



## Artículo

# Inestabilidad de terreno en arcillas lacustres, estudio de caso: Campus del Centro Universitario del Norte (CUNOR), Cobán, Alta Verapaz, Guatemala

*Ground instability in lacustrine clays, case study: Campus del Centro Universitario del Norte (CUNOR), Cobán, Alta Verapaz, Guatemala*

USAC

CUNOR

Carrera de Geología

Recepción: 20/10/2025

Aceptado: 21/11/2025

Publicado: 24/11/2025

**Sergio David Morán Ical** <sup>(1)</sup>, **J. Leonardo Rodas** <sup>(1)</sup>, **Luis Godoy** <sup>(1)</sup>; **Luis Laj** **(1); Andrea Reiche** <sup>(1)</sup> **Luis Ramírez**<sup>(2)</sup>, **Brayan Vásquez**<sup>(3)</sup>,<sup>(1)</sup> Carrera de Geología, Centro Universitario del Norte, Cobán Alta Verapaz, Guatemala<sup>(2)</sup> Servicios de Ingeniería Vásquez, Tactic, Alta Verapaz, Guatemala<https://orcid.org/0009-0006-0898-4683> | [katmical@gmail.com](mailto:katmical@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0000-3164-2805> | [leonardorodas.cunor@gmail.com](mailto:leonardorodas.cunor@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0004-8554-1734> | [luis.godoy@profesor.usac.edu.gt](mailto:luis.godoy@profesor.usac.edu.gt)<https://orcid.org/0009-0000-0548-564X> | [geoluis04@gmail.com](mailto:geoluis04@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0009-1751-7122> | [andrea.reiche@profesor.usac.edu.gt](mailto:andrea.reiche@profesor.usac.edu.gt) <sup>(2)</sup> [fermandodiluis@gmail.com](mailto:fermandodiluis@gmail.com) <sup>(3)</sup> [vasmil06@gmail.com](mailto:vasmil06@gmail.com)

## RESUMEN

### Palabras clave:

Arcillas de llanura de inundación, cartografía geológica, ceniza volcánica, CUNOR, formación Jolom Naj, geología de Cobán, Pedostratigrafía

### Keywords:

*Floodplain clays, Geological mapping, Volcanic ash, CUNOR, Jolom Naj Formation, Cobán geology, Pedostratigraphy*

Dada las condiciones topográficas, geológicas (relieve y suelo) y actividades antrópicas locales, aunado a una mala planificación en el desarrollo de las diferentes actividades constructivas, debido a la falta de estudios técnicos dentro de un sitio, se potencializa el peligro de la ocurrencia de movimientos de ladera y/o erosión. Existen dos factores que desestabilizan un talud y estos pueden ser naturales o antrópicos (por actividad humana). Se considera que los trabajos de remoción de suelo dentro de las etapas en los trabajos constructivos, donde no se tengan estudios previos sobre las características litológicas o pedológicas y geotécnicas de las formaciones superficiales (horizontes del suelo), aumentan el grado de fracaso o problemas concernientes a la inestabilidad del terreno, sobrevaloración del proyecto por incurrir en trabajos extras y/o el caso más extremo se abandonen por daños a la propiedad a terceros.

Los suelos de textura arcillosa y contenido de vermiculita, como el caso de la formación Jolom Naj del campus, es uno de los sustratos problemáticos desde el punto de vista de la ingeniería, ya que por sus características mineralógicas es muy susceptible a cambios con la presencia de agua, tal como se trata de documentar en este trabajo. Sugiriendo que los trabajos constructivos, que tengan como sustrato este nivel, deberán de considerar algunas técnicas constructivas con el objeto de minimizar el peligro en lo referente a los movimientos de ladera. Los mapas geológicos, geomorfológicos y la identificación de zonas críticas a movimientos de ladera, inundación y/o colapso por karst, son algunas de las herramientas importantes en la detección de elementos relacionados a inestabilidad del terreno, ya que, por medio de ellas, este sector se identificó como inestable anteriormente.

## Abstract

### Citar este artículo:

Morán Ical, S. D., Rodas, J. L., Godoy, L., Laj, L., Reiche, A., Ba, L., & Vásquez, B. (2025).

Inestabilidad de terreno en arcillas lacustres, estudio de caso: Campus del Centro Universitario del Norte, Alta Verapaz, Guatemala. *Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra*, 12(01), 61-69.

*Given the topographical and geological conditions (relief and soil) and local anthropogenic activities, coupled with poor planning in the development of various construction activities due to a lack of technical studies within a site, the risk of landslides and/or erosion is heightened. There are two factors that destabilize a slope, and these can be natural or anthropogenic (due to human activity). It is considered that soil removal work during the construction stages, where there are no previous studies on the lithological or pedological and geotechnical characteristics of the surface formations (soil horizons), increases the degree of failure or problems concerning ground instability, overestimation of the project due to incurring extra work and/or, in the most extreme case, abandonment due to damage to third-party property. Soils with a clayey texture and vermiculite content, such as the Jolom Naj formation on the campus, are one of the problematic substrates from an engineering point of view, as their mineralogical characteristics make them very susceptible to changes in the presence of water, as documented in this study.*

*Suggesting that construction work on this level should consider certain construction techniques in order to minimize the danger posed by landslides. Geological and geomorphological maps and the identification of areas critical to landslides, flooding, and/or karst collapse are some of the important tools for detecting elements related to ground instability, since, through them, this sector was previously identified as unstable.*

## 1. Introducción

Como parte del programa de Investigación, Extensión y Servicio (IGeoES), la Carrera de Geología del Centro Universitario del Norte, a partir de las diferentes necesidades planteadas por las comunidades e instituciones del estado, desde los años 90s, ha llevado a cabo una serie de estudios técnicos con enfoque en la gestión de riesgo a desastres naturales, considerando las propias al cambio climático. La necesidad en estos estudios y la evaluación de sitios ha ido en aumento, por lo que 2023 se inicia la evaluación de las amenazas naturales y estado actual, tanto de sitios como de infraestructura (escuelas públicas), con la finalidad de reconocer el *potencial peligro* en dichos sitios ante las amenazas naturales y las relacionadas al cambio climático.

A partir de ello, se ha iniciado y considerando el caso de inestabilidad del terreno y activación ocurrida del 4 de julio al 9 de septiembre de 2025 dentro del campus. Tal caso evidencia la necesidad de caracterizar las formaciones superficiales, que predominantemente se encuentran desarrollados dentro del terreno del campus.

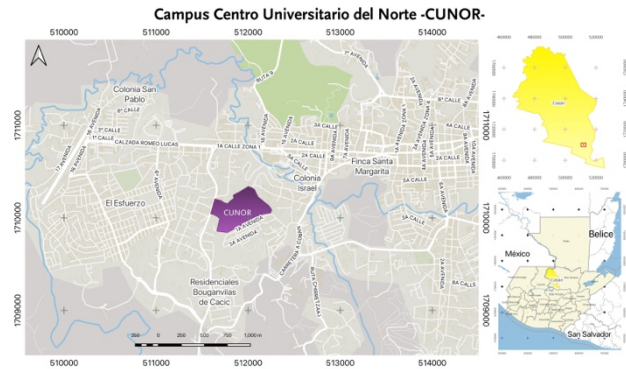
Se recalca la importancia de llevar a cabo una fase previa enfocada en el reconocimiento de las amenazas en sitios de potencial uso (construcción de infraestructura), y revisión de documentación previa (mapas del área) para prevenir futuros impactos ante estos fenómenos naturales o antropogénicos.

El planteamiento de este documento tiene como objetivo que una parte de nuestra experiencia documentada durante el desarrollo de este proceso de movimiento de ladera, permita ser una guía sobre los aspectos a considerar en la evolución del proceso de movimiento de ladera, evidenciando los problemas de inestabilidad del terreno y las medidas de mitigación para evitar que dicho problema se extienda como lo ocurrido desde julio hasta septiembre 2025.

El sitio estudiado se ubica dentro de campus del Centro Universitario del Norte, localizado dentro de la depresión topográfica donde se ubica la ciudad de Cobán Alta Verapaz (Figura 1)

### Figura 1

*Localización dentro contexto regional y local del área de estudio*



Dentro del campus afloran principalmente formaciones superficiales que incluyen unidades como arcillas lagunares, sedimentos aluviales y depósitos de tefra. Estas últimas corresponden a materiales volcánicos originados por antiguas erupciones asociadas al cinturón volcánico del sur de Guatemala.

El propósito de esta investigación radica en llevar a cabo una caracterización geológica de estos materiales no consolidados o semiconsolidados. El horizonte correspondiente al suelo orgánico, que cubre la mayor parte el terreno, es representado en el mapa geológico final, considerando para ello una profundidad igual o superior a 50 cm.

## 2. Metodología

Principalmente incluyo una fase análisis bibliográfico, levantamiento de campo, análisis de laboratorio y gabinete. El reconocimiento y delimitación de unidades partió con la identificación de los materiales parentales de los suelos superficiales mediante diferentes medios (Figura 2).

**Figura 2**

Medios utilizados para el estudio de los horizontes del suelo, dentro del campus



### 3. Resultados

#### 3.1 Pedoestratigrafía local

En un contexto general, existen varios horizontes de suelos con procesos pedológicos y geológicos diferentes que representan el sustrato sobre las cuales se encuentra emplazada la mayoría de la infraestructura del Centro Universitario del Norte (CUNOR). Esta relación puede ser resumida en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

Principal origen y material parental de los materiales pedológicos, dentro de campus

Origen	Tipo material original	Material parental
Biológico	Restos de plantas, microorganismo, animales	Material orgánico
Volcánico	Piroclásticos	Ceniza volcánica
Sedimentario	Aluvial	Minerales como feldspatos, micas, cuarzo, provenientes de rocas ígneas y rocas metamórficas principalmente.
	Material parental lacustre (Jn)	
	Calcareo	Calizas, "terra rosa"

#### 3.2 Evolución del movimiento de ladera

Es importante evaluar y cuantificar la evidencia de la respuesta progresiva del terreno ante intervenciones antrópicas y condiciones naturales, con lo cual, se puede analizar su dinámica, fases de activación y efectos sobre la infraestructura afectada.

##### A) Cronología de los trabajos y condición del terreno

Los trabajos de limpieza del sitio iniciaron el 12 de junio del 2025, y se realizó el protocolo de inauguración y "puesta de la primera piedra" del proyecto el 13 de junio; el 16 de junio se iniciaron los trabajos de extracción de material y conformación de un terraplén y de los respectivos taludes debido al nivel base tomado.

En su geomorfología, el terreno forma parte de una ladera cóncava, que conforma una de las unidades dentro de un ambiente denudacional (Morán, et al, 2023). Cabe mencionar que ya se tenía cartografiado una cicatriz de movimiento de ladera al NW del sitio de construcción.

**Figura 3.**

Extracto de mapa geomorfológico del Campus (Morán et al, 2023)



*b) Evolución del proceso de movimiento de ladera (ML)*

Dado las condiciones por los cambios introducidos en la ladera, el 03 de julio 2025, aparecieron los primeros indicadores de inestabilidad, observándose tanto en el terreno como en la infraestructura inmediata al sitio (iglesia).

La estructura geológica muy evidente, fue la presencia de una corona de deslizamiento cuya forma en herradura, se proyectó hasta el sector del laboratorio de Química. Mostró una abertura inicial de 30 cm con una caída de 45 cm (Figura 4). Durante esta primera fase, la esquina norte del laboratorio evidenció una separación del terreno con respecto a la pared de 3 cm.

La patología desarrollada principalmente en las paredes de la iglesia fue de tipo mecánica, consistiendo tanto de fisuras como grietas, cuyas longitudes variaron.

**Figura 4**

Corona de deslizamiento y rotación, creadas tras la movilización de volúmenes de suelo. El área intervenida se indica con el polígono amarillo.



En los sucesivos días esta inicial ruptura (corona de deslizamiento), sufrió por lo menos dos etapas de migración.

Este movimiento ocurrió dentro del límite entre suelos arcillosos de la Fm Jolom Naj, un horizonte de suelo aluvial.

*Fase I, Migración de corona al 29 de julio 2025*

En esta fase las longitudes y ancho de grietas en las paredes y columnas dentro de la iglesia mostraron un aumento y alto desarrollo, así como los hundimientos y abertura de grietas en el suelo. Así mismo toda la infraestructura exhibió una inclinación entre 08° a 10° en la vertical, lo cual sugirió una rotación en sentido que se desplaza el volumen de suelo.

La corona del movimiento de ladera (deslizamiento rotacional) en su migración, unió una serie de fracturas, de tener una abertura 0,30 m (Figuras 1a y 1b), ha sufrido cambios en su morfología y la zona de afectación se ha extendido ~ 5,0 m, evidenció un paulatino y continuo desplazamiento hacia el sector de construcción. Esta migración puso en peligro las

casas 1, 2 y 3 (Figura 5). Durante este tiempo ocurre un deslizamiento de pequeñas dimensiones lo cual hizo susceptible la base del laboratorio de Química (Figura 5).

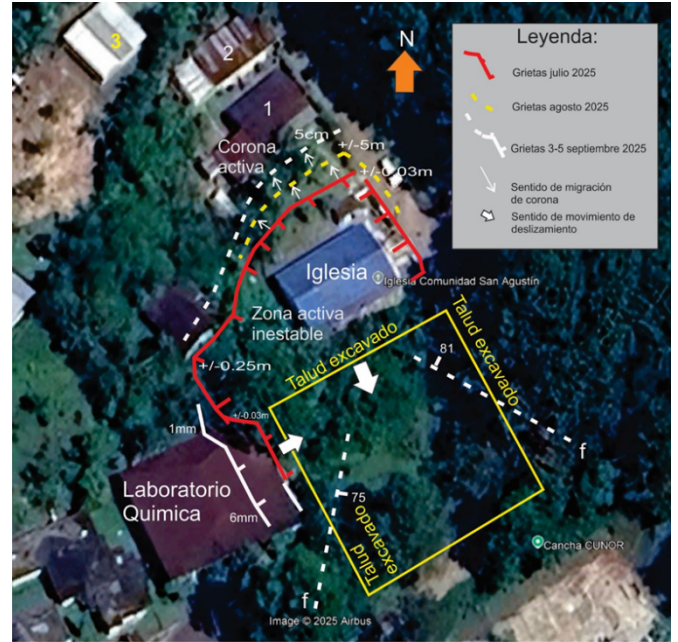
**Figura 5**  
Migración de corona de deslizamiento de tipo rotacional.



*Fase II, Corona del 3 al 5 de septiembre de 2025*

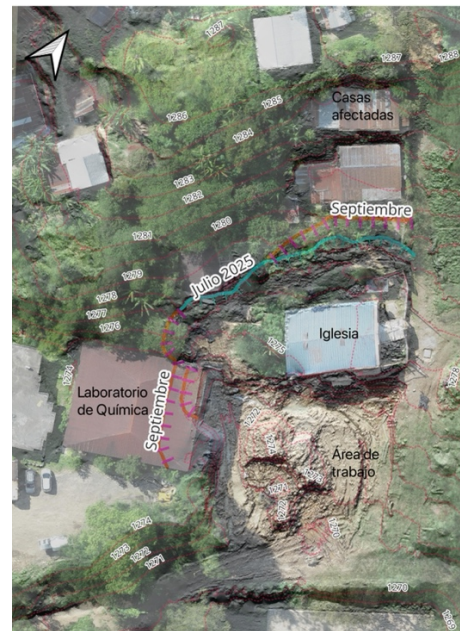
El factor clave de la reactivación del deslizamiento para estos días, fue la lluvia, ya que según los registros, las precipitaciones fueron de 12 mm en estos 3 días. Durante esta etapa, se generaron una serie de grietas en el piso dentro del laboratorio de Química, sitio donde aún no era notorio. Las grietas presentaban aberturas de 1 mm a 6 mm, las cuales iban migrando hacia la parte más interna del edificio (Figura 5).

**Figura 6**  
Migración en el tiempo de corona de deslizamiento y proyección de la fracturación en el laboratorio de Química.



En la figura 7, se ilustra con una vista aérea obtenida mediante Dron, de los daños sufridos al terreno, infraestructura y relieve. Se muestran curvas de nivel a cada metro, cicatrices de deslizamiento e infraestructura relacionada.

**Figura 7**  
Vista aérea de la zona afectada



El agrietamiento ocurre hasta el 9 de septiembre tiempo en que se desarrollaron trabajos de mitigación consistiendo en la aplicación de la técnica *soil nailing*, hasta la aplicación de micropilotes para recalzado del cimiento corrido, se logró estabilizar el sector noreste del edificio, colindante con la excavación (Figura 8).

**Figura 8**

Proceso de perforación para aplicación de micropilotes para recalzado de cimiento corrido.



## Análisis de la situación

Considerando los factores geomorfológicos, litológicos y antrópicos que condicionaron la inestabilidad del terreno dentro del campus, se trata de explicar la evolución y reactivación del movimiento de ladera (ML), en función de los factores condicionantes y detonantes.

### Factores condicionantes

En este caso, tanto a la geomorfología del terreno como a las características físicas y mineralógicas de los horizontes de suelo existentes en el sitio intervenido.

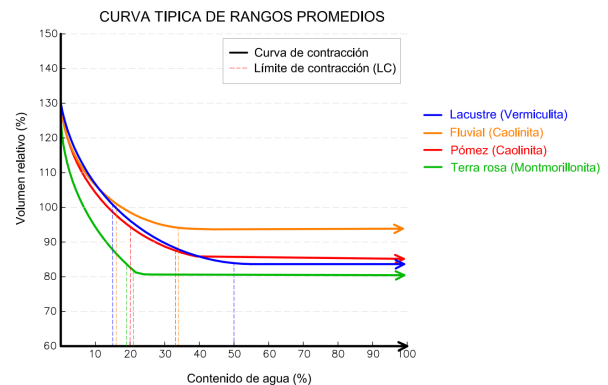
La pendiente del terreno antes de ser intervenida tenía entre 7° a 14°, ubicada dentro de una ladera cóncava (entrante topográfica). Algunos ensayos realizados para los horizontes de suelo a nivel del área de la ciudad de Cobán, en las que se incluyen

algunas muestras obtenidas dentro del campus, principalmente de la formación Jolom Naj (lacustre, tabla 1), muestran relaciones entre el porcentaje de humedad e índice de contracción, que son importantes de tomar en cuenta para los trabajos de construcción dentro perímetro urbano de Cobán.

Estos resultados (Ba, L. 2025, sin publicar) denotan una relación entre rangos de porcentajes de contracción entre 120 % a 140% en volumen y 22 % a 50 % en el límite de contracción o contenido de agua. Con valor casi constante de aproximadamente de 98 % de volumen relativa para los suelos, no ligados a la formación Jolom Naj (Jn, tabla 1). Así mismo se realizaron ensayos de difracción de rayos X (DRX), con el objeto de identificar el tipo de arcilla por cada tipo de sustrato de suelo.

**Figura 9**

Relación entre porcentaje de contracción y porcentaje contenido de agua (Ba, L. 2025, sin publicar).



La interpretación de estos datos lleva a la conclusión de que una muestra de suelo de este tipo puede llegar a tener hasta un 187 % del volumen original de un suelo en consolidación natural al llegar al punto de saturación, lo que indica que tiende a retener la humedad por adsorción. En el mismo documento se indica que el límite líquido puede variar entre 33,84 % a 66,58 %, con un promedio de 43,44 %. Por lo que concluimos que el suelo absorberá humedad más allá de su límite líquido, lo cual provocó un ángulo de fricción prácticamente nulo, por lo que se deslizará fácilmente al aumentar su humedad.

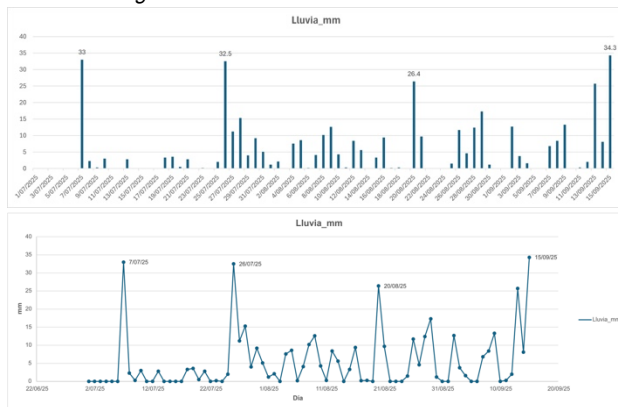
### Factor detonante

En este caso, se ha revisado el historial de lluvia local, utilizando la estación Anacafé 163 oficina regional VI, para confrontar la cantidad de lluvia (mm) y evolución del movimiento de ladera. El registro muestra una precipitación de 34 mm el 7 de julio, día en la que se desarrolla el deslizamiento de tipo rotacional, y para el 29 de julio, la longitud y abertura de grietas en las paredes y columnas dentro de la iglesia, como en el suelo mostraron un aumento y alto desarrollo, como hundimientos de la superficie.

Así mismo toda la infraestructura mostró una inclinación entre 08° a 10° en la vertical, sugiriendo que rotación en sentido de movimiento del volumen de suelo. Para esta fecha (29 de julio) se genera la primera migración de la cabecera tres días posteriores a la lluvia (23 mm) ocurrida el 26 de julio (Figura 9).

### Figura 9

Comportamiento de la precipitación, durante los meses de julio, agosto y septiembre del año 2025. Base datos Anacafé, estación 163 oficina regional VI



Por otra parte, la segunda reactivación o migración de la corona (Figura 6), se evidenció del 5 al 9 de septiembre, tiempo en la cual se manifestaron grietas dentro del edificio del laboratorio de Química (Figura 6) y se terminaban los trabajos de mitigación del lado noreste de la infraestructura.

Esto muestra que, por las características mineralógicas y físicas de las arcillas, en particular la Fm Jolom Naj, éstas son muy susceptibles a la retención de agua y/o humedad, lo que a su vez disminuye drásticamente su ángulo de fricción

interna, haciéndolas altamente propensas a deslizamientos. Por esta razón, se sugiere que los trabajos de mitigación al trabajar dentro de estas arcillas se realicen lo más pronto posible, para evitar la inestabilidad del terreno y el riesgo de colapso de taludes.

### Conclusiones

Dadas las condiciones topográficas (en talud), geológicas (suelo de origen lagunar) y actividades antrópicas locales, además de presencia excesiva de humedad, se facilita la ocurrencia de movimientos de ladera y/o erosión, especialmente si no se aplica ágilmente un plan de mitigación de riesgos sobre el desarrollo de las diferentes actividades constructivas.

La implementación de estudios de ingeniería geológica, para sitios de obras particulares son importantes, ya que permiten conocer las propiedades ingenieriles del sustrato y por otro lado, permite anticipar las técnicas de trabajo y de mitigación que serán necesarias para construir sobre las arcillas de potencial peligro.

Existen dos factores que desestabilizan un talud, y estos pueden ser naturales o antrópicas (por actividad humana). Se considera que los trabajos de remoción de suelo, sin un previo estudio de las características litológicas y geotécnicas de las formaciones superficiales (horizontes del suelo) y una planificación adecuada, sobre los trabajos que conlleven el proyecto, aumentan el grado de problemas desde el punto de vista de la inestabilidad, del terreno, y una causa que los proyectos se sobrevaloren, por incurrir en trabajos extras, o compensaciones por daños de propiedad a terceros.

Los mapas geológicos, geomorfológicos y la identificación de zonas críticas a movimientos de ladera, inundación y/o colapso por karst, son herramientas importantes en la detección de elementos relacionados a inestabilidad del terreno, ya que para este sector, se identificó como inestable anteriormente (Morán, et al, 2023).

Hay dos factores que hacen que las arcillas sean un factor de riesgo para la construcción: Un bajo valor soporte y un bajo ángulo de fricción. Ambos elementos son agudizados con la presencia de humedad en el área donde se trate.

Realizar estudios que permitan conocer la mineralogía de las arcillas, es una de las actividades más importantes desde el punto de vista geotécnico. Este primer acercamiento en la identificación de tipo de arcillas dentro de la ciudad de Cobán y dentro del campus del Cunor, permitirá considerar en el futuro las medidas de mitigación que deben implementarse al momento de la intervención de un sitio, en este caso constructiva.

El bajo valor soporte y la alta compresibilidad relacionada hace que el terreno con arcillas sensibles sea susceptible de asentamientos posteriores a la construcción. Si el terreno tiene diferentes grados de humedad, debido a la napa freática o distribución no uniforme de resistencia de suelos, puede provocar asentamientos diferenciales peligrosos para la construcción.

Las arcillas existentes dentro de la ciudad de Cobán (Jolom Naj y terra rosa), por su comportamiento, no debe estar expuesta al agua y en los cortes o talud, deberán inmediatamente implementarse trabajos para su estabilidad ya que son potencialmente problemáticas, generando inestabilidad del terreno.

### **Recomendaciones para Edificaciones en Áreas con Arcilla Vermiculita (Formación Jolom Naj - Jn)**

Para estabilizar el suelo con bajo valor soporte, es adecuado mejorar el suelo con mezcla de cal hidratada en proporción 1:6, así como conducir la escorrentía fuera del área.

También puede construirse con una losa de cimentación y pilotes colocados in situ debajo de las columnas principales, para mejorar el comportamiento del suelo bajo la estructura.

El ángulo de corte incide fuertemente en la estabilidad de los taludes, por lo que, si se encuentran arcillas muy sensibles en laderas, hay que considerar algunas precauciones para hacer edificaciones seguras:

Evitar alturas de excavaciones mayores a 2 m, puesto que, según los datos observados, es la altura máxima en la que se ha observado estabilidad en el talud. Para obtener estas alturas, es posible que se deba escalonar el área de construcción o practicar un lado de corte y otro de relleno, a fin de que las alturas de los límites de la construcción sean compartidas.

Hacer excavaciones seccionadas de manera que los taludes formados no tengan más de 3 m de frente, a fin de que las paredes laterales sostengan el talud mientras se construyen las obras de contención correspondientes. Si se requiere de un avance rápido, pueden hacerse excavaciones alternas, dejando 3 m de talud original entre cada frente excavado.

Trabajar obras de retención que sean rápidas de construir, como muros secos, tierra armada u otros semejantes.

Trabajar los taludes con arcilla sensible en época seca para disminuir el riesgo de deslizamiento.

### **Agradecimientos**

Al Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso –CID, por permitirnos el análisis por DRX de las muestras de suelo, basado en el convenio existente entre USAC-Cementos Progreso.

Al ingeniero Jorge Dubon por el préstamo de maquinaria para el desarrollo de una trinchera, para estudio de perfil de suelo.

Al señor Edgar Galindo Yat Pop, por el acompañamiento al momento del levantamiento de la información.

## 6. Referencias

- Brocard, G., Morán Ical, S. D., Duran, T., & Vasquez, O. (2015). La formación lacustre Plio-Pleistocena Jolom Naj en Cobán Alta Verapaz: Implicaciones para el crecimiento y deceso del río Cahabón. *Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra*, 57-69.
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L., & Gutierrez-Marco, J. C. (2025). Tabla Cronoestratigráfica Internacional. (48), 105-115.
- Garrido Valero, M. (1994). Interpretación de análisis de suelos.
- Morán, S., Portillo, S., Quím, M., López, L., & Godoy, L. (2023). Análisis geomorfológico local y su relación con las formas del terreno en el campus del Centro Universitario del Norte - CUNOR- Cobán Alta Verapaz, Guatemala. *Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra*, 10(01), 51-76.
- Olson, K. R. (2025). Factors of soil formation I parent material. En *Encyclopedia of Soils in the Environment* (págs. 532-535). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b0-12-348530-4/00005-9>
- Ventura, C., Morán, S., & Milián, R. (2022). Caracterización físico-química del horizonte de suelo color rojo (hr) situado entre suelos de origen volcánico y de caliza, ubicados en Cobán, San Juan Chamelco y San Pedro

Carchá, Alta Verapaz: un enfoque desde el punto de vista pedoestratigráfico. *Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra*, 09(01), 33-47.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Acceso Abierto

Este artículo está protegido por una licencia *Creative Commons* Atribución 4.0 Internacional, que permite su uso, intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se cite adecuadamente al autor o autores originales y la fuente, se proporcione un enlace a la licencia *Creative Commons* y se indique si se han realizado cambios. Las imágenes u otro material de terceros que aparece en este artículo están incluidos en la licencia *Creative Commons* del artículo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito del material. Si el material no está incluido en la licencia *Creative Commons* del artículo y el uso que se pretende darle no está permitido por la normativa legal o excede el uso permitido, será necesario obtener el permiso directamente del titular de los derechos de autor.

Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



