, G., Cortés, M., Jaramillo, C., Ojeda, G., Aristizabal, J. J., & Reyes-Harker, A. (2008). An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera

- orogen and the Llanos foreland basin of Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 120(9-10), 1171-1197.
- Horton, B.K., Anderson, V.J., Caballero, V., Saylor, J.E., Nie, J., Parra, M., Mora, A., 2015. Application of detrital zircon U-Pb geochronology to surface and subsurface correlations of provenance, paleodrainage, and tectonics of the Middle Magdalena Valley Basin of Colombia. *Geosphere* 11:1790–1811. <https://doi.org/10.1130/GES01251.1>.
- Hurtado, C., Roddaz, M., Santos, R. V., Baby, P., Antoine, P. O., & Dantas, E. L. (2018). Cretaceous-early Paleocene drainage shift of Amazonian rivers driven by Equatorial Atlantic Ocean opening and Andean uplift as deduced from the provenance of northern Peruvian sedimentary rocks (Huallaga basin). *Gondwana Research*, 63, 152-168.
- Martin-Gombojav, N., Winkler, W., 2008. Recycling of Proterozoic crust in the Andean Amazon foreland of Ecuador: implications for orogenic development of the Northern Andes. *Terra Nova* 20:22–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2007.00782.x>.
- Nie, J., Horton, B.K., Saylor, J.E., Mora, A., Mange, M., Garziona, C.N., Basu, A., Moreno, C.J., Caballero, V., Parra, M., 2012. Integrated provenance analysis of a convergent retroarc foreland system: U–Pb ages, heavy minerals, Nd isotopes, and sandstone compositions of the Middle Magdalena Valley basin, northern Andes, Colombia. *Earth Science Reviews* 110:111–126. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2011.11.002>.
- Louterbach, M., Roddaz, M., Antoine, P.-O., Mavrivaux, L., Adnet, S., Bailleul, J., Dantas, E., Santos, R.V., Chemale, F., Baby, P., Sanchez, C., Calderon, Y., 2018. Provenance record of late Maastrichtian–late Palaeocene Andean Mountain building in the Amazonian retroarc foreland basin (Madre de Dios basin, Peru). *Terra Nova* <https://doi.org/10.1111/ter.12303>.
- Vallejo, C., Tapia, D., Gaibor, J., Steel, R., Cardenas, M., Winkler, W., Valdez, A., Esteban, J., Figuera, M., Leal, J., Cuenca, D., 2017. Geology of the CampanianM1 sandstone oil reservoir of eastern Ecuador: a delta system sourced from the Amazon Craton. *Marine and Petroleum Geology* 86:1207–1223. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.07.022>.