

Estudios de redistribución de suelo en la microcuenca de la quebrada La Zanguenga (Canal de Panamá) utilizando métodos convencionales y modelos de conversión

Pomare, Jeremy

Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
jeremy.pomare@utp.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0001-3146-9173>

Juri Ayub, Jimena

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

Arcia, Manuel

Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
manuel.arcia@utp.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0003-4229-0846>

Esquivel-López, Alexander

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

Abstract

Soil degradation, exacerbated by intensive agricultural use and climate change, poses a threat to the productivity and sustainability of ecosystems. In the community of La Zanguenga (within the Panama Canal), pineapple farming has exerted significant pressure on the soil, intensifying erosion processes. This study addresses the problem through a methodological comparison at the micro-watershed level, evaluating three approaches to quantify soil redistribution: erosion pins, USLE and FRN.

The main objective is to estimate the rates of erosion and sedimentation associated with rainfall events, contributing to more sustainable resource management. The research also seeks to identify which of these methodologies offers the most useful and applicable results

in other areas of the country. Cesium-137 was used, an environmental tracer that allows for cumulative redistribution estimates. Erosion pins measure variations in exposed height after rainfall events, identifying short-term loss or accumulation. The USLE model is applied with topographic, edaphological, climatic, and vegetation cover information, generating theoretical estimates of soil loss in tons per hectare per year.

Preliminary results reflect soil loss in pineapple coverage, observed in both conventional methods and the model, confirming its vulnerability to erosion processes. This work highlights the importance of combining methodologies of different scales and purposes to fully understand erosion and guide conservation strategies adapted to local conditions.

Keywords: Erosion pins, USLE, FRN, erosion, sedimentation.

Resumen

La degradación del suelo, agravada por el uso agrícola intensivo y el cambio climático, representa una amenaza para la productividad y sostenibilidad de los ecosistemas. En la comunidad de La Zanguenga (dentro del Canal de Panamá), la actividad piñera ha ejercido una presión significativa sobre el suelo, intensificando los procesos erosivos. Este estudio aborda la problemática mediante una comparación metodológica a nivel de microcuenca, evaluando tres enfoques para cuantificar la redistribución del suelo: FRN, USLE y pines de erosión.

El objetivo principal es estimar las tasas de erosión y sedimentación asociadas a eventos de lluvia, contribuyendo a un manejo más sostenible del recurso. La investigación busca además identificar cuál de estas metodologías ofrece resultados más útiles y aplicables en otras zonas del país. El uso del Cesio-137, trazador ambiental, permite estimar la redistribución de forma acumulativa. Los pines de erosión miden las variaciones en la altura expuesta tras eventos de lluvia, identificando pérdida o acumulación a corto plazo. El modelo USLE se aplica con información topográfica, edafológica, climática y de cobertura vegetal, generando estimaciones teóricas de pérdida de suelo en toneladas por hectárea al año.

Los resultados preliminares reflejan pérdida de suelo en la cobertura de piña, observada tanto en los métodos convencionales como en el modelo, lo que confirma su vulnerabilidad frente a los procesos erosivos. Este trabajo resalta la importancia de combinar metodologías de distinta escala y propósito para comprender integralmente la erosión y orientar estrategias de conservación adaptadas a condiciones locales.

Palabras claves: Pines de erosión, USLE, FRN, erosión, sedimentación.

1. INTRODUCCIÓN

La erosión de suelo constituye en uno de los principales procesos de degradación ambiental en regiones tropicales, donde las precipitaciones intensas y los usos de suelo inadecuados aceleran la pérdida de su capa fértil. En Panamá este fenómeno representa un reto creciente para la sostenibilidad de la producción agrícola y la conservación de los recursos hídricos, especialmente en áreas estratégicas como la cuenca del Canal de Panamá [1].

En la comunidad de La Zanguenga, ubicada dentro de dicha microcuenca, el cultivo intensivo de piña se ha consolidado como unas de las actividades económicas más dinámicas, pero al mismo tiempo una de las que mayor presión ejerce sobre los suelos [2].

La sustitución de la cobertura natural por sistemas agrícolas expuestos incrementa los procesos erosivos, afectando no solo la productividad local, sino también la regulación hídrica y la calidad del agua en el sistema canalero.

Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar con mayor precisión la magnitud y dinámica de la erosión y sedimentación en diferentes coberturas de uso del suelo. La combinación de métodos convencionales, modelos predictivos y técnicas basadas en trazadores ambientales permite obtener una visión más completa y robusta de los procesos que ocurren en campo.

2. METODOLOGÍA

A. Pines de erosión

Para la implementación de los pines de erosión, en cada cobertura de suelo (pastura, bosque y piña) se delimitó una parcela abierta de 1.10 metros de ancho y 3.60 metros de largo, dentro de la cual se instalaron 36 pines distribuidos en tres hileras de 12 pines cada una.

Las mediciones de la longitud expuesta de los pines se realizaron después de eventos de lluvia, registrando tanto incrementos (erosión) como reducciones (sedimentación) de la superficie del suelo [3]. Con el fin de disminuir posibles errores de observación, todas las lecturas fueron efectuadas por el mismo lector durante el periodo de estudio.

Para realizar un análisis más preciso, las lecturas obtenidas se transformaron en valores de erosión o sedimentación neta, empleando las densidades de suelo reportadas por el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en estudios previos dentro del área de La Zanguenga¹.

En cada cobertura se utilizó la densidad correspondiente, y el valor promedio de pérdida o acumulación registrado en los pines se multiplicó por dicha densidad, lo que permitió

estimar la erosión o sedimentación en toneladas por hectárea para cada fecha de lectura. La información recolectada se integró con los registros de precipitación e intensidad de lluvia obtenidos mediante un pluviómetro cercano al área de estudio. Esto permitió relacionar directamente los valores estimados con los eventos de lluvia, identificando procesos de redistribución del suelo dentro de cada parcela en cada fecha de lectura.

B. USLE

En este estudio se aplicó el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) con el propósito de estimar la pérdida anual de suelo en las parcelas de piña, pastura y bosque. La ecuación permitió integrar la influencia de la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la pendiente y longitud de la ladera, así como la cobertura vegetal, con el fin de obtener tasas de erosión expresadas en toneladas por hectárea por año [4].

La ecuación general implementada fue la siguiente:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

donde:

Factor R (erosividad): se calculó a partir de data histórica de precipitación registrados en la zona de estudio, durante un periodo de 20 años (2005-2024)

Factor K (erodabilidad): se estimó con base a estudios previos por parte del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)2.

Factores L y S (longitud y pendiente): fueron determinados con mediciones en campo como información topográfica digital

Factor C (cobertura y manejo): debido a la limitada disponibilidad de datos históricos en Panamá, se recurrió a valores reportados en estudios internacionales, ajustados a las condiciones de nuestra área de estudio

Factor P (prácticas de conservación): no fue considerado, ya que en las parcelas evaluadas no había prácticas de conservación previas de manejo del suelo en el área de estudio

C. FRN

Se aplicó la técnica de radionucleidos de origen antrópico (FRN) utilizando el Cesio-137 como trazador, con el fin de estimar procesos de erosión y sedimentación a escala de décadas en la microcuenca. Este radionucleido depositado globalmente durante las pruebas nucleares atmosféricas de la década de 1960 se fija fuertemente a las partículas del suelo y permanece estable, lo que permite cuantificar la redistribución del suelo superficial a lo

largo del tiempo [5].

Se recolectaron muestras de suelo en el sitio de referencia y en los transectos correspondientes a cada cobertura de suelo; transecto sitio de pastura (TSP), Finca Días (TFD) y transecto cobertura de piña (TCP), siguiendo un diseño sistemático y profundidades representativas del perfil. Posteriormente las muestras fueron enviadas a un laboratorio especializado para su preparación y espectrometría gama de alta resolución, lo que permitió obtener el inventario de Cesio-137 en cada punto de muestreo, expresado en Bq/m²

Con base en este inventario y en función de las características de manejo y alteración del suelo, se aplicaron diferentes modelos:

- Modelo de Balance de Masa I: fue aplicado al transecto de cobertura de piña donde la preparación intensiva del terreno modifica la distribución original del radionucleido. Este modelo ajusta el cálculo considerando la mezcla inicial del suelo, lo que permite obtener tasas de erosión o sedimentación representativas de condiciones similares a las de un cultivo de piña
- Modelo de Distribución de Perfil: fue empleado en los transectos de pastura y transecto Finca Díaz, donde la distribución vertical del Cesio-137 disminuye gradualmente con la profundidad. Este modelo asume un perfil conservado del radionucleido y permite inferir la magnitud de la pérdida o acumulación del suelo.

3.RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante las diferentes metodologías (ver tabla 1) mostraron un patrón claro entre las coberturas de suelo evaluadas.

Esto evidenció que en las zonas agrícolas (piña) concentran el mayor desprendimiento del suelo, mientras que las zonas cubiertas por pasturas fueron más estables con menor pérdida de suelo.

En el método de pines de erosión, el valor obtenido para la cobertura de bosque podría representar una sobreestimación, posiblemente asociada a errores de lectura durante el proceso de medición, que tienden a alterar el valor real de erosión dentro de la parcela.

Aun así, los resultados generales mantienen coherencia con las tendencias observadas en el USLE y FRN, lo que refuerza la confiabilidad del patrón erosivo identificado entre las coberturas.

Tabla 1. Erosión neta por cobertura de suelo según las metodologías aplicadas

| Cobertura de suelo | Pines de erosión (t/ha) | USLE (t/ha/año) | FRN (t/ha/año) |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| Pastura | 10,18 | 1,81 (TSP) 3,89 (TFD) | 2,1 (TSP) 6,1 (TFD) |
| Piña con cultivo | - | 44,01 | 21 (TCP) |
| Piña sin cultivo | 191,63 | 125,71 | - |
| Bosque | 81,11 | 3,42 | - |

4. CONCLUSIONES

La integración de los métodos convencionales (Pines de erosión y USLE) junto con los modelos basados en radionucleidos (FRN), permitió obtener una comprensión más completa de los procesos de pérdida y redistribución de suelo.

Los resultados demuestran que cualquiera de las metodologías aplicadas, son sumamente útiles para estimar la pérdida o sedimentación del suelo, y que su selección depende principalmente de la capacidad técnica, el tiempo disponible y los recursos que cuente el dueño, investigador o institución que realice e

En Panamá, la aplicación del USLE puede verse limitada por la falta de factores locales actualizados, especialmente el factor C (cobertura y manejo de cultivo), por lo que es necesario fortalecer la base de datos nacional para mejorar la precisión de los resultados.

Referencias

- [1] J. Krystine, B. Aparicio, A. Esquivel, K. Espino, and C. V. Chen, "ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA A TRAVÉS DE LA COMPARACIÓN DEL MÉTODO FÍSICOQUÍMICO Y USO DE MACROINVERTEBRADOS EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA ZANGUENGA," 2025.
- [2] Universidad Tecnológica de Panamá, "UTP ofrece Jornada de Capacitación en la comunidad de Zanguenga," 2018. Accessed: Aug. 26, 2025. [Online]. Available: Informe de Pedones de campo en la microcuenca La Zanguenga
- [3] H. Cotler, "Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales." [Online]. Available: www.centrogeo.org.mx
- [4] F. Zapata, Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. Vienna Austria: International Atomic Energy Agency, 2003.
- [5] I. Rodriguez, A. Esquivel, and J. J. Ayub, "INVENTARIO DE RADIONUCLEIDOS EN LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA ZANGUENGA (ÁREA PIÑERA)."

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX 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 XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.