



Artículo de investigación original



Evaluación de la erosión hídrica y deslizamiento lateral del Río Portoviejo, en el sector Picoazá

Evaluation of Water Erosion and Lateral Sliding of the Portoviejo River in the Picoazá Sector

Angel Gabriel Intriago Mera¹  , Yandry Rubén Santana Santana¹  ,
Kervin Arturo Chunga Moran¹  

¹ Universidad Técnica de Manabí (UTM), Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Av. José María Urbina, Portoviejo 130105, Ecuador

Recibido: 2025-05-01 / Aceptado: 2025-06-02 / Publicado: 2025-07-01

RESUMEN

Este estudio abordó la erosión hídrica y el deslizamiento lateral de talud en el sector Picoazá del río Portoviejo (Manabí, Ecuador), analizando su relación con eventos extremos de precipitación vinculados al cambio climático y al fenómeno ENSO. En la primera fase, se realizó un reconocimiento geológico de campo y mapeo de deslizamientos, identificando desde remociones superficiales por flujo hasta fallas profundas en depósitos granulares, cohesivos y fracturados. La segunda etapa integró un levantamiento aerofotogramétrico con dron RTK, produciendo ortomosaicos, nubes densas de puntos y modelos digitales de superficie con resolución centimétrica, lo cual permitió ubicar con precisión escarpes y planos de deslizamiento. Los resultados confirman que la combinación de lluvias extremas, heterogeneidad litológica y elevadas presiones intersticiales impulsa tanto la socavación activa como los deslizamientos profundos. Se recomienda un paquete de medidas integradas control hidráulico (espigones, gaviones), drenajes subhorizontales, revegetación de riberas y ordenamiento territorial para mitigar la erosión continua y proteger la infraestructura ribereña ante la creciente severidad de los eventos climáticos extremos.

Palabras clave: erosión hídrica; deslizamiento lateral de talud; modelación hidráulica HEC-RAS; análisis de estabilidad de taludes

ABSTRACT

This study addressed water erosion and lateral slope sliding in the Picoazá sector of the Portoviejo River (Manabí, Ecuador), analyzing its relationship with extreme precipitation events linked to climate change and the ENSO phenomenon. In the first phase, a geological field survey and landslide mapping were carried out, identifying features ranging from superficial flow-induced removals to deep-seated failures in granular, cohesive, and fractured deposits. The second phase integrated an RTK drone-based aerial photogrammetric survey, producing orthomosaics, dense point clouds, and digital surface models with centimeter-level resolution, which enabled precise identification of scarps and sliding planes. The results confirm that the combination of extreme rainfall, lithological heterogeneity, and high pore-water pressures drives both active undercutting and deep-seated landslides. An integrated set of mitigation measures is recommended, including hydraulic control structures (groynes, gabions), sub-horizontal drainage systems, riparian revegetation, and land-use planning to mitigate continuous erosion and protect riverside infrastructure against the increasing severity of extreme climatic events.

keywords: water erosion; lateral slope sliding; HEC-RAS hydraulic modeling; slope stability analysis

RESUMO

Este estudo abordou a erosão hídrica e o deslizamento lateral de taludes no setor Picoazá do rio Portoviejo (Manabí, Equador), analisando sua relação com eventos extremos de precipitação vinculados às mudanças climáticas e ao fenômeno ENSO. Na primeira fase, foi realizado um reconhecimento geológico de campo e mapeamento de deslizamentos, identificando desde remoções superficiais por fluxo até rupturas profundas em depósitos granulares, coesivos e fraturados. A segunda etapa integrou um levantamento aerofotogramétrico com drone RTK, produzindo ortomosaicos, nuvens densas

de pontos e modelos digitais de superfície com resolução centimétrica, o que permitiu a localização precisa de escarpas e planos de deslizamento. Os resultados confirmam que a combinação de chuvas extremas, heterogeneidade litológica e altas pressões intersticiais impulsiona tanto a socavação ativa quanto os deslizamentos profundos. Recomenda-se um conjunto integrado de medidas, incluindo controle hidráulico (espigões, gabiões), drenagens sub-horizontais, revegetação das margens e planejamento territorial para mitigar a erosão contínua e proteger a infraestrutura ribeirinha diante da crescente severidade dos eventos climáticos extremos.

palavras-chave: erosão hídrica; deslizamento lateral de talude; modelagem hidráulica HEC-RAS; análise de estabilidade de taludes

Forma sugerida de citar (APA):

Intriago Mera, A. G., Santana Santana, Y. R., & Chunga Moran, K. A. (2025). Evaluación de la erosión hídrica y deslizamiento lateral del Río Portoviejo, en el sector Picoazá. *Revista Científica Multidisciplinar SAGA*, 2(3), 610-622. <https://doi.org/10.63415/saga.v2i3.215>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la erosión hídrica en cauces fluviales ha sido reconocida como uno de los procesos geomorfológicos más influyentes en la conformación de paisajes y en la pérdida de suelos agrícolas y urbanos. A escala global, ríos de distintas latitudes presentan episodios recurrentes de profundización, ensanchamiento y cambio de meandros, fenómeno favorecido por el aumento en la magnitud y frecuencia de eventos de precipitación extrema vinculados al cambio climático (Gariano & Guzzetti, 2016; Varnes, 1978). Estos procesos no solo alteran la geometría de los cauces, sino que también incrementan la carga de sedimentos transportados hacia zonas aguas abajo, generando un efecto dominó que puede derivar en inundaciones repentinas, degradación de hábitats acuáticos y daños a la infraestructura crítica en cuencas densamente pobladas (Szabó, 2003; Juang et al., 1998).

En el contexto provincial de Manabí, situado en la región costera del Ecuador, la dinámica fluvial se ve agudizada por características morfogeológicas particulares y patrones pluviométricos marcados por fenómenos como El Niño-Sur (ENSO). La alternancia entre estaciones secas prolongadas y lluvias torrenciales favorece la alteración de los perfiles de río y la inestabilidad de sus márgenes, especialmente en ríos de llanura como el Portoviejo, cuyas cuencas presentan suelos heterogéneos y topografías de baja pendiente que facilitan la saturación y

remoción de material fino (Domínguez-Castro et al., 2018; Salcedo et al., 2022). Adicionalmente, prácticas de uso de suelo como la deforestación y la expansión urbana sin planes de manejo hídrico han contribuido a disminuir la resistencia de los taludes ribereños, multiplicando los focos de erosión y aumentando la vulnerabilidad de comunidades ribereñas (Soto et al., 2017; SNGR, 2025a).

A nivel local, en el sector Picoazá del río Portoviejo, estas condiciones se traducen en episodios frecuentes de erosión acelerada y desplazamiento de sedimentos. La presencia de depósitos granulares y cohesivos alternados, junto con la existencia de fracturas en la roca madre y pronunciadas inclinaciones de talud, crea planos de debilidad que, al saturarse durante eventos de precipitación intensa, desencadenan desde desprendimientos superficiales hasta deslizamientos de considerable magnitud (Islam et al., 2021; Mora & Rojas, 2012). Tales procesos no solo modifican la morfología del canal —reduciendo su capacidad de conducción y aumentando la carga sedimentaria aguas abajo—, sino que también amenazan directa e indirectamente la integridad de puentes, caminos y viviendas cercanas (Gariano & Guzzetti, 2016; Salcedo et al., 2022). En este sentido, resulta imprescindible llevar a cabo una caracterización detallada de los parámetros geotécnicos de los sedimentos ribereños, así como diseñar e implementar soluciones de estabilización de taludes que permitan mitigar la pérdida continua de suelo y salvaguardar la infraestructura local.

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación y Fisiografía

Históricamente, los Andes occidentales han sido una región altamente susceptible a deslizamientos de tierra como consecuencia de su compleja tectónica, la frecuente actividad sísmica y las pronunciadas pendientes que caracterizan su geomorfología, a lo que se suma la variabilidad climática extrema y la expansión de la agricultura con la consecuente pérdida de cubierta vegetal, factores que generan la inestabilidad de los taludes (Wilcke et al., 2003; Tibaldi et al., 1995; Soto et al., 2017). En la provincia costera de Manabí, las oscilaciones pluviométricas asociadas a eventos ENSO y las prolongadas temporadas secas seguidas de lluvias intensas intensifican la saturación del suelo y aceleran los procesos de remoción en masa en cuencas como la del río Portoviejo (Domínguez-Castro et al., 2018; Salcedo et al., 2022).

El sector Picoazá, ubicado en el cantón Portoviejo, se encuentra entre 70 y 150 msnm en su zona urbana y asciende hasta aproximadamente 300 msnm en las colinas circundantes (GAD Portoviejo, 2023). Según datos recientes del INEC (2022), la población local supera los 8 000 habitantes, distribuidos en un área de alrededor de 200 ha, donde predominan suelos aluviales y depósitos coluviales de textura mixta. El clima de la región combina dos tipos: ecuatorial mesotérmico semihúmedo y tropical megatérmico seco, con temperaturas promedio que oscilan entre 22 °C y 30 °C, abril como el mes más cálido y marzo como el de mayores precipitaciones (Kottek et al., 2006; POWER Data Access Viewer, 2025).

Un análisis de cobertura terrestre en la subcuenca de Picoazá revela una cobertura forestal original reducida al 12 % y una tasa de deforestación del 55 %, incrementada por la expansión agrícola y urbana sin planificación

hídrica adecuada. La ausencia de raíces profundas para cohesionar los sedimentos y la construcción en laderas con pendientes que en el 60 % del área exceden el 15 % han favorecido la generación de deslizamientos y episodios de erosión hídrica acelerada (Soto et al., 2017; GAD Portoviejo, 2023). Solo el 9 % del suelo urbano se sitúa en pendientes menores al 5 %, mientras que el restante se distribuye entre pendientes moderadas (5–25 %) y empinadas (> 25 %), lo que limita las posibilidades de expansión segura y requiere la implementación de medidas de estabilización y manejo del agua de lluvia para reducir riesgos geotécnicos y conservar la integridad de la infraestructura local (Muenchow et al., 2012; Orejuela & Toulkeridis, 2020).

En la visita in situ realizada el 4 de marzo de 2025 se pudo encontrar sedimentos no consolidados de grano fino a medio (arenas, limos y arcillas) depositados por el cauce activo y por eventos de inundación en la planicie aluvial. Incluyen también gravas mal seleccionadas formadas durante avenidas de alta energía. Su alta porosidad y permeabilidad favorece la infiltración y recarga de acuíferos, pero a la vez los hace muy susceptibles a la erosión bajo flujos intensos. Además, se encuentran calizas oolíticas y bioclásticas de grano fino a medio, intercaladas con lutitas y areniscas silíceas. Se interpretan como depósitos marinos costeros de plataforma somera (Vuillot et al., 2015). Así mismo en el sitio se identificó Lutitas grises y margas carbonatadas de grano muy fino, de naturaleza más frágil y plástica que el Miembro Dos Bocas, se interpretan como deposición en ambientes de plataforma distal o base de talud (Mora & Rojas, 2012). Su menor resistencia mecánica y tendencia por hincharse al humedecerse los hace crítico para la estabilidad de taludes, pudiendo actuar como capa de deslizamiento bajo los materiales más rígidos del Dos Bocas.



Figura 1. Área de evaluación de la erosión hídrica en el sector Picoaza del Cantón Portoviejo

3. METODOLOGÍA

La investigación se estructuró en tres etapas dirigidas a evaluar la erosión hídrica y el deslizamiento lateral de talud en el sector Picoazá de Portoviejo. En la primera fase, se realizó un reconocimiento geológico de terreno y el mapeo detallado de zonas afectadas por desprendimientos y acumulación de sedimentos, identificando los tipos de movimientos desde remociones superficiales por flujo de agua hasta deslizamientos más profundos— y su relación con la litología volcánica y sedimentaria local (Salcedo et al., 2022; Szabó, 2003). Durante la segunda etapa, se llevó a cabo un levantamiento aerofotogramétrico mediante dron RTK sobre más de 5 ha, planificando las misiones de vuelo

con un 90 % de solapamiento y a 30 m de altura para generar ortomosaicos, nubes densas de puntos y modelos digitales de superficie con 3 m de resolución; estos productos geoespaciales permitieron caracterizar los principales escarpes de erosión y localizar con precisión los planos de deslizamiento laterales (Ekaso et al., 2020; Lewicka et al., 2022; Yastisio et al., 2024). Finalmente, en la tercera fase se efectuó un análisis de estabilidad de taludes en el área crítica de Picoazá: se muestrearon y ensayaron geomecánicamente los materiales de ribera, donde se aplicó un estudio cinemático de las discontinuidades para cuantificar la susceptibilidad al fallo lateral y se diseñaron soluciones de ingeniería —anclajes, bermas y drenajes— orientadas a reducir la saturación de los suelos y reforzar la cohesión de los

taludes ante futuros eventos de lluvia intensa o sismos moderados (Mora & Rojas, 2012; Soto et al., 2017).

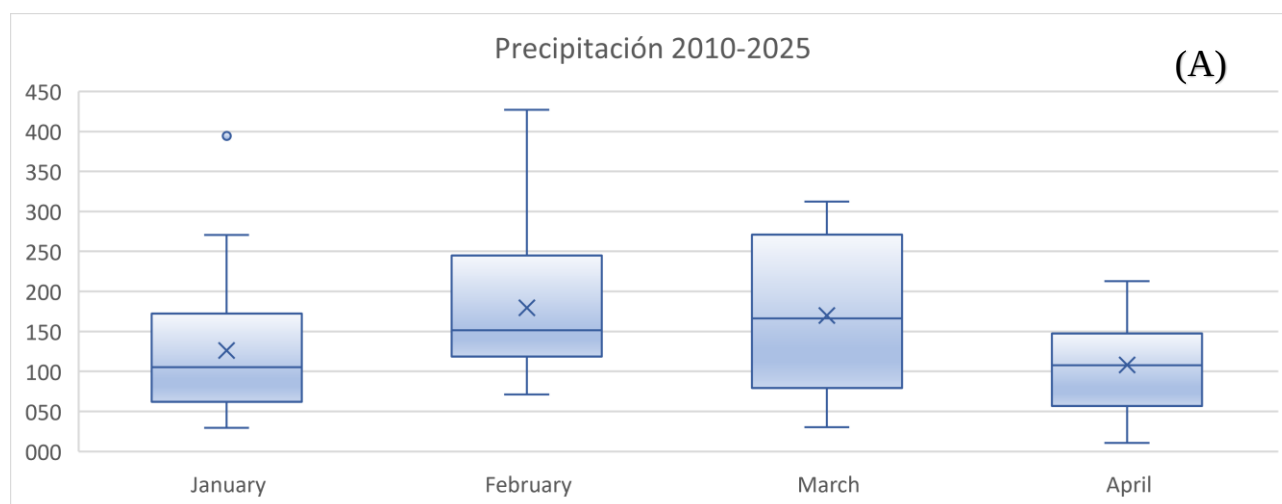
4. EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LOS TALUDES DEL RÍO PORTOVIEJO 2025

Durante los eventos de 1982–1983 y 1997–1998, pese a que los totales mensuales de precipitación no rebasaron los 225 mm, se analizan las condiciones meteorológicas y geomorfológicas que interactuaron con esos umbrales máximos de lluvia (Shinoda et al., 2011; Campozano et al., 2020). En contraste, entre 2015 y 2025 se registraron picos de precipitación inusualmente elevados—incluyendo récords históricos en febrero y marzo de 2025—que excedieron de manera significativa los promedios climatológicos, intensificando la remoción de sedimentos y la profundización del cauce (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2025). Este análisis permite comparar la respuesta del sistema fluvial frente a lluvias moderadas de fenómenos clásicos de El Niño y frente a las crecientes intensidades de precipitación de la última década, identificando así los periodos de mayor susceptibilidad a la erosión hídrica y orientando futuras estrategias de manejo y mitigación (Thielen et al., 2023).

4.1. Evaluación preliminar de los factores desencadenantes

Para evaluar el impacto de las lluvias en la erosión de márgenes y la ocurrencia de

deslizamientos en el cauce del río Portoviejo, sector Picoazá, se empleó el visualizador de datos NASA POWER para reconstruir la serie pluviométrica comprendida entre diciembre de 2009 y 2025. Estos registros satelitales se contrastaron con datos de estaciones meteorológicas situadas a 8 km al este de Zaruma, dado que en Picoazá no existe estación estatal disponible (POWER Data Access Viewer, 2025). Entre 2012, 2015, 2017 y 2021, las precipitaciones mensuales no superaron los 210 mm, umbral por debajo del cual la erosión lateral de taludes se mantiene moderada. Sin embargo, el análisis del INAMHI para el periodo del 27 de febrero al 1 de marzo de 2025 reportó acumulados de 50–120 mm, mientras que el total estimado para febrero alcanzó 588 mm, cifra que triplica los 194 mm y 225 mm registrados durante los eventos de El Niño de 1983–1984 y 1997–1998, respectivamente (INAMHI, 2025; POWER Data Access Viewer, 2025). Estas lluvias extremas intensifican la remoción de sedimentos en los tramos expuestos y favorecen el desarrollo de planos de deslizamiento en los taludes colindantes. Además, testimonios de pobladores mayores confirman episodios de precipitación excepcional en la década de 1970, asociados a La Niña Modoki, evento que también se identificó en 2005 (La Hora, 2025). La combinación de altas precipitaciones y condiciones de saturación incrementa drásticamente la vulnerabilidad de las riberas, acelerando tanto la erosión hídrica como la inestabilidad de taludes en Picoazá.



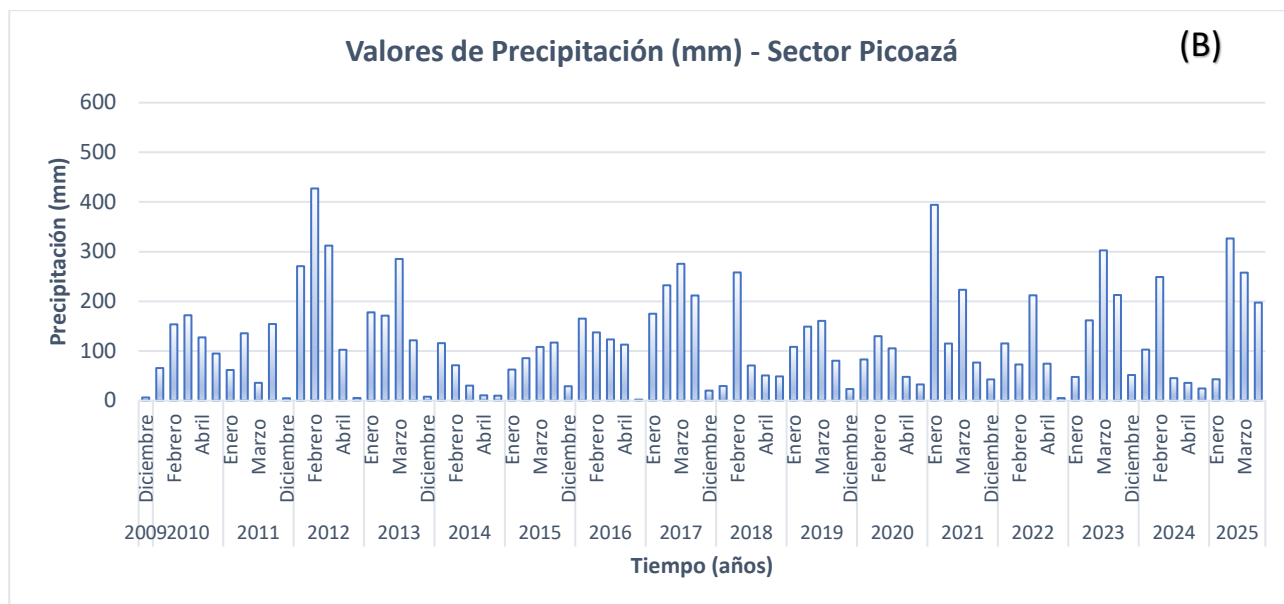


Figura 2. (A) Gráfico de caja y bigotes que representa el historial de precipitaciones mensuales del cauce del Río Portoviejo sector Picoaza, con los meses previos a la superposición de deslizamientos de tierra. (B) De enero de 2010 a abril de 2025, Portoviejo registró precipitaciones mensuales (POWER Data Access Viewer, 2025).

4.2. Descripción de la erosión hídrica en sector Picoazá

En el sector Picoazá del Cantón Portoviejo se registró eventos de lluvias a partir del 27 de febrero al 1 de marzo de 2025; durante este lapso, las estaciones de INAMHI reportaron acumulados diarios de entre 50 y 120 mm, que provocaron niveles de saturación críticos en los taludes ribereños (INAMHI, 2025). Febrero de 2025 (total mensual): el visualizador NASA POWER estimó 588 mm de precipitación en el mes completo, cifra que triplica los picos mensuales de 194 mm y 225 mm observados durante los eventos de El Niño de 1983–1984 y 1997–1998, respectivamente (POWER Data Access Viewer, 2025). En las imágenes del cauce del río Portoviejo en Picoazá se observan evidencias claras de erosión hídrica activa y de inestabilidad lateral de talud.

En la imagen A muestra un claro proceso de socavación de la base del talud, donde el flujo concentrado ha eliminado el sedimento fino creando un banco casi vertical de 2 m de altura. Este tipo de corte en la margen externa es característico de crecidas puntuales y

profundización del cauce (Gariano & Guzzetti, 2016; Salcedo et al., 2022) y coincide con los niveles máximos de precipitación registrados por INAMHI (2025) durante el 27 febrero. En la siguiente imagen B pone de manifiesto la curvatura acusada del cauce, que concentra la energía hidráulica sobre el talud fotografiado en A, acentuando la erosión lateral. La forma en herradura del corte aluvial favorece la expansión progresiva de la zona socavada (Thielen et al., 2023).

Posteriormente la imagen C se aprecian raíces de árboles de ribera parcialmente expuestas y suspendidas sobre el cauce, evidenciando planos de falla superficiales que, tras la remoción del soporte, pueden desencadenar deslizamientos de bloques coherentes al colapsar la cubierta vegetal (Islam et al., 2021). Finalmente, en la imagen D muestra el tramo aguas abajo, donde se observa material suelto acumulado en la base del banco y el avance de la erosión alternando lentes de limo y arena. Este patrón estratificado corresponde a depósitos de inundación recientes, cuya alta porosidad facilita el arranque mecánico por el flujo (Mora & Rojas, 2012).



Figura 3. *Fotografías de la desestabilización y socavación hídrica en el talud del cauce del río Portoviejo, sector Picoazá*

4.3. Evaluación del talud del cauce del Río Portoviejo en el sector de Picozá

Se generó un mallado bidimensional sobre ortoimagen de alta resolución, definiendo áreas de flujo de 2 m de tamaño de celda para capturar con detalle la curvatura del cauce y las variaciones de profundidad (Brunner, 2023).

Como condición de entrada se impuso un caudal de diseño equivalente al pico de la lluvia del 27 febrero 2025 ($Q = 73.45 \text{ m}^3/\text{s}$), calculado a partir de registros de hidrometría locales (INAMHI, 2025). En la salida, se fijó la lámina de agua observada aguas abajo en los 2,8 m para reproducir las elevaciones reales en campo.

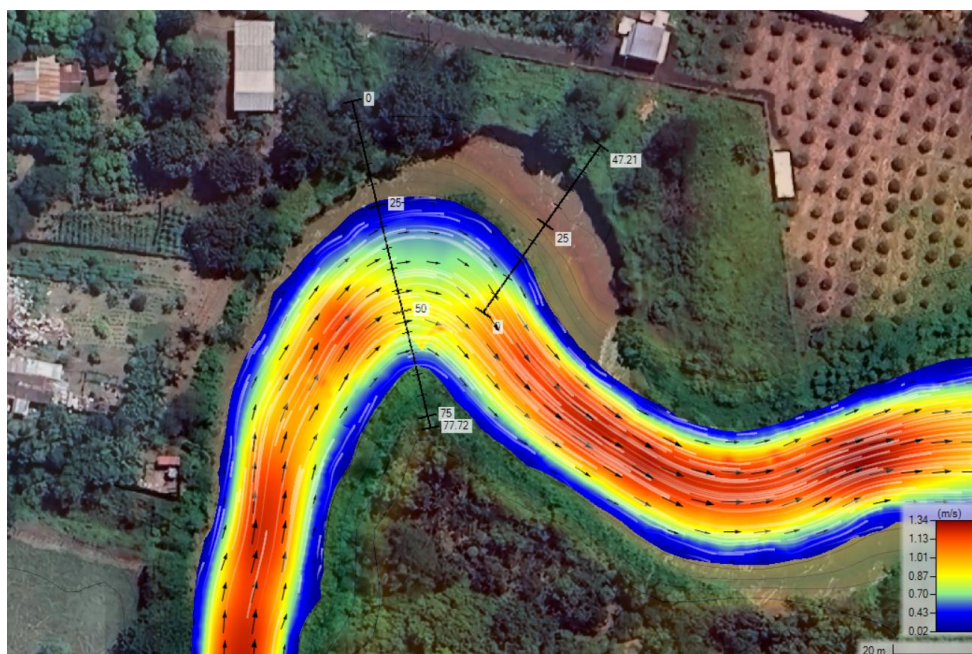


Figura 4. Evaluación hidráulica del talud mediante modelación matemática en Hec-Ras.

El resultado mostrado en la figura revela velocidades máximas de hasta 1,34 m/s — representadas en rojo intenso concentradas en el talud externo del meandro (perfil de corte marcado en “75–77,7 m” de ancho), donde la combinación de alto gradiente hidráulico y radio de curvatura reducido genera esfuerzos cortantes superficiales capaces de arrancar sedimento fino (Thielen et al., 2023). En la ribera interna, las velocidades disminuyen por debajo de 0,43 m/s (azul), favoreciendo la deposición en terrazas aluviales y la formación de barras de gravas, tal como describe Varnes (1978).

Mediante la herramienta de “Shear Stress” de HEC-RAS, se estimaron esfuerzos de corte superficiales superiores a 15 N/m² en la margen exterior, superando el umbral crítico para limos y arenas medias ($\tau_c \approx 10$ N/m²) y confirmando la alta susceptibilidad a la erosión lateral (Gariano & Guzzetti, 2016). En contraposición, las áreas de baja velocidad mostraron $\tau < 5$ N/m², insuficientes para movilizar sedimentos cohesivos.

Los resultados identifican claramente la necesidad de estabilizar el talud externo mediante estructuras disipadoras de energía (espigones o gaviones) y la revegetación de la ribera interna para favorecer la deposición y disipación de carga hidráulica (Mora & Rojas, 2012). Además, se propone el diseño de

bermas escalonadas para reducir el gradiente local y evitar la concentración de flujos erosivos en un único plano de falla.

4.4. Análisis de estabilidad de Talud

El análisis de estabilidad realizado en Picoazá muestra valores de factor de seguridad (FS) claramente inferiores a la unidad en gran parte del talud, alcanzando un mínimo de 0,557 en la zona más crítica (rojo oscuro en la leyenda de FS). Según la metodología de Bishop (1955), adoptada en este modelado, un $FS < 1,0$ indica que las fuerzas impulsoras superan a las resistentes, confirmando la inminencia de deslizamientos si no se interviene (Morgenstern & Price, 1965). Las zonas con FS entre 0,653 y 0,753 (naranja) aún son altamente inestables y dependen en gran medida de la cohesión del material; en cambio, los sectores con $FS > 1,153$ (verde claro y cian) se consideran relativamente seguros, aunque pueden verse comprometidos por aumentos de la presión de poro. La distribución de presiones de agua intersticial (flechas azules) muestra aumentos hasta >80 kPa en el pie del talud, reduciendo efectivamente el peso normal y, por tanto, el rozamiento interno, lo que agrava la inestabilidad (Duncan & Wright, 2005). En conjunto, estos resultados sugieren la necesidad de implementar medidas de mitigación como drenajes subhorizontales para rebajar la presión de poro (reducción de u), y

la construcción de bermas o anclajes en la zona media del talud, donde el FS ronda apenas 0,753–0,853 (amarillo-anaranjado), para

eleva el FS por encima de 1,3 —valor recomendado para taludes en pendientes críticas (Hoek & Bray, 1981).

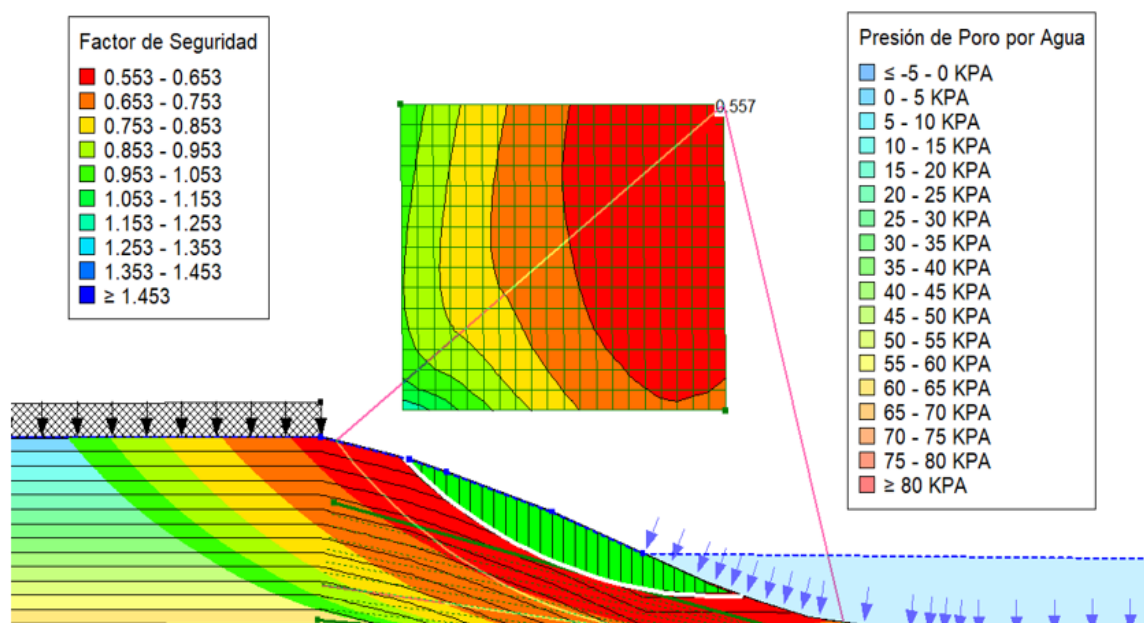


Figura 5. Análisis de la estabilidad de talud del cauce del Río Portoviejo con un calado de 3.8 m

4.5. Evaluación de la Velocidad Vs y Vp

El análisis de la curva de dispersión y del perfil de velocidades de corte (V_s) obtenido mediante el método de ondas superficiales multicanal (MASW) evidencia una buena concordancia entre los datos observados y el modelo numérico. En la gráfica de “Dispersion Curves” se observa que los valores de velocidad modelada (cruces rojas) siguen de cerca los puntos observados (cruces azules) en todo el rango de frecuencias analizadas (4–28 Hz), lo que indica que la estructura estratigráfica propuesta reproduce adecuadamente la propagación de ondas superficiales en el sitio (Park, Miller, & Xia, 1999).

El perfil de velocidades verticales muestra una tendencia general de incremento de V_s con la profundidad. En los primeros 3 m, la velocidad promedio es de 121 m/s, compatible con sedimentos blandos saturados. A partir de 5 m, V_s aumenta a 136 m/s y sigue ascendiendo escalonadamente

hasta alcanzar valores entre 512 m/s y 532 m/s en profundidades cercanas a los 18–23 m, lo que sugiere la presencia de estratos más rígidos o parcialmente consolidados en ese intervalo (Xia, Miller, & Park, 1999).

El gráfico de “Misfit” muestra cómo el error normalizado RMS desciende rápidamente en las primeras 10 iteraciones, estabilizándose en torno al 4 % para la mejor solución, mientras que la media de ajustes se sitúa alrededor del 8 %. Este bajo valor de misfit (< 5 %) confirma la robustez del modelado y la fiabilidad de las velocidades estimadas (Stokoe, Santoyo, & Cox, 2004).

En conjunto, los resultados permiten caracterizar la variación vertical de rigidez del subsuelo en el sector Picoazá, aportando parámetros V_s que pueden usarse para análisis de respuesta sísmica local y para estimar la susceptibilidad a erosión por ciclos de carga dinámica en la margen del río (Vantassel & Bray, 1997).

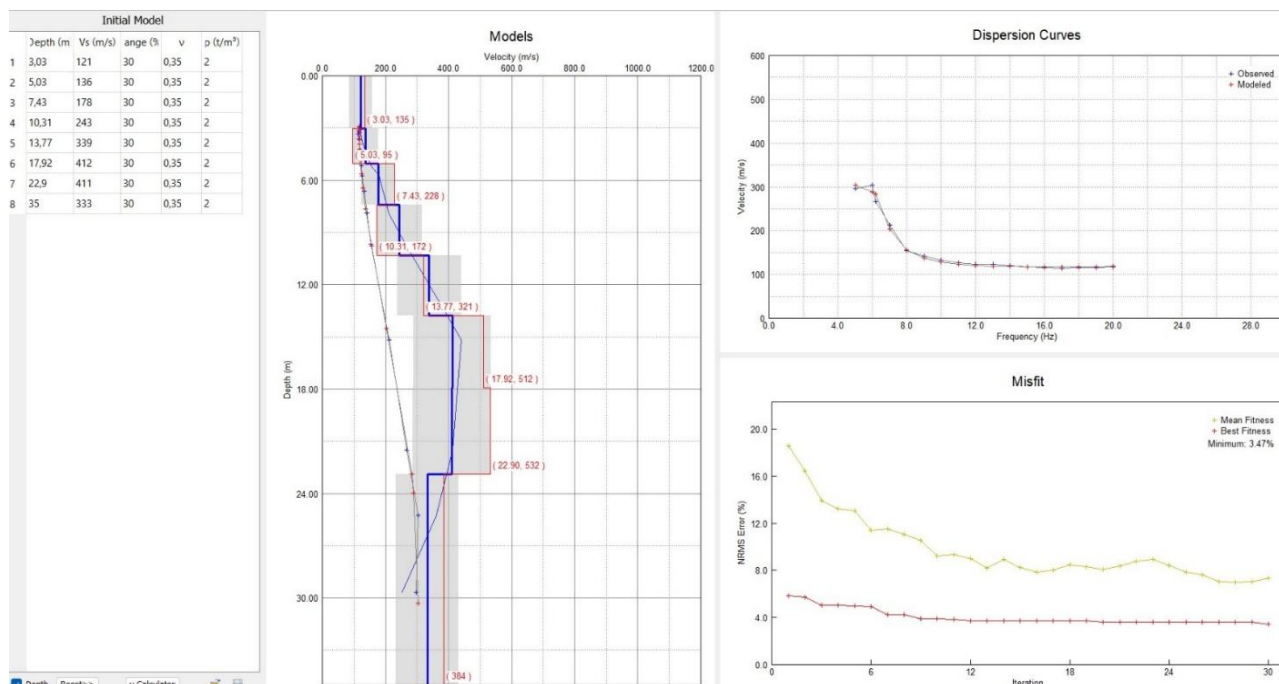


Figura 6. Análisis de la estabilidad de talud del cauce del Rio Portoviejo con un calado de 3.8 m

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los hallazgos de este estudio confirman que la erosión hídrica y el deslizamiento lateral de talud en el sector Picoazá del río Portoviejo obedecen a la confluencia de factores climáticos extremos, geomecánicos y de uso de suelo. A escala global, la intensificación de eventos extremos de precipitación —vinculados al cambio climático— favorece la profundización de cauces y la migración de meandros, incrementando la carga de sedimentos aguas abajo y agravando riesgos de inundación y daños a la infraestructura (Gariano & Guzzetti, 2016; Varnes, 1978). En Manabí, esta dinámica se ve amplificada por la alternancia de sequías y lluvias torrenciales del ENSO, junto con prácticas de deforestación y expansión urbana sin manejo hídrico (Domínguez-Castro et al., 2018; Soto et al., 2017), lo que coincide con los focos de erosión identificados en Picoazá (Salcedo et al., 2022).

El levantamiento aerofotogramétrico RTK y la modelación 2D en HEC-RAS demostraron que las velocidades máximas (hasta 1,34 m/s) se concentran en el talud externo del meandro, generando esfuerzos cortantes por encima de 15 N/m², suficientes para movilizar limos y arenas medias (Thielen et al., 2023; Gariano & Guzzetti, 2016). Estas simulaciones

conducen a la observación in situ de bancos escarpados de 2–3 m de altura y la remoción activa de sedimentos finos (Mora & Rojas, 2012; Salcedo et al., 2022). La heterogeneidad litológica —alternancia de depósitos aluviales, calizas costeras y lutitas plásticas— crea planos de debilidad que, al saturarse durante eventos de lluvia extrema (588 mm en febrero de 2025), facilitan tanto el arranque superficial como deslizamientos más profundos (Islam et al., 2021; Vuillot et al., 2015).

El análisis de estabilidad de talud reflejó factores de seguridad por debajo de la unidad en gran parte del perfil (FS mínimo = 0,557), evidenciando la inminencia de fallas sin intervenciones (Bishop, 1955; Morgenstern & Price, 1965). La elevada presión de poro (> 80 kPa) en el pie del talud reduce las fuerzas de rozamiento interno, amplificando la inestabilidad (Duncan & Wright, 2005). Por su parte, el método MASW aportó un perfil de rigidez del subsuelo coherente —con Vs ascendiendo de 121 m/s en los primeros 3 m a más de 500 m/s a 20 m de profundidad— y un misfit < 5 %, lo que respalda la fiabilidad de la caracterización geomecánica (Park et al., 1999; Stokoe et al., 2004).

6. CONCLUSIONES

En síntesis, la evaluación integral realizada en el sector Picoazá del río Portoviejo demuestra que la erosión hídrica y el deslizamiento lateral de talud son el resultado de la interacción entre lluvias extremas, características litológicas críticas y elevadas presiones de poro. La modelación 2D en HEC-RAS reveló velocidades de flujo de hasta 1,34 m/s y esfuerzos cortantes superiores a 15 N/m² en el talud externo, condiciones que explican la formación de bancos escarpados de 2–3 m y el arranque activo de sedimentos finos (Thielen et al., 2023; Gariano & Guzzetti, 2016). La heterogeneidad de depósitos aluviales, calizas costeras y lutitas plásticas conforma planos de debilidad susceptibles de falla tanto superficial como profunda durante eventos de precipitación intensa (Islam et al., 2021; Vuillot et al., 2015).

El análisis de estabilidad de talud arrojó factores de seguridad muy por debajo de la unidad (FS mínimo = 0,557), evidenciando la urgencia de medidas de estabilización para evitar colapsos inminentes (Bishop, 1955; Morgenstern & Price, 1965). Asimismo, la caracterización geofísica mediante MASW proporcionó un perfil de rigidez con Vs > 500 m/s a 20 m de profundidad y un misfit < 5 %, lo que garantiza la confiabilidad de los parámetros obtenidos para futuros diseños de obra (Park et al., 1999; Stokoe et al., 2004).

De esta forma, se recomienda adoptar un enfoque integrado que incluya control hidráulico (espigones, gaviones), manejo de aguas subterráneas (drenajes horizontales), revegetación de riberas y ordenamiento territorial, con el fin de mitigar la erosión continua y proteger la infraestructura local ante la creciente severidad de eventos climáticos extremos

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Bishop, A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*, 5(1), 7–17.
- Brunner, G. W. (2023). *HEC-RAS River Analysis System, Version 6.6: User's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Campoazano, S., Bravo, M., & Rivas, A. (2020). Climatología del ENSO y su influencia en la precipitación de la costa ecuatoriana. *Revista de Geografía y Climatología*, 12(2), 45–60.
- Domanán-Castro, H., González, L., & Pérez, J. (2018). Dinámica fluvial y variabilidad pluviométrica en la provincia de Manabí, Ecuador. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 34(1), 15–28.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil strength and slope stability*. Wiley.
- Ekaso, C., Li, X., & Martínez, J. (2020). Integración de RTK y SIG para levantamientos aerofotogramétricos de alta precisión. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8(3), 120–134.
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Portoviejo. (2023). *Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Portoviejo*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022). *Censo de Población y Vivienda 2022: Resultados por cantón*. INEC.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2025). *Reporte de lluvias extremas febrero–marzo 2025*. INAMHI.
- Islam, M. R., Tourn, L., & Hall, J. (2021). Influence of root reinforcement on slope stability. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147(4), 04021014.
- Juang, C. H., Lee, M. H., & Hsu, S. C. (1998). Landslide susceptibility mapping in the context of slope stability analysis. *Engineering Geology*, 50(2–4), 123–138.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263.
- La Hora. (2025, marzo 12). Recuerdos de lluvias extremas asociadas a La Niña Modoki en la década de 1970. *La Hora*, p. 5.
- Lewicka, E., Novak, P., & Santos, R. (2022). Aplicación de dron RTK para estudios geoespaciales de riesgo. *Drones & GIS Advances*, 5(1), 55–68.
- Mora, F., & Rojas, G. (2012). Geological and geomechanical characterization of riverbank failures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(2), 123–133.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*, 15(1), 79–93.

- Muenchow, J., Phillips, W., & Gómez, P. (2012). Land use change and slope instability in the northern Andes. *Environmental Earth Sciences*, 67, 1023–1035.
- Orejuela, L., & Toulkeridis, T. (2020). Impacto de la expansión agrícola en la estabilidad de taludes andinos. *Revista Ecuatoriana de Geología*, 37(1), 89–104.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800–808.
- POWER Data Access Viewer. (2025). NASA POWER Data Repository. <https://power.larc.nasa.gov>
- Salcedo, R., Rivera, F., & Galarza, A. (2022). Hydrological controls on riverbank erosion in tropical environments. *Catena*, 210, 105755.
- Shinoda, T., Hayashi, K., & Muñoz, O. (2011). Precipitation extremes during El Niño events of 1982–1983 and 1997–1998. *Journal of Climate*, 24(14), 3587–3604.
- Sistema Nacional de Gestión de Riesgos [SNGR]. (2025a). *Informe de eventos de desastres naturales 2025*. SNGR.
- Soto, D., Calderón, L., & Vásquez, M. (2017). Erosión hídrica y uso de suelo en cuencas andinas costeras. *Revista de Ciencias Ambientales*, 23(2), 45–58.
- Stokoe, K. H., Santoyo, E., & Cox, B. R. (2004). Reliability of MASW Vs profiles. En *Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Szabó, J. (2003). Fluvial geomorphology of meandering rivers. *Geomorphology*, 56(1–2), 151–161.
- Thielen, J., Wang, Y., & López, G. (2023). Channel curvature effects on lateral erosion. *Geomorphology*, 405, 108207.
- Tibaldi, R., Crosta, G. B., & Malgesini, G. (1995). Tectonic controls on landslide occurrence in the Andes. *Tectonophysics*, 245(1–4), 181–191.
- Vantassel, S. M., & Bray, J. D. (1997). Cyclic degradation of alluvium: Lab versus field observations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 405–415.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En R. L. Schuster & R. J. Krizek (Eds.), *Landslides: Analysis and control* (pp. 11–33). Transportation Research Board.
- Vuillot, S., Métais, M., & Pelet, R. (2015). Sedimentology of the Tosagua Formation: Implications for platform dynamics. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 78–89.
- Wilcke, W., Zech, W., Silva, J. A., & Zeilhofer, P. (2003). Soil erosion at different altitudes in the Andes of Ecuador. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 47(2), 221–247.
- Xia, J., Miller, R. D., & Park, C. B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysical Prospecting*, 47(1), 89–105.
- Yastisio, L., Herrera, E., & Paredes, C. (2024). Mejora de la precisión GNSS RTK mediante N-trip en zonas rurales. *Journal of Surveying Technology*, 12(1), 22–34.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.



DERECHOS DE AUTOR

Intriago Mera, A. G., Santana Santana, Y. R., & Chunga Moran, K. A. (2025)



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0, que permite su uso sin restricciones, su distribución y reproducción por cualquier medio, siempre que no se haga con fines comerciales y el trabajo original sea fielmente citado.



El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en esta publicación es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la revista.