

---

## Scientific Analysis Briefing

### Motion 13 of the IUCN Congress: “Protection of Andes-Amazon rivers of Peru: the Marañón, Ucayali, Huallaga and Amazonas, from large-scale infrastructure projects”

---

**With a view to offering a scientific contribution to the international agenda on biodiversity governance, the French National Research Institute for Sustainable Development (IRD) has established a number of working groups focusing on the IUCN Motions which will be discussed and put to a vote at the World Conservation Congress, with others devoted to questions which will be of particular significance to negotiations at COP 15. This report offers a scientific analysis of IUCN Motion 13.**

Jhan Carlo Espinoza (IGE/IRD - MOPGA)  
Elisa Armijos (IGP - Perú)  
Marc Pouilly (IRD)  
Raúl Espinoza (UNALM - Perú)

In recent decades, extreme hydrological events in the Amazon Basin have become more frequent (Marengo & Espinoza, 2016). Among them, the drought of 2010 was particularly dramatic in terms of its consequences for ecosystems and forest fires (Espinoza et al., 2011; Fernandes et al., 2011). Instances of severe flooding have also been observed since the late 1990s, with dramatic examples in 1999, 2009, 2012 and 2021 (Espinoza et al., 2013; 2019). The changing hydro-climatic profile of the Amazon illustrates the fragile balance which underpins the world’s largest tropical rainforest (Arias et al., 2020). At the regional level, deforestation in the Amazon (a more widespread phenomenon in the Brazilian Amazon) is modifying the hydrological cycle, which appears to be causing a significant decrease in rainfall in the Peruvian Amazon and the Andes (Ruiz-Vasquez et al., 2020).

Generally speaking, all of the Andean foothills and high-altitude basins are classed as part of the “Tropical Andes” ecosystem, one of 25 biodiversity hotspots in the world currently under threat as a result of human activity. The foothills are characterised by vast biodiversity, whereas the high Andes are home to a high proportion of endemic species (Myers et al. 2000). In spite of numerous initiatives aimed at preserving biodiversity (backed by governments and NGOs), our understanding of the diversity and ecological functions of these systems remains patchy, particularly in the sub-Andean ecotone, where the topography makes access difficult. Moreover, the Andean and sub-Andean systems produce more than 50% of the sediment carried by the Amazon river network, as documented in information gathered by SO-HYBAM (Armijos et al., 2013; Espinoza-Villar et al., 2017; [hybam.obs-mip.fr](http://hybam.obs-mip.fr)). This sediment is key to the fertility and biodiversity of the Amazon flood plains (Junk et al. 1989). All of these interdependent zones (High Andes, sub-Andean zones and the Amazon flood plains) and their associated ecosystem services are highly sensitive to changes in the hydrological connectivity between the Andes and the Amazon.

In addition to climate change, the Peruvian Amazon is suffering the effects of human intervention directly. Threats include the construction of dams in the Marañón basin, the project to create a navigable channel in the Amazon in the Loreto region, the growing rate of deforestation, illegal mining etc. These man-made alterations to the equilibrium of the environmental system are threatening the connectivity between the Andes and the Amazon, which is essential to protecting the territories of indigenous peoples and preserving the biodiversity of the Amazon basin: the transportation of nutrients, the migration of various fish species, aquatic biota, riverside agriculture, food security etc. (Finer & Jenkins 2012, Castello et al. 2013, Oberdorff et al., 2019).

The region is demographically and economically dynamic, which has been reflected in an increase of human activities such as agriculture, livestock farming, road-building, urban development and, as a result, deforestation. For example, Figueroa et al. (2016) report a 48.4% decline in historic plant coverage in the Peruvian regions of Amazonas and Cajamarca. Meanwhile, water management systems designed to handle drinking water supplies and the treatment of waste water remain under-developed in rural areas. Around 75% of households have access to a public drinking water network, but fewer than 20% have access to a public sanitation network (INEI, 2020). These inequalities of access are creating critical situations involving water appropriation and the disposal of waste water in natural milieus, disturbing ecological functions and posing a threat to biodiversity. Nonetheless, the true impact of human activity on the rivers in the Marañón basin is not yet known.

It should also be noted that the rich fertility of the Amazon plains is derived from the nutrients provided by the sediments carried downstream from the Andes. The Andes-Amazon hydrological system thus has a liquid flow rate of around 38000 m<sup>3</sup>/s towards the Brazilian Amazon (Espinoza et al., 2009; Lavado et al., 2013), carrying 541 Mt of sediment every year (Espinoza-Villar., 2017; Armijos et al., 2020). The River Marañón, the principal tributary in the north-western Peruvian Amazon, has an estimated flow rate of 17000 m<sup>3</sup>/s and carries around 160 Mt/year of sediment (Guyot et al 2007, Espinoza-Villar et al 2012, Armijos et al 2013). Between 60 and 70% of that sediment takes the form of small particles such as clay and silt (10 µm), while the rest comprises particles of around 100 µm, the size of fine sand.

This information is essential to the planning of infrastructure works on the river (Armijos et al., 2017). Along the banks of the Amazon river system, a vast amount of agriculture depends upon the soils fertilised by sediments brought downstream from the Andes (List & Coomes, 2017). This agricultural activity is of fundamental importance to both the economic subsistence and the food supply of the people living in proximity to the river, and is closely linked to the hydrological system and connectivity between the Andes and the Amazon (Ronchail et al., 2018; Figueroa et al., 2020). Furthermore, the Amazon rivers not only supply the local population with fresh water, they are also home to aquatic ecosystems which are essential to the region's food security (Duponchelle et al., 2021).

The project to create a navigable waterway on the Amazon is the first infrastructure project of its kind in the Andean-Amazon river system, and as such there are no existing points of reference when it comes to analysing the potential impact on these high-value ecosystems. Nevertheless, we do know that creating large-scale navigable channels – as seen from previous projects on the Rio Tocantins and Rio Magdalena – has an impact on both geomorphology and biology, not least on fish reproduction, primarily as a result of the dredging work required to allow vessels to navigate through difficult passages of the river. According to Cohidro, the company behind the Amazon Waterway project, there are 23 such “difficult spots,” most of them located on the Rio Ucayali, a meandering river which is also the biggest source of sediment (Guyot et al., 2007). Over 100 hydroelectric projects have been registered in the Marañón and Ucayali basins (Finner & Jenkins 2012, Anderson et al. 2018), despite the fact that connectivity in the latter has fallen by 20% (Anderson et al. 2018). Modifications to the river regimes caused by the construction of dams or the dredging of navigable waterways may alter the habits and the phenology of fish species, since fish reproduction is controlled by the hydrological cycle. One example is the near-50% reduction in flow witnessed on the Rio Marañón in January 2016, which had a severe impact on the number of larvae (Mariat et al., 2021). Similarly, disruption to habitats caused by the displacement of sand appears to have a significant impact on fish reproduction.

It seems clear that the environmental impact of all of these projects has not been properly assessed, nor have their implications for the Indigenous peoples and other communities who depend upon the river and its resources. They will see no direct benefit from infrastructure developments of this type, but they will certainly suffer the consequences.

Our analysis highlights the interactions between the Andes and Amazon river systems, and the major disruption likely to result from abrupt changes to these connections caused by the creation of new infrastructure (dams and waterways). These changes will have repercussions for hydrological systems and for biodiversity, with consequences for the lives of local people, particularly with regard to their food supply. The

demand expressed in Motion 13 is scientifically justified, and protecting the rivers of the Amazon Basin is a priority of local and global importance.

## References

- Arias P.A., Martinez J.A., Mejia J.D., Pazos M.J., Espinoza J.C., Wongchuig-Correa S. 2020. Changes in Normalized Difference Vegetation Index in the Orinoco and Amazon River basins: links to tropical Atlantic surface temperatures. *Journal of Climate*. doi: 10.1175/JCLI-D-19-0696.1
- Armijos E., Crave A., Espinoza J.C., Filizola N., Espinoza-Villar R., Ayes I., Fonseca P., Fraizy P., Gutierrez- Cori O., Vauchel P., Camenen B., Martinez J.M., dos Santos A., Santini W., Cochonneau G., Guyot J.L. 2020. Rainfall control on Amazon sediment flux: synthesis from 20 years of monitoring. *Environ. Res. Commun.* 2 051008. doi: 10.1088/2515-7620/ab9003
- Armijos, E., Crave, A., Espinoza, R., Fraizy, P., Santos, A. D., Sampaio, F., ... & Filizola, N. (2017). Measuring and modeling vertical gradients in suspended sediments in the Solimões/Amazon River. *Hydrological Processes*, 31(3), 654-667.
- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J.S., Arevalo, N., Carranza, J., Guyot, J.L., 2013. Suspended sediment dynamics in the Amazon River of Peru. *J. South Am. Earth Sci.* 44, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.09.002>.
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., ... & Arantes, C. C. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, 6(4), 217-229.
- Duponchelle F, Isaac VJ, Doria C, et al. 2021. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.* 1–19. <https://doi.org/10.1002/aqc.3550>
- Espinoza-Villar, R., Martinez, J.M., Guyot, J.L., Fraizy, P., Armijos, E., Crave, A., Bazán, H., Vauchel, P., Lavado, W., 2012. Integration of field measurements and satellite observations to derive river solid load in poorly monitored basins. *Journal of Hydrology* 444e445, 221e228
- Espinoza-Villar, R., Martinez, J.M., Armijos, E., Espinoza J.C., Filizola, N., Dos Santos, A., Willems B., Fraizy P., Santini W., Vauchel, P. 2017. Spatio-temporal monitoring of suspended sediment in Solimões River (2000 - 2014). *Comptes-Rendus Geoscience*. doi: 10.1016/j.crte.2017.05.001
- Espinoza J.C., Guyot J.L., Ronchail J., Cocheneau G., Filizola N., Fraizy P., Labat D., de Oliveira E., Ordoñez, J.J. and Vauchel P. 2009. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon Basin. *Journal of Hydrology*, 375, 297-311.
- Espinoza J.C., Ronchail J., Guyot J.L., Junquas C., Vauchel P., Lavado W., Drapeau G., Pombosa R. 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): understanding the exceptional 2010 drought. *Geophys. Res. Lett.* 38(13): L13406.
- Espinoza J.C., Ronchail J., Marengo J.A., Segura H. 2019. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-018-4462-2
- Fernandes K, Baethgen, W, Bernardes S, DeFries R, DeWitt D, Goddard L, Lavado W, Eun Lee D, Padoch C, Pinedo Vasquez M, Uriarte M (2011). North tropical Atlantic influence on western Amazon fire season variability. *Geophys. Res. Lett.* 38(12):L12701.
- Figueroa, J., Stucchi, M., Rojas-Verapinto, R., 2016. Modelación de la distribución del oso andino Tremarctos ornatus en el bosque seco del Marañón (Perú). *Rev. Mex. Biodivers.* 87, 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.008>
- Figueroa M., Armijos E., Espinoza J.C., Ronchail J., Fraizy P. 2020. On the relationship between reversal of the river stage (repiquetes), rainfall and low-level wind regimes over the western Amazon basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. doi: 10.1016/j.ejrh.2020.100752 .
- Finer, M., & Jenkins, C. N. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *Plos one*, 7(4), e35126.
- Guyot, J.L., Bazán, H., Fraizy, P., Ordoñez, J. 2007. Suspended Sediment Yields in the Amazon Basin of Peru: a First Estimation, Water Quality and Sediment Behaviour of the Future: Predictions for the 21st Century. *IAHS Publis.*, Perugia, pp. 3–10.
- INEI, 2020. Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico. [www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106(1), 110-127.
- Lavado W., Ronchail J., Labat D., Espinoza J.C., Guyot J.L. 2012. A basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969-2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. *Hydrological Sciences Journal*. 57(4) 1-18. DOI:10.1080/02626667.2012.672985
- List, G., Coomes, O.T., 2017. Natural hazards and risk in rice cultivation along the upper Amazon River. *Nat. Hazards* 87, 165–184. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2758-x>.
- Marengo J.A. and Espinoza J.C. 2016. Review Article. Extreme Seasonal Droughts and Floods in Amazonia: Causes, Trends and Impacts. *International Journal of Climatology* . bdoi:10.1002/joc.4420.
- Mariac, C., Renno, J. F., Garcia-Davila, C., Vigouroux, Y., Mejia, E., Angulo, C., ... & Duponchelle, F. (2021). Species-level ichthyoplankton dynamics for 97 fishes in two major river basins of the Amazon using quantitative metabarcoding. *Molecular Ecology*.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, C. A. B., and Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. doi: 10.1038/35002501
- Ronchail, J., Espinoza, J.C., Drapeau, G., Sabot, M., Cochonneau, G., Schor, T., 2018. The flood recession period in Western Amazonia and its variability during the 1985–2015 period. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 15, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.008>.
- Ruiz-Vásquez M. Arias P.A., Martinez J.A., Espinoza J.C. 2020. Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-020-05223-4

Oberdorff, T., Dias, M. S., Jézéquel, C., Albert, J. S., Arantes, C. C., Bigorne, R., ... & Zuanon, J. (2019). Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Science Advances*, 5(9), eaav8681

## JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

### 13 - Protección de los ríos peruanos en los Andes y la Amazonia: Marañón, Ucayali, Huallaga y Amazonas frente a los grandes proyectos de infraestructuras

Jhan Carlo Espinoza (IGE/IRD - MOPGA)

Elisa Armijos (IGP - Perú)

Marc Pouilly (IRD)

Raúl Espinoza (UNALM - Perú)

Durante las últimas décadas la cuenca del Amazonas ha reportado una intensificación en la frecuencia de eventos hidrológicos extremos (Marengo and Espinoza, 2016); entre ellos, la sequía del 2010 fue particularmente severa por sus impactos en ecosistemas e incendios forestales (Espinoza et al., 2011; Fernandes et al., 2011). Además, intensas inundaciones se han reportado desde fines de los años 1990s, observándose episodios remarcables en 1999, 2009, 2012 y en 2021 (Espinoza et al., 2013; 2019). El cambio en el régimen hidro-climático que experimenta la Amazonía pone en evidencia el frágil equilibrio que sostiene al bosque tropical más importante del planeta (Arias et al., 2020). Desde un punto de vista regional, la pérdida del bosque Amazónico (más extensamente observada en Amazonía brasileña) modifica el ciclo hidrológico regional, lo que produciría una disminución significativa de las precipitaciones en Amazonía peruana y en la región Andina (Ruiz-Vasquez et al., 2020).

En general, el conjunto de las cuencas altoandinas y el piedemonte se clasifican en el ecosistema "Andes tropicales", una de las 25 regiones de alta biodiversidad mundial (hotspot de biodiversidad) amenazada por las actividades antrópicas. La zona del piedemonte se caracteriza por una biodiversidad muy elevada, mientras que las zonas altoandinas se caracterizan por un alto endemismo (Myers et al. 2000). A pesar de las numerosas iniciativas de conservación de la biodiversidad (gobiernos y ONG), el conocimiento de la diversidad y el funcionamiento ecológico de los sistemas sigue siendo desigual, especialmente en el ecotono subandino, cuyo acceso está limitado por la topografía. Además, estos sistemas andinos y subandinos producen más del 50% de los sedimentos que transportan los ríos Amazónicos, como ha sido documentado gracias a la información colectada por el SO-HYBAM (e.g., Armijos et al., 2013; Espinoza-Villar et al., 2017; [hybam.obs-mip.fr](http://hybam.obs-mip.fr)), sedimentos que sirven de sustento a la productividad y la biodiversidad de las planicies de inundación amazónicas (Junk et al. 1989). El conjunto de las zonas interdependientes (altoandinas, subandinas y la planicie amazónica), y los servicios ecosistémicos asociados son muy sensibles a los cambios de conectividad hidrológica entre los Andes y la Amazonía.

Adicionalmente a los cambios climáticos, la Amazonía peruana experimenta la influencia de la intervención humana de manera directa; por ejemplo, la construcción de represas en la cuenca del río Marañón, el proyecto de la hidrovía Amazónica en la región de Loreto, el incremento de las tasas de deforestación, la minería ilegal, etc. Estas alteraciones del equilibrio del sistema ambiental pone en riesgo la conectividad entre los Andes y la Amazonía, que es esencial para mantener los espacios de vida de los pueblos originarios de la cuenca amazónica y la biodiversidad, incluyendo el transporte de nutrientes, migración de peces, biota acuática, agricultura ribereña, seguridad alimentaria, etc. (Finer & Jenkins 2012, Castello et al. 2013, Oberdorff et al., 2019).

Esta región presenta un importante dinamismo demográfico y económico que se traduce a través de un aumento de las actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la construcción de carreteras, el desarrollo de las urbanizaciones y consecuentemente de la deforestación. Por ejemplo, Figueroa et al. (2016) mencionan una pérdida del 48,4% de su cobertura original en las regiones de Amazonas y Cajamarca en Perú. Paralelamente, los sistemas de gestión de agua para el abastecimiento y el tratamiento de aguas residuales son todavía insuficientemente desarrollados en el área rural. Alrededor de 75% de las viviendas tienen acceso a una red pública de distribución de agua potable, pero menos del 20% al sistema de alcantarillado por red pública (INEI, 2020). Este contexto genera situaciones críticas de captación de agua y de vertido en el medio natural, que perturba el funcionamiento ecológico y representa una amenaza para la biodiversidad. En tal

sentido, el impacto de las actividades humanas sobre los ríos de las cuencas del Marañón no es debidamente conocido en la actualidad.

Cabe destacar que la riqueza de las llanuras amazónicas radica en los nutrientes adheridos a los sedimentos que son transportados desde los Andes hasta las planicies. En este sentido, el sistema hidrológico Andes-Amazonía exporta hacia la Amazonía brasileña alrededor de 38000 m<sup>3</sup>/s de caudal líquido (Espinoza et al., 2009; Lavado et al., 2013) y 541 Mt/año de descarga de sedimentos (Espinoza-Villar., 2017; Armijos et al., 2020). El río Marañón, principal tributario del noroeste del Amazonas peruano, tiene un caudal líquido estimado de 17000 m<sup>3</sup>/s y una descarga de sedimentos de aproximadamente 160 Mt/año (Guyot et al. 2007, Espinoza-Villar et al. 2012, Armijos et al. 2013). Entre el 60% a 70% de sedimentos son partículas finas tipo arcillas y limos (10 µm) mientras que el restante son partículas del tamaño de arenas finas 100 µm. Esta información es indispensable para la planificación de obras de infraestructura fluvial (Armijos et al., 2017). En las riveras de los ríos amazónicos se desarrolla una importante actividad agrícola aprovechando las tierras fertilizadas por los sedimentos andinos (List and Coomes, 2017). Esta actividad, fundamental para el sustento económico y base alimentaria de la población ribereña, se encuentra estrechamente relacionada con el régimen hidrológico y la conectividad Andes-Amazonía (Ronchail et al., 2018; Figueroa et al., 2020). Además, los ríos amazónicos no solo abastecen de agua dulce a la población, sino también albergan ecosistemas acuáticos esenciales para la seguridad alimentaria de la región (Duponchelle et al., 2021).

El proyecto Hidrovía Amazónica sería el primer proyecto de infraestructura fluvial en ríos andino-amazónicos, por lo cual no se tiene referentes previos en cuanto análisis e información sobre el impacto de este tipo de proyectos en estas áreas con alto valor ecosistémico. Sin embargo, se conoce que las hidrovías de gran escala que están funcionando en los ríos Tocantins y Magdalena tienen problemas tanto en la geomorfología e impactos en la biota especialmente en la producción pesquera, todo esto debido al dragado que se realiza para sobrellevar los malos pasos. Según la empresa Cohidro que ha realizado el diseño de la hidrovía amazónica, habría 23 malos pasos, los cuales se encuentran sobre todo en el río Ucayali un río meándrico y que tiene el mayor aporte de sedimentos (Guyot et al., 2007). Se reportan más de 100 proyectos de hidroeléctricas en las cuencas del Marañón y del Ucayali (Finner & Jenkins 2012, Anderson et al. 2018), aunque la conectividad en esa cuenca sufrió una pérdida de 20% (Anderson et al. 2018). Cambios en los regímenes hidrológicos debido a la construcción de represas o el dragado de la hidrovía, pueden alterar los hábitats y la fenología de las especies de peces ya que el desove de los mismos se rige al ciclo hidrológico. Un ejemplo es la disminución de casi el 50% en los caudales en el mes de enero de 2016 en el río Marañón que tuvo un impacto en la abundancia de larvas (Mariat et al., 2021). De igual manera disturbios en el hábitat con los movimientos de arena impactaría fuertemente en la producción pesquera.

Es claro que no se han estimado todos los impactos en el ambiente y lo que esto implica para la población indígena que vive del recurso pesca y que no tiene un beneficio directo de este tipo de infraestructuras pero que, sin embargo, está expuesta a dichos impactos.

Nuestro análisis destaca las interacciones entre los sistemas fluviales de los Andes y la Amazonía, los fuertes impactos que generarían modificaciones abruptas en su conectividad vinculadas al establecimiento de infraestructuras (represas o hidrovías). Estas repercusiones estarían relacionadas con los regímenes hídricos y afectarían la biodiversidad y la calidad de vida de las poblaciones locales, en particular en su seguridad alimentaria. La solicitud realizada por la Moción 13 está fundamentada científicamente y la protección de los ríos de la cuenca del Amazonas es un tema de repercusión local y global.

## Referencias

- Arias P.A., Martinez J.A., Mejia J.D., Pazos M.J., Espinoza J.C., Wongchuig-Correa S. 2020. Changes in Normalized Difference Vegetation Index in the Orinoco and Amazon River basins: links to tropical Atlantic surface temperatures. *Journal of Climate*. doi: 10.1175/JCLI-D-19-0696.1
- Armijos E., Crave A., Espinoza J.C., Filizola N., Espinoza-Villar R., Ayes I., Fonseca P., Fraizy P., Gutierrez- Cori O., Vauchel P., Camenen B., Martinez J.M., dos Santos A., Santini W., Cochonneau G., Guyot J.L. 2020. Rainfall control on Amazon sediment flux: synthesis from 20 years of monitoring. *Environ. Res. Commun.* 2 051008. doi: 10.1088/2515-7620/ab9003
- Armijos, E., Crave, A., Espinoza, R., Fraizy, P., Santos, A. D., Sampaio, F., ... & Filizola, N. (2017). Measuring and modeling vertical gradients in suspended sediments in the Solimões/Amazon River. *Hydrological Processes*, 31(3), 654-667.
- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J.S., Arevalo, N., Carranza, J., Guyot, J.L., 2013. Suspended sediment dynamics in the Amazon River of Peru. *J. South Am. Earth Sci.* 44, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.09.002>.
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., ... & Arantes, C. C. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, 6(4), 217-229.
- Duponchelle F, Isaac VJ, Doria C, et al. 2021. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.* 1–19. <https://doi.org/10.1002/aqc.3550>
- Espinoza-Villar, R., Martinez, J.M., Guyot, J.L., Fraizy, P., Armijos, E., Crave, A., Bazán, H., Vauchel, P., Lavado, W., 2012. Integration of field measurements and satellite observations to derive river solid load in poorly monitored basins. *Journal of Hydrology* 444e445, 221e228
- Espinoza-Villar, R., Martinez, J.M., Armijos, E., Espinoza J.C., Filizola N., Dos Santos, A., Willems B., Fraizy P., Santini W., Vauchel, P. 2017. Spatio-temporal monitoring of suspended sediment in Solimões River (2000 - 2014). *Comptes-Rendus Geoscience*. doi: 10.1016/j.crte.2017.05.001
- Espinoza J.C., Guyot J.L., Ronchail J., Cochonneau G., Filizola N., Fraizy P., Labat D., de Oliveira E., Ordoñez, J.J. and Vauchel P. 2009. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon Basin. *Journal of Hydrology*, 375, 297-311.
- Espinoza J.C., Ronchail J., Guyot J.L., Junquas C., Vauchel P., Lavado W., Drapeau G., Pombosa R. 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): understanding the exceptional 2010 drought. *Geophys. Res. Lett.* 38(13): L13406.
- Espinoza J.C., Ronchail J., Marengo J.A., Segura H. 2019. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-018-4462-2
- Fernandes K, Baethgen, W, Bernardes S, DeFries R, DeWitt D, Goddard L, Lavado W, Eun Lee D, Padoch C, Pinedo Vasquez M, Uriarte M (2011). North tropical Atlantic influence on western Amazon fire season variability. *Geophys. Res. Lett.* 38(12):L12701.
- Figuerola, J., Stucchi, M., Rojas-Verapinto, R., 2016. Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Maraón (Perú). *Rev. Mex. Biodivers.* 87, 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.008>
- Figuerola M., Armijos E., Espinoza J.C., Ronchail J., Fraizy P. 2020. On the relationship between reversal of the river stage (repiquetes), rainfall and low-level wind regimes over the western Amazon basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. doi: 10.1016/j.ejrh.2020.100752 .
- Finer, M., & Jenkins, C. N. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *Plos one*, 7(4), e35126.
- Guyot, J.L., Bazán, H., Fraizy, P., Ordoñez, J. 2007. Suspended Sediment Yields in the Amazon Basin of Peru: a First Estimation, Water Quality and Sediment Behaviour of the Future: Predictions for the 21st Century. *IAHS Publis.*, Perugia, pp. 3–10.
- INEI, 2020. Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico. [www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106(1), 110-127.
- Lavado W., Ronchail J., Labat D., Espinoza J.C., Guyot J.L. 2012. A basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969-2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. *Hydrological Sciences Journal*. 57(4) 1-18. DOI:10.1080/02626667.2012.672985
- List, G., Coomes, O.T., 2017. Natural hazards and risk in rice cultivation along the upper Amazon River. *Nat. Hazards* 87, 165–184. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2758-x>.
- Marengo J.A and Espinoza J.C. 2016. Review Article. Extreme Seasonal Droughts and Floods in Amazonia: Causes, Trends and Impacts. *International Journal of Climatology* . bdoi:10.1002/joc.4420.
- Mariac, C., Renno, J. F., Garcia-Davila, C., Vigouroux, Y., Mejia, E., Angulo, C., ... & Duponchelle, F. (2021). Species-level ichthyoplankton dynamics for 97 fishes in two major river basins of the Amazon using quantitative metabarcoding. *Molecular Ecology*.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, C. A. B., and Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. doi: 10.1038/35002501
- Ronchail, J., Espinoza, J.C., Drapeau, G., Sabot, M., Cochonneau, G., Schor, T., 2018. The flood recession period in Western Amazonia and its variability during the 1985–2015 period. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 15, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.008>.
- Ruiz-Vásquez M. Arias P.A., Martinez J.A., Espinoza J.C. 2020. Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-020-05223-4
- Oberdorff, T., Dias, M. S., Jézéquel, C., Albert, J. S., Arantes, C. C., Bigorne, R., ... & Zuanon, J. (2019). Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Science Advances*, 5(9), eaav8681