

MoSARD (Monitoreo de los Sedimentos ante el Riesgo y Desastres)



Dr. Sergio Morera Julca

INVESTIGADOR CIENTÍFICO DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP)

Experto en hidrología, erosión y transporte de sedimento fluvial. Revisor en Revistas Científicas Internacionales Q1, como Sci. Reports, Earth Surf. Process. Landforms, Catena, etc. Profesor invitado en la maestría y doctorado de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Desarrolla sus investigaciones mediante el liderazgo de proyectos de investigación nacionales e internacionales. Contribuye al entendimiento de los procesos y dinámica de la erosión en cuencas agrícolas altamente erosionadas, mediante el desarrollo de equipos para el monitoreo de sedimentos y uso de equipos hidrométricos de avanzada, así como el uso de trazadores ambientales.



Elisa Armijos Cárdenas, Ph.D

INVESTIGADORA CIENTÍFICA DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP)

Es Ph.D. en hidrología, hidroquímica, suelo, clima y medio ambiente, Ing. Civil y MSc. en Ingeniería de Recursos hídricos (UNALM-Perú). Posdoctorado en la Universidad Federal de Amazonas (UFAM) con pasantía en la USGS- USA y la Universidad de Minnesota- Duluth, sobre el transporte de sedimentos de fondo en la cuenca del río Minneapolis. Desde el 2003, forma parte del Observatorio de Investigación en medio ambiente ORE-HYBAM, sobre los grandes ríos Amazónicos (www.ore-hybam.org). Cuenta con experiencia en temas de hidrología, transporte de sedimentos, monitoreo de red hidrológica y calidad del agua enfocados a la cuenca Amazónica, mostrada en varios trabajos científicos publicados como primer autor y en colaboración con otros grupos de trabajo. Actualmente integra la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del Instituto Geofísico del Perú (IGP).



Dr. Raúl Espinoza Villar

INVESTIGADOR CIENTÍFICO DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ (IGP)

Doctor en geociencias aplicadas y en hidrología, hidroquímica, suelo y medio ambiente; MSc. en ingeniería de recursos hídricos; Ing. Agrícola. Especialista en Óptica de cuerpos de agua y teledetección aplicada a recursos hídricos. Con experiencia en actividades científicas en Perú, Francia y Brasil. Habiendo trabajado en el Laboratorio de Geociencias y Medio Ambiente de Toulouse (GET), en el Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia (IG – UnB), realizó un posdoctorado en el IG – UnB investigando las propiedades ópticas del agua y la relación con algunos contaminantes mediante datos de radiómetros de campo, laboratorio e imágenes de sensores aerotransportados. Tiene un posdoctorado en el laboratorio de teledetección (LABTEL) de la Facultad de ciencias físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) investigando el uso de la teledetección en zonas alto-andinas peruanas. Actualmente se desempeña como investigador científico del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

El proyecto MoSARD, es una iniciativa de los doctores Sergio Morera, Elisa Armijos y Raúl Espinoza, investigadores científicos de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del Instituto Geofísico del Perú (IGP), que tiene como objetivo continuar con estudios que contribuyan con el entendimiento de los procesos de transporte y la

dinámica del ciclo de sedimentos ya sea en laderas o sistemas hídricos. Generando información inédita, así como estudios técnico-científicos que faciliten la gestión-mitigación de las modificaciones abruptas en los ecosistemas Andinos, zonas de piedemonte, costero y la llanura amazónica. El proyecto está vinculado con instituciones gubernamentales, proyectos nacionales



Foto tomada el 10 de marzo del 2016 (antes de El Niño Costero).



Foto tomada el 20 de marzo 2017 (después de El Niño Costero).

e internacionales, así como centros académicos; para en conjunto actuar de manera eficiente frente a la presencia de eventos de riesgos climáticos y/o geológicos que amenazan constantemente a nuestras ciudades. De esta manera se busca disminuir el impacto de los riesgos ambientales, evitar pérdidas de infraestructuras hidráulicas y vías de comunicación e incrementar el bienestar de la población peruana.

MoSARD, incluye la compra de equipos de última tecnología tanto para los trabajos de campo y laboratorio, que bajo una previa estrategia de muestreo, nos permitirán determinar las características de los sedimentos que son transportados en los ríos. Este equipo será financiado por el Fondecyt (Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica), el mismo que consta de un granulómetro láser de amplio rango de medición para analizar el tamaño de las partículas en medio seco y acuoso. Realizar los análisis en un espacio controlado como el laboratorio que es la mejor opción; sin embargo, en

ciertos lugares es necesario realizar mediciones *in situ* debido a la floculación de los sedimentos, es por ese motivo que se contará con un granulómetro de campo, además de una sonda multiparamétrica que determine las propiedades físico-químicas del agua que se asocian a los sedimentos.

La motivación de este proyecto surge debido a las necesidades que el Perú está atravesando actualmente, por ejemplo, el desarrollo económico que origina la búsqueda de más fuentes de energía, mayor consumo de agua, intensificación en las líneas de transporte fluvial, el incremento de las obras hidráulicas, etc. Todas estas infraestructuras y ampliaciones requieren de estudios, con datos y mediciones de campo para asegurar su vida útil, así como evitar desastres frente a fuerzas naturales.

Se debe considerar que el Perú es un país atravesado por una de las mayores cadenas de montañas del mundo: "Los Andes"; dicha característica genera



Granulómetro láser de laboratorio.



Laboratorio móvil de filtración.

una fuente natural de sedimentos. Así, a lo largo de la historia, los ríos en épocas de avenidas han transportado grandes cantidades de sedimentos. Sin embargo, durante eventos climáticos extremos, dichas condiciones desarrollan una serie de desastres debido a los inmensos volúmenes de agua y sedimentos que se movilizan en los ríos facilitando las inundaciones. Por ejemplo, las inundaciones que han sufrido las principales ciudades de la costa norte del Perú durante El Niño extremo de 1982-83 y 1997-98; así como El Niño Costero (2017), o las severas inundaciones en la Amazonía durante La Niña 2009 y 2012 que dejaron incomunicadas a varias ciudades además de las pérdidas económicas.

Ante la amenaza del cambio climático es posible que los eventos de precipitación sean más intensos y frecuentes en el territorio peruano, lo cual aceleraría el proceso de erosión y, en consecuencia, incrementaría la erodabilidad, ambos directamente relacionados a las inundaciones en las ciudades costeras, valles interandinos y amazónicos. Estas inundaciones causan la sedimentación en los cauces (entre 3 y 4 metros de altura con longitudes de centenas de metros de depósitos de sedimentos).

Adicionalmente, durante las últimas décadas la explosión demográfica y su consecuente actividad antrópica han incrementado la erosión y los sedimentos a ser transportados, lo cual ha modificado la calidad de agua que es utilizada para el consumo humano, riego, la actividad industrial, etc. Las altas concentraciones de sedimentos durante las avenidas generan el cambio de la morfología de los ríos al depositarse en zonas con menor capacidad de transporte, alterando el curso de

los ríos y dificultando el transporte y comercio fluvial, cabe resaltar que en la región amazónica los ríos son los únicos medios de comunicación.

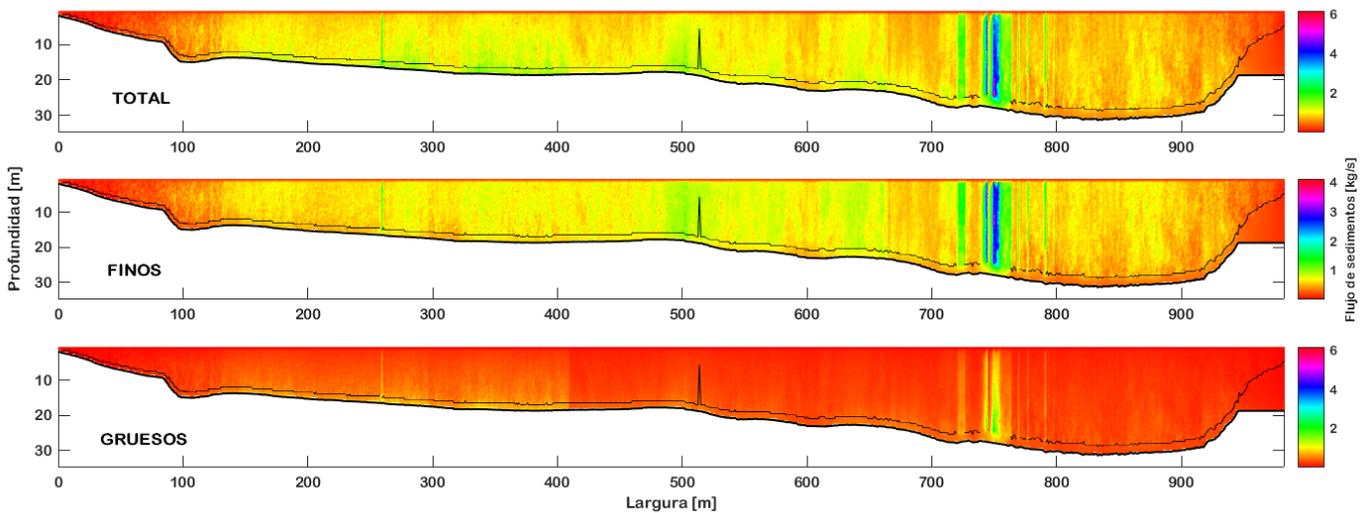
¿POR QUÉ MONITOREAR LOS SEDIMENTOS?

A pesar de los riesgos y desastres frecuentes relacionados a los sedimentos, el Perú en la actualidad no cuenta con una institución que monitoree los sedimentos, tampoco con una base de datos que sirvan para desarrollar estudios y/o planificación en las cuencas, ello con la finalidad de contribuir a la mitigación de los impactos de eventos extremos climáticos que pueden producir inundaciones.

Un ejemplo claro se da en Estados Unidos donde el monitoreo de sedimentos es realizado por la USGS (U.S. Geological Survey. <https://cida.usgs.gov/sediment/>) parte de la rutina de las variables hidrológicas y meteorológicas, realiza el seguimiento de los flujos sedimentarios (agua + sedimentos), que son indicadores de contaminación, degradación de los suelos y agua, entre otros, los que permiten que obras de envergadura como: puertos, puentes, embalses, hidrovías sean construidos con una base de datos confiable para evitar pérdidas económicas.

Además, el IGP ya está trabajando en metodologías de monitoreo e investiga sobre el transporte de sedimentos. Contamos con investigadores que tienen experiencia tanto en la parte costera, andina y amazónica; asimismo, se han formado más de 15 estudiantes, bachilleres y masters en esta área y sus resultados (ver lista de referencia) en resumen indican que:

Flujo de sedimentos en suspensión en Tamshiyacu 12-02-12



Cálculo de flujos sólidos utilizando modelo de Rouse y datos de ADCP de la Estación de Tamshiyacu, en el río Amazonas: a) Flujos totales, b) Flujos de partículas finas (limos, arcillas) y c) Flujos de partículas gruesas (arenas finas).



Río Amazonas (cerca a Iquitos).

Las recientes inundaciones durante El Niño Costero (enero - abril del 2017), en la ciudad de Piura se originaron con caudales de menor magnitud que los eventos extremos El Niño (1982-83 y 1997-98), sin embargo, las inundaciones fueron más devastadoras debido a las altas concentraciones de sedimentos que fueron acarreadas

Durante los últimos 50 años el río Puyango-Tumbes ha desbordado ~300 veces, causando pérdidas económicas cuantiosas en sus principales actividades: cultivos de exportación, daños en la infraestructura hidráulica y enfermedades en la ciudad de Tumbes. Asimismo, en los últimos 15 años, dichos desbordes se han incrementado ocurriendo incluso cuando se declara como año seco debido a la colmatación de los canales por eventos anteriores. Morera et al., (2017) muestran que, si bien, la zona costera tiene una fuerte actividad sísmica que puede ocasionar el desprendimiento de material, son los eventos climatológicos extremos los factores que controlan la erosión y el transporte de sedimento en la costa peruana.

La represa de Poechos-Piura, fue construida para un tiempo de vida de 100 años ; sin embargo, ya ha perdido ~60% de su capacidad de almacenamiento en tan solo 42 años. Nuestros estudios indican que la disminución de la capacidad se debe al incremento de sedimentos ocurrida durante eventos de El Niño. Las pérdidas económicas para el Estado peruano son millonarias, por ello monitorear los sedimentos y estudiar su dinámica contribuirá a evitar este tipo de errores en la ingeniería.

En la región amazónica se ha observado que los sedimentos pueden incrementarse en más del 50% al pasar de eventos de seca a crecida. Sin embargo, esta región ha sido reconocida como una zona de producción energética, sin considerar que es la principal fuente de

sedimentos del Atlántico. Espinoza et al., (2012) muestra un incremento de casi el 20% al pasar de un evento de seca a uno de crecida ocasionado por el fenómeno La Niña y el calentamiento de la región del Atlántico Sur. Armijos et al. (2013) indica que el afluente del Amazonas con mayor cantidad de sedimentos es el Río Ucayali, con aproximadamente 400 Mt año⁻¹. Espinoza-Villar et al. (2012) muestran que los ríos amazónicos del Perú presentan el pico de sedimentos dos a tres meses antes del pico de caudales líquidos. Estos resultados han servido de base para estudios en los que se indica que la construcción de represas en la región andino-amazónica puede ser de riesgo para la biodiversidad y la población que habita en las zonas de planicie. Como muestra tenemos la represa del Coca en Ecuador, afluente del Napo, donde ya se había mencionado los riesgos que se corrían en la construcción de esta obra al estar cerca al Volcán Reventador, datos informados por Armijos et al. (2013) y otros estudios. A pesar de esto, el proyecto continuó en marcha y ahora presenta problemas de colmatación y resquebrajamiento de la estructura.

Todos estos estudios muestran la importancia del monitoreo de sedimentos para el Perú, ante ello el IGP continuará consolidando un grupo técnico-científico especializado en estudios de erosión y transporte de sedimentos, que cuenta con un buen respaldo científico en la actualidad, tal como se aprecia a continuación en la lista de artículos.

ARTÍCULOS

Armijos, E., Laraque, A., Barba, S., Bourrel, L., Ceron, C., Lagane, C., ... & Vauchel, P. (2013). Yields of suspended sediment and dissolved solids from the Andean basins of Ecuador. *Hydrological sciences journal*, 58(7), 1478-1494.

- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J. S., ... & Guyot, J. L. (2013). Suspended sediment dynamics in the Amazon River of Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 75-84.
- Díaz, D., Morera, S. B., and Orrillo, J. (2018), High and extreme water discharger influences on bedload transport in a tropical mountain headwater catchment, in *Proceedings 12th International Symposium on Ecohydraulics*, Tokio, Japan, IAHR, p. 9
- Díaz, D. (2018). "Caracterización del rol del páramo andino en la conservación de los suelos andinos de fuerte pendiente". Tesis para optar el título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Junquas, C., Drapeau, G., Martinez, J. M., ... & Espinoza, R. (2012). From drought to flooding: understanding the abrupt 2010–11 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024008.
- Espinoza-Villar, R., Martinez, J. M., Guyot, J. L., Fraizy, P., Armijos, E., Crave, A., ... & Lavado, W. (2012). The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins. *Journal of hydrology*, 444, 221-228.
- Goyburo, A. (2017). "Monitoreo y caracterización del transporte de sedimentos total durante crecidas o eventos extremos El Niño en la región Tumbes". Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 67 p.
- Huamán, D. (2018). "Hidrometría de alta precisión mediante el uso equipos de medición directa en épocas de grandes avenidas en los ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla". Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Tumbes. Tumbes, Perú.
- Martinez, J., Morera, S. B., Navas, A. and Gerd. G. (In process), Reinterpreting the RUSLE equation to estimating spatial pattern of soil erosion within a mountainous watershed in the Andean region of Peru using the Watem Sedem model, *Journal of South American Earth Sciences*.
- Martinez, Y., Morera, S.B., Navas, A., Gerd, G. (2018). Geomorphological and isotopic characterization of soils in the proglacial area of Artesonraju Glacier (Cordillera Blanca, Peru). *EGU General Assembly 2018*. Vienna, Austria, 8–13 April.
- Mendoza, R. (en proceso). "Modelado de perfiles de concentración de sedimentos en ríos de montaña tropical". Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Moquet, J.-S., Guyot, J.-L., Morera, S., Crave, A., Rau, P., Vauchel, P., Lagane, C., Sondag, F., Lavado, C. W., Pombosa, R., and Martinez, J.-M., 2018: Temporal variability and annual budget of inorganic dissolved matter in Andean Pacific Rivers located along a climate gradient from northern Ecuador to southern Peru. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 350, no. 1-2, p. 76-87. [Doi.org/10.1016/j.crte.2017.11.002](https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.11.002)
- Morera, S. B. and O. Evrard (In process), Sediment flux transfer and their specific response to 2016-2017 El Niño Costero on the west Peruvian Andes: *Journal of Hydrology*.
- Moquet, J., Morera, S. B., Poitrasson, F., Turpc, P., Turqc, B., Van Beek, P., Huamán, D., and Guyot, J. L., (In process), Sr and Nd isotopes in Tumbes River suspended matter as tracers of the ENSO: *Geoscience Frontiers*.
- Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., & Guyot, J. L. (2017). The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific Reports*, 7(1), 11947.
- Morera, S. 2017. Influencia de los sismos y los eventos El Niño extremos (1982-83 y 1997-98) en la producción de sedimentos en la costa peruana. *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, Diciembre, 4, 12, 4-7
- Morera, S.B., A. Crave, and J. P. Guyot. (2016). Highly seasonal suspended sediment and bed load transport dynamic in tropical mountain catchments, paper presented at 13th International Symposium on River Sedimentation (ISRS 2016), Taylor & Francis Group, Stuttgart, Germany, 19-22 September.
- Morera, S. 2014. Magnitud, frecuencia y factores que controlan los flujos sedimentarios desde los Andes Centrales Occidentales hacia el océano Pacífico peruano. Tesis para optar el grado de Doctor en Recursos Hídricos - Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Morera, S. 2014. Erosión y transporte de sedimentos durante eventos El Niño a lo largo de los Andes occidentales. *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, Julio, 1, 7, 4-7.
- Morera, S. B.; Condom, T.; Vauchel, P.; Guyot, J.-L.; Galvez, C., & Crave, A. (2013). Pertinent spatio-temporal

scale of observation to understand suspended sediment yield control factors in the Andean region: the case of the Santa River (Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4641-4657, DOI:10.5194/hess-17-4641-2013.

Morera, S.B.; Mejía, A; Guyot, J-L.; Vauchel, P; Atoche, D.; Grover, O.; Salinas, F; Gálvez, C.; Collas, M.; & Condom, T. (2014). Erosion and sediment flux dynamics from the central occidental Andes mountainous catchment to the Pacific coast in Peru. XXV congreso latinoamericano de hidráulica. del 20 al 30 agosto. Santiago, Chile. (10 p.).

Morera-Julca, S., Mejia-Marcacuzco, A., Guyot, J., Gálvez, C., Salinas, F., Collas, M., and Ingol-Blanco, E. 2013. Uncertainty in Suspended Sediment Load Estimates for Mountain Rivers. Case of Study of Central Andes in Peru. *World Environmental and Water Resources Congress 2013*: pp. 3216-3225. doi: 10.1061/9780784412947.318.

Morera, Sergio; Condom, T; Crave, A; Espinoza, JC; Takahashi, K; Gálvez, C; Salinas, F; Collas, M. (2012). Incertidumbre de los flujos sólidos transportados por ríos de montaña en los Andes centrales (Perú). XI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Lima, Perú. 13p.

Morera, Sergio; Crave, A; Condom, T; Vauchel, P; Guyot, JL & Lizares, G. (2012). Sediment transport from the central western part of the Andean range to the pacific Ocean, Santa River (1977-2010). XXV Congreso latinoamericano de hidráulica. San José, Costa Rica. 9-12 setiembre 2012. 11p.

Orrillo, J. (2018). "Caracterización del rol del páramo andino en la regulación del recurso hídrico". Tesis para optar el título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.

Ortiz, R. (2018). "Caracterización de las sequías en la cuenca del río Puyango-Tumbes en base al índice de flujo base y de precipitación estandarizada". Tesis para optar el título de Ingeniero Hidráulico. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 139 p.

Prudencio, F. (en proceso). "Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en región de alta montaña y la importancia de su dinámica en la regulación del recurso hídrico – caso cuenca Río Mashcón". Tesis para optar el título de Ingeniero Geógrafo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Quincho, J. 2015. Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con modelos teóricos en los ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Villanueva, G. (en proceso). "Modelado de perfiles de velocidad de los flujos en ríos de montaña tropical". Tesis para optar el título de Ingeniero en mecánica de fluidos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

PROYECTOS EN EJECUCIÓN

- Páramos. Convenio de Subvención N°098-2015-FONDECYT. Influencia de los páramos en la erosión y conservación de suelos andino, e identificación de su rol en la regulación del recurso hídrico en grandes ciudades alto andinas.

- Erosión. N° 131-PNICP-PIBA-2015

(INNOVATE PERU PIAP-3-P-915-14). Monitoreo, caracterización e identificación de las principales fuentes de erosión y sedimentos durante crecidas o eventos extremos el niño en las cuencas binacionales Puyango-Tumbes y Zarumilla.

- Sedimentación en Presas. RLA-5076, IAEA. Strengthening Surveillance Systems and Monitoring Programmes of Hydraulic Facilities Using Nuclear Techniques to Assess Sedimentation Impacts as Environmental and Social Risks - ARCAL CLV.

- PER2018003. Water, erosion and sedimentation dynamics characterization in Páramo and Jalca ecosystems for climate change adaptation.

- FONDECYT-Fondo Newton, 2019. Integrated upstream and downstream thinking to mitigate the water security challenges of Peruvian glacier retreat.