

La actividad antrópica modificando el uso de la tierra, principalmente durante la construcción, es el otro factor que presenta mediana frecuencia de deslizamientos, esto es debido principalmente a la remoción de la cobertura vegetal, lanzamiento y concentración de aguas servidas en las laderas, pues la mayoría de los pobladores de la región no cuentan con sistema de drenaje, y por la ejecución de cortes de taludes con geometría inadecuada (altura e inclinación).

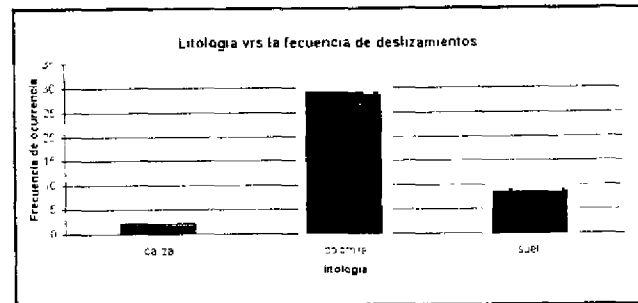


Fig. 14. Distribución de la frecuencia de deslizamientos contra el uso del terreno.

### 5. Factor desencadenante de deslizamientos: la lluvia

Senahú se aloja en un terreno cárstico, caracterizado por la presencia de cavernas y dolinas (anexo 1). Esto ocasiona que, aunque la zona tenga elevada precipitación pluvial, la densidad de escorrentía superficial sea débil. Gran parte de la lluvia es infiltrada a través de estas dolinas, que se constituyen en zonas de recarga, esto implica también que gran parte del flujo de agua sea subterráneo. La fuerte interacción entre agua superficial y subterránea hace que ocasionalmente se desarrollen inundaciones repentinas (*flash floods*), como el caso de la Quebrada Santiaguilá, que en repetidas ocasiones ha provocado daños a los habitantes que inadecuadamente fueron reubicados en esa localidad.

Debido a que la mayoría de deslizamientos han sido activados por tormentas originadas en diversos años, se realizó un análisis de datos de lluvia, colectados en varias estaciones meteorológicas de la región (Anexo 3). Se estudiaron datos de lluvia de seis estaciones situadas relativamente cerca de Senahú (Tabla 3). La frecuencia de registro de lluvia fue diaria en las estaciones, pero sólo está disponible el promedio mensual de lluvia para la mayoría de ellas. No se conocen datos de lluvia horaria para ninguna de las estaciones.

Tabla 3 Estaciones con datos de lluvia para la región de Senahú.

Estación	UTM		Periodo de registro
	Este	Norte	
Seamay	199500	1705550	1955-2002
Trece Aguas	201350	1705950	1921-1953
San Juan	196500	1701600	1938-1969
Actelá	189150	1701050	1930-1961
Mocca	186100	1700050	1960-1969
Sepacuite	201850	1711950	1934-1961; 2002
El Volcán	192100	1713720	1955-1969; 1995-2002

En base a los datos de lluvia de todas las estaciones se prepararon mapas de isoyetas para diversos años (Anexo 3). En los distintos mapas puede observarse que la topografía ejerce un control notable en los patrones de dispersión de la lluvia y que las regiones más altas registran la mayor cantidad de lluvia.

Para evaluar la precipitación pluvial del área, se utilizaron los datos de la estación Seamay, por su proximidad al área (situada a 2 km al sur de Senahú). El promedio anual de lluvia es de 4 m (Fig. 15), lo que refleja el alto

nivel de precipitación en esta zona. Los extremos de lluvia anual no han sido menores de 3 metros ni superiores a 5 metros.

precipitación anual estación Seamay

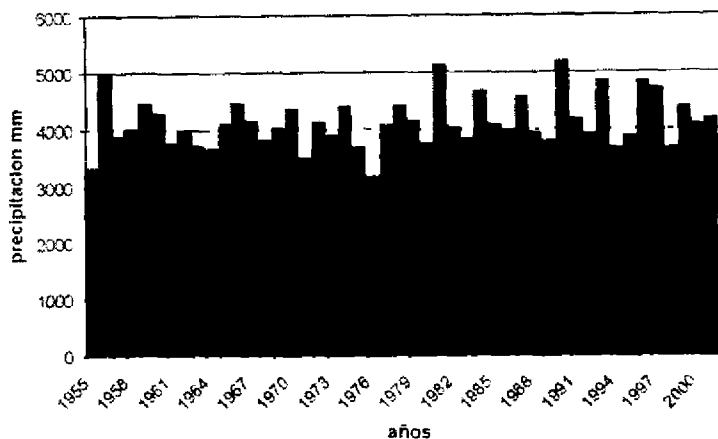


Fig. 15 Promedio anual de lluvia para el periodo 1955 – 2001, estación Seamay (Senahu).

Para tratar de realizar una primera aproximación del modelo de precipitaciones en la zona y su relación con los deslizamientos, se realizó un tratamiento estadístico de datos, el cual se presenta en el anexo 3, con el objetivo de que sea utilizado en el manejo de un sistema de alarma temprana para evitar futuros daños a los pobladores de esa región. La aplicación principal de las correlaciones es intentar anticiparse al desencadenamiento de deslizamientos, a partir del acompañamiento de los índices pluviométricos de la región. Resulta mucho más fácil y barato monitorear el parámetro lluvia, que los niveles de agua o el grado de saturación de las laderas o taludes. A pesar de las limitaciones e imprecisiones, estas correlaciones pueden ser un instrumento importante de bajo costo, para el monitoreo y la gestión de riesgo por deslizamientos en esta zona.

## 6. Mapeo de deslizamientos y zonas de amenaza

La siguiente sección ofrece una discusión detallada de los tipos y la naturaleza de los deslizamientos, la base para la evaluación del peligro de deslizamiento, y los factores asociados con la actividad de deslizamientos.

Con el estudio geológico realizado en 6 km<sup>2</sup> a escala 1:10,000 se determinaron un total de 40 deslizamientos, situados en dolomitas Pérmicas y suelos (anexo 1). Los distintos caminamientos por carreteras y veredas que se utilizaron para llevar a cabo el mapeo geológico, también fueron de utilidad para la realización de un inventario de deslizamientos (anexo 2). Para llevarlo a cabo, se diseñó previamente una lista de chequeo (anexo 4), en donde se tomaron en cuenta varios parámetros geotécnicos de macizos rocosos, suelos y de deslizamientos. De este inventario se observan algunos parámetros tales como: ubicación georeferenciada, tipo de material, dimensiones, clasificación, rumbo de desplazamiento, grados de pendiente de la ladera donde ocurren, fecha de activación, etc.

**6.1 Clasificación de deslizamientos:** los factores condicionantes de la zona determinan la existencia de dos tipos de deslizamientos

- Caída de rocas (rock fall):** este tipo de deslizamiento es el más frecuente en el área y ha provocado daños materiales y pérdida de vidas humanas (13 personas fallecidas en mayo del 2,000). Se deriva de la intensa deformación frágil que han sufrido las dolomitas Pérmicas del área. La intersección, poca separación, persistencia y gran número de discontinuidades, hacen que los macizos rocosos de dolomitas sean poco resistentes e inestables, generando caída de bloques (Fig. 16), cuyas dimensiones van desde pocos centímetros hasta algunos decímetros de diámetro. La zona de máxima ocurrencia de este tipo de deslizamientos es en los alrededores del Barrio El Calvario y La Vega, donde ocurren por lo menos

## 7. Mapa de amenaza

La suma de todas las características geotécnicas de los materiales (litología) de la región, pendientes de laderas, aspecto de laderas, elevación topográfica, profundidad de meteorización, presencia de agua, el uso del suelo -cobertura vegetal y el inventario de deslizamientos de la región, permitió la elaboración del mapa de amenaza por deslizamientos (Fig. 16).

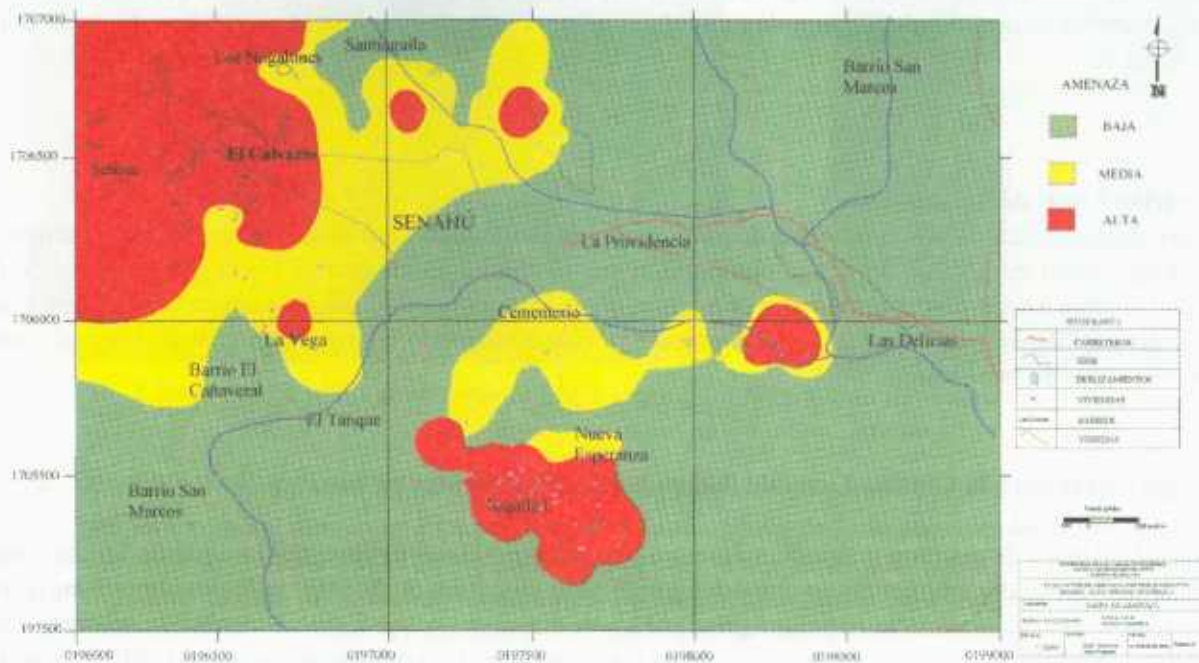


Fig. 19. Mapa de amenaza de la zona de estudio.

El mapa muestra la zonificación de los distintos niveles de amenaza, que fueron tomados en cuenta para este proyecto. Así, se distinguen tres tipos de amenazas: baja, media y alta.

El grado más alto de amenaza (color rojo) cubre 15% del área mapeada, donde se localizan los barrios de: El Calvario, Semuc, Santiguüila, Los Nogalones y la comunidad Sequilá I. Este nivel de amenaza se divide en dos zonas:

- La primera zona se encuentra situada al Noroeste del área, donde se sitúan los barrios El Calvario, Semuc, Santiguüila y Los Nogalones. Aquí ocurren caídas de rocas que desarrollan sobre dolomitas muy fracturadas, que generan bloques de diámetros centimétricos o decimétricos.
- La segunda zona se encuentra al Sur del área, en el barrio Sequilá I. El tipo de deslizamiento que ocurre es traslacional, en el límite caliza-suelo, que actúa como plano potencial de deslizamiento. Los materiales removidos por los deslizamientos son suelos arcillosos, tipo CH o CL.

El nivel medio de amenaza (color amarillo) cubre 25% del área, ocurre principalmente al Noroeste de la zona, aunque existen zonas más pequeñas situadas al Sur y Noreste. El número de deslizamientos observado en esta zona es significativamente menor que en la zona anterior. Las comunidades que afecta son La Vega, Nueva Esperanza, El Tanque, Las Gallinas, Cañaverál y El Cementerio. Los deslizamientos observados ocurren en dolomitas y son de tipo caída de rocas. En los alrededores de Sequilá I, el color amarillo representa el área potencial para generar deslizamientos traslaciones, debido a la presencia de gruesos espesores de suelo.

El nivel bajo de amenaza (color verde) cubre 60% del área, siendo esta una zona potencialmente estable en base a los parámetros evaluados en este proyecto, comprende tres unidades litológicas, dos de roca (Caliza y Dolomita) y una unidad de Suelo.

Es preciso señalar que el mapa generado en este trabajo, obedece estrictamente a amenaza por deslizamientos, sin considerar otro tipo de amenazas en la región, como por ejemplo, la amenaza por inundaciones, que en el presente caso se desarrolla en la quebrada Santiaguilá y que afecta a las personas que inadecuadamente han sido trasladadas a este lugar.

## **8. Gestión Local de Riesgo (GRL)**

Las actividades realizadas bajo el concepto de gestión local de riesgo se enfocaron inicialmente a la conformación de un grupo local de gestión de riesgo conformado por vecinos e instituciones locales encargados de dar acompañamiento a las distintas actividades de evaluación de amenaza geológica. A los miembros de este grupo se les instruyó por medio de talleres, acompañamiento en las actividades de campo, presentación y socialización de los resultados de este estudio.

### **8.1. Sugerencias para la Gestión Local de Riesgo por Deslizamientos en Senahú**

#### Acciones preventivas

Atendiendo al mapa de amenaza generado, es preciso comentar que la mayor parte de Noroeste de Senahú, posee un alta amenaza por deslizamientos, lo que deberá ser tenido en cuenta al abordar cualquier obra de ingeniería civil. De esta zona ya se conocía su peligrosidad por los deslizamientos que históricamente han ocurrido y que han afectado no sólo a viviendas familiares implantadas en esa zona sino que han ocasionado víctimas mortales en la comunidad.

La siguiente es una lista de acciones preventivas que pueden implementarse en Senahú para reducir la vulnerabilidad por deslizamientos:

- De manera general se recomienda NO construir a inmediaciones de las zonas identificadas con amenaza alta.
- No deforestar en los alrededores de las zonas con amenaza alta. Los cambios naturales así como aquellos inducidos por el hombre pueden afectar la susceptibilidad a deslizamientos
- Mostrar los resultados del presente estudio a las Autoridades Municipales y habitantes de las comunidades, para enseñarles en el terreno la amenaza inminente de las zonas identificadas como tal en el presente estudio

Con respecto a las áreas de amenaza media, se recomienda tomar conciencia de la necesidad de realizar estudios geotécnicos precisos no sólo en las inmediaciones de las posibles obras sino en una zona más amplia

Acciones de mitigación. Los deslizamientos que incluyen caída de rocas son muy difíciles de mitigar y requerirían una elevada inversión económica. Aún revegetar los terrenos deslizados es difícil y peligroso debido a la alta pendiente y lo frágil de las rocas. Lo más apropiado es educar al público con señales de que el área está amenazada y que estarían expuestos a un riesgo muy alto si deciden construir cerca de estas zonas. Los deslizamientos situados al sur de Senahú (Sequilá I) podría tratar de estabilizarse el terreno con muros y/o gaviones. Los pobladores de esta comunidad ya han iniciado la construcción de “muros de contención”, rellenando sacos de tierra (Fig. 20), lo cual a primera vista parece una medida económica y rápida de mitigar la amenaza. Para construir obras de ingeniería más sofisticadas, es necesario realizar un estudio más a detalle de las características de la zona y llevar a cabo una evaluación de factibilidad económica.

La utilización de barreras vegetales (plantas de raíz profunda) y retaludamientos, también son medidas de mitigación que merecen ser evaluadas.



13 deslizamientos por kilómetro cuadrado. Las dimensiones de los mismos oscilan entre 5 – 40 m de ancho por 5 – 110 m de largo.



Fig. 16. Caída de rocas en los alrededores de El Calvario.



Fig. 17. Deslizamiento traslacional en la aldea Sequila I.

- **Deslizamientos traslacionales:** este tipo ocurre con menos frecuencia en la zona estudiada y únicamente ha provocado daños materiales a los pobladores de la aldea Sequilá I. Se encuentra restringido a la ocurrencia de suelos de gran espesor que descansan sobre calizas. En la mayoría de ocasiones, el plano que limita a los suelos de las calizas, se inclina a favor de la pendiente, actuando como plano de deslizamiento, más aún, cuando existen fuertes precipitaciones. Los deslizamientos traslacionales ocurren en la aldea Sequila I, y cubren un radio aproximado de 20 m de diámetro, el más significativo de ellos fue mapeado a escala 1:250 (Fig. 17 y 18).

De los dos tipos de deslizamientos identificados, se considera que el primero de ellos (caída de rocas) es el más peligroso, tanto por su velocidad de desplazamiento (hasta 10 m/s) como por el material que acarrea. Los de tipo traslacional, se desplazan a velocidades más lentas (cm/año), movilizan suelos y pueden ser monitoreados con métodos sencillos.

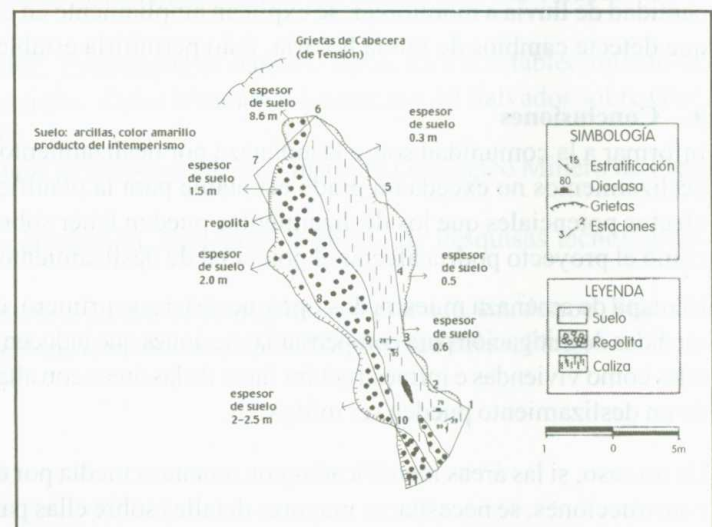


Fig. 18. Deslizamiento traslacional ubicado en la aldea Sequilá I. Escala original 1:250.

De las entrevistas realizadas a los pobladores de la región, se deduce que ambos tipos de deslizamientos fueron desencadenados por las intensas lluvias que afectaron al área.



**Fig. 20.** Obras de mitigación construidas por los pobladores de la comunidad Sequilá I, para estabilizar rellenos de tierra.



*Acciones de preparación.* Algunas de las acciones de preparación se citan a continuación.

- Promover la organización de la comunidad mediante la realización de talleres participativos.
- Establecer un sistema de alerta temprana.
- Estructurar un Comité de Emergencia Local, que de continuidad al Grupo de Gestión Local de Riesgo.
- Aportar capacitación a la comunidad para el manejo de desastres.

*Sistema de alerta temprana.* Debido a que la lluvia ha sido el factor desencadenante de los deslizamientos se sugiere establecer un sistema de alerta temprana en base a datos de precipitación pluvial. Para ello es necesario seguir monitoreando la cantidad de lluvia diaria con la estación pluviométrica municipal. Es necesario capacitar a un Técnico Municipal en la interpretación de datos de lluvia para que sea la misma Comunidad que lleve el registro de datos e implemente el sistema de alerta temprana. Los valores normales y umbrales respecto a la cantidad de lluvia a monitorear, se explican ampliamente en el anexo 3. Lo ideal sería contar con un pluviógrafo que detecte cambios de lluvia horaria. Esto permitiría establecer un sistema de alerta más preciso para la zona.

## 9. Conclusiones

Informar a la comunidad sobre la amenaza por deslizamientos es el primer paso para asegurar que el peligro de deslizamientos no exceda un grado aceptable para la planificación del uso futuro del terreno. No entender los efectos potenciales que los deslizamientos pueden tener sobre una comunidad o el desarrollo de un proyecto, o cómo el proyecto podría afectar el potencial de deslizamientos, conduce a mayor riesgo.

El mapa de amenaza muestra dos opciones básicas: primero, evitar las áreas de alta amenaza y, segundo, diseñar medidas de mitigación para compensar las acciones que inducen deslizamientos. Por ejemplo, colocar construcciones tales como viviendas e infraestructura fuera de las áreas con alta amenaza. En algunos casos, los efectos potenciales de un deslizamiento pueden ser mitigados.

En un caso, si las áreas identificadas con amenaza media por deslizamientos también son utilizadas para realizar construcciones, se necesitarán mayores detalles sobre ellas para asegurar que el diseño del proyecto compensa el potencial de la amenaza. Por ejemplo, las áreas con amenaza moderada o mayor, pueden no ser totalmente evitables cuando se trata de una carretera propuesta. La investigación detallada puede proporcionar información sobre las condiciones de aguas subterráneas, así como de las características de estabilidad del suelo y la roca para lograr un diseño estable.

En otro caso, la infraestructura existente, o las comunidades, pueden estar ubicadas en zonas no identificadas previamente como de alta amenaza. A estas áreas se les debe dar prioridad para introducir algunas medidas de

mitigación. Cuando tal mitigación no es posible y se identifica el riesgo como extremadamente alto, se puede considerar la reubicación hacia áreas más seguras.

En caso de que la opción sea la reubicación, la decisión debe ser tomada conjuntamente entre las autoridades y la población afectada

### Referencia bibliográficas

- Ayala Carcedo, F.J (1988): Introducción a los riesgos geológicos. Riesgos geológicos. I.G.M.E., serie Geología Ambiental, Madrid.
- Ayala Carcedo, F.J; Elizaga, E.; González De Vallejo; Durám, J.J.; Beltrán, F., Oliveros, M.A ; Carbo, A., Guillamont, M.L., Capote, R. (1987). Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. I G.M.E., Madrid, 86pp.
- Buckman, R., Coe, J., Mota, M., Godt, J. Tarr, A , Bradley, L , Rafferty, S., Hancock, D., Dart, R. y Johnson, M. 2001. Deslizamientos de Tierra Inducidos por el huracán Mitch en Guatemala. USGS Open File Report 01-443. 45 p.
- Corominas, J.; García, A. (1997): Terminología de los movimientos de ladera. Conferencia del IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol III, pp 1051-1070.
- Dal, F., Lee, C., Li, J., Xu, Z. 2001. Assesment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. Environmental Geology. Springer-Verlag. 381-391.
- Eddleston, M., Walthall, S , Cripps, J., Culshaw, M. 1995 Engineering Geology of Construction. The Geological Society. London. 411 p.
- Ercanoglu M., Gokceoglu, C. 2002. Assesment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology. Springer-Verlag. 41: 720-730.
- González Moradas, M. Rosario; González Nicieza, C.; Lima De Montes, Y. (2000)· Obtención del mapa de suceptibilidad a los deslizamientos con técnicas GIS.? Ingeniería Civil n? 119. Madrid, pp 13-20
- Machorro, R. 2,002 Evaluación de la amenaza Geológica por Deslizamientos en Senahú, Alta Verapaz. Informe Preliminar Cordillera, S. A 17 p.
- Machorro, R., Cortéz, S Laj, L , Requena, J. 2,002. Evaluación de datos de lluvia para el establecimiento de un sistema de alerta temprana por deslizamientos. Taller binacional Guatemala-El Salvador sobre Gestión Local de Riesgo por Deslizamientos 9 p
- Permia, et. Al 1998. Registro de datos en sondeos de reconocimiento. Instituto Geológico Minero de España.
- Tadashi, A. sin fecha. Aspectos Geologicos de protección ambiental Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de Sao Paulo. 89-101.
- VARNES, D J (1984): Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice Int. Assoc. Eng. Geol.. Commission on landslides and other mass movements on slopes. The Unesco Press, Paris.