

Estudio sobre la redistribución del suelo en la cuenca del Canal de Panamá utilizando metodologías FRN y CSSI

Saavedra-Delgado, Ana

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
ana.saavedra3@utp.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0007-3025-721X>

Gómez, Shantale

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
shantale.gomez@utp.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0004-9092-3534>

Juri Ayub, Jimena

Universidad Nacional de San Luis
San Luis, Argentina
jimena.juriayub@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3999-5730>

Peralta, José Luis

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones
La Habana, Cuba
joseluisperaltavital@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7661-2028>

Flores, Isaías

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá
La Chorrera, Panamá
Isaiasfloresrod1977@gmail.com

Esquivel-López, Alexander

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
alexander.esquivel@utp.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0003-4782-1335>

Abstract

Climate change and human activities have significantly altered the soil redistribution processes in the Panama Canal Watershed, affecting Lakes Alajuela, Gatún, and Miraflores, which are essential for the functioning and operation of the Canal and the supply of drinking water. Since 2018, the Technological University of Panama has been researching the micro-watershed of La Zanguenga Creek using advanced nuclear techniques to quantify the volume of mobilized soil, as well as to identify the possible sources from which the soil originates, with the purpose of monitoring the effects of erosive processes mainly caused by the region's intense rainfall. This micro-watershed is located in the corregimiento of Herrera, district of La Chorrera, province of Panamá Oeste; and in turn, is part of the Caño Quebrado River sub-watershed, which discharges its waters into Gatún Lake, which is part of the Panama Canal watershed. La Zanguenga Creek contributes an estimated solid flow of 112,89 tons per hectare per year, which is an indicator of the degree of erosion in the region. A total of 88 samples were taken at 31 strategic points, allowing for the estimation of the volume of displaced soil and the origin of the sediments. The results show considerable soil losses ranging between 15,70 to 21,51 tons/ha/year in secondary mixed broadleaf forest, 1,83 to 5,25 tons/ha/year in pineapple crops, and 0,20 to 0,23 tons/ha/year in pasture. The main sources of sediment identified were pineapple cultivation, pastures, secondary mixed broadleaf forests, and fallow lands.

Keywords: Erosion, Fallout Radionuclides (FRN), Stable Isotopes (CSSI), Resource Conservation, Soil Redistribution.

Resumen

El cambio climático y las actividades humanas han alterado significativamente los procesos de redistribución del suelo en la Cuenca Hidrográfica de Canal de Panamá, afectando los lagos Alajuela, Gatún y Miraflores, esenciales para el funcionamiento y operación del Canal y el suministro de agua potable. Desde 2018, la Universidad Tecnológica de Panamá investiga la microcuenca de la quebrada La Zanguenga utilizando técnicas nucleares nobles para cuantificar el volumen de suelo movilizado; así como también, identificar las posibles fuentes de donde procede el suelo, con el propósito de monitorear los efectos de los procesos erosivos causados principalmente por las lluvias intensas de la región. Esta microcuenca se ubica en el corregimiento de Herrera, distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste; y a su vez, forma parte de la subcuenca del río Caño Quebrado, que descarga sus aguas al Lago Gatún, que forma parte de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. La quebrada La Zanguenga aporta un caudal sólido estimado en 112,89 ton/ha/año, lo que es un indicativo del grado de erosión en la región. Se tomaron 88 muestras en

31 puntos estratégicos, logrando estimar el volumen de suelo desplazado y el origen de los sedimentos. Los resultados muestran pérdidas de suelo considerable que oscilan entre: 15,70 a 21,51 ton/ha/año en el bosque latifoliado mixto secundario, de 1,83 a 5,25 ton/ha/año en piña, y de 0,20 a 0,23 ton/ha/año en pastura. Se identificaron como principales fuentes de sedimentos los cultivos de piña, pasturas, bosques latifoliado mixto secundarios y tierras en reposo.

Palabras claves: Erosión, Fallout Radionuclides (FRN), Isótopos Estables (CSSI), Conservación de Recursos, Redistribución de suelo.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural limitado y no renovable que presenta la ejecución de distintos servicios ecosistémicos de gran importancia como su participación en los ciclos biogeoquímicos de componentes esenciales para la vida, como el carbono, el nitrógeno y el fósforo, constantemente por la energía accesible se transfiere de los sistemas vivos a los sistemas no vivos del planeta. A pesar de estos aspectos, el suelo se reconoce como el soporte clave para la producción de alimentos y materias primas, los cuales son vitales para la sociedad en general [1]. Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad es la degradación de los recursos naturales, especialmente la deposición de los suelos cultivables. Alrededor de 2 mil millones de hectáreas de tierra han sido degradadas permanentemente y alrededor de 1,5 mil millones de hectáreas están en uso, aproximadamente una tercera parte está percibiendo procesos de degradación moderados severos. El impacto anual de la tierra perdida se encuentra entre 5 millones y 7 millones de hectáreas [2]. La acción de los agentes erosivos deteriora progresivamente la estructura física del suelo, incrementando su vulnerabilidad a la degradación y afectando sus funciones. Como resultado, la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes esenciales para las plantas disminuye gradualmente, lo que reduce drásticamente su fertilidad [3]. La erosión del suelo no solo deteriora un recurso valioso en el lugar que ocurre, sino que también genera problemas fuera de este sitio, como la acumulación de sedimentos en áreas residenciales y embalses, el enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua y la contaminación causada por agroquímicos tóxicos adheridos a partículas del suelo [4]. La sedimentación en estos cuerpos de agua se origina principalmente por alteraciones en el uso del territorio, los efectos del cambio climático y diversas actividades humanas, como la deforestación y el sobrepastoreo, que incrementan la erosión y, en consecuencia, la cantidad de sedimentos transportados por los ríos. A medida que estos materiales se depositan detrás de las presas, el volumen útil de los embalses se reduce significativamente, comprometiendo su funcionalidad y poniendo en riesgo el

abastecimiento de agua y la generación de energía [5]. Aunque la erosión y la deposición han estado presentes a lo largo de la historia de la agricultura, incluso después de décadas de investigación sobre sus causas y efectos, todavía existen grandes incertidumbres respecto a su alcance, intensidad, tasas reales y consecuencias económicas y ambientales. Al incorporar, aunque sea de forma conservadora, los costos de la degradación del suelo y sus impactos externos en los análisis costo-beneficio de la agricultura, queda claro que invertir en programas para controlar eficazmente la erosión del suelo es una decisión económicamente inteligente [6]. Dos de las técnicas más sobresalientes son los Isotopos Estables de Compuestos Específicos – CSSI, esta técnica ha demostrado ser de gran ayuda para plantear estrategias de manejo y mitigación al vincular los tipos de uso del suelo con las tasas de erosión específicas, generando información detallada sobre la contribución de diferentes fuentes en la redistribución del suelo [7] y los Fallout Radionuclides – FRN, son trazadores útiles para analizar la redistribución de sedimentos en diferentes escalas de tiempo [8].

2. MÉTODO

Para empezar el muestreo, se busco información sobre la microcuenca, para comprender como se utiliza el suelo en esa zona, que tipo de actividades económicas se llevan a cabo, conocer quienes son las personas o grupos que tiene participación dentro de la región de estudio seleccionada para desarrollar este proyecto. Se hizo un análisis general de las condiciones ambientales de la microcuenca, tomando en cuenta aspectos como la forma del terreno, el clima y el comportamiento de los cuerpos de aguas superficiales. Esta revisión fue importante para escoger puntos de muestreos que representan diferentes tipos de uso y coberturas. Para apoyar esta investigación, se utilizaron herramientas como: ArcGIS y Google Earth, que permitieron analizar mejor la microcuenca antes de ir a cada sitio de monitoreo. La campaña de recolección de muestras se realizo en un total de cinco salidas a campo, abarcando diversos sectores de la microcuenca que fueron Aspadilla, Caraño, El Almendral, Gato de Agua, Indio, El Valentín y Zanguenga. Se recolectaron un total de 88 muestras de suelo, distribuidas de la siguiente manera 26 muestras para el análisis de CSSI, enfocadas en la caracterización de compuestos orgánicos, que funcionan como trazadores para identificar las fuentes de sedimentos dentro de la microcuenca y 62 muestras para el análisis de FRN, principalmente orientadas a la detección de Cesio-137 con el fin de cuantificar procesos de redistribución del suelo.

A. Trabajo de campo

Para la aplicación de CSSI, en cada sitio de muestreo, se delimito un área de 10x10 m², en la cual se tomaron 5 submuestras distribuidas en diferentes puntos del área delimitada,

fueron colectadas a una profundidad máxima de 2 cm, ya que esta capa superficial concentra la mayor cantidad de compuestos orgánicos específicos requeridos para la identificación de firmas isotópicas asociadas a diferentes usos de suelo. Usando guantes para evitar contaminación cruzada, estas submuestras fueron integradas en campo y la muestra resultante alcanzó un volumen aproximado de un (1) kilogramo por sitio de muestreo. En el trabajo de campo de FRN se obtuvo muestras de diferentes profundidades para suelos no perturbados y sitios cultivados en el cual los suelos no perturbados se tomaron muestras de 0-25 cm y de 25 – 50 cm ya que esto no se desplaza más allá; por obstante, para sitios cultivados se tomaron muestras de 0-50 cm y de 50-100 cm. Para este estudio se empleó un muestreo en profundidad, con el propósito de obtener el perfil de distribución vertical del radionucleido Cesio-137. De esta manera, fue posible identificar las variaciones de concentración presentes en las distintas capas del suelo mediante el uso del barreno.

B. Trabajo de laboratorio

Una vez recolectadas en campo, las muestras fueron transportadas al laboratorio para su preparación previa al análisis, siguiendo los protocolos correspondientes a las técnicas de CSSI y FRN. En ambos casos, las muestras se colocaron en bandejas limpias de aluminio y se sometieron a un proceso de secado en horno, aunque con distintas condiciones: para CSSI, el secado se realizó a 60° por 72 horas, con el fin de eliminar la humedad residual sin alterar la materia orgánica, mientras que para FRN, se empleó una temperatura de 105° durante 24 a 48 horas dependiendo del grado de humedad de la muestra. Ya secadas las muestras se trituraron utilizando un mortero y un pistilo de cerámica hasta obtener una textura fina y homogénea. Posteriormente, se tamizaron en una malla de 2 mm para remover fragmentos gruesos no deseados, garantizando un material uniforme apto para el análisis. Tras este proceso, las muestras se pesaron cuidadosamente: las destinadas a CSSI se empaquetaron con aproximadamente 200 g de material, las de FRN se ajustaron a un peso de 500 g. Finalmente las muestras de CSSI fueron enviadas al Isotope Bioscience Laboratory en Bélgica y las de FRN al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en México, donde se realizaron los análisis isotópicos y de espectrometría gamma.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los puntos M06-MQZ (tabla 1) y M04-CR-MQZ (tabla 2) evidencian diferencias en las fuentes y magnitudes de erosión dentro de la microcuenca. En el punto intermedio M06-MQZ, la técnica CSSI mostró que los principales aportes de sedimentos provienen del bosque plantado de latifoliadas con un 77 %, seguido del cultivo de piña con un 22 % y la pastura con un 1 %. En cambio, en el punto de descarga final M04-CR-MQZ, el bosque plantado de latifoliadas presentó un aporte del 90 %, la piña del 9 %

y la pastura del 1 %, lo que podría deberse a que esta zona correspondía antiguamente a una zona de reforestación y los valores reflejan tasas acumuladas de erosión de hace aproximadamente dos décadas; por tanto, se considera un resultado preliminar. Los valores obtenidos mediante la técnica FRN (Cesio-137) indican tasas medias de pérdida de suelo que oscilan entre 15,70 y 21,51 ton/ha/año en el bosque latifoliado mixto secundario, entre 1,83 y 5,25 ton/ha/año en piña, y entre 0,20 y 0,23 ton/ha/año en pastura. En conjunto, ambos métodos permitieron identificar tanto el origen como la magnitud de los procesos erosivos, mostrando que la erosión en la microcuenca de La Zanguenga es baja a moderada, pero continua en el tiempo.

Tabla 1. M06-MQZ.

Fuente	CSSI %	FRN Erosión neta Ton/ha/año
Bosque Plantado de Latifoleadas	77%	15,70 a 18,40
Piña	22%	4,48 a 5,25
Pastura	1%	0,20 a 0,23

Tabla 2. M04-CR-MQZ.

Fuente	CSSI %	FRN Erosión neta Ton/ha/año
Bosque Plantado de Latifoleadas	90%	18,36 a 21,51
Piña	9%	1,83 a 2,15
Pastura	1%	0,20 a 0,23

4.CONCLUSIONES

En el punto M06-MQZ, el cultivo de piña (22%) mostró un aporte considerable de sedimentos, lo que refleja la vulnerabilidad de estas áreas agrícolas frente a la erosión. En la descarga final M04-CR-MQZ, el bosque plantado de latifoleadas (90%) fue la principal fuente de sedimentos, lo cual podría tener su explicación de que el área fue utilizada en algún momento como zona de reforestación ya que los resultados de FRN reflejan tasas de erosión acumulada desde hace más de 20 años. Las metodologías FRN y CSSI se complementan

entre sí, permitiendo cuantificar la pérdida de suelo en ton/ha/año y, al mismo tiempo, identificar de qué uso de suelo provienen los sedimentos.

Referencias

- [1] Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- [2] Gaitán, J., Navarro, M. F., Vuegen, L. T., Pizarro, M. J., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina (1st ed.).
- [3] De, S., Alonso, A., Torralba, A., Ivón, F., Martín, C., & Abolafio, F. B. (2011). Erosión y manejo del suelo. importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos soil erosion and soil management. importance of tillage in the natural and anthropogenic processes of soil erosion.
- [4] Guidelines for sediment tracing using the compound-specific carbon stable isotope technique / International Atomic Energy Agency. (2019). INTL ATOMIC ENERGY AGENCY. www.iaea.org/publications
- [5] Khasanov, K., & Bakiev, M. (2025). GIS-Based Geostatistical Techniques for Sedimentation Assessment Using USV Data: Case study Tuplang Reservoir, Uzbekistan. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(2), 231–243. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1567019>
- [6] Gaspar, M. (2015). Un terreno estable estable: técnica nucleares para frenar la erosión del suelo Viet Na. Edición Especial Boletín Del OIEA Sobre Los Usos Pacíficos de La Tecnología Nuclear, 14–15.
- [7] Gibbs, M. (2014). Protocols on the use of the CSSI Technique to identify and apportion soil sources from land use Revised 2013 Prepared for Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.
- [8] Walling, D. E. (2004). Using environmental radionuclides to trace sediment mobilisation and delivery in river basins as an aid to catchment management. Ninth International Symposium on River Sedimentation.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.