

IMPACTO DE AMENAZAS NATURALES EN LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA DE ALTA VERAPAZ: ANÁLISIS DE CASOS

IMPACT OF NATURAL HAZARDS ON EDUCATIONAL INFRASTRUCTURE IN ALTA VERAPAZ: CASE ANALYSIS

Andrea Reiche, Sergio Morán, Yoselyn Sierra, Divi Yat, Daniel Hernández, Luis Godoy, Luis Laj

Universidad de San Carlos de Guatemala,
Centro Universitario del Norte, Carrera de Geología,
Cobán, Alta Verapaz

Email: andreiche.1511@gmail.com, sergiomical@yahoo.com.

RESUMEN

En la región de Alta Verapaz, Guatemala, las amenazas naturales representan un desafío significativo para las infraestructuras educativas, especialmente en áreas con geomorfologías complejas y vulnerables. Este trabajo presenta un análisis del impacto de diversas amenazas naturales en alrededor de 25 escuelas públicas, evaluadas a través de los cursos de Campaña Geológica y Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la carrera de Geología.

El estudio identificó los principales procesos geológicos que afectan la infraestructura, como la subsidencia o colapso, movimientos de ladera, y variaciones en el nivel de agua, que generan inundaciones. Estas amenazas son particularmente evidentes en terrenos con geomorfologías kársticas, incluyendo formaciones como úvalas, dolinas, taludes, planicies aluviales y poljes, muchas de las cuales se encuentran en estado activo.

La evaluación destaca la vulnerabilidad de las escuelas situadas en estas zonas, donde los daños estructurales son notables y aumentan el riesgo para las comunidades educativas. Los resultados subrayan la necesidad de implementar medidas de mitigación y adaptación, así como políticas de infraestructura resiliente que puedan minimizar el impacto de estas amenazas. Este análisis, centrado principalmente en Alta Verapaz, ofrece una base para la toma de decisiones orientadas a la protección de las instituciones educativas frente a desastres geológicos y climáticos en regiones vulnerables.

Palabras clave: *amenaza, geomorfología, infraestructura, inundaciones, subsidencia, zonas críticas.*

ABSTRACT

In the region of Alta Verapaz, Guatemala, natural hazards represent a significant challenge for educational infrastructures, especially in areas with complex and vulnerable geomorphologies. This paper presents an analysis of the impact of various natural hazards in about 25 public schools, evaluated through the Geological Campaign and Supervised Professional Exercise (EPS) courses of the Geology career.

The study identified the main geological processes that affect infrastructure, such as subsidence or collapse, slope movements, and water level variations that generate flooding. These hazards are particularly evident in terrains with karst geomorphologies, including formations such as uvalas, dolines, slopes, alluvial plains, and poljes, many of which are in an active state.

The assessment highlights the vulnerability of schools located in these areas, where structural damage is notable and increases the risk to educational communities. The results underline the need to implement mitigation and adaptation measures, as well as resilient infrastructure policies that can minimize the impact of these hazards. This analysis, mainly focused on Alta Verapaz, provides a basis for decision making aimed at protecting educational institutions from geological and climatic disasters in vulnerable regions.

Key words: hazard, geomorphology, infrastructure, flooding, subsidence, critical areas, critical zones.

Introducción

La relación entre el entorno geológico y la seguridad de la infraestructura educativa es un tema crítico en regiones con condiciones naturales complejas, como Alta Verapaz, Guatemala. En esta zona, las características del terreno, marcadas por una geomorfología predominantemente kárstica, y los procesos geológicos activos generan un alto nivel de amenaza para los centros poblados, por lo tanto, a la infraestructura escolar. Estos fenómenos no solo afectan la funcionalidad de las escuelas, sino que también comprometen la seguridad de estudiantes y docentes frente a riesgos como subsidencia, graduales de tierra e inundaciones recurrentes, y la recuperación de estos sitios impactan tanto en el desarrollo de la docencia y, por otra parte, deterioro de la infraestructura.

Se realizaron vuelos de dron para obtener una base topográfica a detalle de las áreas (0.25km²), posteriormente se realizaron evaluaciones en cada una de las escuelas (24 en total), mediante el reconocimiento de campo para la identificación de los posibles factores geológicos que estén afectando el área y constituyan una potencial amenaza. Posterior al análisis de las amenazas identificadas se obtuvo información crucial, la cual sirvió para poder realizar un informe en donde se detallan cada una de las amenazas que presentaba cada escuela, este informe fue entregado a cada escuela con el fin de informarlos del estado actual de la escuela.

Se desarrolló el proyecto mediante tres fases las cuales corresponden a recopilación de información en la cual se recopilaban los antecedentes del área y toda información que sirvió como sustento para la investigación, fase de campo la cual constó del reconocimiento para la evaluación del estado actual de la infraestructura de la escuela mediante la

aplicación de la Patología de la construcción, levantamiento geológico, levantamiento geomorfológico y cartografía de procesos, por último la fase de gabinete en la cual se realizó la digitalización definitiva de las unidades identificadas y el diseño final de los mapas, también se organizó la información obtenida a lo largo de la investigación mediante la presentación de un informe técnico por cada escuela. La finalidad de esta investigación es documentar y evidenciar las amenazas imperantes en el área y las lesiones en la infraestructura de las escuelas, también se proponen medidas de mitigación para su posterior ejecución por parte de entidades gubernamentales.

Metodología

Para la realización de cada caso de estudio se basó en 3 fases:

Recopilación de información

La fase de recopilación bibliográfica implicó la búsqueda de información técnico-científica y un reconocimiento de la infraestructura escolar, incluyendo un levantamiento topográfico detallado con dron.

Fase de campo

En la fase de campo, se llevaron a cabo levantamientos geológicos y geomorfológicos, evaluando riesgos como: movimientos de ladera e inundaciones. Asimismo, se analizó la infraestructura escolar con el objetivo de identificar indicadores que evidenciaran posibles afectaciones derivadas del entorno natural o de amenazas ambientales.

Fase de gabinete

Implicó la digitalización de datos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), generando mapas que contribuyen a identificar zonas de riesgo y amenazas naturales, consolidando toda la información en un informe.

Resultados

a) Amenazas naturales y las relacionadas al cambio climático.

- Inundación

Algunas escuelas presentaron como problemática la inundación, detectando dos factores críticos que aumentan significativamente la probabilidad de inundaciones. En primer lugar, una amenaza antrópica es decir provocada por el hombre creando una mala modificación en la estructura natural del cauce del río, ya que impide el adecuado desagüe de las aguas pluviales y crecidas del río.

Otro factor antrópico que influye en la inundación es la acumulación de basura en el área, ya que obstruye los sistemas de drenaje, dificultando la evacuación efectiva del agua de lluvia y aumentando la retención de líquidos provocando inundaciones. Uno de los factores que también ayuda a la inundación y el cual está fuera del alcance del humano son las fuertes lluvias que surgen en épocas del año, ya que por todo lo anterior contribuye a la inundación.

Estos factores provocan daños a la infraestructura de las escuelas, así mismo provocan la erosión en el terreno.



Figura 1. a) Altura máxima de inundación provocado por las tormentas Iota y Eta, en el establecimiento de Panaha del municipio de San Cristóbal. b) Inundación dentro del área de la escuela Chitúl, Santa Cruz Verapaz. (SOY1602 Santa Cruz Verapaz Noticias, 2020).

- Colapso kárstico

Otra amenaza que presentaban algunas de las escuelas evaluadas es el colapso kárstico debido a la configuración topográfica del lugar que intensifica este riesgo, ya que la combinación de estas depresiones geológicas con la topografía local crea un escenario propenso a la inestabilidad del terreno. Este proceso no solo plantea una amenaza para la seguridad de los estudiantes y docentes, sino también para toda la comunidad circundante. La persistencia de estas dolinas aumenta la probabilidad de un colapso del terreno a lo largo del

tiempo, lo que podría resultar en la pérdida irreversible de la infraestructura existente (Figura .



Figura 2. Escuela Chicujal San Juan Chamelco, afectado por colapso por karst. Foto tomada por Pablo Yoj, 2023.

- **Movimiento de ladera (ML)**

Se detectaron escuelas con zonas propensas a movimientos de ladera, por lo que consideramos de prestar atención especial a estas áreas. Aunque en la actualidad estas áreas no manifiesten actividad, la preocupación radica en su potencial de activación a lo largo del tiempo, lo que podría desencadenar deslizamientos de tierra significativos. Esta eventualidad no solo representaría una amenaza para la integridad estructural de las zonas circundantes a la escuela, sino que también tendría repercusiones adversas a nivel comunitario.

La amenaza de deslizamientos de tierra podría traducirse en problemas estructurales, comprometiendo la seguridad de las edificaciones cercanas. Además, este escenario adverso tendría un impacto negativo directo en la comunidad en su conjunto, afectando no solo la infraestructura existente, sino también los recursos locales y la calidad de vida de los residentes.



Figura 3. Deslizamiento ubicado en la parte trasera de la escuela Chioya, San Juan Chamelco.

Así mismo, se realizó una tabla en donde se enlisto cada escuela evaluada junto con el tipo de amenaza, en donde se evidencia que hay establecimientos que presentan mas de una amenaza.

b) Patología de la infraestructura

La patología de la infraestructura escolar se refiere a la evaluación y el estudio de los problemas, deterioros y defectos que afectan a los edificios y las instalaciones destinadas a la educación.

La infraestructura de alguna de las escuelas presentaba problemáticas como fisuras y grietas, desprendimiento de materiales, filtraciones, humedad, corrosión de elementos metálicos, deterioro del concreto, algunos debido a problemas de inundación, inestabilidad de las laderas, asentamientos diferenciales (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Grietas dentro de una de las clases de la escuela Chajcoal, San Juan Chamelco.

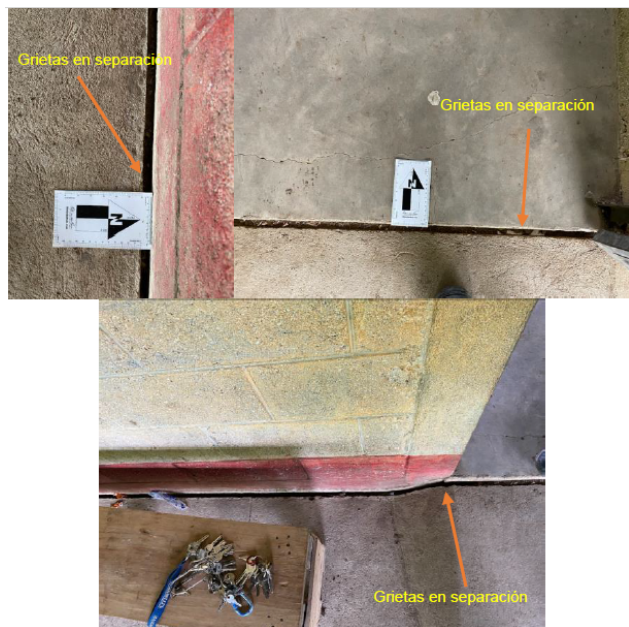


Figura 5. Grietas en separación dentro de las clases de la escuela Chioya, San Juan Chamelco.

c) Principales proceso y medidas de Mitigación.

Se ha resumido los principales procesos, tipos de amenazas, daños a la infraestructura escolar y estado, queriendo decir con esto último el grado de actividad (Tabla 1), identificados dentro de las 23 escuelas públicas evaluadas en el año 2023.

Conclusiones

La evaluación realizada en 24 escuelas públicas de Alta Verapaz permitió identificar los principales problemas estructurales y amenazas naturales que afectan su infraestructura. Desde una perspectiva de patología constructiva, se evidenciaron grietas, daños por humedad, asentamientos diferenciales y deterioro generalizado en los materiales, los cuales comprometen la seguridad y funcionalidad de estos espacios educativos.

A nivel geológico, se detectaron amenazas significativas, como inundaciones recurrentes, colapsos kársticos y movimientos de ladera, especialmente en áreas con geomorfologías complejas y activas (Figura 6). Estas condiciones generan riesgos no solo para la estabilidad de las estructuras, sino también para la integridad de las comunidades educativas que utilizan estas instalaciones.

Los resultados de esta evaluación subrayan la necesidad urgente de implementar medidas de

ESCUELA	Proceso	Tipo amenaza	Daño infraestructura	Geomorfología	Estado
Escuela Chicujal	Karst	Subsistencia o colapso	Evidente en 53.63%	Uvala	Activo
Escuela Cacahib	Gravitacional	Movimiento de ladera	Evidente	Talud artificial (A)	Inactivo
Escuela Campat	Karst	Subsistencia o colapso	Evidente	Dolinas	Activo
Escuela Chajcoal	Gravitacional	Movimiento ladera	Evidente	Talud artificial (A)	Activo
Escuela Chepenal	Gravitacional	Movimientos de ladera	No evidente	Planicie aluvial	Activo
Escuela Chiguorrom	Karst/Gravitacional	Subsistencia y MI	Evidente	Ladera de pendiente fuerte	Inactivo
Escuela Chiguoyo	Gravitacional	Movimiento de ladera	Evidente	Ladera de pendiente fuerte	Inactivo
Escuela Chinapeten	Karst	Subsistencia o hundimiento	Evidente	Uvala	Activo
Escuela Chioya	Karst/Gravitacional	subsistencia	evidente	Dolina y Talud Artificial	Activo
Escuela El Rancho	Karst/Gravitacional	Subsistencia y ML	Evidente	Dolina y Talud natural	Activo
Escuela La Isla	Gravitacional	Movimientos de ladera	Evidente	Talud artificial	Inactivo
Escuela Las Pacayas	Karst/Gravitacional	Hundimiento/movi ladera	Evidente	Ladera de uvala	Activo
Escuela PAIN	Gravitacional	Movimiento de ladera	No evidente	Ladera y talud artificial	Activo
Escuela Pampacche	Karst/Gravitacional	Subsistencia/MI	Evidente	Ladera y talud artificial	Activo
Escuela Panaha	Cambios en nivel de agua	Inundación	No evidente	Planicie de inundación del río	Inactivo
Escuela Pequixul	Karst	Subsistencia o colapso	Evidente	Polje	Activo
Escuela Quejá	Gravitacional	Movimientos de ladera	Evidente	Ladera de pendiente fuerte	Inactivo
Escuela RAM Chitul	Cambios en nivel del agua	Inundación	Evidente	Polje	Inactivo
Escuela Sa Campana	Gravitacional	Movimientos de ladera	No evidente	Talud artificial (A)	Inactivo
Escuela San Marcos	Karst	Subsistencia	Evidente	Dolina	Activo
Escuela Santa Elena	Karst	Subsistencia	No evidente	Dolina	Activo
Escuela Saquixim	Gravitacional	Movimiento de ladera	Evidente	Ladera de fuerte pendiente	Inactivo
Escuela Sepata	Karst/Cambios en nivel de agua	Subsistencia/Inundación	Evidente	Dolina	Activo
Escuela MREM Tzunutz	Karst	Subsistencia	Evidente	Dolina	Activo

Tabla 1. Listado de escuelas y tipo de amenaza que presenta, enmarcando en rojo las de tipo karstico.

mitigación y adaptación, tales como mejoras en el diseño y construcción de la infraestructura, adecuación de sistemas de drenaje, monitoreo constante de los procesos geológicos y desarrollo de planes de emergencia para las escuelas. Asimismo, se destaca la importancia de involucrar a las entidades gubernamentales y las comunidades en la toma de decisiones orientadas a la resiliencia. Este análisis proporciona una base técnica sólida para abordar las problemáticas detectadas y garantizar que las instituciones educativas sean espacios seguros y sostenibles, minimizando el impacto de las amenazas naturales y promoviendo la continuidad de la educación en condiciones adversas.

Agradecimientos y grupos de trabajo

Agradecemos a cada director de las escuelas evaluadas y al personal docente por su anuencia al permitirnos realizar los trabajos de campo sin ningún inconveniente.

Agradecemos a los habitantes de las aldeas que aportaron su testimonio respecto a las problemáticas en el área, ya que dicha información fue de suma importancia para enriquecer la investigación y el cumplimiento de los objetivos planteado

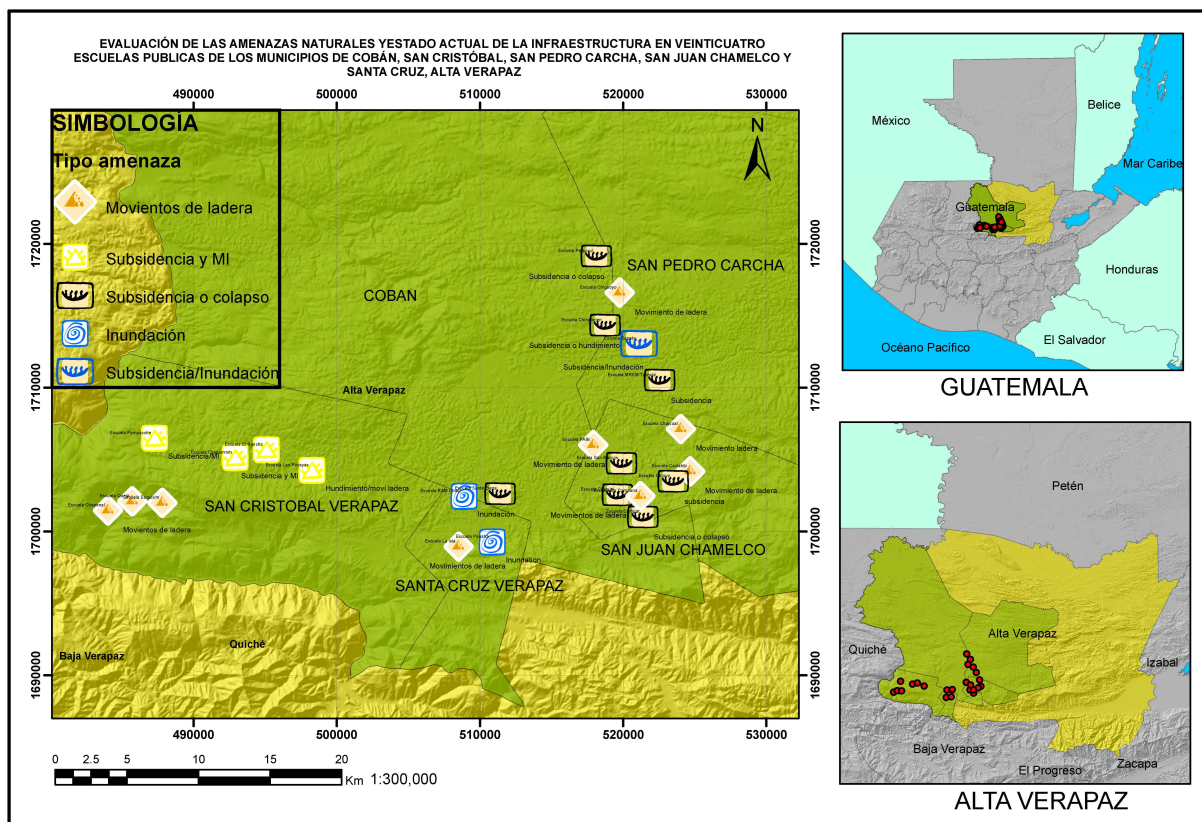


Figura 6: Ubicación de las amenazas identificadas por cada escuela evaluada en Alta Verapaz

Por otra parte, se listan los estudiantes involucrados en este proyecto ejecutado en el año 2023.

- Aime Cuc
- Poliberto Cuc
- Luis Teos
- Pablo Morales
- Keneth Ramírez
- Sergio Medina
- Erwin Tot
- Marielena Guzmán
- Gembly Bac
- Jorge Hun
- Divi Yat
- Alida Choco
- Luciano Lopez
- Yakelin Iglesias
- Yoselyn Sierra
- Daniel Alva
- Manuel Klug
- Denilson Ponce
- Pablo Yoj
- María Vasquez
- Ricardo de la Cruz

Referencias

- Calvo Cases, A., Harvey, A., Alexánder, R., Cantón, Y., Lázaro, R., Solé-Benet, A., & Puigdefábregas, J. (2014). Badlands in the Tabernas Basin, Betic Chain. *World Geomorphological Landscapes*, 197–211. Recuperado el 7 de septiembre de 2023, de: https://doi.org/10.1007/978-94-017-8628-7_17
- CONRED. (2013). *Evaluación rápida de daños en centros educativos*. Guatemala
- Donelly, T. (1990). *Northern Central America; The maya and chortis blocks. The geology of North America*. Estados Unidos de America: The Geological Society of America.
- Ford, D., University, M., Canada, & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Recuperado el 1 de agosto de 2023, de: <https://sudartomas.files.wordpress.com/2012/11/karsthydrogeologyandgeomorphology1.pdf>
- Geomorphology. (2023). Google Books. Recuperado el 25 de octubre de 2023, de: <https://books.google.com.gt/books?id=hDt5A2>
- Introduction to the Physics of Landslides. (n.d.). Retrieved October 30, 2023, from <https://www.nhazca.it/wp-content/uploads/2020/07/De-Blasio-Introduction-to-the-Physics-of-Landslides.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional -IGN- *Hoja topográfica de Cobán (2163 III)*. Guatemala; Escala 1:50000 color.
- Michaud, F., Fourcade, E., Azema, J., Millan, A., Carballo, H. y Franco, J. (1992). *El Cretácico medio y superior de la parte meridional del Bloque Maya Guatemala*. Estados Unidos de América: Journal of South American Earth Sciences.
- Millan, S. (1979). *Preliminary stratigraphic lexicon north and central Guatemala*. Newfoundland. Canadá: St. Johns.
- Morán, S., Ventura, C., Hernández, H., Vargas, J. (2019). *Patrones topográficos en el reconocimiento de paleodeslizamientos en Baja Verapaz, Guatemala*. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Morán. S. (2023). *Patología de la construcción, diapositivas*. Curso de Camapaña Geológica. Guatemala.
- Slope Stability and Stabilization Methods. (2023). Google Books. <https://books.google.com.pa/books?id=cOI02OqUCdMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Topografía Karst. (2022, October 30). LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geolog%C3%ADa/Libro%3A_Fundamentos_de_Geolog%C3%ADa_\(Schulte\)/11%3A_Hidro](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geolog%C3%ADa/Libro%3A_Fundamentos_de_Geolog%C3%ADa_(Schulte)/11%3A_Hidro)

log%C3%ADa/11.14%3A_Topograf%C3%A
Da_Karst

Turner, A.K. and Schuster, R.L. (1996) Landslides Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, The National Academies Press, Washington DC.
- References - Scientific Research Publishing. (2019). Scirp.org.

Zinck, J. (2012). *Geopedologia, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de probabilidades naturales*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands.

Zuida, V. (1968). *El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos*. Villanueva de Huerva. España.