Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra
Guatemalan Journal of Earth Sciences
Vol. 13, Núm. 1, 2026 | ISSN impreso 2410-728X | ISSN electrónico 3106-0056
https://www.geologiausac.com

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Análisis geométrico del deslizamiento Las Cuevas, Chitul, Santa Cruz Verapaz, Guatemala

Geometric analysis of the Las Cuevas landslide, Chitul, Santa Cruz Verapaz, Guatemala

Sergio David Morán Ical[1,*], Luis Alfredo Godoy Morales[1], Andrea María Reiche de la Cruz[1] y Brayan Vásquez[2]

[1] Carrera de Geología, Centro Universitario del Norte (CUNOR), Universidad de San Carlos de Guatemala, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.
[2] Servicios de Ingeniería Vásquez, Tactic, Alta Verapaz, Guatemala.
*** Autor de correspondencia:** katmical@profesor.usac.edu.gt
Correos: luis.godoy@profesor.usac.edu.gt; andrea.reiche@profesor.usac.edu.gt; vasmil06@gmail.com
ORCID: Sergio David Morán Ical https://orcid.org/0009-0006-0898-4683; Luis Alfredo Godoy Morales https://orcid.org/0009-0004-8554-1734; Andrea María Reiche de la Cruz https://orcid.org/0009-0009-1751-7122

Recibido: 11/09/2026 | **Aceptado:** 12/10/2026 | **Publicado:** 27/11/2026

Resumen

El 16 de agosto de 2024 ocurrió un deslizamiento traslacional en el talud de la carretera CA-14, km 199+810 (Las Cuevas, Chitul, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz), que obstruyó parcialmente la vía hacia Cobán y dañó el cableado eléctrico, dejando sin energía a Santa Cruz y San Cristóbal Verapaz por varios días. Para evaluar los factores geológicos y antrópicos involucrados se realizó cartografía geológico-estructural, un levantamiento topográfico con dron y un análisis cinemático con proyección estereográfica (Dips). La superficie de deslizamiento corresponde a una falla (F1) de orientación media 44/305 (buzamiento/dirección de buzamiento) en caliza cristalina, limitada al sur por una segunda falla (F2) de orientación 70/175, y subparalela al talud de corte (N35E/70NW; 60°–70°), con $\psi_f > \psi_p$ (60°–70° > 40°–45°). El volumen desplazado, calculado a partir del relieve pre-deslizamiento, fue de ±39 500 m^3 (≈79 000–103 000 t, con densidades de 2.0–2.6 t/m^3). El análisis indica una rotura plana, sin que pueda descartarse una componente en cuña asociada a F2; se recomienda calcular el ángulo de fricción (φ) para verificar la condición $\psi > \varphi$. La orientación desfavorable del plano estructural, la disolución kárstica y el corte al pie de la ladera por obras de ampliación, junto con ≈75–98 mm de lluvia estimada (reanálisis) en la semana previa, crearon las condiciones de inestabilidad. Se recomienda el monitoreo, el drenaje y el rediseño del talud en tramos con geometría similar.

Palabras clave: análisis cinemático; CA-14; deslizamiento traslacional; geología estructural; karst; proyección estereográfica

Abstract

On August 16, 2024, a translational landslide occurred on a cut slope of highway CA-14, km 199+810 (Las Cuevas, Chitul, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala). It partially blocked the road to Cobán and damaged power lines, leaving Santa Cruz and San Cristóbal Verapaz

without electricity for several days. To assess the geological and anthropogenic factors, we combined structural-geological mapping, a drone-based topographic survey and kinematic analysis using stereographic projection (Dips). The sliding surface is a fault (F1) with a mean orientation of 44/305 (dip/dip direction) in crystalline limestone, bounded to the south by a second fault (F2) oriented 70/175, and subparallel to the cut slope (N35E/70NW; 60°–70°), with a slope face angle greater than the plane dip (60°–70° vs. 40°–45°). The displaced volume, estimated from the pre-failure surface, was ±39 500 m^3 (≈79 000–103 000 t, for densities of 2.0–2.6 t/m^3). The analysis indicates planar failure, although a wedge component associated with F2 cannot be ruled out; calculating the friction angle (φ) is recommended to verify the planar-failure condition ($\psi_p > \varphi$). An unfavorable structural plane, karst dissolution and toe excavation for road widening, together with ≈75–98 mm of estimated rainfall (reanalysis) in the preceding week, created the unstable conditions. Monitoring, drainage and slope redesign are recommended for similar road sections.

Keywords: CA-14; karst; kinematic analysis; stereographic projection; structural geology; translational landslide

Cómo citar este artículo (APA 7.ª ed.)

Morán Ical, S. D., Godoy Morales, L. A., Reiche de la Cruz, A. M., & Vásquez, B. (2026). Análisis geométrico del deslizamiento Las Cuevas, Chitul, Santa Cruz Verapaz, Guatemala. *Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra, 13*(1), 51–66.

1. Introducción

El análisis de las estructuras geológicas requiere comprender e interpretar la disposición espacial de estructuras planares (planos) y lineales (principalmente intersección de planos). La visualización en 3D de ellas es fundamental, utilizando para ello las redes estereográficas. Su aplicación en la ingeniería geológica es importante debido a que todo macizo rocoso contiene patrones de discontinuidades de orientaciones variada, por lo que el reto, es reconocimiento de las tendencias y geometrías que pueden indicar algún tipo de rotura o deslizamiento.

El caso analizado corresponde a un deslizamiento de tipo traslacional ocurrido el 16 de agosto de 2024, sobre la CA-14, kilómetro 199 ruta las Verapaces (Figura 1). Esto ocasionó el cierre temporal de la vía de acceso principal a la ciudad de Cobán y corte de energía eléctrica. Suelo y rocas fueron los dos tipos de materiales desplazados. El suelo residual de textura arcillosa es el resultado del intemperismo de rocas calcáreas, principalmente calizas de textura cristalina, que presentan un relativo grado de disolución a lo largo de los planos de discontinuidad.

El interés fue evaluar cuales fueron las variables geológicas o condiciones antrópicas que permitieron la ocurrencia de este movimiento de ladera. Con ello, enfatizar la necesidad de que en

estos tipos de trabajos es fundamental considerar la geología.

Figura 1
Ubicación del sitio de estudio dentro de su contexto local y regional



2. Fundamentos teóricos

En geología estructural, la orientación de planos puede expresarse mediante diferentes sistemas de notación (Ragan, 2009):

Rumbo y buzamiento: el rumbo es la línea horizontal contenida en el plano y el buzamiento es el ángulo de inclinación medido perpendicularmente al rumbo (ejemplo: N45E/75NW).

Dirección de buzamiento (*dip direction*): alternativa que utiliza directamente la dirección hacia donde se inclina el plano, acompañada del ángulo de buzamiento (ejemplo: 45/N305).

Regla de la mano derecha: convención que establece que el rumbo debe expresarse de forma que, al situar la mano derecha sobre la línea de rumbo, los dedos apunten hacia el lado del buzamiento.

Estos sistemas permiten describir con precisión la posición espacial de estructuras geológicas y son fundamentales para la elaboración de mapas y cortes geológicos. En este documento, los datos se presentan principalmente con la notación de dirección de buzamiento (*dip direction*) y, en algunos casos, con rumbo y buzamiento.

3. Metodología

3.1 Análisis de la información existente

Se ha tenido acceso tanto de información digital (imágenes), reportes de redes sociales, revisión bibliográfica sobre la temática de aspectos técnico-científico sobre las principales variables a considerar en el análisis de dicho movimiento de ladera. Así mismo se realizó una búsqueda de información meteorológica o sísmica de la región.

Ante la falta de registros diarios de estación disponibles para el periodo, la precipitación de los días previos al evento (9 al 16 de agosto de 2024) se estimó a partir de productos de modelos y reanálisis: la API histórica de Open-Meteo (modelos combinados y ERA5) y NASA POWER (MERRA-2 corregido), para los puntos de Chitul, Cobán, San Cristóbal Verapaz y Tactic (Hersbach et al., 2020; NASA Langley Research Center, s. f.; Zippenfenig, 2024).

3.2 Visita de campo

Dos actividades fueron llevadas a cabo: la descripción litológica y estructural del sitio y el levantamiento topográfico con *Dron DJI Mavic 4 pro-modelo L3A*, resultando de ello además de la imagen aérea del sitio, curvas de nivel con equidistancias de 0.20 cm. La visita de campo se centró en la realización de un recorrido a lo largo de la ruta principal con el objeto de recopilar información litológica y estructural del tramo de carretera que fue afectado por dicho problema.

3.3 Gabinete

Incluyó el tratamiento estadístico de los datos de estructuras geológicas, geometría del talud de corte, características de la superficie de deslizamiento etc. Este tiempo, permitió la elaboración del mapa topográfico, geológico y de pendiente.

4. Resultados

4.1 Geología del sitio

Dentro del contexto donde ocurrió el movimiento de ladera, se encuentran expuestas rocas sedimentarias principalmente calcáreas. Se han reconocido dos niveles de caliza cristalina, diferencias radican en su contenido mineral, siendo de dolomita (ClzO), calcita (ClzC), o contenido de lodo calcáreo. Así mismo, se identifica una unidad de caliza brechosa (Br), cubierta por un sustrato pedológico, compuesto por dos niveles de suelo, uno residual de caliza y otro de ceniza volcánica intemperizada (TQs). Como procesos secundarios se cita la presencia de planos de discontinuidad (fallas y diaclasas) y disolución a diferentes escalas. Las cavidades de disolución algunos de pocos milímetros de dimensión, hasta la presencia espacios cavernosos de varios metros. En la Tabla 1 se resumen las características principales del deslizamiento.

Se identificaron varios rasgos estructurales (lineamientos) algunas con tendencia norte-sur y otras noreste. Trazas de fallas medidas en campo, corresponden a estas tendencias, donde sus buzamientos van desde los 50° a 75°. Muchos de estas estructuras, ponen en contacto a las distintas unidades de roca.

Con respecto a las cavernas, se han documentadas por lo menos tres, resaltando dos. Una conocida como "Las cuevas de Chitul", y otra recién expuesta ubicada al norte (Figura 3).

Tabla 1

Ficha técnica del deslizamiento Las Cuevas

Fecha	16 de agosto de 2024
Ubicación	CA-14, km 199+810, Las Cuevas, Chitul, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz
Tipo	Deslizamiento traslacional: rotura plana, sin descartar una componente en cuña
Planos de falla	F1: 44/N305 (movimiento N285); F2: 70/N175 (límite sur)
Talud de corte	N35E/70NW (60°–70°)
Plano expuesto	154 m (base) y 35 m (parte alta) de longitud; 52.6 m de ancho
Volumen	±39 500 m³ (≈79 000–103 000 t)
Lluvia previa	80–84 mm del 9 al 15 de agosto (estimada)
Impactos	Obstrucción parcial de la CA-14; Santa Cruz y San Cristóbal Verapaz sin energía eléctrica por varios días

Nota. Elaborada con datos de este artículo; lluvia estimada (Figura 6).

Figura 2

Sustrato rocoso y suelo residual de roca calcárea, desplazado por movimiento de ladera

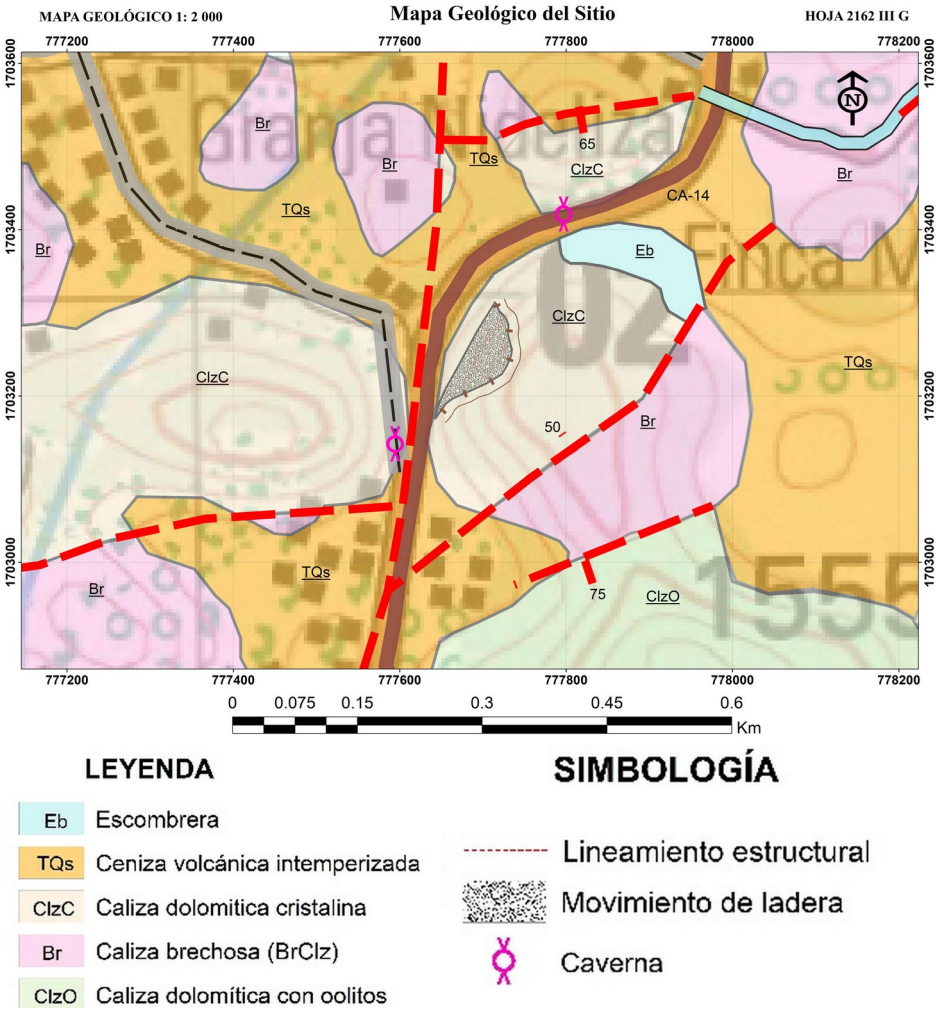


4.2 Características del plano de deslizamiento

El plano de falla que es igual al plano de movimiento o deslizamiento posee aproximadamente una longitud en su parte baja y alta de 154 m y 35 m respectivamente, y un ancho de exposición de 52.6 m. La forma de la superficie de deslizamiento, se clasifica como ondulada a irregular, cambiando de dirección desde su extremo sur a norte, considerando un plano medio de 44/N305 (F1), según su dirección de inclinación (buzamiento).

Figura 3

Mapa geológico del sitio de estudio

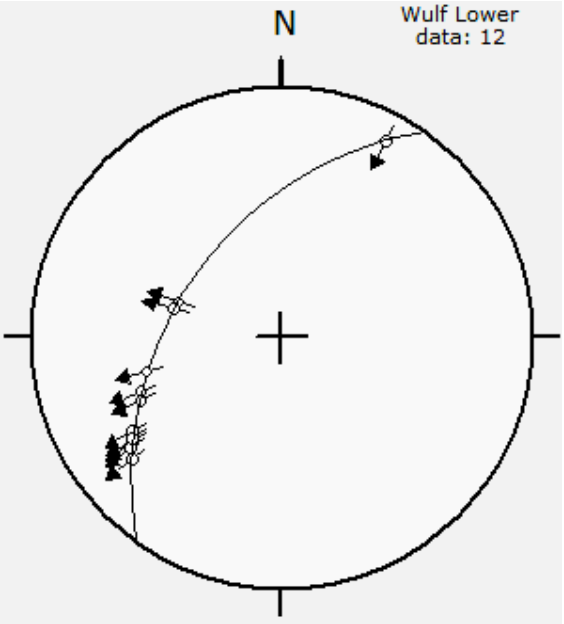


Nota. El orden relativo de las unidades se refiere a la base geológica del cuadrángulo Cobán, actualizada a escala 1:50 000.

Se categorizó como una falla geológica, debido a la existencia de estrías de movimiento sobre la superficie de discontinuidad. Estos pueden ser catalogados en tres grupos según el ángulo de cabeceo (pitch): un grupo entre 20°- 50° W, el otro entre 75°- 80° W y el de 10° N el menos evidente (Figura 3). Según los indicadores de sentido de movimiento (tectoglifos: mineralización en escalón y fracturas Riedel), muestran un sentido de movimiento de tipo sinistral inverso, normal sinistral a normal pura, sugiriendo fases de reactivación (Figura 4).

Figura 4

Red estereográfica construida para mostrar los diferentes vectores y sentido de movimiento del bloque desplazado en campo



Se encontraron sobre el plano de falla costras de travertino de 7 cm de espesor, indicando circulación de agua a lo largo del plano de discontinuidad.

4.3 Tipo de movimiento de ladera

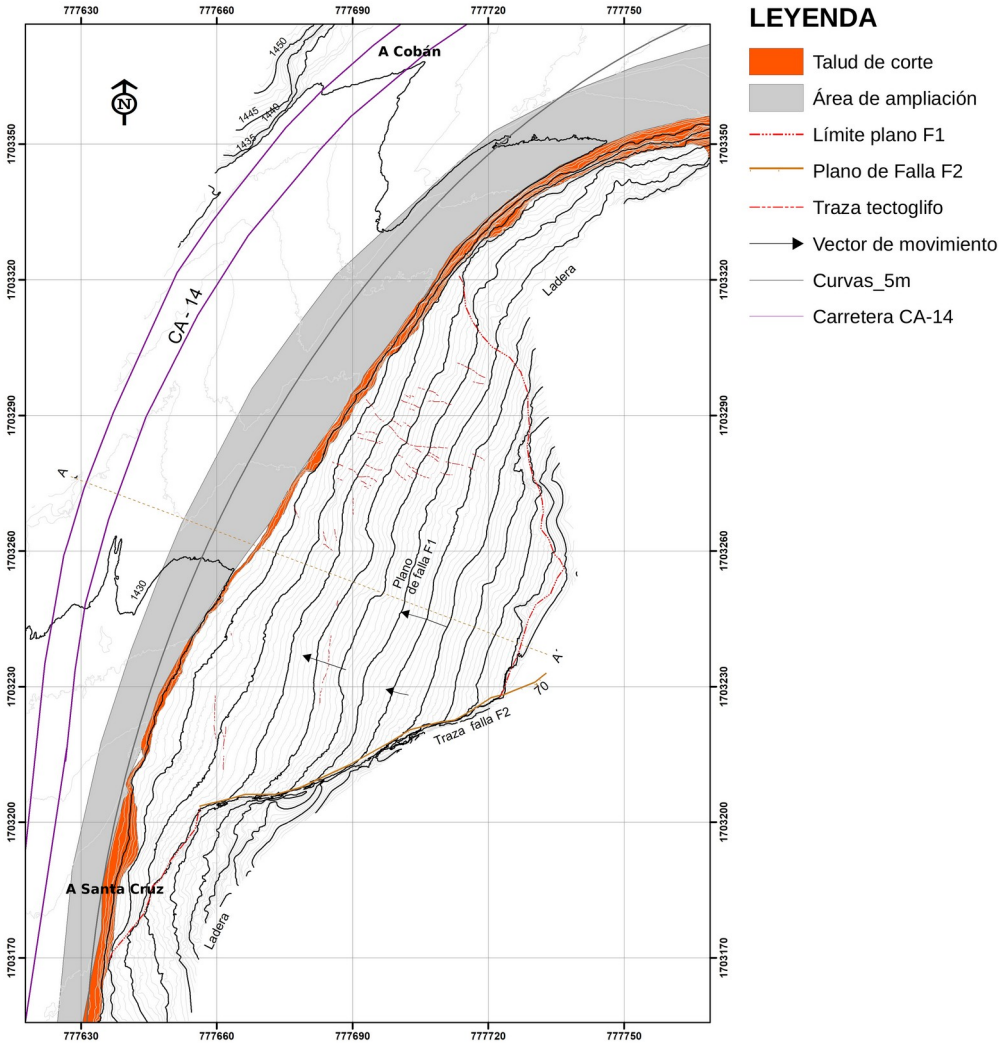
Existen una variedad de movimiento de ladera o masa: deslizamiento, flujo, desprendimiento, vuelco y avalanchas (González de Vallejo et al., 2002). Los deslizamientos se pueden subdividir en rotacional o traslacional.

Dado que el volumen de roca desplazada ocurrió a lo largo de un plano de falla geológica (Figuras 2 y 5), dicho movimiento de ladera se clasificó como deslizamiento de tipo traslacional. Este plano (F1) es limitado en su extremo sur por otro patrón de falla con orientación 70/N175, identificada como F2 (Figura 5).

Según las características de la discontinuidad, la rugosidad del plano se puede clasificar como ondulada lisa (Hoek & Bray, 1981). Esta irregularidad a lo largo del plano de falla (F1) es evidenciada además con las curvas de nivel topográficas, mostradas en la Figura 5. Además, se han identificado tanto la traza de tectoglifos y el vector de movimiento que experimentó el material deslizado (Figura 5), mediante imagen georreferenciada cuyo tamaño de pixel es de 1.28 cm × 1.28 cm.

Figura 5

Relieve, extensión y relación del plano de deslizamiento traslacional (F1) con otras estructuras



4.4 Precipitación previa al evento

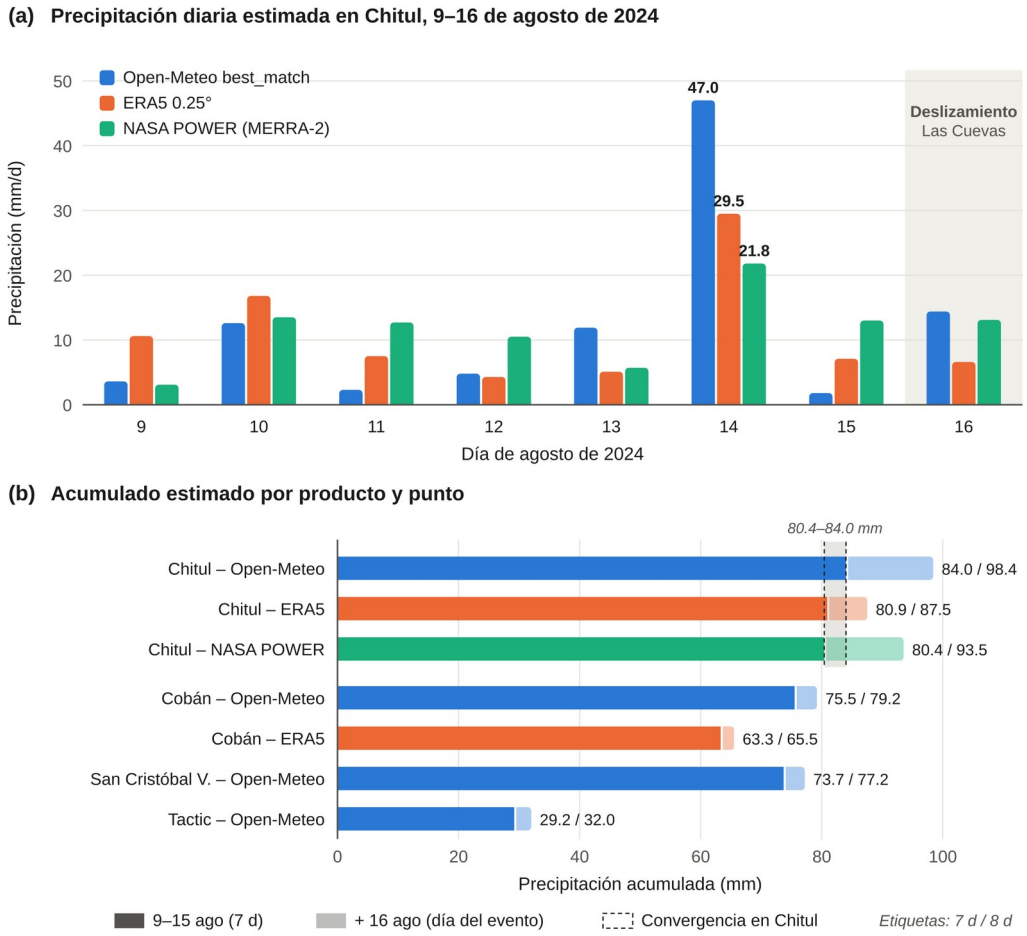
La Figura 6 resume las estimaciones de precipitación para los días previos al evento. La distribución diaria en Chitul (Figura 6a) muestra lluvias moderadas y discontinuas entre el 9 y el 13 de agosto (2.3–16.8 mm/día, según el producto) y un máximo el 14 de agosto, con 47.0 mm según Open-Meteo y 29.5 y 21.8 mm según ERA5 y NASA POWER, respectivamente. El 15 de agosto la lluvia fue variable entre productos (1.8–13.0 mm) y el 16, día del deslizamiento, se registraron de nuevo lluvias moderadas (6.6–14.4 mm).

Los acumulados (Figura 6b) muestran que, en Chitul, los tres productos convergen en 80.4–84.0 mm entre el 9 y el 15 de agosto de 2024 (≈11.5–12.0 mm/día), valor que aumenta a 87.5–98.4 mm al incluir el 16 de agosto. En Cobán y San Cristóbal Verapaz los acumulados de siete días son similares (63.3–75.5 mm), mientras que en Tactic fueron menores (29.2 mm). Las diferencias en el máximo diario se atribuyen probablemente a la resolución espacial de cada producto: Open-Meteo combina modelos de mayor resolución, mientras que ERA5 (0.25°) y

NASA POWER (MERRA-2) tienden a suavizar las lluvias convectivas locales. Estas cifras son estimaciones y no sustituyen mediciones de estación.

Figura 6

Precipitación estimada en Chitul y alrededores durante la semana previa al deslizamiento de Las Cuevas (9–16 de agosto de 2024)



Nota. (a) Precipitación diaria estimada en Chitul según Open-Meteo (modelos combinados, best_match), ERA5 (0.25°) y NASA POWER (MERRA-2); la franja sombreada indica el día del deslizamiento. (b) Acumulado por punto y producto: la barra sólida corresponde al periodo del 9 al 15 de agosto (7 días) y el tramo claro añade el 16 de agosto; las etiquetas indican el acumulado de 7 y 8 días, y las líneas discontinuas, el intervalo de convergencia en Chitul (80.4–84.0 mm). Elaboración propia con datos de Open-Meteo (Zippenfenig, 2024), ERA5 (Hersbach et al., 2020) y NASA POWER (NASA Langley Research Center, s. f.). Valores estimados, no medidos en estación.

5. Discusión

5.1 Rotura plana y en cuña

En el tema de la estabilidad de taludes, la ladera de un "cerro o montaña" puede considerarse como un talud como artificiales, también nombrados talud natural, y cuando es intervenida por el hombre siempre considerando esa geometría se le nombra talud de corte o artificial. Las condiciones en la que se puede considerar una rotura plana o en cuña son claras. En tanto la discontinuidad mantenga una la dirección y sentido de inclinación igual y a favorables a dos elementos de un talud (rumbo y en su inclinación) es considerada como rotura

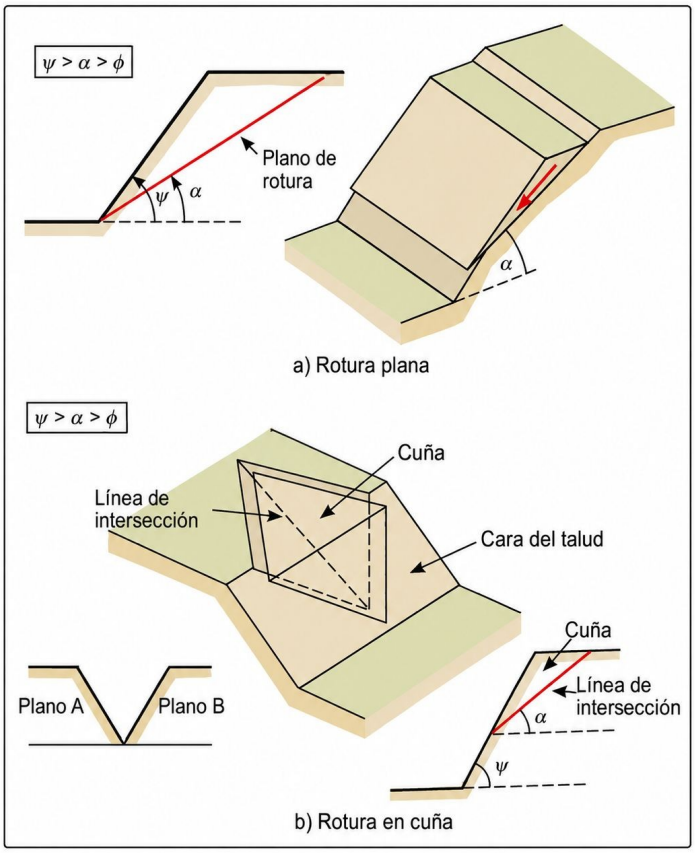
planar (Figura 7a), mientras que, en la segunda, intervienen dos planos de discontinuidad, donde un bloque de roca queda limitado por dos planos de discontinuidad, en cuya unión generan una intersección la cual se considera como una lineación de intersección (Figura 7b).

Estos dos planos crean una rotura en cuña (Figura 7b). Por lo tanto, bajo las condiciones en que se dio el movimiento de ladera, se puede considerarla como una rotura plana, donde la orientación del plano es de 44/N305, cuyo volumen de suelo y roca se desplazó con dirección N285 (Figura 5).

Sin embargo, F1 está limitada en su extremo sur por F2 (70/N175), por lo que no se descarta una componente de rotura en cuña a lo largo de la intersección de ambos planos. Para confirmar el mecanismo de rotura se recomienda calcular el ángulo de fricción (φ) del plano de deslizamiento y verificar la condición $\psi_p > \varphi$ (Hoek & Bray, 1981), así como analizar la línea de intersección F1–F2.

Figura 7

Condiciones para la rotura plana y para la rotura en cuña



Nota. Tomado de González de Vallejo et al. (2002).

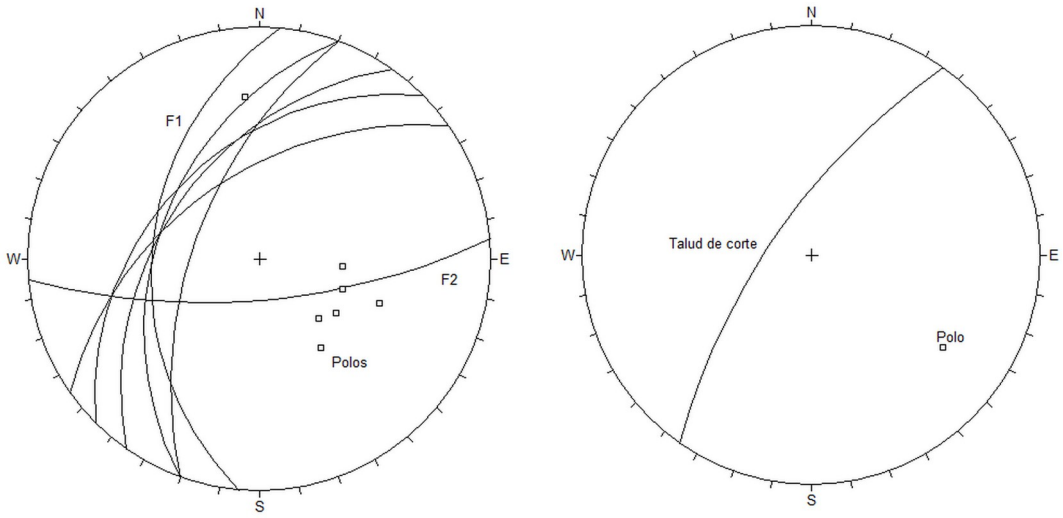
5.2 Relaciones geométricas entre discontinuidad y talud

En este caso nos referiremos a los valores geométricos del talud (diseño, Figura 7b), considerando principalmente su inclinación, su dirección o rumbo y, por otra parte, el ángulo de inclinación (buzamiento) del plano de deslizamiento (plano de rotura, Figura 7a).

Se realizaron por lo menos 6 medidas con brújula, a lo largo del plano de rotura que identificadas como F1 (Figura 7), las cuales fueron promediadas, considerándose como representativa la orientación 44/N305. Relacionado a este patrón de fracturas (F1), se encuentra otro set de discontinuidad que presentan una orientación de 70/N175, identificado como F2 (Figura 8a). Ambas conjunciones, junto a la geometría del talud (diseño), favorecieron al deslizamiento traslacional ocurrido el 16 de agosto de 2024.

Figura 8

Proyección estereográfica de las principales discontinuidades relacionadas con el movimiento de ladera de Chitul y del talud de corte



a) Proyección de planos de discontinuidad b) Proyección del talud de corte

Nota. En geología estructural, el polo de un plano de fractura es la proyección estereográfica de la línea normal (perpendicular) a dicho plano, representado como un punto en la red estereográfica.

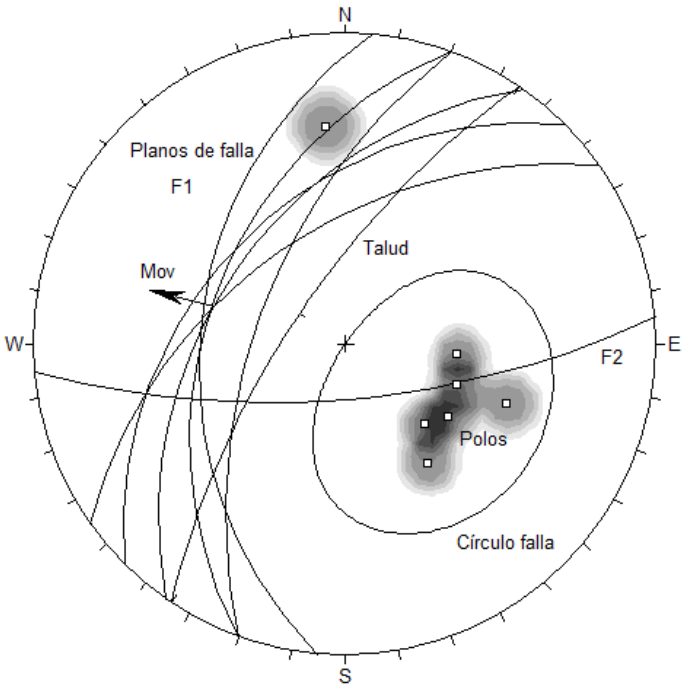
Las condiciones para un deslizamiento traslacional se ven con el paralelismo (Figura 8a) que mantienen los rumbos de planos de fallas medidas y el talud (Figura 8b) construido para este segmento del tramo de carretera CA-14, kilómetro 199 + 810, da idea preliminar para la ocurrencia de movimiento de ladera.

5.3 Círculo de falla

Existen una variedad de técnicas geométricas utilizadas para el estudio de la inestabilidad de un talud. Para nuestro caso, el análisis de la inestabilidad de la ladera se aborda aplicando el llamado *"círculo de falla"*. Dicho *método*, trabaja con la premisa de que todos los *"polos"* ubicados dentro del círculo, constituyen aquellos planos de fracturas críticos que potencialmente pueden fallar, bajo las condiciones geométricas en este caso del talud.

Figura 9

Relaciones geométricas entre el talud de corte y la disposición espacial de dos patrones de fracturas (fallas geológicas)

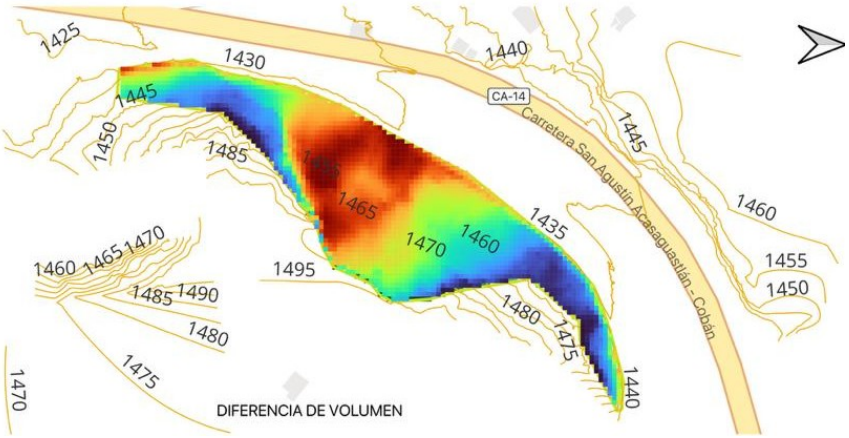


Por lo tanto, todos los planos medidos a lo largo del plano principal de falla (por ser un plano de superficie irregular), bajo la configuración geométrica del talud con dirección N35E/70NW, vemos que los polos de los planos se encuentran dentro de dicho círculo de falla, análisis realizado con la ayuda del programa Dips (Rocscience Inc., s. f.).

Bajo la geometría que estos presentan (talud y discontinuidad) indican que el potencial peligro en la ocurrencia de deslizamiento de tierra o roca a lo largo del plano F1 es alta (Figura 9). El volumen calculado mediante el programa QGIS 3.40.5 «Bratislava» (QGIS Development Team, 2025) fue de ±39 500 m^3, equivalente a ≈79 000–103 000 t considerando densidades de 2.0–2.6 t/m^3. Las tonalidades de rojo, muestra las variantes en el espesor del cuerpo de roca y suelo calculados utilizando el relieve pre-deslizamiento, a lo largo del plano de deslizamiento (Figura 10).

Figura 10

Morfología del espesor del cuerpo de roca y suelo desplazado a lo largo del plano de deslizamiento



Nota. Los tonos rojos indican los sectores con mayor espesor.

La lluvia de la semana previa (≈75–98 mm, con un máximo el 14 de agosto; Figura 6) no representa un evento extraordinario para la época lluviosa en la región, por lo que se interpreta como un factor desencadenante que actuó sobre una ladera ya condicionada por la orientación desfavorable de F1, el corte al pie del talud y la disolución kárstica. La infiltración a lo largo del plano de falla, evidenciada por las costras de travertino, pudo aumentar la presión de poro y reducir la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento.

6. Conclusiones

En toda obra, cualquiera que sea sus dimensiones, es necesario considerar la geología y potenciales amenazas naturales del sitio, con la finalidad de minimizar los impactos a los elementos antrópicos. Un tramo de carretera analizado (área de afectación), con las técnicas sencillas o complejas con la finalidad de estudiar la estabilidad de una ladera, permite la identificación de *identificar tramos con potencial peligro*, en este caso a la ocurrencia de movimiento de ladera (ML) o masa.

Aplicando el método del círculo de falla y otras consideraciones geométricas del talud, en este caso para el tramo de ±150 m de longitud en la Carretera Centroamericana 14 (CA-14) kilómetro 199 + 810, se observó una relación de $\psi > \alpha$ desfavorable (Figura 5), entre la inclinación del talud de corte (60° a 70°) y las orientaciones e inclinaciones registradas a lo largo del plano de rotura (F1). Por otra parte, las condiciones de inestabilidad se logran interpretar observando la ubicación de las normales de estos planos de fractura y el *círculo de falla*, insinuando que las condiciones del terreno a lo largo de un tramo de 150 m quedaron desfavorables.

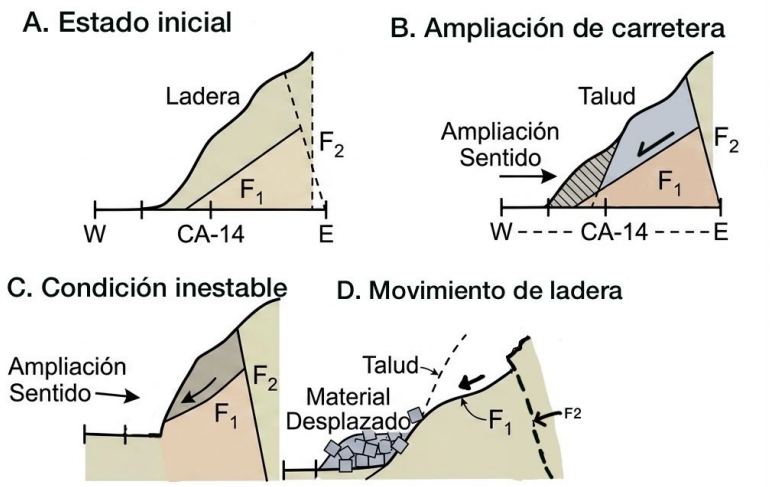
La presencia de un plano de falla geológica orientado 44/N305 (promedio), dentro de macizo rocoso (caliza cristalina), como factor condicionante (Figura 9), sumado a los cambios inducidos al pie de la ladera natural (trabajos de ampliación), creó las condiciones de inestabilidad para que un volumen de roca, que se deslizó el 16 de agosto de 2024, obstruyendo parte de la carretera que conduce a Cobán Alta Verapaz y afectara cableado eléctrico, el cual dejó sin energía eléctrica a los poblados de Santa Cruz

y San Cristóbal Verapaz. Los sucesivos escenarios en los cambios en las condiciones estables a inestables, se esquematiza en la Figura 11.

Las lluvias de la semana previa, estimadas en ≈75–98 mm mediante reanálisis, actuaron como factor desencadenante y no como causa única del deslizamiento.

Figura 11

Condiciones geológicas y antrópicas para el deslizamiento de Chitul



Recomendaciones

Se recomienda calcular el ángulo de fricción del plano F1 y analizar la intersección F1–F2; implementar monitoreo, obras de drenaje y el rediseño del talud en tramos de la CA-14 con geometría similar; y validar las estimaciones de precipitación con los registros diarios de la estación Cobán del INSIVUMEH.

Agradecimientos

Se agradece a la ingeniera agrónoma Lisbeth Esmeralda Paredes Matta, por la propuesta y gestión para adquirir el dron DJI Mavic 4 pro-modelo L3A.

Contribución de los autores

Sergio Morán: Conceptualización, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original. **Luis Godoy:** Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Redacción – revisión y edición.

Andrea Reiche: Investigación, Adquisición de fondos, Metodología, Recursos, Redacción – revisión y edición.

Brayan Vásquez: Análisis formal, Software.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Disponibilidad de datos

Los datos estructurales y los archivos generados mediante el levantamiento con dron que respaldan los resultados de este estudio están disponibles a través del autor de

correspondencia, Sergio Morán, previa solicitud razonable.

Referencias

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., … Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146*(730), 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering* (3.ª ed.). The Institution of Mining and Metallurgy.

NASA Langley Research Center. (s. f.). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)* [Conjunto de datos; parámetro PRECTOTCORR, MERRA-2]. Recuperado el 20 de noviembre de 2026, de https://power.larc.nasa.gov/

QGIS Development Team. (2025). *QGIS Geographic Information System* (Versión 3.40.5 «Bratislava») [Software]. QGIS Association. https://qgis.org

Ragan, D. M. (2009). *Structural geology: An introduction to geometrical techniques* (4.ª ed.). Cambridge University Press.

Rocscience Inc. (s. f.). *Dips* [Software]. https://www.rocscience.com/software/dips

Zippenfenig, P. (2024). *Open-Meteo.com Weather API* (Versión 1.4.0) [Software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7970649

Sobre los autores

Sergio David Morán Ical

Ingeniero geólogo y profesor de la Carrera de Geología del CUNOR-USAC desde 1998, donde imparte cursos teórico-prácticos y promueve la interacción de sus estudiantes con profesionales de otras universidades, así como la asesoría académica como proceso de mejora continua. Ha desarrollado proyectos de cartografía geológica nacional a escala 1:50 000, como los cuadrángulos Granados y El Chol y, en 2026, la hoja Cobán, lo que le ha permitido integrarse a grupos de investigación internacionales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y de la Universidad de Missouri-Kansas City. Actualmente lidera el proyecto «Evaluación de amenaza natural y estado actual de la infraestructura de escuelas públicas», del programa IGeoEs, con el propósito de fortalecer las capacidades de la Comisión Escolar para la Reducción de Desastres (CERED) del Ministerio de Educación (MINEDUC) y de las municipalidades de Alta Verapaz. Correo: katmical@profesor.usac.edu.gt. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0898-4683

Luis Alfredo Godoy Morales

Ingeniero geólogo y profesor de la Carrera de Geología del Centro Universitario del Norte (CUNOR) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), en Cobán, Alta Verapaz. Su labor académica abarca la docencia universitaria, la investigación geocientífica y la formación de profesionales en ciencias de la Tierra. Sus áreas de interés incluyen la cartografía geológica y geomorfológica, la geología estructural, la evaluación de peligros geológicos y el análisis de los procesos geológicos asociados a la dinámica del territorio. Participa, además, en proyectos de investigación, campañas geológicas y la asesoría de trabajos de graduación. Correo:

luis.godoy@profesor.usac.edu.gt. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-8554-1734

Andrea María Reiche de la Cruz

Ingeniera geóloga y magíster en Formulación y Evaluación de Proyectos con énfasis en Gestión Integral del Riesgo de Desastres por la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Es profesora de la Carrera de Geología del Centro Universitario del Norte (CUNOR-USAC), en Cobán, Alta Verapaz, donde coordina el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y contribuye a vincular a los futuros profesionales de la geología con el ámbito laboral. Tiene experiencia en docencia universitaria, investigación, divulgación científica y actividades editoriales. Sus áreas de interés incluyen las ciencias geológicas, la gestión integral del riesgo de desastres, la formulación y evaluación de proyectos y la aplicación del conocimiento geocientífico en la gestión del territorio. Correo: andrea.reiche@profesor.usac.edu.gt. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1751-7122

Brayan Vásquez Milián

Ingeniero geólogo egresado del Centro Universitario del Norte (CUNOR) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en Cobán, Alta Verapaz. Tiene más de ocho años de experiencia profesional en proyectos de infraestructura (carreteras, terraplenes, taludes, puentes y lotificaciones), en los que realiza estudios de suelos, reconocimientos geológicos, evaluaciones de riesgo, batimetrías, levantamientos geodésicos, estudios geofísicos e hidrológicos y procesamiento fotogramétrico. Correo: vasmil06@gmail.com.

CC BY-NC-SA 4.0
Creative Commons

© 2026 Los autores. Este artículo se publica en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). Se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra con fines no comerciales, siempre que se cite la autoría y la publicación original en la Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra y que las obras derivadas se distribuyan con la misma licencia.