

**OBSERVACIONES SOBRE EL DESLIZAMIENTO DEL 26 DE MARZO DE 2023 EN ALAUSÍ
(PROVINCIA DE CHIMBORAZO)**

Informe preparado por el Instituto Geofísico

Quito, 17 de abril de 2023

<i>Análisis del deslizamiento:</i>	<i>Francisco J. Vasconez</i>
<i>Análisis de señales sísmicas:</i>	<i>Daniel Pacheco, Cristian Viracucha, Michel Toro, Andrea Córdova, Francisco J. Vasconez</i>
<i>Geología, geomorfología, sismicidad:</i>	<i>Diana Saqui, Mario Ruiz</i>

Resumen

Los deslizamientos son fenómenos geológicos comunes que ocurren en regiones montañosas, son de gran peligro para la sociedad pudiendo causar pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales. Con este antecedente, el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) pone a disposición de las autoridades y comunidad sus conocimientos en Ciencias de la Tierra y herramientas tecnológicas con el fin de tener un aproximado del tamaño del deslizamiento, duración y el contexto geológico en el que sucedió.

El 26 de marzo del 2023 a las 21h13 (TL) al sur de la Provincia de Chimborazo, en el cantón Alausí ocurrió un deslizamiento que removilizó ~124,7 mil m³ de material en 50 segundos, con una velocidad que varía entre 9,4 y 54,7 km/h. El deslizamiento cubrió un área de 232 mil m² y tiene en la zona de depositación espesores de 6±4 metros y valores máximos de 19 metros en la zona adyacente al estadio. El deslizamiento del 26 de marzo NO fue provocado por un sismo.

El análisis morfo-tectónico muestra un fuerte control tectónico en los deslizamientos identificados en esta región. Esto sumado al tipo de litología y factores climáticos promueven la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa los cuales podrían verse incrementados en caso de que ocurran eventos sísmicos.

Objetivos

- a) Cuantificar el deslizamiento en términos de área y volumen utilizando modelos digitales de terreno (MDT) construidos y liberados por el IGM.
- b) Analizar los registros sísmicos que probablemente están asociados con la ocurrencia del deslizamiento utilizando las estaciones permanentes del IG-EPN ubicadas en el cantón Alausí.
- c) Identificar otros deslizamientos antiguos utilizando modelos digitales de terreno de alta resolución (MDT: 4 metros, SIGTIERRAS) en los cantones de: Alausí, Tixán, Sibambe y Guasuntos.
- d) Realizar una caracterización morfo-tectónica de las fallas y estructuras geológicas presentes en esta región; aspecto importante dado que un sismo puede desencadenar fenómenos de remoción en masa.

1. Cuantificación del deslizamiento ocurrido el 26 de marzo de 2023

El tamaño del deslizamiento fue determinado en términos de área y volumen. Para ello se utilizó las ortofotografías y modelos digitales de terreno (MDT) liberados por el IGM y disponibles en <https://www.geoportaligm.gob.ec/mapstore/#/geostory/shared/6957/section/8390e347-bf24-4490-a4ed-fc39ceff6010>.

El MDT pre-evento fue adquirido en el año 2019 y tiene una resolución de 3 metros, mientras que el MDT post-evento es de 0.5 metros de resolución. En consecuencia, un primer paso fue interpolar el MDT post-evento a 3 metros para comparar los dos MDT con igual resolución espacial. Además, se hicieron perfiles sobre los dos MDTs en zonas fuera del deslizamiento para ver las diferencias en altura y se estimó un error inicial de 3 ± 2 metros. Este valor corresponde al error original de los datos que posteriormente será incluido en los cálculos de volumen presentados a continuación.

El deslizamiento tiene un área de afectación aproximada de 232 mil m² (23,2 hectáreas), tiene una longitud máxima de 770 metros y un ancho máximo de 360 metros (Figura 1). La corona del deslizamiento está en la cota de 2586 msnm y la base del deslizamiento en 2307 msnm, dando un desnivel de 279 metros y una pendiente promedio de $\sim 20^\circ$.

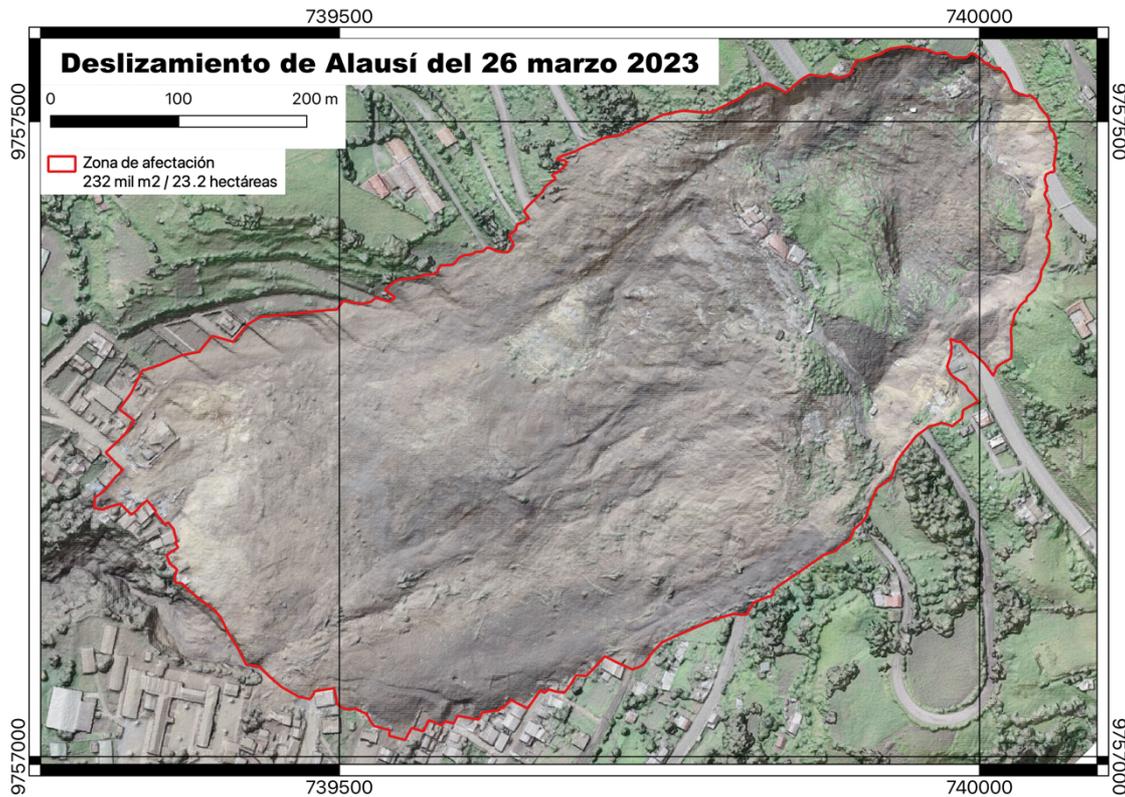


Figura 1. La zona afectada por el deslizamiento cubre aproximadamente 23,2 hectáreas de terreno.

Al restar los MDTs pre- y post-evento se obtuvo un raster que representa el cambio topográfico. En la Figura 2, el rango de colores entre verde y azul muestra los sitios en donde se perdió masa (cambios topográficos negativos), y la zona de colores entre amarillo y rojo muestra donde se ganó masa (cambios topográficos positivos). La zona de erosión o donde se perdió masa cubre un área de 66 mil m² y la zona de depositación o donde se ganó masa un área de 166 mil m². En consecuencia, en términos de área la zona de erosión representa el 28% y la zona de depositación el 72% del total de la zona afectada. La erosión en promedio fue de -17 ± 9 metros con un máximo de -36 metros, mientras que la depositación es de 6 ± 4 metros con valores máximos de 19 metros de altura. El volumen erosionado es de 124,7 mil m³ y el volumen del depósito es de 115 mil m³, lo que implica un error de 10 mil m³ en los cálculos.

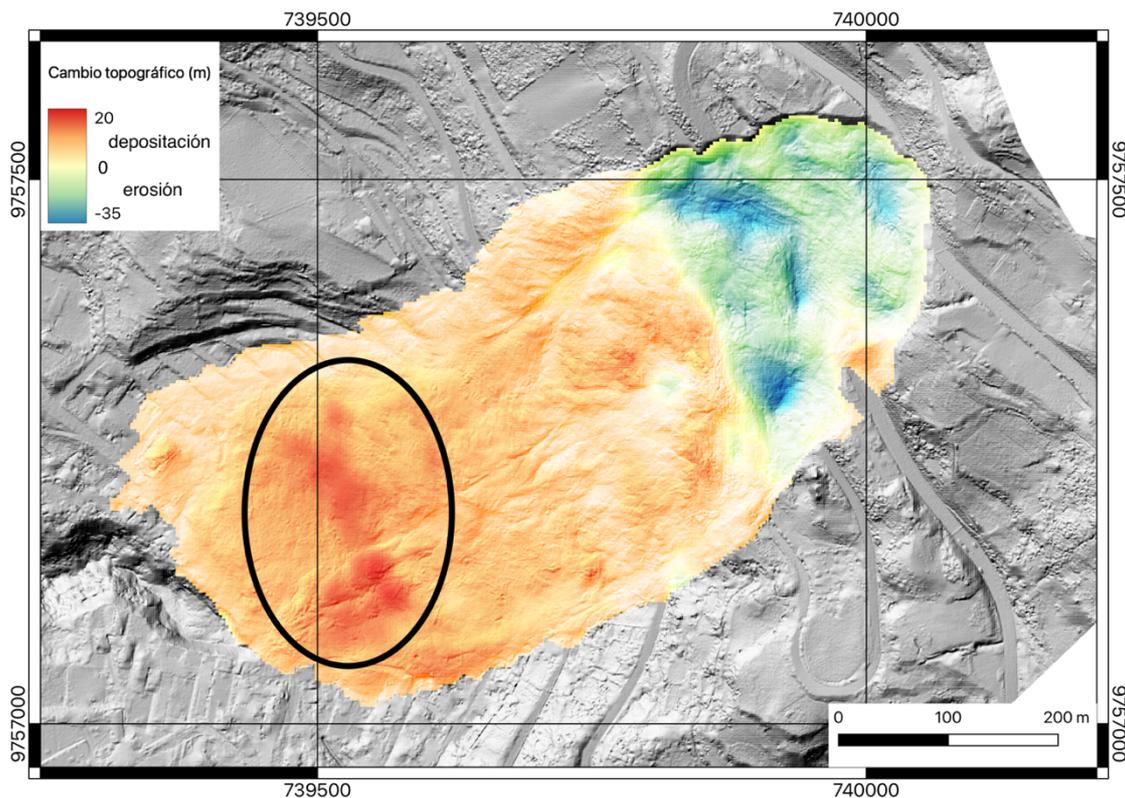


Figura 2. Cambios topográficos en la zona del deslizamiento. Los colores de verde a azul muestran pérdida de masa (erosión) y los colores de amarillo a rojo ganancia de masa (deposición).

La zona con mayor espesor del depósito está a 600 metros desde la corona del deslizamiento (óvalo en la Figura 2), con espesores que varían entre 10 y 19 metros. Esta zona corresponde al lugar en donde estaba ubicado el estadio y las casas aledañas (Figura 3).

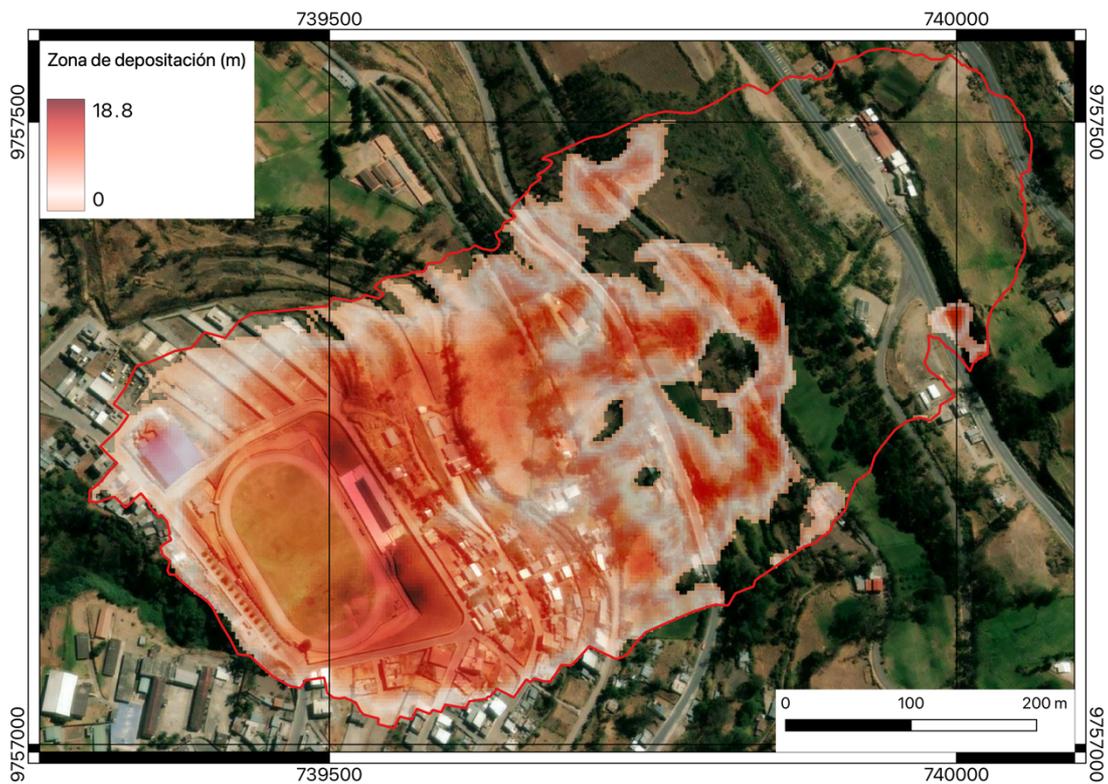


Figura 3. Zona de depositación. Las áreas en color rojo superan los 7 metros de espesor. Los mayores espesores se encuentran en la zona del estadio.

Adicionalmente, se realizaron varios perfiles para ver los cambios topográficos y los espesores en sitios de interés (Figuras 4 - 11).

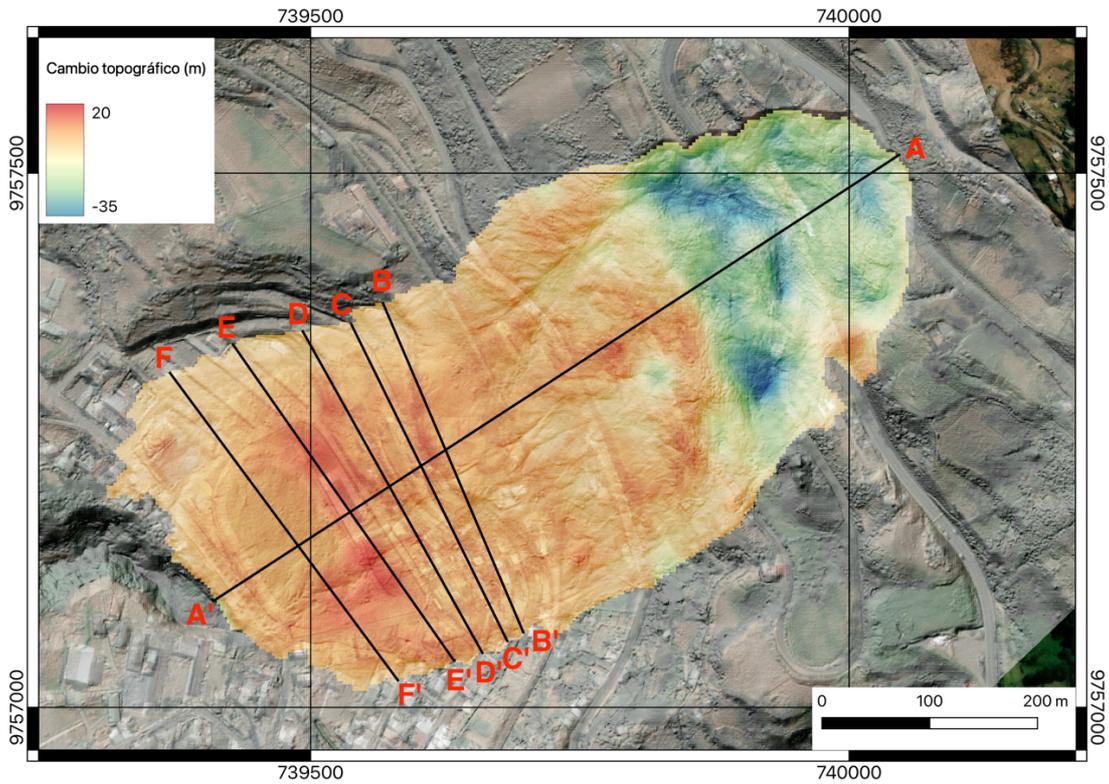


Figura 4. Ubicación de los perfiles realizados.

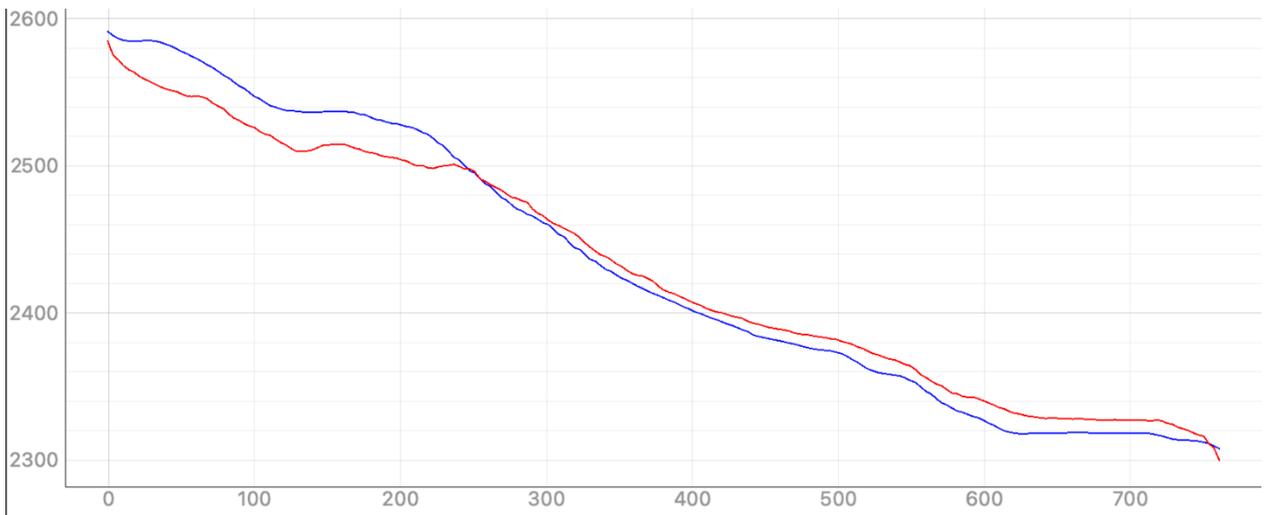


Figura 5. Perfil A-A': cambio topográfico (msnm).

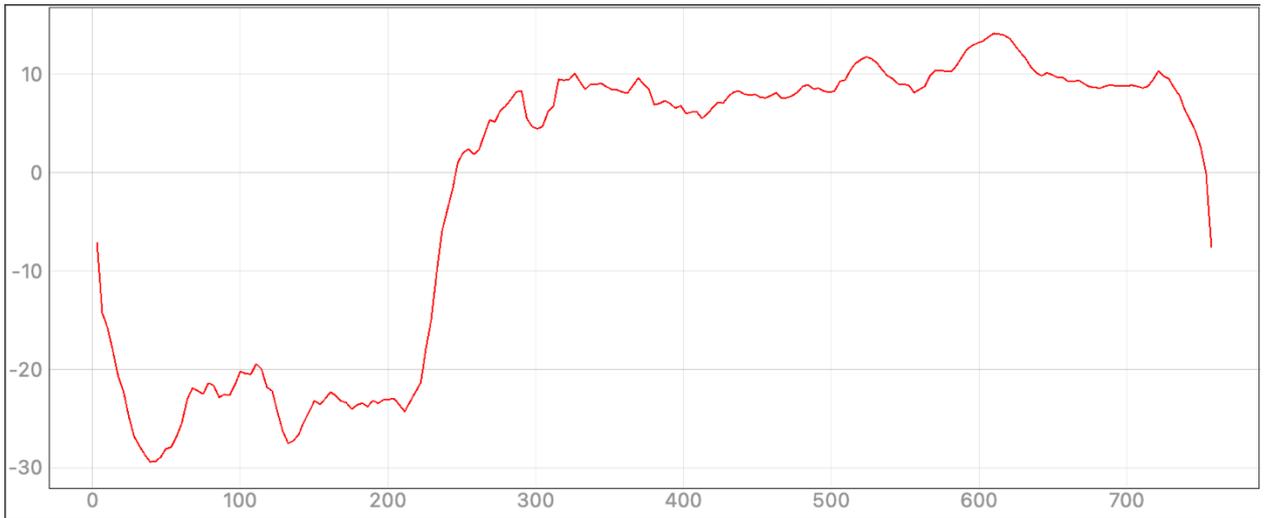


Figura 6. Perfil A-A': espesores (m).

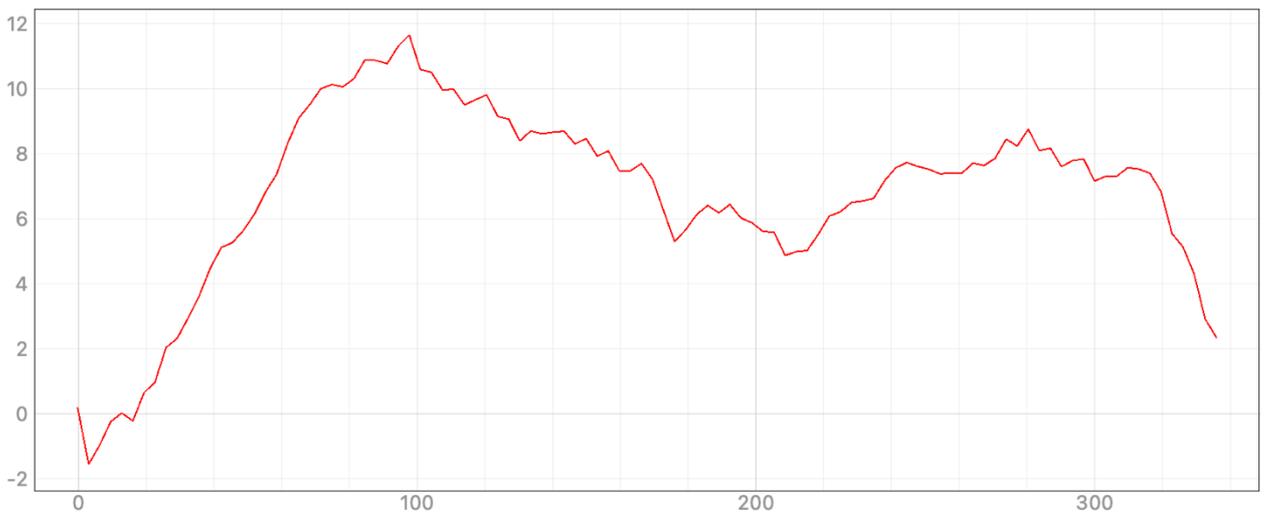


Figura 7. Perfil B-B': espesores (m).



Figura 8. Perfil C-C': espesores (m).

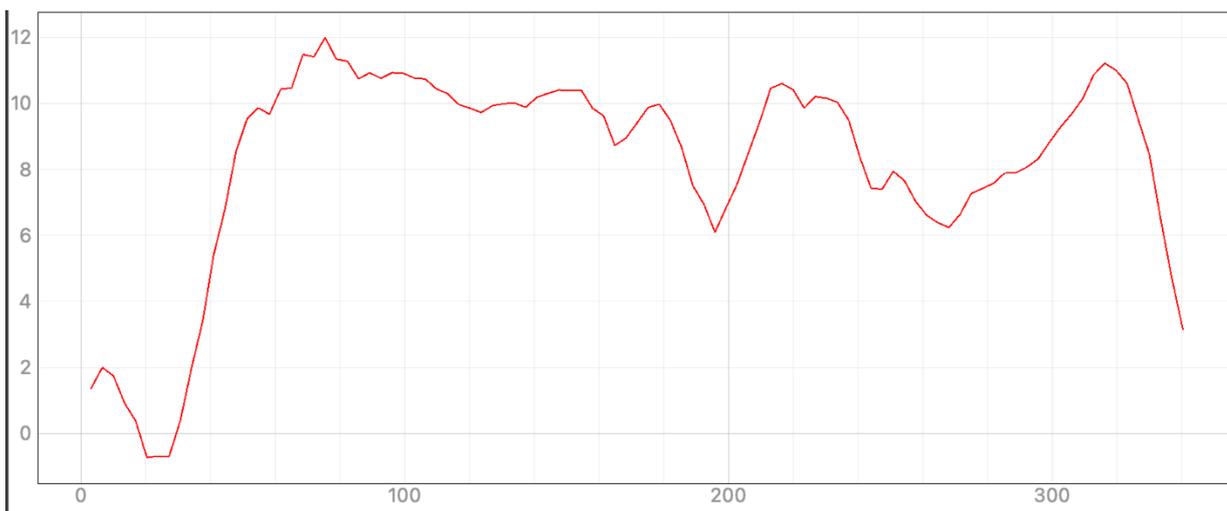


Figura 9. Perfil D-D': espesores (m).

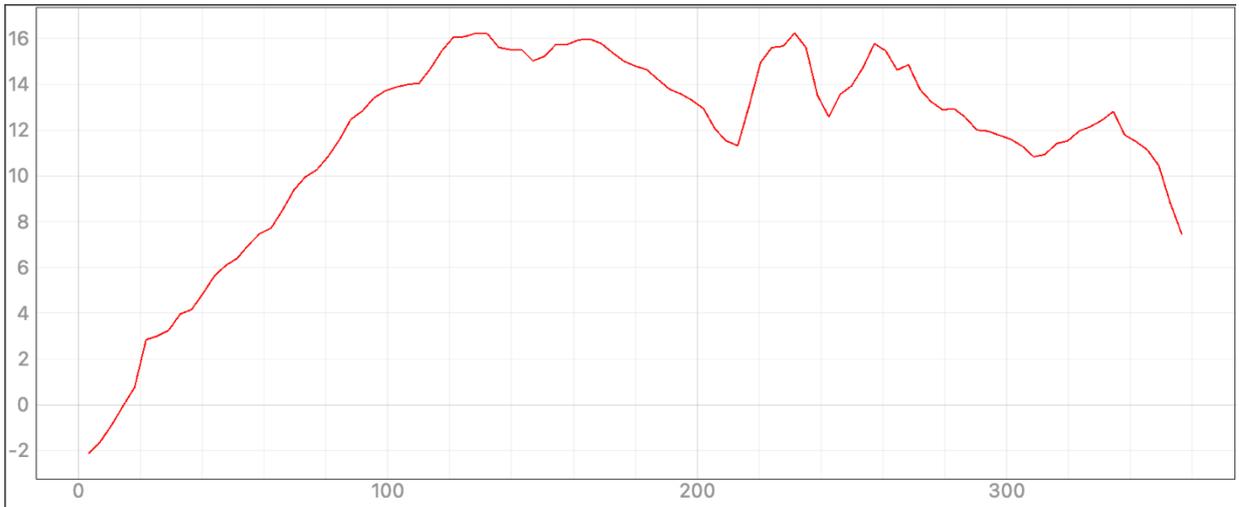


Figura 10. Perfil E-E': espesores (m).

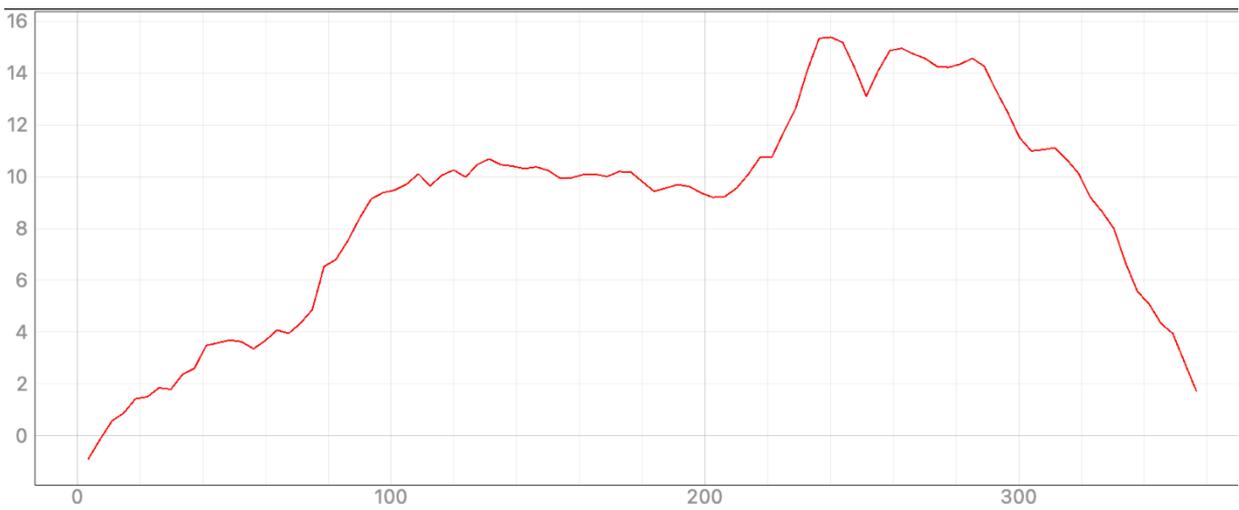


Figura 11. Perfil F-F': espesores (m).

2. Análisis de las señales sísmicas generadas durante el deslizamiento en Alausí

Dos estaciones sísmicas instaladas y mantenidas por el IG-EPN desde el 2012, como parte del proyecto SENESCYT Fortalecimiento del Instituto Geofísico, registraron la señal sísmica asociada al deslizamiento. El objetivo del presente análisis es cuantificar parámetros clave sobre la ocurrencia del deslizamiento que ayuden en estudios posteriores y/o futuros eventos.

2.1. Instrumentación

Se usaron las señales sísmicas registradas por las estaciones ALAH y ALAU (Figura 12) operadas y mantenidas por el IG-EPN.



Figura 12. Localización de las estaciones sísmicas de ALAH y ALAU (rectángulos rojos) y con respecto al deslizamiento de Alausí (círculo blanco).

La estación ALAH se instaló en mayo de 2012 en la parte posterior del Hospital Civil Básico de Alausí. ALAH se localiza a 1,6 km al sur-occidente de la zona del deslizamiento (Figura 12) y está equipada con un sensor acelerométrico de tres componentes que graba datos de forma continua a una tasa de 100 muestras cada segundo.

La estación ALAU fue instalada en Julio de 2012 en el sector conocido como Posada de las Nubes, ubicado 4 km al norte del centro de Alausí. ALAU se localiza 3,5 km al norte de la zona del deslizamiento (Figura 12) y está equipada con un sensor sísmico de banda ancha de alta sensibilidad con tres componentes. La estación graba datos de forma continua a una tasa de 100 muestras cada segundo.

Debido a la topografía de la zona, ninguna de las dos estaciones transmite datos en tiempo real al IG-EPN, por lo que se realizan visitas periódicas (1 o 2 veces por año) a las estaciones para dar mantenimiento y descargar datos.

El objetivo principal de ALAH y ALAU es registrar eventos sísmicos regionales y ayudar a la comprensión de los efectos de sitio presentes en la ciudad de Alausí. La ubicación y características de estas estaciones no las hacen óptimas para monitorizar deslizamientos, sin embargo, la proximidad de ALAH y ALAU a la zona del deslizamiento ocurrido el 26 de marzo de 2023 hace que un análisis de las señales sísmicas asociadas con este deslizamiento sea posible.

2.2. Análisis de las señales sísmicas

En una ventana de 100 segundos, tomada entre las 21:10:40 (TL) y las 21:12:20 (TL) del domingo 26 de marzo se observa la señal sísmica generada por el deslizamiento. Por las características de los sensores, ALAH graba en aceleración (cm/s/s) y ALAU en velocidad (cm/s) (Figura 13).

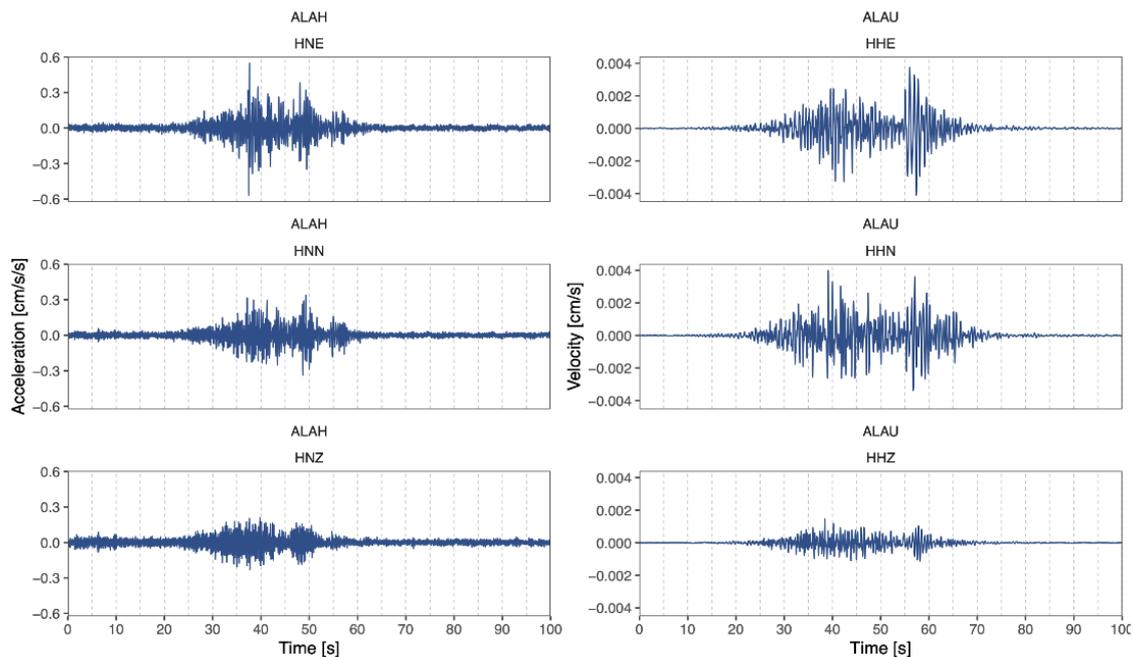


Figura 13. Señal sísmica asociada con el deslizamiento de Alausí registrada en las tres componentes de ALAH (acelerómetro, cm/s/s) y ALAU (velocímetro, cm/s).

Señales de baja frecuencia (< 1 Hz) se observan especialmente en ALAU, lo que es común en señales sísmicas generadas por deslizamientos.

Las amplitudes en las componentes horizontales (Este y Norte) de ALAH y ALAU son mayores a las amplitudes registradas en las componentes verticales (Figura 13).

El inicio de la señal en ambas estaciones es emergente, lo que dificulta estimar un tiempo de inicio y fin de la señal. Sin embargo, aproximadamente se observa el arribo de las primeras ondas generadas por el deslizamiento a las 21:12:37 (TL, 17 segundos en Figura 13), durando alrededor de 50 segundos.

Derivando las señales en velocidad de ALAU, obtenemos las señales en aceleración, haciéndola comparable con ALAH.

La aceleración máxima (PGA) registrada en ALAH se la observa en la componente Este-Oeste y corresponde a un valor de 0.57 cm/s/s, mientras que la aceleración máxima en ALAU se la

registra en la componente norte, con un valor de 0.07 cm/s/s. En la Figura 14 se presentan estas componentes junto con la señal filtrada en 5 rangos de frecuencia.

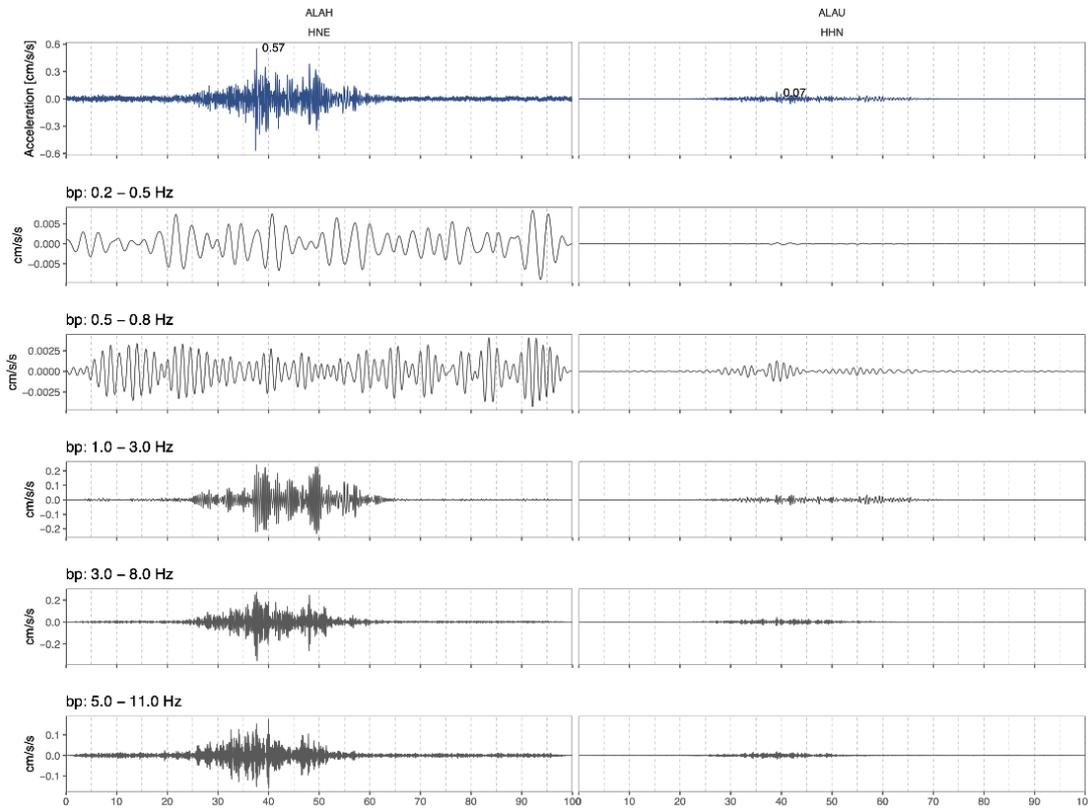


Figura 14. Señal asociada con el deslizamiento registrado en la estación de ALAH componente este (aceleración, cm/s/s) y en la componente norte de ALAU transformada a aceleración (cm/s/s). Las señales fueron filtradas en 5 rangos de frecuencia (0.2-0.5 Hz, 0.5-0.8 Hz, 1-3 Hz, 3-8 Hz y 5-11 Hz).

En esta comparación es fácil observar que el ruido instrumental en ALAH es mucho mayor que en ALAU, lo que hace que no se observan señales asociadas al deslizamiento para frecuencias menores a 1Hz. La señal del deslizamiento concentra la mayor cantidad de su energía en la banda de frecuencias entre 1-8 Hz, y señales de alta frecuencia, mayores a 5 Hz asociadas con el deslizamiento fueron registradas hasta en la estación de ALAU.

El contenido frecuencial y su distribución temporal se observa en los espectrogramas presentados en la Figura 15.

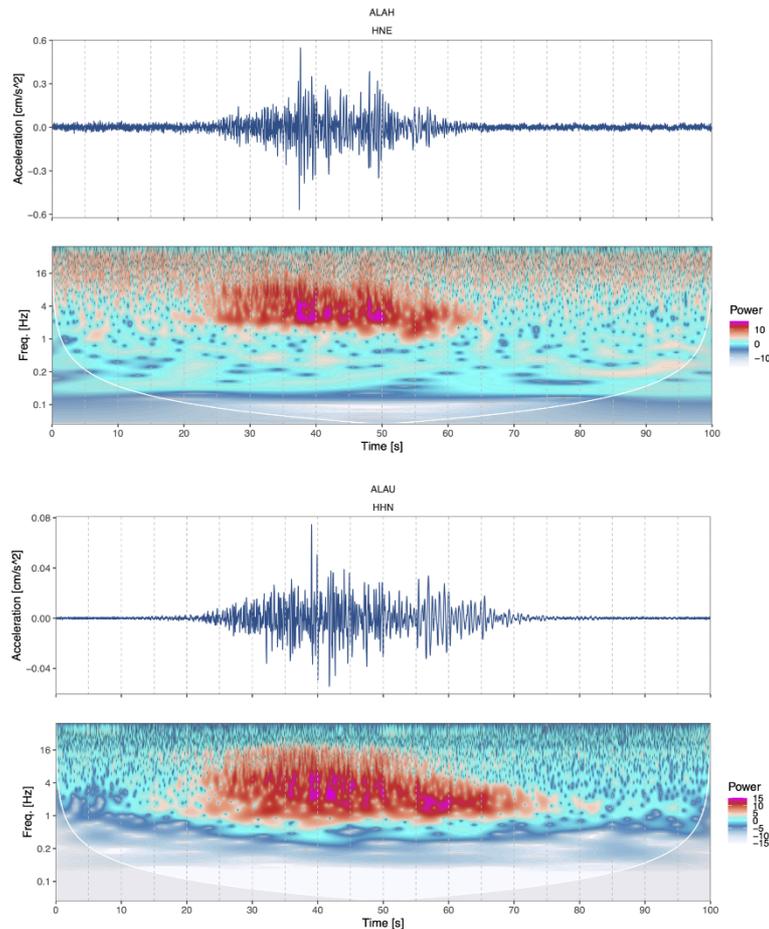


Figura 15. Espectrogramas para la componente Este de la estación de ALAH y la componente Norte de la estación de ALAU. Ambas componentes se encuentran en aceleración.

2.3. Resultados del análisis de las señales sísmicas

En este análisis se pudo identificar la señal asociada con el deslizamiento de Alausí. Se determinó una duración aproximada de 50 segundos. El PGA para este evento medido en la estación más cercana (ALAH) presenta un valor de 0.57 cm/s/s, y la mayor cantidad de la energía de la señal está en el rango de frecuencias entre 1 y 8 Hz.

Tomando una distancia mínima de desplazamiento de 130 m y una distancia máxima de desplazamiento de 760 m y una duración aproximada de 50 s observada en los registros sísmicos, se puede estimar una velocidad mínima de 9,4 km/h y una velocidad máxima de 54,7 km/h para este deslizamiento.

Este análisis es un primer paso para entender, en base a los registros sísmicos, la dinámica del deslizamiento y un análisis más a detalle deberá ser llevado a cabo en el futuro.

3. Geología Regional, Local, Geomorfología y Sismicidad

3.1. Ubicación

La zona de estudio de las estructuras tectónicas y mapeo de deslizamientos antiguos y recientes está localizada en la parte central del Ecuador, corresponde al área comprendida entre las latitudes 2.05° y 2.24° Sur y longitudes 78.71° a 78.93° Oeste, en el cual se encuentran los poblados de Tixán, Alausí, Sibambe y Guasuntos; entre las cordilleras Occidental y Real (Figura 16).

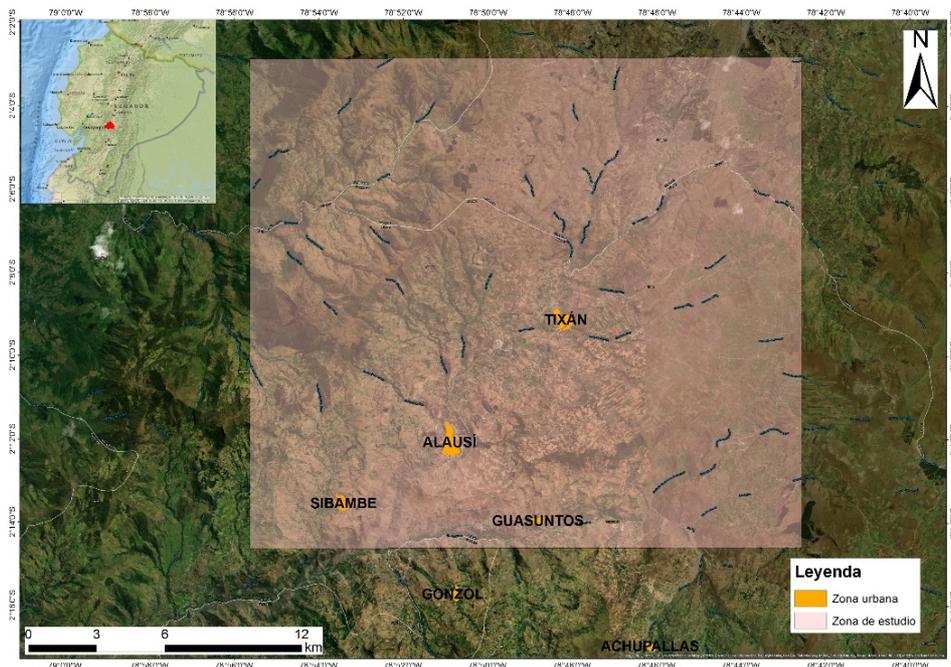


Figura 16. Ubicación del área de estudio, localizado entre las latitudes 2,05 – 2,24 Sur y longitudes 78,71 – 78,93 Oeste. Al interior de la zona se localizan las poblaciones de Tixán, Alausí, Sibambe y Guasuntos.

3.2. Geología Regional

El Ecuador forma parte de los Andes septentrionales, cuya geodinámica está gobernada principalmente por el proceso de subducción oblicua (83°N, Kendrick et al., 2003) entre la placa oceánica de Nazca (más densa), bajo la placa continental Sudamericana, a una velocidad de ~58 mm/año (Figura 17). El acoplamiento de las placas en la subducción genera la presencia de esfuerzos compresivos que actúan sobre la placa continental, proceso que induce a una zona de deformación interna, denominada *Sliver* Norandino (Nocquet et al., 2014), que se desplaza con respecto a la placa Sudamericana a través del Sistema de Fallas Puna Pallatanga Cosanga Chingual (SFPPCC) con dirección N65°E a una velocidad de 8.5 mm/a (Nocquet et al., 2014), este sistema entre Bucay y Riobamba, tiene un sistema paralelo que pasa por la zona de Guamote – Alausí (Alvarado et al., 2016), se estima que este absorbe deformación alrededor de 2 mm/año

y se caracteriza por pliegues, generados por fallas inversas que no son visibles en superficie, de dirección principalmente norte-sur. Además, se pueden observar algunas fallas transcurrentes, que acomodan la deformación en esta zona (Figura 17).

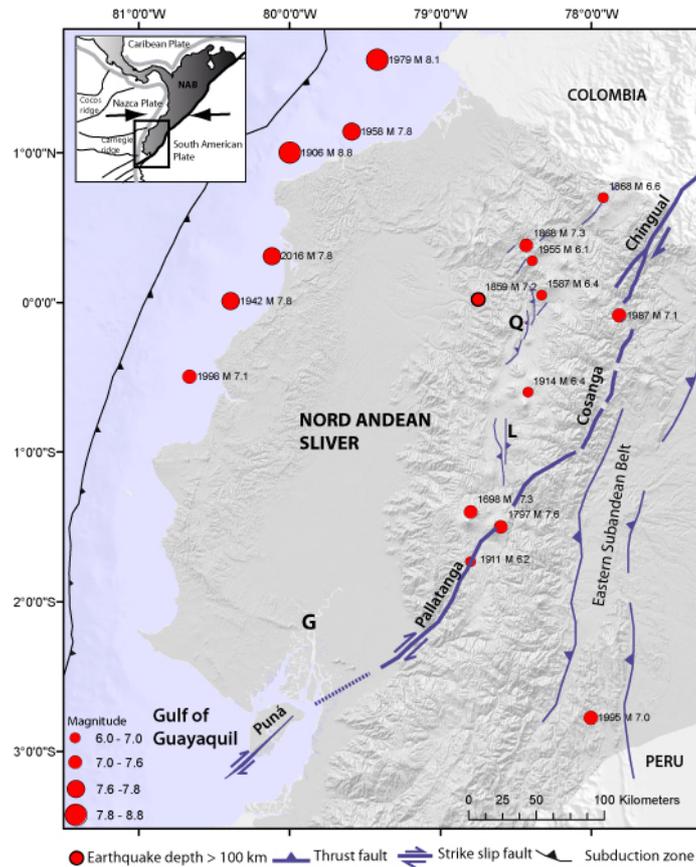


Figura 17. Deformación continental del Ecuador y sismos históricos más importantes con su respectiva magnitud. Q: Quito y el Sistema de Fallas de Quito. G: Guayaquil (Laurendeau et al., 2017).

3.3. Geología Local

El cantón Alausí está localizado sobre los complejos litotectónicos Chaucha y Guamote (Figura 18), conformado principalmente por terrenos de origen continental y oceánico, que corresponden a un bloque levantado del basamento de la zona de transición entre la Depresión Interandina y las cuencas intramontañosas (Pilatasig & Ibadango 2010, Valdiviezo, 2014). Los límites litotectónicos son dos zonas de fallamiento regional, al este con dirección norte-sur, la falla de Peltetec, y al oeste con dirección noreste a suroeste, el sistema de fallas de Pallatanga-Pujilí-Calacalí (Figura 18). Localmente se encuentra el sistema de fallas Guamote-Alausí y el sistema de fallas Huigra-Guamote al suroccidente de Huigra, con rumbo noreste-suroeste trazado a lo largo del río Chanchán (Valdiviezo, 2014).

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847

15

Página Web: www.igepn.edu.ec; Correo Electrónico: geofisico@igepn.edu.ec

Dirección: Campus Ing. José Rubén Orellana - Calle Ladrón de Guevara E11-253

Apartado Postal 2759 - Quito – Ecuador

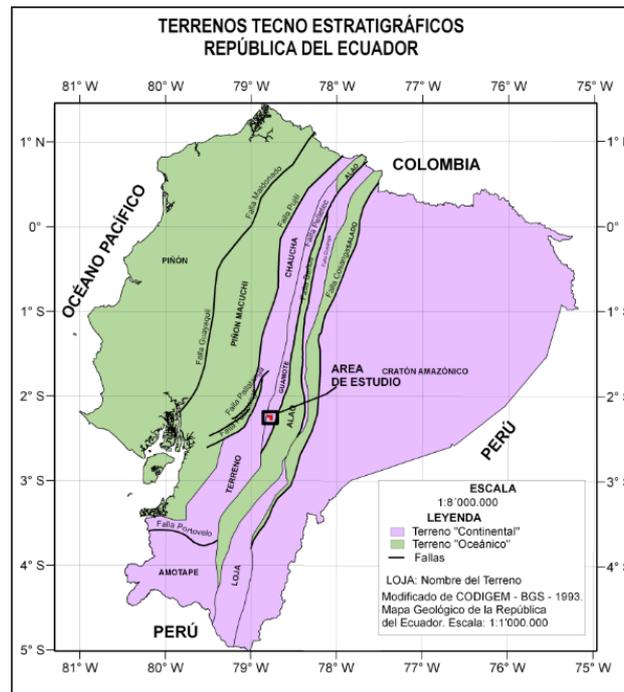


Figura 18. Terrenos Tectono-Estratigráficos del Ecuador (Modificado de CODIGEM-BGS-1993, Valdiviezo, 2014).

Litológicamente, el basamento está constituido por las unidades Alao, Paute, Piñón y Macuchi de edades Cretácico y Oligocénico, compuesto por rocas de basamento oceánico y arco insular, sobre las cuales, al interior de la cuenca se encuentra sobreyaciendo las formación Alausí de edad mio-pliocénica conformada por rocas volcánicas tipo andesitas, dacitas y riolíticas, siendo la que predomina en el área de interés, la formación Tarqui de edad Pleistocénica constituida por rocas piroclásticas ácidas y secuencias de tobas de composición dacítica y riolítica (Egüez et al., 1991, SigTierras, 2015, Navas, 2013).

Actualmente, se han identificado potentes depósitos de antiguos coluviales, flujos de lodo y deslizamientos localizados sobre la formación Alausí y Tarqui, además de una extensa cobertura de Cangahua.

Las características de los depósitos evidencian que la inestabilidad geomorfológica del área se mantiene probablemente desde el Pleistoceno (2 millones de años) y está relacionada con el tectonismo de la zona (Egüez et al., 1991), por lo que es necesario identificar las estructuras geológicas principales que probablemente estén gobernando la dinámica de la morfología del cantón Alausí, incluyendo fallas activas las cuales puedan desencadenar fenómenos de remoción en masa.

3.4. Sismicidad Histórica

El Ecuador tiene una alta actividad sísmica asociada al proceso de subducción y a fallas activas al interior del continente de menor profundidad y magnitud; pero igualmente destructivas. Históricamente, se han documentado varios sismos de este tipo, sobre los cuales se han realizado estudios acerca de: las potenciales fuentes -atribuidas a sistema de fallas corticales- y de las poblaciones que han sido afectadas.

El registro de sismos que han afectado a poblaciones localizadas en la provincia de Chimborazo de acuerdo con el catálogo del Centro Sismológico Internacional (ISC) son eventos con magnitud mayores a 3 desde el año 1964 (Figura 19). El primer evento registrado en este catálogo data del 25 de octubre de 1964, el cual causó daños en la zona rural de los alrededores del cantón Alausí. De acuerdo con el catálogo de CERESIS (Centro Regional de Sismología para América del Sur), dicho sismo tuvo una intensidad de 7 (Intensidad de Mercalli modificada, MM). Luego, entre los años 1964 y 1994, en un período de 30 años, se contabilizan 9 sismos, es decir, un sismo por cada 3 años. Posteriormente, desde la década de los años 90's se instaló la Red Sísmica Nacional, lo que mejoró la capacidad de detección de la sismicidad del país. Con la red, se registraron al menos 31 sismos hasta el año 2019, aproximadamente 1,2 sismos por año. El incremento de la sismicidad está asociado a un incremento de la capacidad de detección de eventos a partir de la instalación de la red sísmica del Instituto Geofísico y no a un incremento de la actividad sísmica en esta región.

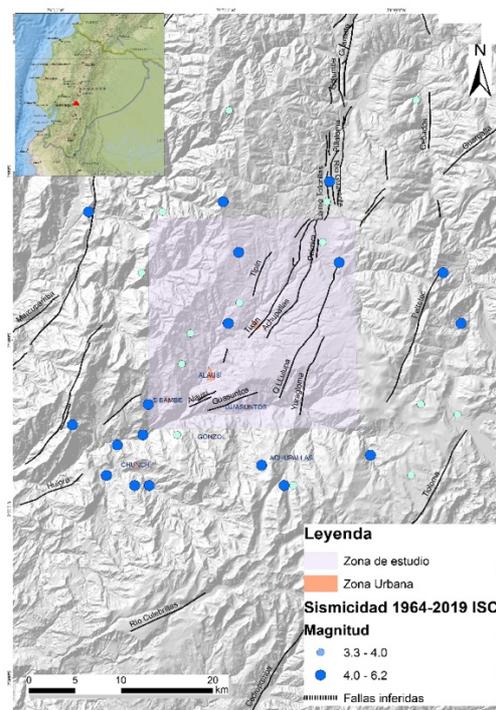


Figura 19. Mapa de sismicidad de la región en la cual están los poblados de Alausí, Guasuntos y Tixán, de acuerdo con catálogo ISC (International Seismological Center) entre los años 1964 a 2019, entre las latitudes 2,3 – 2,0 Sur y longitudes 78,95 – 78,55 Oeste.

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847

17

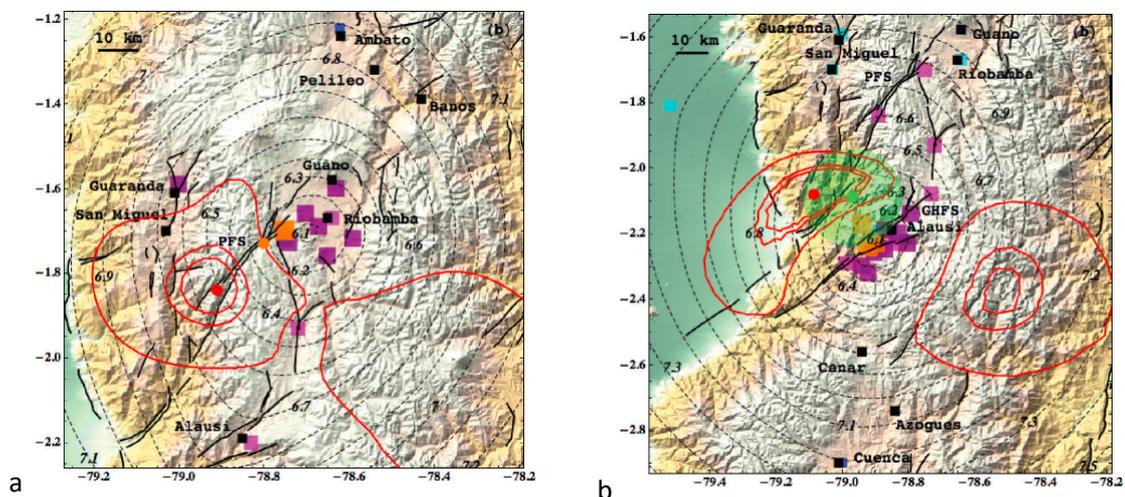
Página Web: www.igepn.edu.ec; Correo Electrónico: geofisico@igepn.edu.ec

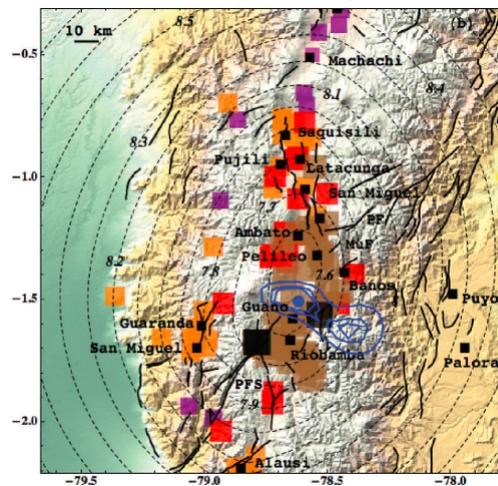
Dirección: Campus Ing. José Rubén Orellana - Calle Ladrón de Guevara E11-253

Apartado Postal 2759 - Quito – Ecuador

La profundidad focal de la tercera parte de los sismos analizados (14 de 40 eventos) es menor o igual a 37 km, por lo tanto, su origen probablemente es cortical, y pueden estar asociadas a las fallas identificadas en el área de estudio (Figura 16 rectángulo lila). Estos sismos tuvieron una magnitud menor a 4,8 Mb, es decir, son relativamente pequeños. Por otro lado, se identificó sismos (26 de los 40 eventos del catálogo) con profundidades mayores a 46 km, por lo que se localizan debajo de la frontera frágil-dúctil, en la interfaz o dentro de la placa que se subduce. El sismo de mayor magnitud registrado sucedió el 7 de septiembre de 2018, con una profundidad de 105 km y una magnitud de 6,2 Mw. Esta sismicidad de profundidad intermedia es una fuente de sismos que por lo general es subestimada en los cálculos de peligro sísmico, pero que debe ser considerada como un posible disparador de deslizamientos.

Adicionalmente, Beauval et al. (2010) realizó estudios sobre las posibles fuentes de sismos históricos y el registro de sismos que han afectado a poblaciones localizadas en la provincia de Chimborazo; estos son en orden cronológico: el sismo de Riobamba de 1797, uno de los eventos con mayor magnitud de origen cortical en el país, con magnitud estimada Mw 7,6 en base a la distribución de las intensidades sísmicas (Figura 20c). La posible fuente de este terremoto es el sistema de fallas de Pallatanga; este sismo desencadenó varios deslizamientos y represamiento de ríos. Luego, el sismo de Cajabamba del año 1911, cuya probable fuente es el sistema de fallas transcurrente de Pallatanga, con magnitud estimada de 6,2 Mw (Figura 20a), y el evento sísmico de Pepinales del año 1961, con centro de intensidad cercano al poblado de Alausí, cuya posible fuente se atribuye al sistema de fallas de Guamote-Huigra, con una magnitud estimada de 6,5 Mw (Figura 20b).





C

Figura 20. a) Localización del epicentro del Sismo de Cajabamba de 1911, PFS: Sistema de fallas de Pallatanga, los contornos rojos representan los intervalos de confianza de 50, 67 y 95% b) Localización del epicentro del sismo de Pepinales de 1961, GHFS: Sistema de Fallas Guamote-Huigra, los contornos rojos representan los intervalos de confianza de 50, 67 y 95% c) Localización del epicentro sismo de Riobamba de 1797, PFS: Sistema de Fallas de Pallatanga, los contornos azules representan los intervalos de confianza de 50, 67 y 95%. Estimación de la localización con base en datos de intensidad en escala MSK-64 (X-IX-VIII-VII) (tomado de Beauval et al, 2010).

Finalmente, la sismicidad y las fallas desarrolladas en la región evidencian el desarrollo de eventos sísmicos que pueden afectar a las poblaciones urbanas como Alausí, Tixán, Guasuntos, entre otras, así como también desencadenar deslizamientos, represamiento de ríos y daños a nivel estructural en las viviendas y edificaciones de las zonas urbanas y rurales de la provincia de Chimborazo.

3.5. Análisis geomorfológico para la identificación de alineamientos y fallas

El análisis geomorfológico se llevó a cabo mediante un modelo digital de terreno de alta resolución de 4 metros (SigTierras, 2015), sobre el cual se identificaron las siguientes características.

En general, el paisaje está ligado a una fuerte cantidad de pendientes abruptas, con grandes vertientes y drenaje de tipo dendrítico, que denotan formas erosivas y planicies fluviales en los límites de los drenajes principales. Los ríos principales con dirección nor-este a sur-oeste son: al Oeste el río Chanchán y al Este el río Guasuntos, los cuales constituyen los ríos principales donde desembocan varias quebradas (Figura 21).

Estructuralmente, se ha identificado varios lineamientos paralelos con dirección predominante nor-este a sur-oeste con longitudes entre 10 a 15 km, y una menor cantidad de lineamientos con dirección norte-sur con longitudes de ~5 km. Las principales estructuras están ubicadas cerca al poblado de Tixán, donde se evidencia el pliegue de Tixán con dirección norte-este a

suroeste, en el perfil AB se puede observar la morfología del pliegue, el cual está controlado por la falla de Tixán y la falla de Achullapas cuya cinemática está asociada a fallas de tipo inverso. Al occidente del área se observa la falla Llulupa con una cinemática de tipo transcurrente sinistral e inversa, debido al desplazamiento evidenciado por el drenaje que corta la falla (drenaje: línea verde, cinemática de la falla: flechas en azul, Figura 21), localizado entre la falla de Yuragloma y Llulupa, y al occidente de esta falla se identifica un pliegue, el cual estaría asociado al componente inverso de la falla, estos pliegues y fallas son parte del sistema de Guamote – Alausí. Cabe señalar que todas estas estructuras han sido cartografiadas en base a un MDT, es necesario un trabajo a detalle en campo, el cual permita confirmar dichas estructuras y su cinemática.

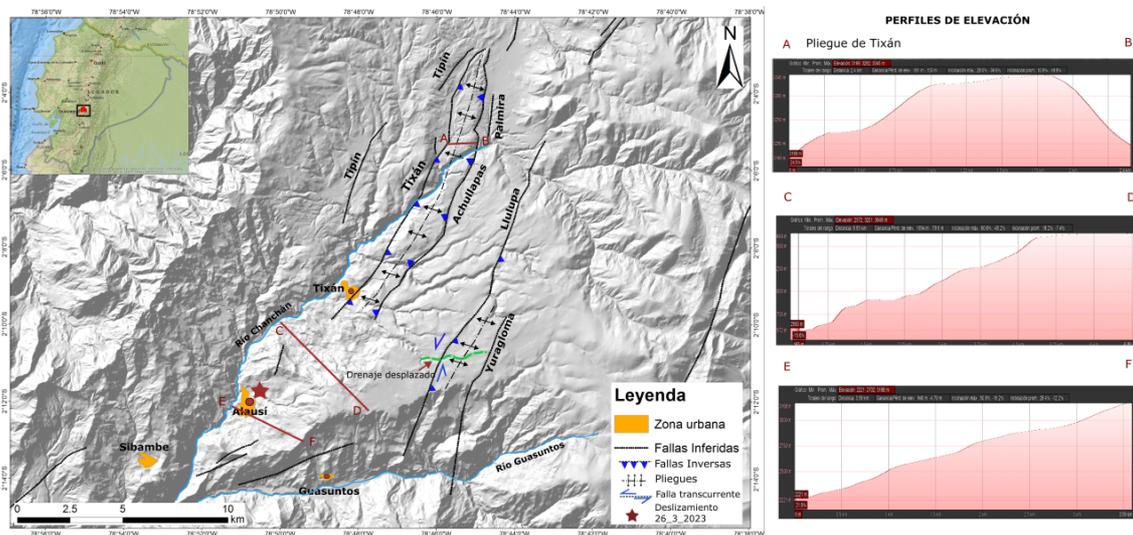


Figura 21. Mapa de estructuras principales del cantón Alausí. En negro los lineamientos que indican las fallas de la región, en azul la cinemática de las fallas, entre las fallas de Llulupa y Yuragloma, se localiza un drenaje desliza en líneas rojas (AB-CD-EF) los perfiles de elevación.

3.6. Análisis geomorfológico para la identificación de deslizamientos antiguos y recientes

Cercano a la zona urbana del cantón Alausí y Guasuntos, se identifican varias coronas de deslizamientos (líneas en naranja, Figura 22) actuales y antiguas. Se identificaron ~35 deslizamientos localizados principalmente en la zona de Tixán y Alausí, la mayoría tiene una dirección de depositación hacia el oeste. Además, se identificaron otros deslizamientos ubicados cerca al poblado de Guasuntos.

El deslizamiento que ocurrió el pasado 26 de marzo de 2023 se localiza en el poblado de Alausí (línea roja, Figura 22), es uno de los varios deslizamientos que se observan en la región, los cuales se alinean con dirección hacia el suroeste. El área afectada por este evento en relación con otros deslizamientos mapeados es menos extensa, por lo tanto, es importante la identificación y

monitoreo de otros deslizamientos que se podrían activar y afectar a las poblaciones que se asientan y están cerca de los mismos.

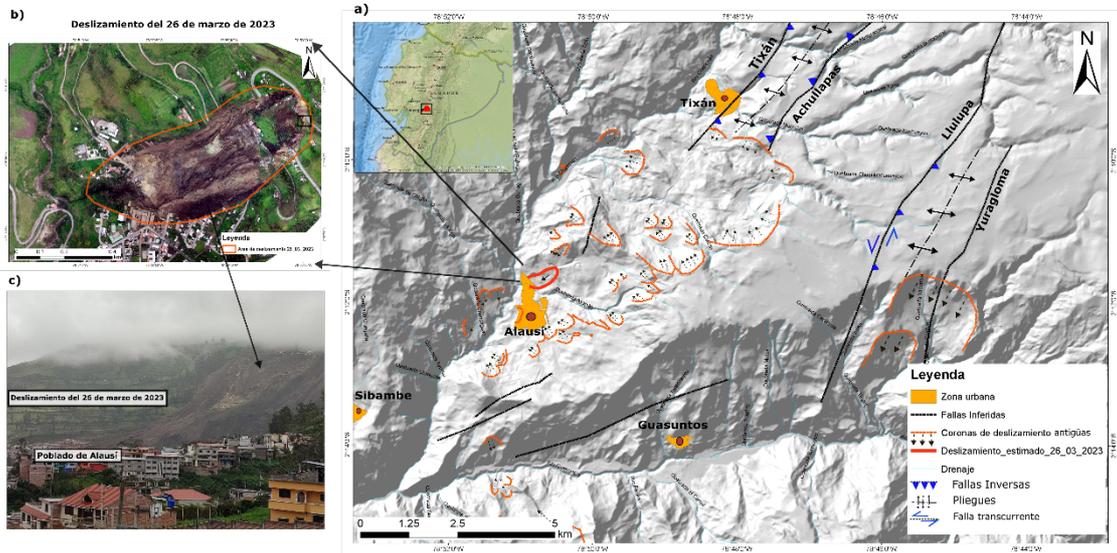


Figura 22. a) Mapa de estructuras (fallas y pliegues) y deslizamientos del cantón Alausí (DEM: 4 M, SigTierras), b) Ortofoto del deslizamiento del 26 de marzo de 2023 (Fuente: IGM, 2023), c) Fotografía del lugar de deslizamiento que está afectando a viviendas de la población de Alausí.

3.7. Resultados del análisis geomorfológico

El control tectónico observado sobre la región se evidencia mediante la morfología del paisaje y es probable que influya en la cantidad y dinámica de los deslizamientos identificados. Sumado a esto, el tipo de litología, la meteorización y erosión del material, influenciado por las fuertes pendientes y factores meteorológicos principalmente lluvias, inciden en la alta presencia de fenómenos de remoción de masa en la zona. Adicionalmente, existe la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico, siendo este un factor ponderante para el desencadenamiento de una mayor cantidad de deslizamientos.

CONCLUSIONES

El deslizamiento de Alausí que ocurrió el 26 de marzo de 2023 no fue causado por un evento sísmico. El deslizamiento removió $\sim 124,7$ mil m^3 de material y cubrió un área de 23,2 mil m^2 , enterrando casas con material de 6 ± 4 metros de altura y máximos de 19 metros, especialmente en la zona del estadio. El material se deslizó en 50 segundos con velocidades que varían entre 9 y 54 km/h. El análisis morfotectónico permitió identificar lineamientos y estructuras geológicas en esta región, así también se identificó una importante cantidad de deslizamientos antiguos

que tienen un control tectónico y que en el futuro pudieran afectar en los poblados de Alausí, Tixán, Sibambe y Guasuntos, especialmente si son desencadenados por un evento sísmico.

REFERENCIAS

- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., Jallard, E., Mothes, P., Jarrín, P., Segovia, M., Rolandone, F., Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613-1633.
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*, 181(3), 1613-1633.
- Catálogo de Sismicidad, Sismo de 1964. Fuente: <https://www.ceresis.org/catalogo.php?id=86>. Recuperado: 14 de abril de 2023.
- Catálogo de Sismicidad del Centro Sismológico Internacional. Fuente: <http://www.isc.ac.uk/>. Recuperado: 14 de abril de 2023.
- Egüez, A., Dugas, F. R. A. N. C. O. I. S., & Bonhomme, M. (1992). Las unidades Huigra y Alausí en la evolución geodinámica del Valle Interandino del Ecuador. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 3(1), 47-55.
- Instituto Geográfico Militar (2023), Ortofoto del deslizamiento del 26 de marzo de 2023 en el cantón Alausí, Fuente: <https://www.geoportaligm.gob.ec/mapstore/#/geostory/shared/6957/section/38d04762-835e-4fe7-8a27-2c7196764e7f>, Recuperado: 5 de abril de 2023.
- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley Jr, R., Brooks, B., Vargas, R. B., Lauria, E., & Fortes, L. P. S. (2003). The Nazca–South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 125-131.
- Laurendeau, A., Courboux, F., Bonilla, L. F., Alvarado, A., Naya, V. A., Guéguen, P., ... & Ruiz, M. (2017). Low-Frequency Seismic Amplification in the Quito Basin (Ecuador) Revealed by Accelerometric Recordings of the RENAC Network. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(6), 2917-2926.
- Nocquet, J. M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrín, P., ... & Yepes, H. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287-291.
- Sigtierras, 2015. "Levantamiento de cartografía temática escala 1:25.000, lote 2", Memoria técnica, proyecto: cantón Alausí.
- Vaca, S., Vallée, M., Nocquet, J. M., Battaglia, J., & Régnier, M. (2018). Recurrent slow slip events as a barrier to the northward rupture propagation of the 2016 Pedernales earthquake (Central Ecuador). *Tectonophysics*, 724, 80-92.
- Valdiviezo Ajila, A. A. (2014). Propuesta Metodológica Para la Aplicación Del Slope Mass Rating Continuo (smr-c) Mediante Un Sistema de Información Geográfica En Los Taludes de la Vía la Moya Achupallas (Bachelor's thesis).