

CUANDO EL CLIMA Y LAS INTERACCIONES HUMANAS AMENAZAN LOS RECURSOS SUELO Y AGUA A TRAVÉS DE LA HIPERSEDIMENTACIÓN: CASO DEL EMBALSE DE POECHOS, PERÚ

Sergio Morera^{1,2,3}, Anthony Foucher⁴,
Michael Sánchez¹, Jhon Orrillo¹ y
Oliver Evrard⁴

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

² Programa de Maestría en Recursos Hídricos,
Universidad Nacional Agraria La Molina, 15024,
Lima, Perú

³ Programa de Doctorado en Ciencias e Ingeniería
Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería,
15333, Rimac, Perú

⁴ Laboratoire des Sciences du Climat et de
l'Environnement (LSCE-IPSL), UMR 8212
(CEA-CNRS-UVSQ), Université Paris-Saclay, 91191
Gif-sur-Yvette CEDEX, France



Sergio Morera es investigador científico del IGP, enfocado en erosión hídrica de los suelos, transporte de sedimentos y sedimentación. Mediante la formulación y liderazgo de nueve proyectos de investigación ha logrado formar un equipo científico especializado en las líneas antes expuestas, y ha implementado el único laboratorio en el Perú dedicado al análisis físico y químico de sedimentos y suelos. Además, es también docente invitado en postgrado en la UNALM y UNI.

Palabras clave: Hipersedimentación, eventos El Niño extremos, expansión agrícola, sedimentación, embalses, reconstrucción

Citar como Morera, S., Foucher, A., Sanchez, M., Orrillo, J., & Evrard, O. (2024). Cuando el clima y las interacciones humanas amenazan los recursos suelo y agua a través de la hipersedimentación: caso del embalse de Poechos, Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 01, págs. 4-11.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?

Basado en los resultados que identifican los eventos El Niño extremos y la expansión agrícola como principales factores de hipersedimentación en el embalse Poechos, los tomadores de decisiones podrían implementar acciones de conservación de suelos y control de la erosión en áreas agrícolas para mitigar los aportes de sedimentos. Asimismo, es preciso desarrollar planes de contingencia y gestión de riesgos ante eventos climáticos extremos tipo El Niño, así como regular la expansión agrícola no planificada en cuencas vulnerables para prevenir mayores tasas de erosión.

Resumen

Mediante un enfoque retrospectivo, se reconstruyó el impacto de las fases extremas de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), los cambios en la cobertura del suelo y la expansión agrícola en la dinámica de los sedimentos entre 1978 a 2019. A través del análisis físico y químico de las láminas de sedimentación en varios testigos de sedimentos, se reconstruyó de manera continua las propiedades y la dinámica de los sedimentos aguas arriba del reservorio de Poechos, así como las tasas de sedimentación en el mismo reservorio. Se identificaron a los eventos El Niño extremos (EENE) y la expansión agrícola como los principales factores que contribuyen a la hipersedimentación del embalse de Poechos. Nuestros hallazgos contribuyen a una mejor comprensión de la dinámica de los sedimentos en regiones montañosas densamente pobladas, regiones consideradas como las más vulnerables ante el cambio climático, donde la sostenibilidad de los recursos de suelo y agua es una preocupación importante para todos los pobladores en la cuenca alta, media y baja. Finalmente, se superaron las limitaciones de los vacíos de información y se demostró que las fuentes de sedimentos y su relación con las tasas de sedimentación pueden generar herramientas para la gestión de cuencas, así como para la planificación y priorización a nivel local de los programas de conservación del suelo para mitigar los efectos adversos de la erosión acelerada del suelo en cuencas de montañas tropicales.

1. Introducción

Durante las últimas décadas, se ha observado en muchas regiones del mundo el cambio de los ecosistemas de montaña a tierras agrícolas para satisfacer la demanda local y global de alimentos y otros productos básicos de una población en crecimiento (Winkler et al., 2021). El monitoreo de la degradación o conservación a escala de cuenca es todo un reto, sobre todo en la cordillera de los Andes centrales, donde se encuentra la población más vulnerable ante la presencia del cambio climático y el cambio del uso del suelo (expansión agrícola, minería, etc.) (Schmeller et al., 2022). La interconexión de estos procesos antrópicos con el cambio climático genera impactos ambientales y socioeconómicos adversos (Zador et al., 2015), los cuales intensifican la erosión hídrica (Montanarella et al., 2016; Wuepper et al., 2020) y el transporte de sedimentos (Morera et al., 2013; 2017).

Sudamérica depende en gran medida del agua almacenada en represas para el riego, la producción agrícola y la producción de energía hidroeléctrica. A partir de 30 años de registros del transporte de sedimentos disponibles en Perú, se han demostrado altas variaciones en la producción de sedimentos suspendidos en el norte de los Andes peruanos occidentales (3-6 °S) que varían de 123 a 1200 toneladas por kilómetro cuadrado por año ($t\ km^{-2}\ año^{-1}$; Morera et al., 2017). Morera et al. (2017) identificaron que, a lo largo de la vertiente del Pacífico peruano, durante los eventos El Niño extremos (EENE) de 1982-1983 y 1997-1998, el transporte de sedimentos se incrementó entre 3 y 60 veces respecto a la magnitud de lo que se transporta durante un año hidrológico promedio. El EENE registrado en 1997-1998 causó, por ejemplo, más de 100 millones de dólares en daños (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

Finalmente, las proyecciones climáticas avizoran un cambio en la distribución, frecuencia e intensidad de las precipitaciones, incluyendo periodos más largos de sequía y eventos de lluvia más intensos en esta parte del mundo. A esto se suma la falta de registros hidro-sedimentológicos frecuentes y con una longitud mayor a 20 años, lo que dificulta la evaluación de los daños asociados a fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones y deslizamientos de tierra. Por lo tanto, es necesario explorar métodos alternativos que permitan reconstruir registros pasados, ya que cuantificar y comprender los eventos climáticos extremos son cruciales para la gestión de los riesgos y desastres a nivel nacional. En tal sentido, la presente investigación tiene como objetivo mostrar las propiedades y la dinámica de los sedimentos aguas arriba del reservorio de Poechos, así como las tasas de sedimentación en el mismo reservorio.

2. Geografía de la región de estudio

La cuenca Catamayo-Chira, ubicada aguas arriba del reservorio Poechos (80 m s. n. m.), presenta una superficie de 13 565 km^2 y está situada en la parte norte del Perú (46 %), en la frontera con Ecuador (54 %), donde alcanza elevaciones de 3958 m s. n. m. (Figura 1). Su curva hipsométrica la clasifica como una cuenca de configuración antigua (vieja), con amplias llanuras en la cuenca baja. Las tierras agrícolas (4775 km^2) cubren la mayor parte de la cuenca (35.2 %) y prevalecen en toda su extensión, con una mayor

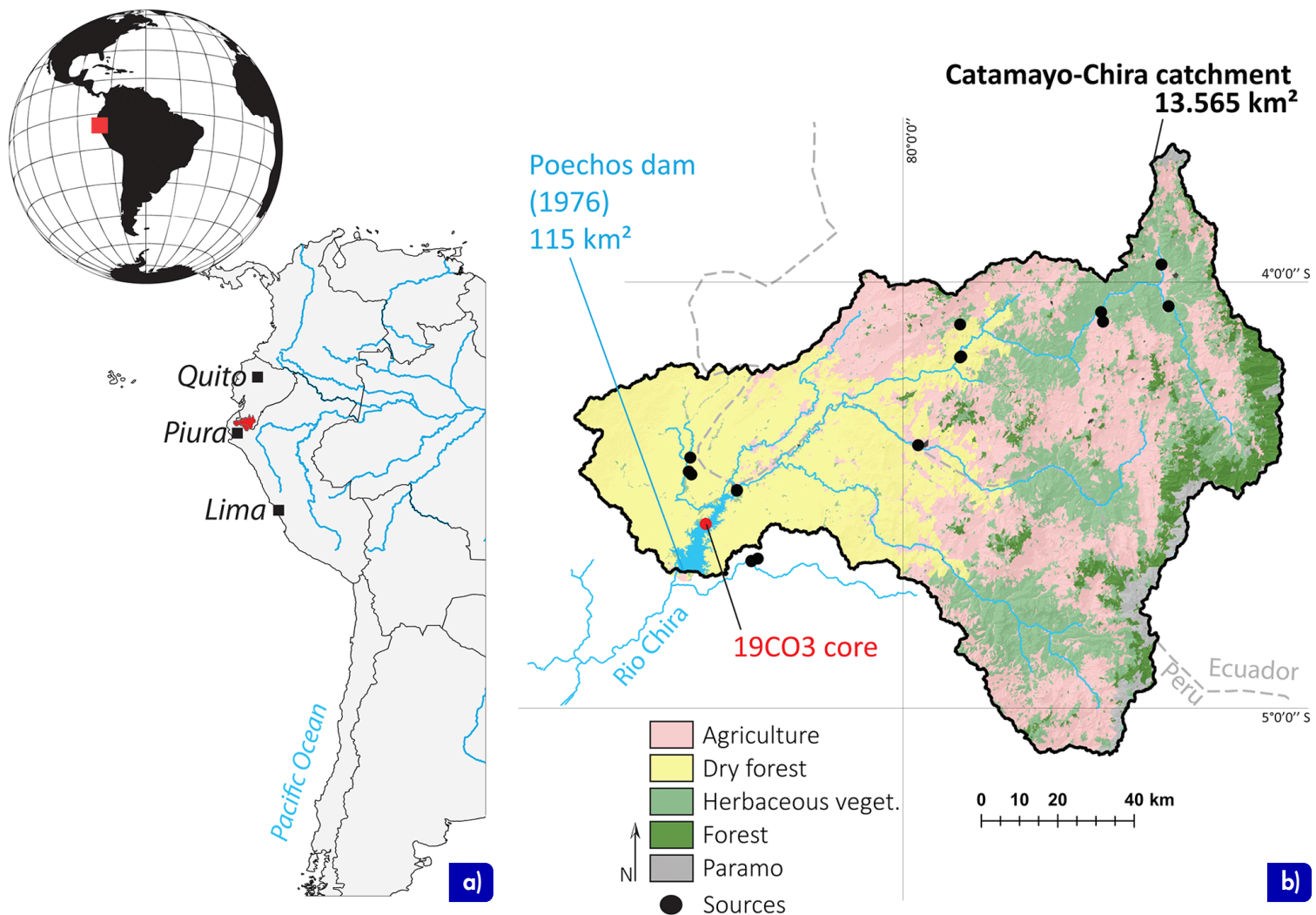


Figura 1. (a) Ubicación de la cuenca Catamayo-Chira a lo largo de los Andes occidentales, en el límite entre Ecuador y Perú. (b) Cobertura y uso del suelo de la cuenca Catamayo-Chira en 2016. El bosque seco (color amarillo) predomina en la cuenca baja, aguas arriba del reservorio de Poechos.

concentración en las partes media y alta, donde se registra la mayor acumulación de precipitaciones. En cambio, la parte baja de la cuenca tiene áreas agrícolas limitadas, restringidas a regiones con acceso al agua de los ríos o del embalse de Poechos. En la cuenca se cultivan una variedad de cultivos, incluidos arroz, algodón, maíz, frijoles, yuca, papas, camote, café y cacao (Kotov & Paelike, 2018). El bosque seco (4142 km²), que cubre el 30.5 % de la cuenca, se sitúa principalmente en la parte baja. Este tipo de cobertura terrestre se adapta bien al clima y a las condiciones ambientales locales. La cuenca, que drena las aguas del río Chira, alimenta al embalse de Poechos, el cual ocupa una superficie de 115 km² durante los periodos húmedos. Esta presa, construida en 1976, tiene como objetivo principal proporcionar agua para la agricultura y la producción eléctrica, además de prevenir riesgos de inundaciones. Sin embargo, el embalse ha experimentado una disminución constante en su capacidad debido al suministro excesivo de sedimentos naturales durante las fases extremas del fenómeno ENSO. Según estudios batimétricos, se ha registrado una reducción significativa en su capacidad, cercana al 60 % para el año 2017 (Marin, 2020).

3. Análisis de la región de estudio

Para obtener datos e información gráfica que permita dar a conocer las propiedades y la dinámica de los sedimentos, así como las tasas de sedimentación, fue necesario realizar cuatro actividades científicas clave que incluyeron el muestreo, el análisis de laboratorio, la datación del núcleo de sedimentos y la elaboración de un mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, las cuales se detallan a continuación.

a) Muestreo

El muestreo de núcleos de sedimentos en el embalse de Poechos implicó un análisis exhaustivo de datos batimétricos para identificar zonas de deposición y acumulación de sedimentos en función de la velocidad del flujo de agua. A lo largo de dos años, y gracias al vacío temporal del embalse, se recogieron alrededor de diez núcleos de sedimentos. El núcleo de sedimento resultante, 19CO3, representa con precisión la distribución de sedimentos en el embalse de Poechos.

b) Análisis de laboratorio

Para obtener datos de alta resolución sobre elementos químicos, las láminas del núcleo de sedimento fueron analizadas utilizando un escáner de núcleo de Fluorescencia de Rayos X (FRX). Se utilizaron titanio, potasio, estroncio, rubidio y la relación titanio/calcio

para identificar cambios en las fuentes de sedimentos a lo largo del tiempo (Croudace & Rothwell, 2015).

El análisis del tamaño de partículas se realizó utilizando un medidor de granulometría láser para medir la distribución del tamaño de partículas y extraer los parámetros relevantes (Figura 2).

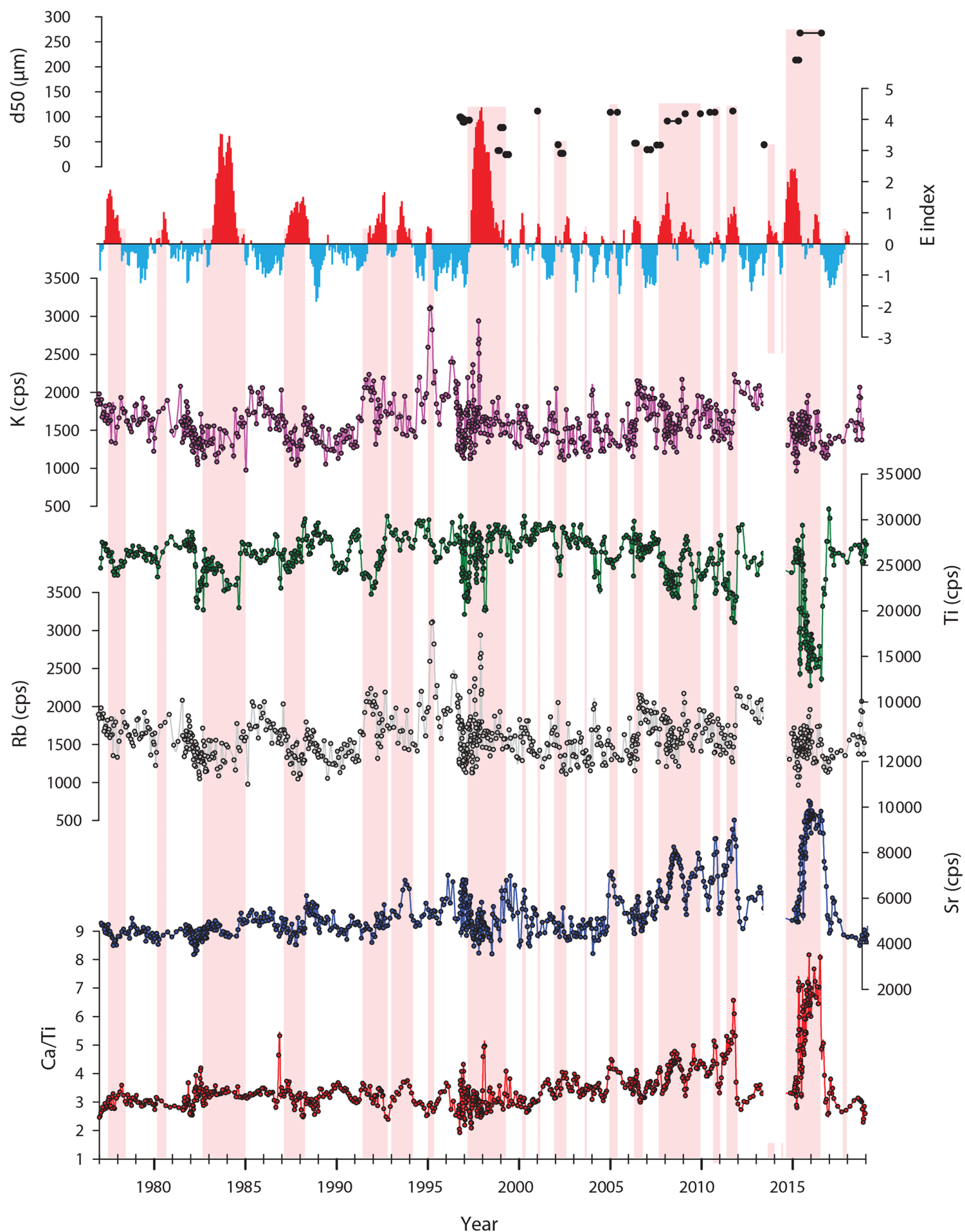


Figura 2. Evolución de las propiedades de los sedimentos (elementos químicos analizados con un escáner de núcleos FRX) a lo largo del núcleo de 19C03.

c) Datación del núcleo de sedimentos

La cronología se estableció ajustando el índice E (Pacífico Oriental; Takahashi et al., 2011) con números del escáner de Tomografía Computarizada (TC) extraídos de las imágenes del TC, las cuales ayudaron a describir eventos cálidos y fríos (Figura 3). Las correlaciones se determinaron manualmente utilizando el software Analyseries (Paillard et al., 1996) y Qanalyseries (Kotov & Paelike, 2018). La validación del modelo de edad-profundidad implicó comparar las tasas de sedimentación reconstruidas por el Qanalyseries con mediciones anuales del volumen de sedimentos y comparar la edad base del núcleo con las batimetrías del embalse (Marin, 2020). La espectrometría gamma midió radionucleidos en muestras de sedimentos, pero no se utilizó para modelar la edad.

d) Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo

Para la clasificación de la cobertura del suelo, se recolectó información en el campo durante los años 2018 y 2019. Este proceso nos permitió caracterizar las distintas categorías de cobertura del suelo a considerar y obtener muestras de referencia para su clasificación y validación. Se empleó una clasificación digital multivariable, fundamentada en el protocolo del Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM, 2014). Además, se utilizó el modelo "Random Forest" como un clasificador multivariable orientado a objetos. El proceso de clasificación se llevó a cabo utilizando el software R, aplicando específicamente el modelo "Random Forest" del paquete RandomForest.

4. Resultados y discusiones

a) Litología

El núcleo, codificado como 19CO3, consistía en una sucesión de capas alternas de sedimentos más gruesos y finos. Se observaron capas más gruesas notables en 1997, 2008, 2011 y 2016. El análisis geoquímico reveló una tendencia positiva en los valores de Ca/Ti y Sr, con fluctuaciones que se correlacionaban con periodos positivos del índice E, mientras que los elementos Ti y K mostraron tendencias negativas.

Los principales cambios en los contenidos de Ti se observaron durante los periodos 1982-1984, 1991-1992, 1996-1998 y 2016-2017, que corresponden a eventos El Niño, así como entre 2007 y 2012.

b) Cronología del testigo de sedimentos

El índice E se correlacionó con la densidad relativa del núcleo de sedimento para establecer la cronología del núcleo 19CO3 (periodo de 1978 a 2019). No se observó una disminución significativa en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ni en la detección de ^{137}Cs , lo que impidió su uso en la validación de edades.

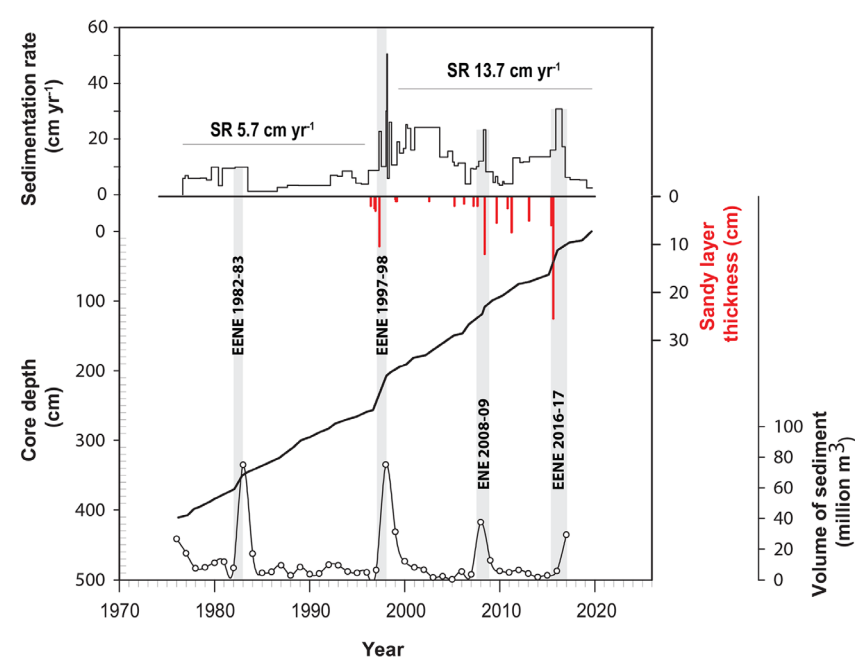


Figura 3. Cronología del testigo de sedimento 19CO3 establecida después de la correlación entre el número de TC y el índice del Pacífico oriental (SR: tasa de sedimentación). Volumen de sedimento de Marin (2020).

Los picos en la tasa de sedimentación se asociaron con eventos históricos de El Niño, lo que valida la cronología del testigo con un aumento significativo en la tasa de sedimentación (medida en cm/año) del 140 % después de 1997. La secuencia sedimentaria en el embalse de Poechos muestra las transferencias de sedimentos impulsadas por el clima y la actividad humana antes y después del periodo EP-ENOS (El Niño Oscilación del Sur del Pacífico Oriental). Los primeros años mostraron tasas de sedimentación predominantemente consistentes, con fluctuaciones causadas por eventos importantes.

Se estableció un modelo de edad reciente que permite identificar la conexión entre el ENE (eventos El Niño), EENE y CENE (El Niño Costero), y el índice E desarrollado por Takahashi et al. (2011).

La correlación entre las propiedades del testigo de sedimentos, los datos de levantamientos batimétricos y los flujos de sedimentos de las estaciones de medición dan como resultado un modelo parcialmente consistente ($r^2 = 0.9$). Cabe destacar la importante reducción de la capacidad de los embalses inducida por sedimentos durante eventos importantes.

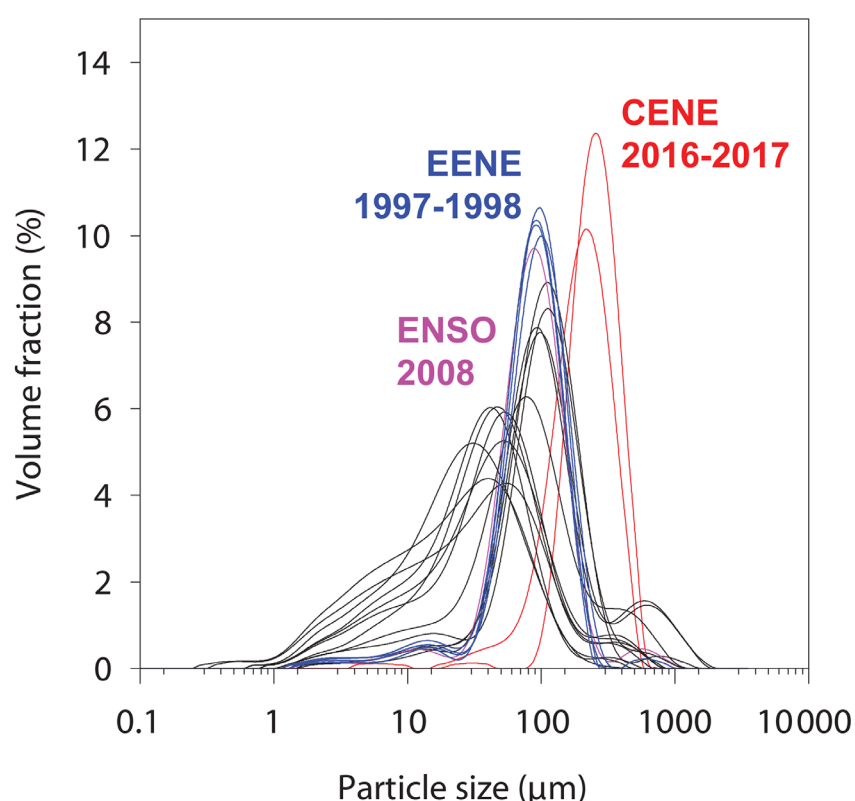


Figura 4. Distribuciones del tamaño de partículas de las 19 capas más gruesas detectadas en el testigo de sedimento 19C03.

Eventos como ENE, EENE y CENE, con temperaturas más cálidas a lo largo de la costa peruana, provocan un aumento de las precipitaciones, especialmente en regiones propensas a la erosión debido a la baja cubierta vegetal. Esto, especialmente influenciado por ENOS, da como resultado contribuciones variadas de sedimentos al embalse de Poechos a lo largo de las fases climáticas (fase cálida y fría). Durante la década de 1990, hubo un aumento significativo en la entrega de sedimentos, especialmente alrededor de 1997-1998. Los periodos posteriores al EP-ENOS mostraron dinámicas distintas, con una disminución del flujo de sedimentos seguida de una agradación de los ríos. La transferencia de los sedimentos disminuyó durante varios años hasta que se restableció el equilibrio. Este patrón se observó a mayor escala y durante un periodo de tiempo más largo. Los sedimentos se acumularon durante los años secos y fueron movilizados durante las EENE o CENE. La ausencia de un evento EP-ENOS fuerte (en su fase cálida) durante más de 14 años permitió el almacenamiento de sedimentos en llanuras aluviales, los que fueron

posteriormente movilizados por la EENE 1997-1998. Esto provocó una degradación significativa del delta del embalse de Poechos y, en consecuencia, una afectación a las tasas de sedimentación. Una mayor conectividad y eventos EP-ENOS más frecuentes dieron como resultado una deposición de partículas más gruesas en la sedimentación, tal como lo demuestran los cambios en el tamaño de los granos en el núcleo examinado (Figura 4).

c) Procedencia de los sedimentos

Se seleccionaron dos propiedades de rastreo (Potasio K y Rubidio Rb) mediante un procedimiento estadístico FingerPro para descomponer las contribuciones de las fuentes de sedimento a lo largo de la secuencia del testigo 19C03. Los contenidos de K variaron en las muestras de suelo, siendo más altos en las posibles fuentes de sedimento andinas y más bajos en la fuente de bosque seco de tierras bajas. Se observó una tendencia similar para el contenido de Rb.

Los resultados de FingerPro mostraron que, una parte del sedimento acumulado (31 %) en el núcleo, provenía de la fuente andina, mientras que la mayor parte del material era suministrado por la fuente de bosque seco de tierras bajas (69 %). Según la prueba de Mann-Kendall, la contribución de sedimentos del bosque seco siguió una tendencia positiva entre 1978 y 2019.

En promedio, la fuente de bosque seco contribuyó con la mayor parte del sedimento acumulado (76 %) en el embalse durante las fases positivas del índice E. Durante los periodos de índice E negativo, la contribución de la fuente andina aumentó y suministró una parte del material acumulado (40 %) en el embalse.

La contribución de las fuentes de bosque seco durante los eventos EENEs y CENE alcanzó porcentajes altos de 94 % y 65%, respectivamente.

Una serie de eventos pre y posEP-ENSO, asociados con la gestión del paisaje durante el periodo posEP-ENSO después de mediados de la década de 1990, podría explicar la aceleración de las tasas de sedimentación y la mayor contribución de la fuente de bosque seco a la sedimentación del embalse. Otros procesos que tuvieron lugar en la cuenca superior y estuvieron asociados con la tala de árboles para desarrollar la agricultura o explotar la madera, que aumentaron en

los últimos años, también pueden explicar una parte de estas dinámicas de sedimentación acelerada. Factores socioeconómicos, incluyendo la oferta y demanda de ciertos productos agrícolas, la migración, las condiciones económicas de la región, las decisiones políticas, etc., así como la ocurrencia de eventos climáticos como sequías o inundaciones, controlan la expansión de las áreas cultivadas, lo que complicó el establecimiento del modelo de la evolución del cambio de uso de la tierra y particularmente la extensión de las tierras de cultivo en esta área.

Desde 1997, varios factores han acelerado la dinámica de sedimentación en el embalse de Poechos, rodeado por ríos en Perú. La existencia de un flujo de agua bajo pero constante permite la agricultura en esta región árida y semiárida. Los agricultores han tomado posesión de la llanura aluvial para cultivar, utilizando maquinaria pesada para transportar suelo y sedimentos de ríos y laderas cercanas cuando los sedimentos disponibles son insuficientes. La construcción del embalse de Poechos ha generado un canal de agua más amplio para la agricultura, lo que ha aumentado la disponibilidad de sedimentos en los ríos principales. Además, la actividad humana ha hecho disponibles grandes volúmenes de sedimento para el transporte al embalse durante las primeras inundaciones de los períodos húmedos. Este proceso se repite anualmente, lo que eleva el nivel topográfico del lecho del río y genera más transporte de sedimentos.

5. Conclusiones

El estudio demuestra que, a partir de una reconstrucción retrospectiva de la laminación en los testigos de sedimentos, se logró identificar los vínculos entre los ENOS, la cobertura vegetal y las prácticas agrícolas, y su impacto en la sedimentación del embalse de Poechos en Perú (1978-2019).

La expansión de la agricultura, junto con la falta de EENE entre 1982 y 1997, aumentó la deposición de sedimentos en los ríos y en las llanuras de captación más bajas. Durante la presencia de los eventos extremos de El Niño, la cuenca semiárida (cuenca baja), con predominancia del bosque seco, contribuye entre el 90 % a 76 % del total de sedimentos que ingresan al reservorio de Poechos. A partir de 1997, la tasa de sedimentación se incrementó en 140 % debido a las actividades de expansión agrícola,

muchas de ellas asociadas al traslado, mediante el empleo de maquinaria, de suelo y sedimento de las laderas al río principal donde cultivan hortalizas y maíz. Esto se debe a que, durante la época seca, el río presenta una escorrentía base que provee humedad para el desarrollo de cultivos.

El cambio climático y la expansión agrícola en América del Sur, especialmente en Perú, amenazan la vida útil de los embalses y las actividades socioeconómicas en las regiones montañosas pobladas. Una mejor gestión de la tierra y la conservación del suelo son vitales para reducir las transferencias de sedimentos, lo que permitirá salvaguardar los recursos de suelo y agua en estos entornos frágiles.

Esta investigación evidencia la necesidad urgente de una gestión sostenible de la tierra y la conservación del suelo para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región.

Referencias

- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/87>
- Liaw, A. L., & Wiener, M. A. (2022). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2, 18–22. <https://CRAN.R-project.org/package=randomForest>
- Croudace, I. W., & Rothwell, R. G. (2015). Future Developments and Innovations in High-Resolution Core Scanning. En I. W. Croudace & R. G. Rothwell (Eds.), *Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences* 17 (pp. 627–647). *Springer Netherlands*. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5_27
- Kotov, S., & Paelike, B., J. (2018). QAnalySeries – a cross-platform time series tuning and analysis tool. En: *AGU Fall Meeting*. <https://agu.confex.com/agu/fm18/meetingapp.cgi/Paper/349843>
- Lowman, L. E. L., & Barros, A. P. (2014). Investigating links between climate and orography in the central Andes: Coupling erosion and precipitation using a physical-statistical model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(6), 1322–1353. <https://doi.org/10.1002/2013JF002940>
- Marin, A. Y. E. (2020). *Cuantificación y clasificación de las tasas de sedimentación en el reservorio Poechos*. Universidad Nacional de Piura.
- Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, G.-L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, C. R., ... Vargas, R. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79–82. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>

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. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12220-x>

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(11), 4641–4657. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4641-2013>

Organización Panamericana de la Salud (2000). *Fenómeno El Niño, 1997-1998. Crónicas de Desastres* (8). <https://iris.paho.org/handle/10665.2/46050>

Paillard, D., Labeyrie, L., & Yiou, P. (1996). Macintosh Program performs time-series analysis. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 77(39), 379–379. <https://doi.org/10.1029/96EO00259>

Schmeller, D. S., Urbach, D., Bates, K., Catalan, J., Cogălniceanu, D., Fisher, M. C., Friesen, J., Füreder, L., Gaube, V., Haver, M., Jacobsen, D., Le Roux, G., Lin, Y.-P., Loyau, A., Machate, O., Mayer, A., Palomo, I., Plutzer, C., Sentenac, H., ... Ripple, W. J. (2022). Scientists' warning of threats to mountains. *Science of The Total Environment*, 853, 158611–158611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158611>

Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38(10), L10704. <https://doi.org/10.1029/2011GL047364>

Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1), 2501. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

Wuepper, D., Borrelli, P., & Finger, R. (2020). Countries and the global rate of soil erosion. *Nature Sustainability*, 3(1), 51–55. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0438-4>

Zador, M., Young, B. E., Josse, C., Stern, M., Vasconez, S., Olander, J., Sanchez A., Smyth, R., Comer, P. J., Moull, K., Echavarría, M. & Hak, J. (2015). Ecosystem profile: Tropical Andes biodiversity hotspot. Critical Ecosystem Partnership Fund. *NatureServe and EcoDecisión*. https://www.cepf.net/sites/default/files/tropical_andes_profile_final_4_2015.pdf