



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

UNESCO, San José  
Representación para  
Costa Rica, El Salvador,  
Honduras, Nicaragua  
y Panamá



CEPREDENAC



Proyecto Regional  
**DIPECHO VII**  
UNESCO-CEPREDENAC

# Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central

Fortalecimiento de los  
Sistemas de Alerta Temprana  
en América Central

Se puede reproducir y traducir total y parcialmente el texto publicado siempre que se indique la fuente.

El autor es responsable de la selección y presentación de los hechos contenidos en esta publicación, así como de las opiniones expresadas en ella, las que no son, necesariamente, las de la UNESCO y no comprometen a la institución.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no implican, de parte de la UNESCO, ninguna toma de posición respecto al estatuto jurídico de los países, ciudades, territorios o zonas, o de sus autoridades, ni respecto al trazado de sus fronteras o límites.

Publicado por la Oficina de la UNESCO San José para Centroamérica y México, en el marco del Proyecto Regional DIPECHO VII “Fortalecimiento de los Sistemas de Alerta Temprana en América Central”, financiado por el Programa de Preparación para Desastres de la Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea.

Responsable del proyecto: Jonathan Baker, UNESCO

Coordinadora del proyecto: Claudia Cárdenas

Diseño de portadas, contraportadas, impresión y empastes: Sergio Orellana

Impreso en San José, Costa Rica. Febrero de 2012

Esta publicación puede descargarse del sitio:

<http://www.unesco.org/new/es/sanjose/natural-sciences/proyecto-dipecho/>

COMISION EUROPEA



Ayuda Humanitaria

La Oficina de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea (ECHO) es uno de los más grandes proveedores del mundo en financiamiento para operaciones de ayuda humanitaria. Su mandato no sólo incluye el financiamiento en la recuperación de desastres, sino también el apoyo de las actividades de preparación, en particular a nivel local. A través de su programa de preparación para desastres (DIPECHO) se ayuda a las personas vulnerables que viven en las principales regiones propensas a desastres del planeta, en la reducción del impacto de éstos en sus vidas y medios de subsistencia.



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

UNESCO, San José  
Representación para  
Costa Rica, El Salvador,  
Honduras, Nicaragua  
y Panamá



CEPREDENAC



## **PRESENTACIÓN**

La UNESCO a escala global y en el campo de la reducción del riesgo de desastres persigue objetivos como: la promoción para una mejor comprensión de los peligros naturales y de su intensidad, el establecimiento de sistemas confiables de alerta temprana, la elaboración de planes de uso de suelo, el velar por el diseño de edificios seguros, la protección de los inmuebles educativos y los monumentos culturales, el fortalecer la protección ambiental para la prevención de los desastres de origen natural y humano, el mejorar la preparación y sensibilización de la población a través de la educación, la formación, la comunicación y la información, el fomento de la investigación sobre factores de riesgo, la recuperación y la rehabilitación, y la promoción de estudios sobre la percepción social de los riesgos.

La acción de la UNESCO se lleva a cabo a través de redes de organismos internacionales y no gubernamentales, en la coordinación con diversas instituciones, en la colaboración directa con los Estados miembros, en la implementación de proyectos, en el asesoramiento técnico, en la producción, preservación y difusión de datos, y en la organización de seminarios y cursos de formación especializada. Y principalmente en la promoción de un enfoque interdisciplinario de la temática de la reducción del riesgo de desastres desde la experiencia de trabajo de los 5 sectores de la organización: Educación, Cultura, Ciencias Naturales, Ciencias Humanas, Comunicación e Información.

La UNESCO promueve los esfuerzos nacionales y regionales para el desarrollo de capacidades para la reducción de los riesgos de origen humano y natural a través del asesoramiento en políticas, intercambio de conocimientos, sensibilización y la educación para la preparación en caso de desastres, prestando especial atención a la integración de perspectivas de género y la juventud.

Además está firmemente comprometida con la implementación del Marco de Acción de Hyogo 2005-2015, y desempeña un papel de promoción en la necesidad de un cambio de visión, pasando del énfasis en los preparativos para la respuesta, a la prevención, y una mayor preparación y educación de las poblaciones potencialmente afectadas.

En América Central, la UNESCO implementó en el marco del VII Plan de Acción DIPECHO (2010-2012), el Proyecto Regional “Fortalecimiento de capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) en América Central, desde una perspectiva de multiamenaza” en asociación con CEPREDENAC – SICA. Su objetivo principal fue el de contribuir al aumento de la seguridad en las comunidades en riesgo de desastre en América Central a través del fortalecimiento de las capacidades a escala local y nacional. Lo cual se logró a través del trabajo en 3 resultados:

- Conocimiento fortalecido sobre las existencias de SAT a escala nacional y regional.
- Armonización de marcos legales sobre SAT
- Fortalecimiento de capacidades en los ministerios de educación sobre la temática SAT

De cada uno de estos resultados se obtuvieron los siguientes documentos:

- Inventario y caracterización de los Sistemas de Alerta Temprana en América Central
- Inventario y caracterización de los Sistemas de Alerta Temprana en Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala.
- Estudio de marcos legales y el mandato de la temática SAT
- Guía SAT Inundaciones
- Guía SAT Deslizamientos
- Elaboración de materiales didácticos para uso de los ministerios de educación

La producción de estos materiales (los cuales fueron elaborados de manera participativa entre los expertos del proyecto y los especialistas de las instituciones nacionales vinculadas a los sistemas de

reducción de riesgos y desastres de cada país), representa un insumo de gran valor para la región para que el tema SAT sea prioritario en la agenda de las instituciones nacionales y regionales, tanto aquellas de competencias operativas como científicas en la reducción de riesgos y desastres. Esta priorización, podría permitir la sostenibilidad de los SAT, que pasa por el reconocimiento por parte de los tomadores de decisión de que los mismos son uno de los principales elementos de la reducción de riesgos, que evita la pérdida de vidas y disminuye los impactos económicos y materiales de los desastres.

La UNESCO desea agradecer en la presentación de esta publicación a todos los funcionarios de las diversas instituciones que conforman los sistemas nacionales de reducción de riesgos y desastres en cada país (SINAPROD, CNE, SINAPRED, COPECO, PC, CONRED, INETER, INSIVUMEH, MARN, Universidades, ong, Ministerios/Secretaría de Educación, CECC-SICA, CEPREDENAC-SICA, entre otros) por su dedicación y esfuerzo, sin los cuales no hubiera sido posible este valioso producto.

### **Reconocimientos**

Wilfried Strauch fue el consultor contratado para la elaboración de la presente Guía, cuya primera versión fue dada a conocer a especialistas de la región, por medio de un foro de discusión (<http://espanol.groups.yahoo.com/group/sat-desliza/>), del cual se recibieron aportes y comentarios al documento. Luego, y a través de una reunión que organizó la UNESCO en San Salvador (5 y 6 de diciembre de 2011), se discutió una versión mejorada de la Guía. El encuentro contó con la valiosa participación de funcionarios de los 6 países, de diversas instituciones con mandato en el tema de deslizamientos y su prevención: Manuel Díaz, Walter Hernández, Rosina Castro, Luis Mixco, Luis Handal del MARN/El Salvador; Anne Hild de OXFAM/El Salvador; Omar Flores de la Universidad de San Carlos en Guatemala; Juan Pablo Oliva de CONRED/Guatemala; Jorge Girón del INSIVUMEH, Guatemala; José M. Gutiérrez y Eliseo Silva de COPECO/Honduras; Antonio Álvarez del INETER/Nicaragua; Victor Fallas del CNE/Costa Rica; Carlos Rubí de SE-SINAPRED/Nicaragua; Arkin Tapia de IG-UPA/Panamá; Walter Wintzer y Carlos Puac de CEPREDENAC-SICA; Claudia Cárdenas de UNESCO/San José, Costa Rica; y Wilfried Strauch consultor.

La reunión permitió el análisis, discusión y aprobación de los contenidos y metodología de la Guía, la cual culmina con la presente publicación. El documento se vio nutrido además de las informaciones obtenidas de otros productos del proyecto, como los “Inventarios y caracterización de los SAT en cada país, el “Estudio de los marcos legales”, entre otros.

## **Lista de documentos**

| <b>#</b>     | <b>No. paginas</b> | <b>Título</b>  |
|--------------|--------------------|--|
| 1            | 50                 | <b>Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central</b> |
|              |                    | <b>Anexos</b>  |
| 2            | 10                 | Anexo 1 Reseña de la Amenaza de Deslizamientos en Centroamérica  |
| 3            | 13                 | Anexo 2 Tipos de deslizamientos, afectación y monitoreo  |
| 4            | 8                  | Anexo 3a Ocurrencia de deslizamientos en Guatemala   |
| 5            | 11                 | Anexo 3b Ocurrencia de deslizamientos en El Salvador   |
| 6            | 9                  | Anexo 3c Ocurrencia de deslizamientos en Honduras  |
| 7            | 7                  | Anexo 3d Ocurrencia de deslizamientos en Nicaragua   |
| 8            | 7                  | Anexo 3e Ocurrencia de deslizamientos en Costa Rica  |
| 9            | 3                  | Anexo 3f Ocurrencia de deslizamientos en Panamá  |
| 10           | 4                  | Anexo 4 Deslizamientos extremos en Centroamérica   |
| 11           | 11                 | Anexo 5 Mapas de amenaza por deslizamientos en Centroamérica   |
| 12           | 10                 | Anexo 6 Mapas de Ocurrencia de deslizamientos en Centroamérica   |
| 13           | 9                  | Anexo 7a Experiencia con SATD en Guatemala   |
| 14           | 17                 | Anexo 7b Experiencia con SATD en El Salvador   |
| 15           | 18                 | Anexo 7c Experiencia con SATD en Honduras  |
| 16           | 19                 | Anexo 7d Experiencia con SATD en Nicaragua   |
| 17           | 17                 | Anexo 7e Experiencia con SATD en Costa Rica  |
| 19           | 11                 | Anexo 7f Experiencia con SATD en Panamá  |
| 20           | 24                 | Anexo 8 SATD del Canal de Panamá   |
| 21           | 9                  | Anexo 9 SATD regionales y globales   |
| 22           | 15                 | Anexo 10 Equipo y software para monitoreo de lluvias   |
| 23           | 17                 | Anexo 11 Instrumentos para medición de desplazamientos lineales  |
| 24           | 7                  | Anexo 12 Métodos sofisticados para monitorear movimientos lentos   |
| 25           | 7                  | Anexo 13 Actuadores y switches sencillos para la alarma  |
| 26           | 16                 | Anexo 14 Proyectos en Centroamérica relacionados con SATD  |
| 27           | 4                  | Anexo 15 Métodos para hacer mapas  |
| 28           | 5                  | Anexo 16 Métodos para monitorear flujos, lahares y avalanchas  |
| 29           | 3                  | Anexo 17 Esquema de un SAT para lahares o flujos   |
| 30           | 3                  | Anexo 18 Monitoreo automático  |
| 31           | 4                  | Anexo 19 Protocolos para SATD  |
| 32           | 2                  | Anexo 20 Signos de alerta y métodos de observación visual  |
| 33           | 4                  | Anexo 21 Equipos de transmisión, registro y procesamiento de datos   |
| 34           | 2                  | Anexo 22 Alimentación de energía   |
| 35           | 8                  | Anexo 23 Sensores sísmicos y acústicos   |
| 36           | 10                 | Anexo 24 SATD Regional Experimental para Centroamérica   |
| <b>Total</b> | <b>382</b>         |  |

## Índice

| No       | Capítulo   | Página    |
|----------|--|-----------|
|          | <b>Resumen</b>   | 4         |
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>  | 7         |
| 1.1      | Objetivos de esta guía   | 7         |
| 1.2      | ¿A quién se dirige esta guía?  | 7         |
| 1.3      | Organización de la guía  | 8         |
| 1.4      | Razones para desarrollar los SATD  | 8         |
| 1.5      | Antecedentes   | 9         |
| <b>2</b> | <b>Problemática</b>  | 9         |
| 2.1      | Un desastre que pudo ser mitigado  | 9         |
| 2.2      | Situación actual de los SATD en Centroamérica                                | 11        |
| <b>3</b> | <b>¿Qué es un sistema de alerta temprana, qué tipos hay?</b>                 | <b>13</b> |
| 3.1      | Clasificación de SATD según enfoque hacia la población bajo riesgo           | 14        |
| 3.1.1    | Sistemas de Información (Temprana)   | 14        |
| 3.1.2    | Sistemas de Preparación y Aviso  | 15        |
| 3.1.3    | Sistemas de Alerta (Temprana)  | 15        |
| 3.2      | Otras formas de clasificar los SATD  | 16        |
| 3.3      | Sistemas de alerta temprana que no lo son                                    | 16        |
| <b>4</b> | <b>Ciencia y métodos de monitoreo de los deslizamientos</b>                  | <b>17</b> |
| 4.1      | Causa de los deslizamientos  | 17        |
| 4.2      | Avances científicos  | 19        |
| 4.3      | Pronóstico de desastres por deslizamientos y métodos o tecnologías de alerta | 19        |
| 4.4      | Ciencia multidisciplinaria   | 20        |
| 4.5      | Métodos, instrumentación y tecnología existente para el monitoreo            | 21        |
| 4.6      | Mapeo de Amenaza y riesgo de deslizamientos en Centroamérica                 | 23        |
| 4.7      | Determinación de umbrales de desencadenamiento                               | 23        |
| <b>5</b> | <b>Registro de deslizamientos en Centroamérica</b>                           | <b>24</b> |
| 5.1      | Bases de datos   | 24        |
| 5.2      | Deslizamientos importantes ocurridos   | 25        |
| 5.3      | Deslizamientos extremos  | 26        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>6</b>   | <b>Sistemas de alerta de deslizamientos en Centroamérica</b>                     | <b>26</b> |
| 6.1        | Experiencias nacionales  | 26        |
| 6.2        | Sistemas regionales y globales   | 28        |
| <b>7</b>   | <b>Métodos del monitoreo y alerta de los deslizamientos</b>                      | <b>28</b> |
| 7.1        | Instrumentos de monitoreo  | 28        |
| 7.2        | Esquema de alerta para deslizamientos lentos                                     | 28        |
| 7.2        | Esquema de alerta para lahares o flujos de detritos                              | 29        |
| <b>8</b>   | <b>Aspectos de distribución de la alerta y notificación</b>                      | <b>30</b> |
| 8.2        | Aspectos de notificación de las personas bajo riesgo                             | 30        |
| 8.3        | Relación entre autoridades y población bajo riesgo, Alertas falsas               | 31        |
| <b>9</b>   | <b>Estrategias para hacer eficiente y sostenible los SATD</b>                    | <b>33</b> |
| 9.1        | Diversificación de los objetivos y productos                                     | 33        |
| 9.2        | Supervisión y soporte  | 33        |
| 9.3        | Evitar errores de equipamiento   | 33        |
| 9.3        | Evitar errores de equipamiento   | 34        |
| 9.4        | Proyectos de equipamiento  | 34        |
| 9.5        | Estímulos y recompensa para los SATD   | 34        |
| 9.6        | Respaldo de documentación  | 35        |
| 9.7        | Publicación de datos de deslizamientos   | 35        |
| 9.8        | Investigación y Desarrollo   | 35        |
| 9.9        | Personal multidisciplinario  | 36        |
| 9.10       | Sistemas de alerta integrados - desde el inicio hasta el final                   | 36        |
| 9.11       | Verificación del funcionamiento del SAT  | 36        |
| 9.12       | Hacia los sistemas automáticos   | 36        |
| 9.13       | Incorporación del tema SAT en el currículum de educación formal escolar          | 37        |
| <b>10.</b> | <b>Estrategia para combatir al enemigo principal - los flujos y lahares</b>      | <b>38</b> |
| <b>11</b>  | <b>Instituciones principales involucrados en los SATD</b>                        | <b>40</b> |
| 11.1       | Organismos de Protección Civil   | 40        |
| 11.2       | Instituciones geo-científicas centralizadas o relevantes para los deslizamientos | 40        |
| <b>12</b>  | <b>Literatura recomendada</b>  | <b>42</b> |
| <b>13</b>  | <b>Bibliografía</b>  | <b>42</b> |

## **Resumen**

Se realizó un reconocimiento **de los Sistemas de Alerta Temprana de Deslizamientos (SATD)**, que se desarrollaron en los últimos años en los países de Centroamérica. El avance de los SATD comenzó en los años 1990 y se aceleró drásticamente después del desastre del Huracán Mitch. Se encontró información sobre **31 SATD** en organizaciones, unidades o programas de instituciones que en las leyes nacionales, en documentos propios, publicaciones, evaluaciones se les atribuye explícita o implícitamente la intención o la tarea de dar una Alerta Temprana de deslizamientos. En el número no entran instituciones como que informan de manera generalizada sobre posibles amenazas como los servicios meteorológicos que pronostican fuertes lluvias y mencionan la posibilidad de desencadenarse deslizamientos.

En los anexos 7a-7f **el presente trabajo proporciona extractos extensos de la documentación** encontrada de los sistemas existentes, que refleja su experiencia y sus problemas. Se revisaron **referencias sobre 90 proyectos** ejecutados en Centroamérica con alguna relación con la temática de los SATD. En la práctica, por ejemplo en la planificación, ejecución y evaluación de proyectos relacionados, **muchas veces no está claramente definido que exactamente es un SAT**. Por eso, **se aporta una clasificación de los SAT** diferenciando Sistemas de Información Temprana, Sistemas de Preparación y Aviso, y los verdaderos Sistemas de Alerta Temprana. Los últimos se caracterizan en estar enfocados directa y únicamente a las personas bajo riesgo inmediato en el área bien delimitada de mayor riesgo y todo el trabajo del sistema se concentra en salvar sus vidas antes del impacto del fenómeno. **Se presenta un listado y un mapa de SATD existentes en Centroamérica**, considerando esta clasificación. Muy pocos sistemas pueden ser considerados verdaderos SATD. Los SAT centralizados de las instituciones geocientíficas o de protección civil clasifican generalmente como sistemas de información temprana. Raras veces informan directamente a las personas bajo peligro sino a otras instancias estatales que a la vez deben pasar los mensajes a la población. A nivel comunitario hay un gran número de Sistemas de Preparación y Aviso. Algunos parecen estar bien desarrollados, cuentan con personas capacitadas y podrían convertirse en SAT o mejor dicho podrían llegar a incluir uno o varios SAT en sus estructuras

Existe **poca información sobre el quehacer de los SATD** después de su fase inicial. Generalmente, no existen informes periódicos, publicaciones científicas sobre sus experiencias, logros, fallas, cambios de personal que trabaja en ellos. Inclusive no existen estadísticas sobre si se emitieron alertas, si estas fueron acertadas, cuantas personas fueron evacuadas, cuantas alertas falsas hubo. No se encontró ni un reporte sobre una alerta de deslizamientos exitosa emitida por un SATD establecido. Esta falta de información se debe muchas veces a que los SAT comunitarios se consideran como estructura local, no tiene una posición claramente definida en la jerarquía estatal, **hay poca supervisión y tampoco soporte y apoyo calificada** a largo plazo.

Los **mayores problemas de los SAT** son falta de financiamiento de largo plazo, bajo nivel técnico, poco apoyo de las instituciones centrales. Muchas veces las ONG que implementan el SAT en las comunidades se retiran después de la fase inicial. Después ya **no hay un soporte de mediano y largo plazo**, el entusiasmo inicial se cae rápido. Generalmente, no se da reconocimiento suficiente a los que trabajan en los SAT. En muy pocos casos hay un apoyo decidido y planificado de las autoridades locales para los SAT. Dentro de las instituciones científicas que deberían dar apoyo técnico hay **poco personal que trabaja sobre la problemática** de los deslizamientos. En su mayoría los especialistas son geólogos y **no hay equipos multidisciplinarios de especialistas** adecuados a la complejidad del problema. Inclusive, el personal existente muchas veces no tiene conocimientos amplios sobre la metodología del monitoreo y alerta de deslizamientos, especialmente hay **falta de conocimientos y experiencias con la tecnología**. Por eso, es también difícil para los ONG y las municipalidades obtener apoyo técnico adecuado cuando preparan y ejecutan el proyecto de desarrollo de un SAT.

Pocos fondos y poco personal se dirigen al problema de deslizamientos en comparación con otros peligros. Los técnicos no tienen instrumentos para realizar mediciones y tampoco tiene experiencia práctica en el uso de instrumentación. Hay poca capacitación sobre la temática de la alerta de deslizamientos a todos los niveles, en Centroamérica **no hay cursos universitarios sobre el monitoreo y alerta de deslizamientos.**

Para conocer la amenaza de los deslizamientos se necesitan los datos históricos de su ocurrencia y datos de monitoreo sobre su comportamiento. Pero, para Centroamérica, hay pocos datos exactos sobre el desarrollo de los deslizamientos, su velocidad de movimiento, su hora exacta de ocurrencias, sus coordenadas geográficas. La mayoría de los datos – con excepción de los del huracán Mitch - sale de reportes publicitarios o notas de las oficinas de protección civil. Los catálogos de deslizamientos son poco homogéneos, no son consensuados entre los países. La falta de información resulta directamente del hecho que los técnicos de las instituciones geocientíficas no tienen instrumentos adecuados para realizar mediciones y tampoco tiene experiencia práctica en el su uso.

Como ayuda a los SATD o a las ONG, instituciones o personas que quieren desarrollar SATD , en **el presenta trabajo se incluyó amplia información sobre métodos y instrumentos**, inclusive referencias a sitios donde se pueden comprar los equipos y sobre los precios, ver en los Anexos 10-24.

La diversidad de los **tipos de deslizamientos requiere de diferentes acercamientos** para monitorearlos y realizar alertas. En Anexo 2 se presenta un primer guión (al menos para Centroamérica) de la fenomenología, de amenazas relacionadas, los posibles métodos de monitoreo, alerta y prevención recomendados – para los diferentes tipos de deslizamientos. Se presentan esquemas para sistemas más completos de monitoreo y alerta de deslizamientos lentos y para los lahares y flujos de detritos.

para alcanzar una mayor eficiencia y sostenibilidad **se recomienda una variedad de medidas: Diversificación de los objetivos** y productos de los SATD, **supervisión y soporte** desde las instituciones centrales, **evitar errores de equipamiento** en la fase de concepción e instalación, realización de proyectos de equipamiento a nivel nacional y regional, **asegurar estímulos** y recompensas para los que trabajan en los SATD, realizar **respaldo de documentación**, realizar regularmente **publicación de datos** de deslizamientos, participar los SAT en **proyectos de investigación** y desarrollo, desarrollar grupos de **personal multidisciplinario** en las instituciones geocientíficas centrales, garantizar que los SATD sean **sistemas integrados** - desde el inicio (monitoreo) hasta el final (personas bajo riesgo), asegurar la **verificación del funcionamiento** del SAT por medio de medidas técnicas y con la ejecución de ejercicios locales, nacionales y regionales (como en el caso de los tsunamis), avanzar en el uso de **sistemas automáticos** también para los SATD comunitarios, incorporación del tema **SAT en el currículum de educación formal escolar.**

Para mejorar la situación de los SATD se requiere **concentración en lo más importante.** Se propone desarrollar **una estrategia nacional y regional para combatir el tipo de deslizamientos que más pérdidas humanas causa – los lahares en la zona volcánica y los flujos de detritos** en otras zonas montañosas. Esta estrategia debe incluir el desarrollo de instrumentación adecuada, inclusive de software que maneja el monitoreo, facilita la toma de decisión y la alarma a la población. Se necesita cooperación regional como hubo y hay en el caso de los sismos, tsunamis, volcanes. Para estos fenómenos hubo y hay proyectos grandes en la región para alcanzar un nivel científico y técnico adecuado y lograr estandarización. También para los SATD se necesitan no solamente los proyectos locales que predominan en la temática de los deslizamientos sino **se requiere de proyectos grandes con fondos y personal suficiente** para desarrollar métodos, tecnología y experiencia adaptada al problema.

## **1. Introducción**

### **1.1 Objetivos de esta guía**

Los objetivos de esta guía son:

- 1) Aportar a la reducción del número de víctimas por deslizamientos en Centroamérica, específicamente en la zona volcánica donde ocurre la mayoría de los desastres grandes por lahares y flujos de detritos (deslaves).
- 2) Con este fin - concentrar la implementación de Sistemas de Alerta Temprana de deslizamientos (SATD), y el aumento de su nivel científico-tecnológico hacia estos tipos de deslizamientos.
- 3) Fomentar el estudio científico de los deslizamientos en Centroamérica con métodos modernos para poder generar información útil para el diseño y el aprovechamiento de los deslizamientos, especialmente en la definición de los umbrales de desencadenamiento.
- 4) Disponer de conocimiento sobre la documentación base existente sobre la ocurrencia de deslizamientos en la región.
- 5) Disponer de documentación existente de iniciativas en SAT deslizamientos en América Central como recurso de información para el análisis de las experiencias, necesidades, (programas o proyectos) y enfoques de intervención.
- 6) Promover el mayor conocimiento de instrumentación y tecnología de bajo costo adecuado para el monitoreo y la alerta de deslizamientos y el desarrollo de estándares en su utilización.
- 7) Proveer elementos para lograr la sostenibilidad de los Sistemas de Alerta Temprana, estrategias institucionales, técnicas, políticas, legales, sociales (entre otros).
- 8) Restablecer los enlaces entre profesionales vinculados a la temática, las instituciones relevantes y el CEPREDENAC para aprovechar su experiencia en el intercambio de conocimientos, criterios técnicos y herramientas.
- 9) Promover la formación de especialistas, grupos interdisciplinarios enfocados en la investigación de los deslizamientos, el diseño de SAT de deslizamientos y su aplicación masiva.

### **1.2 ¿A quién se dirige esta guía?**

La guía se dirige al personal de las instituciones geocientíficas, de protección civil, de universidades, ONG, agencias de asistencia técnica, instituciones centrales y locales, estudiantes interesados - que de una u otra forma se confronta con el problema de la prevención o mitigación de desastres por deslizamientos y piensan a establecer, mejorar, o proponer un sistema de alerta de deslizamientos.

Para la población bajo riesgo que necesita entender la problemática de los deslizamientos y las posibilidades de alerta temprana y debe apropiarse de los SAT de deslizamientos se recomienda elaborar otro tipo de material más orientado hacia las cuestiones prácticas del monitoreo, alerta, organización del sistema. Estas guías deben ser orientadas a la situación concreta en que se encuentra el grupo de personas o del municipio correspondiente, el tipo de deslizamiento, a la tecnología seleccionada.

### **1.3 Organización de la guía**

La guía consiste de: 1) El informe principal que se dedica a presentar las principales definiciones, problemas e ideas relacionados con los SATD y 2) Una serie de anexos que contienen informaciones específicas, datos y documentación sobre los SATD de la región, y aspectos relacionados como información científica de amenaza, métodos y equipos para el monitoreo y la alerta de deslizamientos. Dado que se quiere transmitir experiencias se incluyeron extractos de material original, de otros informes, publicaciones y bases de datos. Por la falta de publicaciones al respecto, se presentan informaciones concretas sobre la instrumentación adecuada para el monitoreo de los fenómenos desencadenantes (lluvias), de los propios deslizamientos y para la alarma.

#### **1.4 Razones para desarrollar los SATD**

Centroamérica es una de las regiones más amenazadas mundialmente por los movimientos de masa, porque la tectónica, la geomorfología, la geología y el clima en la región son propicios para que el área sea susceptible a los deslizamientos desencadenados por lluvias, sismos y actividad volcánica. La pobreza rural, la sobrepoblación y la urbanización incontrolada resultan en el establecimiento de asentamientos en las laderas y en las orillas de las quebradas propensas a deslizamientos, lo que crea una mayor exposición de la población a la amenaza de los deslizamientos inducidos por terremotos y precipitaciones. Los deslizamientos han causado grandes desastres en Centroamérica (ver anexos 7), se mencionan los deslizamientos del Terremoto en Guatemala (1976, miles de muertos), del Volcán Casita (1998, Nicaragua, 2,000 muertos), de Panabaj (2005, Guatemala, 400 muertos), de Santa Tecla (2001, El Salvador, 600 muertos). Además ocurre, año por año, una gran cantidad de deslizamientos pequeños en las zonas volcánicas y montañosas de la región que afectan a la población destruyendo y propiedades, y cobran la vida de muchas personas. Anexo 6 proporciona una visión científica de la amenaza por deslizamientos en la región.

Los sistemas de alerta temprana (SAT) se consideran internacionalmente como herramientas eficientes para reducir el número de víctimas humanas por el impacto de los fenómenos naturales peligrosos como erupciones volcánicas, tsunamis, huracanes, inundaciones, y deslizamientos.

#### **1.5 Antecedentes**

En Centroamérica, se comenzó a desarrollar los SAT en los últimos 20 años, al inicio específicamente para las inundaciones y tsunamis. El interés en estos sistemas aumentó drásticamente por el impacto desastroso del Huracán Mitch en 1998. Villagrán (2003) presentó en el marco de la Consulta Hemisférica sobre Alerta Temprana información sobre 50 SAT en este entonces existentes en la región, entre sistemas manejados por instituciones centrales y sistemas comunitarios. La gran mayoría era SAT para inundaciones; se menciona solo un SAT de deslizamientos (lahares), otro que incluía la temática de deslizamientos en un SAT de inundaciones y un tercer SAT de deslizamientos en preparación.

El menor número de SATD en comparación con los sistemas para otros fenómenos se puede explicar por la complejidad del fenómeno de los deslizamientos y el poco avance científico en este campo. Por otro lado, hay anualmente un gran número de afectados y víctimas y se esperaría mayores esfuerzos para reducir la vulnerabilidad en cuanto a los deslizamientos. El informe del

proyecto RECLAIMM (2008) menciona algunos SATD en la región y describe el funcionamiento de algunos sistemas.

## **2. Problemática**

### **2.1 Un desastre que pudo ser mitigado**

Hay varios ejemplos de SATD que se establecieron exitosamente pero después de un tiempo dejaron de funcionar. Hay al menos un ejemplo en Centroamérica de un SATD creado exitosamente en un lugar propenso a deslizamientos de gran escala, y repetitivos, pero donde el desinterés, olvido, o abandonado llevaron directamente a un gran desastre que de otra manera se hubiera mitigado considerablemente. Lo siguiente se basa en un reporte de Strauch (2010):

Al inicio de los años 2000, se establecieron SATD en varios poblados ubicados al Norte del Volcán Vicente, El Salvador - con apoyo de la asistencia técnica suiza (COSUDE), el Instituto Noruego de Geotécnica, y después de haber realizado estudios de amenaza con el USGS. Esta es una de las zonas más afectadas, en El Salvador, por deslizamientos, más exactamente por flujos de lodo o lahares, ver Anexos 3 y 7. Se estudió la amenaza, se elaboraron mapas de amenaza y riesgo, se establecieron SATD, la población fue capacitada, se encargaron los responsables de monitoreo y alerta. El SATD más avanzado que incluía sensores de ocurrencia de lahar, telemetría digital y sirenas automáticas fue instalado por una ONG francesa para la pequeña ciudad de Guadalupe que se encuentra al margen occidental de esta zona al pie del Volcán San Vicente (ver anexo 7b).

En la noche del 7 al 8 de noviembre de 2009, ocurrió un evento meteorológico relacionado indirectamente con el Huracán Ida (debilitándose al Norte de Honduras). Dentro de pocas horas se desarrollaron precipitaciones extremas en zona, desencadenando lahares que bajaron del volcán San Vicente, afectaron a varios poblados y mataron a unas 100 personas. (SNET, 2009; Strauch, 2010).

La afectación ocurrió exactamente en las zonas determinadas por los mapas de amenaza. La precipitación sobrepasó por mucho los umbrales establecidos. Los lahares se registraron perfectamente en la estación sísmica del volcán minutos antes de impactar en los pueblos. La duración de los lahares era de dos horas. Personas que viven cerca de la zona fuente escucharon el gran ruido y sintieron el temblor causado por las rocas y masas de lodo que bajaron del volcán antes de impactar en los pueblos. Hubo posibilidad de preaviso de 5 a 10 minutos. Pero, las personas en la zona de impacto, no recibieron una alerta oportuna. No contamos la “alerta verde” que Protección Civil había decretado para todo el país, algunos días antes del desastre, en reacción a la presencia del Huracán Ida al Norte de Honduras.

Cuando las primeras rocas grandes del deslizamiento llegaron a la carretera que conecta los pueblos, tumbaron algunos postes de energía eléctrica y ya no había luz en las calles y casas. Las personas no vieron como entraron, al inicio, las corrientes de agua sino las sintieron en sus pies, después el lodo grueso invadió sus casas y las llenó hasta un metro de altura o más. Finalmente, se escucharon los grandes bloques de rocas con diámetros de hasta 3 metros como rodearon por las calles, impactaron en los muros, y tumbaron las casas. Bajo la lluvia fuerte y en casi completa oscuridad, las personas trataron de salvarse subiendo a los techos de las casas, algunos saltando de una casa a la otra.

Después del desastre, se preguntó a sobrevivientes porque no se habían ido a las zonas seguras cuando la lluvia se arreció. Solamente faltaba correr, unos 200 o 300 m, para estar fuera del peligro. Respondieron, que se acordaron de las capacitaciones obtenidas sobre el peligro, pero no sabían que era tan fuerte la lluvia, no tuvieron alguna medida de la lluvia, también, era muy incómodo salir de

la casa por la oscuridad y la lluvia. Además, no había alerta de parte de las instituciones centrales ni locales. Nadie de los responsables les avisó nada. No existía ninguna organización funcional para este caso. Y no tuvieron la capacidad o fuerza de voluntad de decidir por sí mismo de ir a las áreas seguras. Además de la ausencia de las instituciones centrales y la desaparición del SATD local se observa una debilidad de las personas cuando deben tomar decisiones para salvar sus vidas.

No fue la primera vez que estos pueblos fueron víctimas de los lahares del Volcán San Vicente (ver Anexo 3b). Las personas conocieron la amenaza. Aún así, no lograron asegurar a nivel local el funcionamiento de su SATD y garantizar la información meteorológica necesaria o al menos un sistema de aviso de los pobladores que viven cerca del volcán, por teléfono celular o radios VHF para salvar sus vidas.

Este desastre reciente llevó, tarde, las instituciones en El Salvador responsables para monitoreo y alerta temprana a repensar su estrategias. Se tomaron decisiones para mejorar la cooperación entre los diferentes niveles. Se invirtió en la compra de radares meteorológicos para tener un mayor control sobre la distribución de la lluvia. Hay iniciativas de obras de protección con muros de protección. Las instituciones están trabajando en El Salvador en el mejoramiento de la alerta centralizada y comunitaria (ver anexo 7b). Pero, queda trabajar también en un cambio del comportamiento de la población para que sepa cómo apropiarse de los SATD y tomar decisiones adecuadas a la hora del peligro.

## **2.2 Situación actual de los SATD en Centroamérica**

Dentro del presente trabajo, se realizó, por Internet y solicitando información a especialistas en los países, un reconocimiento de la situación actual de los SAT Deslizamientos (SATD). La información es dispersa pero se encontró información sobre 31 SATD en la región, entre centrales y comunitarios, ver Figura 2-1 y Tabla 2-1. Es posible que existan más sistemas. En Honduras se encontró, por ejemplo documentación sobre la implementación de “Planes de Respuesta” en un gran número de municipios. Aunque en pocos de estos planes se habla directamente de “Sistemas de Alerta Temprana” se nota que la estructura implementada es muy similar a lo que se estableció en “SATD” en otros países. Queda ver si estos planes realmente funcionan. Detalles, materiales y referencias sobre estos SATD se ofrecen en Anexos 7a-7f. La mayoría de los sistemas se encuentra en Guatemala, Honduras y Nicaragua.



**Figura 2-1. Ubicación de SATD en Centroamérica**

Los SATD presentados en la lista se diferencian en tres tipos que se definen en capítulo 3.

| <b>Tabla 2-1. SATD en Centroamérica</b> |         |          |              |           |                       |                    |                     |             |                                  |                 |
|---|---------|----------|--------------|-----------|-----------------------|--------------------|---------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|
| No                                      | Latitud | Longitud | Organización | Tipo SATD | Tipo de deslizamiento | otros fenómenos    | Institución         | País        | Ubicación                        | situación       |
| 1                                       | 14.76   | -91.55   | central      | I         | lahar                 | volcán             | INSIVUMEH           | Guatemala   | V. Santa María                   | funciona *      |
| 2                                       | 15.42   | -89.82   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía            | Guatemala   | Senahú, Alta Verapaz             | funciona        |
| 3                                       | 14.47   | -90.88   | central      | I         | lahar                 | volcán, inundación | CONRED              | Guatemala   | V. Fuego                         | funciona *      |
| 4                                       | 14.39   | -90.60   | central      | I         | lahar                 | volcán, inundación | CONRED              | Guatemala   | V. Pacaya                        | funciona *      |
| 5                                       | 13.46   | -88.26   | comunal      | A         | lahar                 |                    | Alcaldía            | El Salvador | Guadalupe                        | abandonado      |
| 6                                       | 13.46   | -88.26   | mixto        | A         | lahar                 | volcán, inundación | MARN                | El Salvador | V. San Vicente                   | En desarrollo   |
| 7                                       | 13.75   | -89.26   | mixto        | A         | lahar                 |                    | MARN                | El Salvador | Picacho                          | en desarrollo   |
| 8                                       | 13.66   | -89.19   | mixto        | AI?       | general               |                    | OPAMSS              | El Salvador | OPAMSS                           | en desarrollo   |
| 9                                       | 14.39   | -89.38   | comunal      | P         | desliza               |                    | Alcaldía/GTZ        | El Salvador | Trifinio                         | funciona        |
| 10                                      | 13.90   | -89.93   | comunal      | P         | desliza               |                    | Alcaldía/GTZ        | El Salvador | Tacuba                           | funciona        |
| 11                                      | 13.60   | -88.84   | central      | A         | lahar                 | Volcán             | MARN                | El Salvador | Volcán San Vicente               | en desarrollo   |
| 12                                      | 13.43   | -88.27   | central      | A         | lahar                 | Volcán             | MARN                | El Salvador | Volcán San Miguel                | en desarrollo   |
| 13                                      | 12.70   | -87.00   | central      | I         | lahar                 | volcán             | INETER              | Nicaragua   | V. San Cristóbal                 | funciona *      |
| 14                                      | 11.54   | -85.62   | central      | I         | lahar                 | volcán             | INETER              | Nicaragua   | V. Concepción                    | funciona *      |
| 15                                      | 13.76   | -86.50   | central      | I         | desliza               |                    | INETER              | Nicaragua   | El V., Dipilto                   | funciona -      |
| 16                                      | 13.94   | -86.14   | mixto        | A         | desliza               |                    | Alcaldía            | Nicaragua   | Jalapa                           | funciona -      |
| 17                                      | 13.20   | -86.63   | comunal      | I         | general               | inundación         | Alcaldía            | Nicaragua   | Río Negro                        | funciona *      |
| 18                                      | 13.08   | -86.40   | comunal      | I         | general               | inundación         | Alcaldía            | Nicaragua   | Río Estelí                       | funciona *      |
| 19                                      | 12.92   | -85.92   | comunal      | P         | desliza               | inundación         | Alcaldía            | Nicaragua   | Matagalpa                        | En desarrollo * |
| 20                                      | 13.55   | -86.17   | mixto        | I         | desliza               | general            | Alcaldía            | Nicaragua   | San Juan del Río Coco            | funciona -      |
| 21                                      | 14.09   | -87.21   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía            | Honduras    | Tegucigalpa                      | funciona        |
| 22                                      | 14.39   | -89.16   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía            | Honduras    | San Marcos de Ocotepeque         | funciona        |
| 23                                      | 14.30   | -86.58   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía            | Honduras    | Ríos Frío y Salitroso, Comayagua | funciona        |
| 24                                      | 14.40   | -89.16   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía            | Honduras    | Marchala, Antigua Ocotepeque     | no funciona     |
| 25                                      | 14.78   | -88.59   | comunal      | P         | desliza               |                    | Alcaldía            | Honduras    | Lepaera                          | en preparación  |
| 26                                      | 14.91   | -87.10   | comunal      | P         | desliza               |                    | Alcaldía            | Honduras    | Marale                           | funciona        |
| 27                                      | 9.93    | -84.18   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía, CNE       | Costa Rica  | Santa Ana                        | funciona        |
| 28                                      | 9.80    | -83.85   | comunal      | A         | desliza               |                    | Alcaldía, Cruz Roja | Costa Rica  | Orosi                            | funciona        |
| 28                                      | 8.81    | -82.54   | comunal      | A         | lahar                 | inundación         | Alcaldía, OSOP      | Panamá      | V. Barú                          | en preparación  |
| 30                                      | 9.07    | -79.50   | comunal      | I         | desliza               |                    | Alcaldía            | Panamá      | San Miguelito                    | funciona -      |
| 31                                      | 9.05    | -79.65   | empresa      | A         | desliza               |                    | Autoridad del Canal | Panamá      | Canal de Panamá                  | funciona        |

Mixto – cooperación entre instituciones locales y centrales

\* Funciona como parte del monitoreo volcánico. La información oportuna a la población bajo riesgo por lahar y medidas inmediatas como evacuación pueden ser no garantizadas.

- Funcionan pero la información oportuna a la población bajo riesgo específico de deslizamiento y medidas inmediatas como evacuación pueden ser no garantizadas.

A, I, P tipo de SAT (A-Alerta, I – Información, P – Preparación e Información, según capítulo 3.

En el caso del SATD del Canal de Panamá el objetivo primordial no es salvar personas sino prevenir que deslizamientos en las laderas del canal causen pérdidas económicas relacionadas con la interrupción o afectación del tráfico de los barcos.

Es obviamente un gran avance en el número de los SATD que se logró en los 8 años que pasaron después de la Consulta Hemisférica en 2003. Pero, un análisis detallado de los materiales, que se encontraron para estos SATD, descubre también ciertos problemas que se discuten a detalle más abajo en capítulo 6.1.

Un problema generalizado en la región es, que no está claramente definido que es un SATD.

### 3. ¿Qué es un sistema de alerta temprana, qué tipos hay?

Según Wikipedia (versión en inglés), un sistema de alerta es “*un sistema de naturaleza biológica o técnica desplegado por una persona o un grupo de personas para obtener información sobre un futuro peligro con el objetivo de prepararse para él y poder tomar medidas y actuar adecuadamente para prevenir o mitigarlo.*” Vemos que, prácticamente no es necesario el adjetivo “temprana” porque “alerta” ya significa que se obtiene una información antes del impacto del peligro.

Villagran (2003) escribe “*la alerta temprana es un proceso que involucra la generación de información sobre un probable evento que puede causar un desastre, la cual es transmitida a instituciones de protección civil, a las autoridades y a la población que se puede ver afectada por dichos eventos para que se inicien las actividades de preparación y respuesta.*”

*El pronóstico describe la probable intensidad del evento, la región en la cual se manifestará y, de ser posible, la hora a la cual se manifestará el evento y su probable duración.*

*Para que la alerta sea efectiva se debe contar de antemano con un plan de emergencia, que establece que entidades responderán, de qué manera lo harán y que debe hacer la población que se verá afectada.”*



**Figura 3-1. Esquema de SAT.**  
Tomado de Villagran 2003

En los anexos de este informe se proporcionan extractos extensos de la documentación encontrada de los sistemas existentes, que refleja su experiencia y sus problemas. También se presenta en Anexo 14 un listado de proyectos relacionados de alguna forma con los SAT de Deslizamientos. Se observó que en la práctica, por ejemplo en la planificación, ejecución y evaluación de proyectos

relacionados, muchas veces no está claramente definido que exactamente es un SAT. Esto se indica también en los reportes sobre “Inventario y Caracterización de SAT” para Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, y Panamá. Se menciona que este problema existe no solamente en Centroamérica sino también a nivel internacional. En publicaciones internacionales el significado de “SAT” es muy amplio, puede ser un sistema

Para evitar confusión, se trata de aportar en lo siguiente una clasificación diferenciando

- 1) Sistemas de Información Temprana,
- 2) Sistemas de Preparación y Aviso, y
- 3) Los verdaderos Sistemas de Alerta Temprana.

Los últimos se caracterizan en estar enfocados directa y únicamente a las personas bajo riesgo inmediato en el área bien delimitada de mayor riesgo y todo el trabajo del sistema se concentra en salvar sus vidas antes del impacto del fenómeno.

Analizando los documentos existentes sobre los SATD existentes en Centroamérica (ver Anexos 7a-7f, 8, 9), se pueden identificar estos tres tipos principales de SATD en la forma como se enfocan a la población que concretamente se encuentra bajo riesgo inmediato.

### **3.1 Clasificación de SATD según enfoque hacia la población bajo riesgo**

#### **3.1.1 Sistemas de Información (Temprana)**

Estos sistemas divulgan informaciones sobre los fenómenos desencadenantes de los deslizamientos, especialmente las precipitaciones a grandes grupos de la población pero no tienen que ver y no conocen directamente los sitios o personas donde el fenómeno impactaría de forma desastrosa.

Un ejemplo son los servicios meteorológicos (en términos de los deslizamientos). Sus alertas de deslizamientos se publican en los medios masivos, en términos bastante generales y sin saber exactamente donde la lluvia fuerte que anuncian podría causar estragos. También los sistemas regionales y globales pertenecen a esta clase de SATD.

Estos sistemas participan muy poco en la preparación o capacitación de las personas para que tomen medidas adecuadas. Tampoco saben si las personas que posiblemente reciben sus mensajes y si están preparados o no.

### **3.1.2 Sistemas de Preparación y Aviso**

Se dirigen en sus mensajes a un gran grupo de población del cual solo una pequeña parte realmente está bajo peligro inmediato. Dentro del desarrollo del sistema se elaboran planes de prevención de desastres, se elaboran mapas de amenaza, se provee información, se da capacitación, se forman comités de acción en caso de desastre. Cuando se acerca un peligro se informa a la población en general sobre él. Muchas veces la información no es propia, obtenida localmente sino es proporcionada por instituciones centrales sea científicas o de protección civil.

Estos sistemas, frecuentemente, no logran tener un monitoreo específico para vigilar la fuente del deslizamiento. Los sitios específicos donde se encuentran personas o grupos específicos de personas bajo riesgo a veces no se definen claramente o no de todo. No se logra hacer un pronóstico preciso o al menos estimado del posible impacto. Se dice “algo podría pasar”, o “la población en nuestro municipios puede ser afectada”. Los avisos de este carácter por un lado ayudan a la población porque las personas están preparadas y personas con iniciativa propia pueden tomar sus medidas. Pero pueden ser insuficientes para las personas de mayor riesgo, los que viven en las zonas de impacto.

Aún así, establecer sistemas de aviso tiene un gran valor porque se hacen investigaciones de la amenaza, se producen mapas de amenaza, se informa y capacita a ciertos grupos de personas, especialmente las autoridades locales. De sistemas de aviso se puede avanzar para los sitios de mayor riesgo identificado hacia los verdaderos Sistemas de Alerta Temprana, se pueden integrar SATD.

### **3.1.3 Sistemas de Alerta (Temprana)**

Se dirigen específicamente a las personas o grupos de población concretamente bajo amenaza. Claramente se refieren en su diseño, sus planes, acciones y mensajes a uno o varios sitios o áreas bien limitadas. Se realiza predicción o pronóstico de la hora del impacto, del grado y del alcance espacial del impacto, puede ser en términos de una probabilidad o estimación. Se realiza ejercicios de alerta, de protección y evacuación de la población.

Se tiene una lista de las personas o casas bajo riesgo y a quienes se debe dirigir el mensaje de alerta. Un mensaje de alerta podría ser “a las 5 PM de hoy, 24 de octubre de 2011, las estaciones pluviométricas al Norte del Volcán XYZ presentan que la precipitación acumulada en 3 horas ha sobrepasado el umbral de 80 mm. La ocurrencia de lahares en las próximas horas es muy probable. Decretamos alerta roja y evacuación de la población en la zona A, B y C.” A, B y C serían las áreas definidas en los mapas de amenaza donde los lahares impactarán con cierta probabilidad. Solamente las personas en estas áreas deben ser evacuadas. O se emite con altoparlantes: “Los Laharímetros detectaron un lahar grande – Evacuación inmediata de las zonas A, B, C!”

Se entiende que estos SAT están enfocados directa y únicamente a las personas bajo riesgo inmediato en el área bien delimitada de mayor riesgo y todo el trabajo del sistema se concentra en salvar sus vidas antes del impacto del fenómeno. Los recursos existentes se dirigen al objetivo más importante, el de salvar vidas.

## **3.2 Otras formas de clasificar los SATD**

En lo siguiente se mencionan otras formas de clasificar los SAT:

**Según el tipo de institución que es responsable para el sistema**

- 1) Sistemas locales o comunitarios
- 2) Sistemas centrales o nacionales
- 3) Sistemas regionales
- 4) Sistemas globales
- 5) Sistemas de empresas

**Según la complejidad tecnológica del sistema**

- 1) Sin tecnología (solamente observación visual, mensajes por voz)
- 2) Tecnología convencional (que se puede comprar en la ferretería)
- 3) Tecnología electrónica de bajo costo
- 4) Alta tecnología (y normalmente alto costo)

Hay más formas de clasificar los SATD por ejemplo que nivel de intervención de científicos se requiere, el fondo invertido para su realización, el número de personas que dependen de su funcionamiento, y otros.

Esta clasificación no implica ninguna valoración de los sistemas en cuanto a su utilidad. Un sistema sencillo y barato, sin tecnología, puede ser completamente viable y salvar vidas. Entre estos tipos hay muchas combinaciones posibles. Obviamente, los límites entre estos tipos de sistemas en la realidad tampoco no son tan claramente definidos.

Se puede combinar sistema de aviso para todo un municipio con un sistema de alerta para los sitios verdaderamente bajo peligro del impacto de un deslizamiento. La mayor atención se debe dirigir siempre hacia las personas que viven en la zona bajo peligro.

**3.3 Sistemas de alerta temprana que no lo son**

Hay algunos sistemas de información que equivocadamente se denominan de alerta temprana porque no entregan información temprana, no dan una verdadera alerta y que ofrecen poca información valiosa para las comunidades. Como ejemplo se menciona al sitio Web <http://www.satcaweb.org> “Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica”. Aunque este sitio puede ser una fuente valiosa de información para funcionarios de agencias internacionales, regionales, o personas interesadas o curiosas, no puede dar alerta temprana a las personas directamente afectadas, al menos para los fenómenos más peligrosos en Centroamérica. Se menciona que el sitio no incluye alerta de deslizamientos. Se podría considerar de clasificarlo como de información temprana. Pero tampoco califica porque es característico de este sitio que la información que publica aparece después del impacto del fenómeno en la página Web, con excepción de los fenómenos lentos como sequía, o El Niño/La Niña etc. La razón es que no utiliza fuentes adecuadas para alerta temprana en Centroamérica. Dirigiéndose a una región específica, utiliza sin excepción solo fuentes de información fuera de ella, específicamente norteamericanas. Estas no son los más confiables ni las más rápidas, especialmente para los fenómenos como sismos, tsunamis, erupciones volcánicas, y naturalmente deslizamientos. El sitio no utiliza los datos de las propias instituciones geocientíficas centroamericanas aunque 1) Las redes sísmicas de los países de la región generan información confiable y rápido dentro de pocos minutos, 2) Al menos las de Nicaragua y El Salvador tiene la capacidad de emitir alertas de tsunami, y 3) Los departamentos de vulcanología de los países disponen de buenos sistemas de monitoreo y alerta.

Se podría mejorar mucho este sitio y hacerlo realmente útil para las comunidades y personas en las zonas bajo riesgo, si se incluyera la información del monitoreo geocientífico realizado en la región.

#### 4. Ciencia y métodos de monitoreo de los deslizamientos

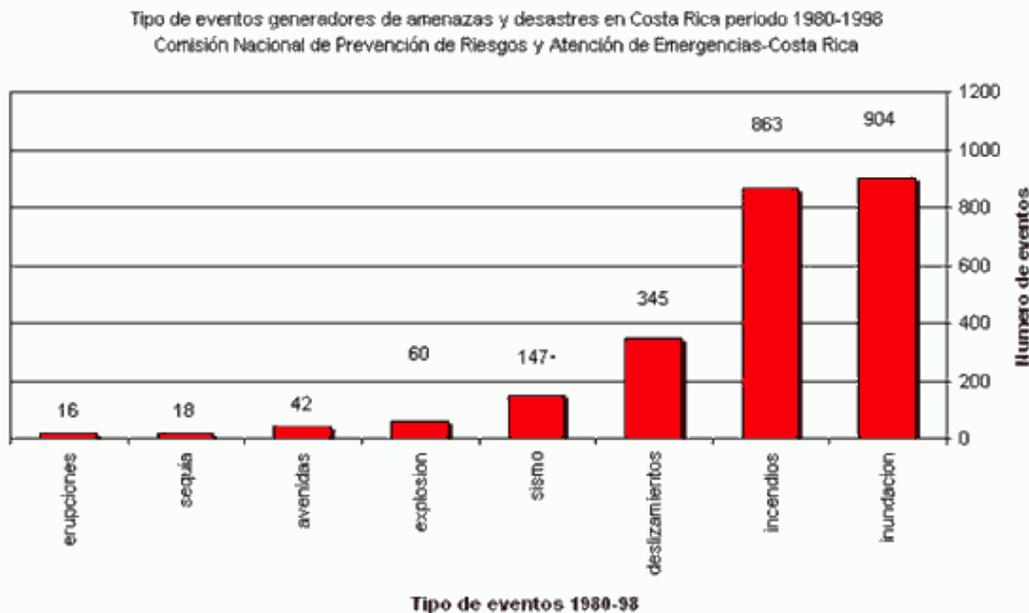
##### 4.1 Causa de los deslizamientos

La **fuerza causante** de los deslizamientos es la gravedad de la tierra. La fuerza fundamental responsable para la formación de los macizos montañosos y los volcanes es la convección en el manto de la tierra que empuja las placas tectónicas, causa la subducción de una placa debajo de otra lo que lleva a la formación de los volcanes. La fuerza del magma en construir los volcanes se ejerce en contra de la gravedad y las masas acumuladas a kilómetros de altura adquieren una gran energía potencial. Esta se libera cuando las rocas, detritos y flujos se desprenden del volcán, la gravedad las acelera y las lleva hacia el impacto en la planicie al pie del volcán.

El momento, cuando se inicia un deslizamiento, es controlado por fenómenos exteriores, como la lluvia fuerte, la sacudida por un terremoto, la deformación del volcán por la intrusión de magma, la debilitación de la roca por líquidos agresivos, inclusive la actividad del hombre.

Los **principales factores desencadenantes** son precipitaciones fuertes y prolongadas, sacudidas sísmicas, y la actividad volcánica. El factor más recurrente es la precipitación.

Viendo una estadística de la ocurrencia de estragos por fenómenos peligrosos en Costa Rica se nota que los deslizamientos son los terceros fenómenos más frecuentes.



**Figura 4.1. Ocurrencia de deslizamientos en Costa Rica en comparación con otros fenómenos**

Obviamente, los deslizamientos son fenómenos de masiva ocurrencia y el número de afectaciones fuertes es mayor como el de los sismos. Por eso, parece extraño que, por lo general, en las instituciones científicas de Centroamérica haya menos especialistas en deslizamientos, menos

experiencia en el uso de instrumentación para el monitoreo de deslizamientos y se invierte menos en el monitoreo de deslizamientos que en el de sismos o volcanes. Las razones son posiblemente:

- 1) Se ven los deslizamientos como un problema local que afecta a relativamente pocas personas, mientras un sismo es sentido por muchos, puede ser toda la población del país.
- 2) El monitoreo requiere de muchos esfuerzos por cada sitio de deslizamientos. Cada sitio es diferente, para obtener datos se debe ir al campo para hacer las mediciones.

En Anexo 1 se ofrece una reseña de la amenaza por deslizamientos en Centroamérica. La región tiene una alta amenaza por deslizamientos, especialmente en la zona volcánica. Centroamérica no pertenece a las zonas de mayor densidad de población. Pero, por la coincidencia de las zonas de mayor concentración de población con la cadena volcánica existe un alto riesgo para la población de ser afectada por lahares, flujos de lodos u otros tipos de deslizamientos

Hay una gran variedad cómo se manifiestan los movimientos y los SATD deben ser adaptados al **tipo de deslizamiento**. En Anexo 2, se presenta una clasificación de los tipos de deslizamientos y se sugieren medidas de monitoreo y de alerta correspondientes.

Una revisión de los eventos catastróficos en Centroamérica, ver anexos 3a-3f resulta en que el tipo de deslizamientos más nefasto en Centroamérica son los flujos o lahares en la cadena volcánica desencadenados por fuertes lluvias. La mayoría de las víctimas humanas son causadas por este tipo de eventos.

## **4.2 Avances científicos**

La ciencia de deslizamientos es una disciplina muy joven de apenas algunas décadas. Se cita *“Últimamente, las tecnologías y métodos del monitoreo y reconocimiento de los deslizamientos (ver anexo 10-14. W.Strauch) se han desarrollado mucho. Se han desarrollado partiendo del monitoreo manual hacia una tendencia de usar sistemas automáticos de alta precisión con telemetría. Los equipos del monitoreo son ahora de alta precisión, de buena calidad, con amplias aplicaciones, abundante contenido de datos y altamente automatizados. En los últimos años, con el desarrollo de la tecnología láser y la informática, han salido sucesivamente avanzados teodolitos electrónicos de alta precisión y distanciómetros láser, que sirven como nuevos medios eficaces para el monitoreo de los deslizamientos de la tierra.*

*En la actualidad, la mayoría de los aparatos del monitoreo del deslizamientos de tierra (que se utilizan en Centroamérica – si los hay. W.Strauch) son de medición en contacto directo, en general, con deficiente utilidad debido a sus defectos universales de baja precisión, pobre auto-memoria, la transmisión de datos no es automática, o la transmisión es a distancia corta. También son vulnerables a las perturbaciones por factores artificiales y anomalías meteorológicas y climáticas. El proceso de instalación, la medición y el procesamiento de datos consumen mucho tiempo y energía.”*

Sistemas de monitoreo de los propios deslizamientos en tiempo real existen o existieron en Centroamérica en sólo unos pocos sitios de la región, normalmente de forma experimental.

## **4.3 Pronóstico de desastres por deslizamientos y métodos o tecnologías de alerta**

Aún con el avance científico sobre los deslizamientos y en cuanto a la alerta temprana existe el problema que la predicción del inicio de los deslizamientos peligrosos no ha avanzado mucho.

*“Los estudios actuales están dominados por los pronósticos cualitativos o semi-cuantitativos, basados principalmente en el análisis geológico y el juicio por experiencia, y, el patrón de predicción se basa en tendencias cuantitativas, sobre la base de datos del monitoreo. La investigación sobre el de los deslizamientos se orienta principalmente en las teorías cuantitativas y pronóstico y alerta temprana alerta se basan en el análisis cualitativo geológico y el monitoreo real. El proceso geológico de un deslizamiento de tierra es complejo, las diversas condiciones de peligro y factores de inducción, así como los cambios al azar, la inestabilidad y la información dinámica sobre los cambios deslizamientos de tierra, son difíciles de capturar. Además, la tecnología actual del monitoreo en tiempo no está maduro, las teorías de deslizamiento de tierra no son perfectas, por lo tanto, el estudio y el pronóstico de los deslizamientos tiene que ser considerado como un tema de frontera muy difícil.”*

En la actualidad, ni los deslizamientos por lluvias o los por terremoto se pueden predecir, pero se pueden hacer cálculos sobre la probabilidad de deslizamientos en una determinada zona caracterizada por su topografía, geología, composición del suelo, régimen de agua en el momento de afectación por una sacudida sísmica de un cierto nivel. Es posible hacer, en tiempo real, mapas de la estimación de la generación de deslizamientos después de un fuerte terremoto, ver Godt et al (2009), con un ejemplo del terremoto de Guatemala de 1976.

#### **4.4 Ciencia multidisciplinaria**

En el estudio de los deslizamientos se requiere de geología, hidrogeología, hidrología, geomecánica, geotecnia, geodesia, meteorología, ciencia del suelo es necesario saber de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para hacer mapas; Si se trata de lahares, derrumbes, colapsos en los volcanes – vulcanología; Si se trata de desencadenamiento por terremotos y de la detección de lahares y avalanchas – sismología; Para el modelaje numérica de los deslizamientos y para la estimación estadística de su ocurrencia se necesita la matemática. Para el monitoreo se necesita saber de electrónica, mecánica, informática, y comunicación de datos.

Además es una ciencia que requiere de mucho trabajo del campo, a veces bajo condiciones difíciles, en lugares remotos, y a veces bajo condiciones de peligro por caída de rocas, accidentes, y otros problemas. Por la variedad en que los deslizamientos se presentan, se necesita también de cierta experiencia para evaluar las amenazas de un sitio específico.

Para aplicar la ciencia en un sistema de alerta se debe tener conocimientos de ciencias sociales y experiencia en el trabajo con la población y en la cooperación con las diferentes instituciones centrales y locales.

En las instituciones científicas de Centroamérica es difícil reunir en un solo grupo los especialistas para cubrir todos los ramos necesarios para un estudio adecuado de los deslizamientos. Así es común que se presten especialistas de otros departamentos como de meteorología, hidrología o sismología pero estas muchas veces estas personas carecen del entendimiento de las condiciones específicos del monitoreo de los deslizamientos. Por ejemplo, es típico que, por falta de experiencia, proponen, para el monitoreo en un SATD, tipos de equipos que ellos utilizan en sus redes de monitoreo a nivel nacional sin considerar que los costos de estos equipos son prohibitivos para los SATD comunitarios.

#### **4.5 Métodos, instrumentación y tecnología existente para el monitoreo**

Los equipos se usan de dos maneras:

- 1) para monitorear los factores desencadenantes (lluvia, humedad del suelo, sacudida sísmica); y
- 2) para monitorear el movimiento propio del deslizamiento o partes de él.

Existen grandes grupos de equipos según el fenómeno desencadenante como 1) Lluvias, 2) Sismos, 3) Actividad relacionada con el volcanismo.

Para el propio monitoreo del movimiento del suelo pueden usarse

- 1) Instrumentos y elementos muy sencillos (caseros, de la ferretería);
- 2) Equipos de medición científica de movimientos lineales (extensiómetros de alambre);
- 3) Equipos sofisticados (Sensores, dataloggers, comunicación, registro, alarma, sirenas);
- 4) Equipos y redes con telemetría terrestre;
- 5) Fotografía científica terrestre, de avión y satélite;
- 6) Tecnología terrestre, de avión y satelital de radares interferométricos;

Los métodos de monitoreo de flujos y avalanchas se dirigen hacia detección del inicio del lahar en la zona fuente con anclas, la detección del lahar en movimiento con laharímetros y la detección del temblor generado por las grandes masas de lodo y rocas moviéndose en las cauces con sismógrafos o geófonos.

Una gran variedad de métodos e instrumentos para el monitoreo de deslizamientos se presenta en los Anexos 10-13, 16 y 21 del presente trabajo.

Wieczorek y Snyder (2009) ofrecen en su artículo de sobre “Monitoreo de Deslizamientos” información sobre métodos e instrumentación para monitoreo y alerta de deslizamientos, incluyendo estimados generalizados de costos (en EEUU). Tabla 1 resume sus averiguaciones para comparar los diferentes métodos.

| <b>TABLA 1. Resumen de Características Comparativas de Deslizamientos y Métodos del Monitoreo</b><br>(Wieczorek & Snyder, 2009) |   |                |                   |                 |                 |                               |
|---|---|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| <b>Características</b>  | <b>Métodos</b>                                | <b>Pericia</b> | <b>Tecnología</b> | <b>Costos *</b> | <b>Personal</b> | <b>Intensidad de trabajo+</b> |
| <b>Tipos de deslizamientos</b>  | 1. Identificación                             | Voluntario     | No                | A               | Individuo       | Mediana                       |
|   | 2. Medición                                   | Voluntario     | Si                | B               | Grupo           | Mediana                       |
|   | 3. Fotografía                                 | Científico     | Si                | C               | Individuo       | Alta                          |
| <b>Fenómenos disparadores y causas</b>  | 1. Datos en tiempo real                       | Voluntario     | No                | A               | Individuo       | Mediana                       |
|   | 2. Instrumentos meteorológicos y sísmicos     | Voluntario     | No                | B               | Individuo       | Alta                          |
|   | 3. Instrumentos de medición de deslizamientos | Científico     | Si                | C               | Grupo           | Alta                          |
| <b>Composición geológica de los deslizamientos</b>  | 1. Examinación                                | Voluntario     | No                | A               | Individuo       | Mediana                       |
|   | 2. Muestreo en superficie                     | Científico     | Si                | B               | Grupo           | Alta                          |
|   | 3. Muestreo y medición en el subsuelo         | Científico     | Si                | C               | Grupo           | Alta                          |
| <b>Medición del movimiento de los deslizamientos</b>  | 1. Tapes and GPS                              | Voluntario     | Si                | A               | Individuo       | Alta                          |
|   | 2. Extensiómetros                             | Científico     | Si                | B               | Grupo           | Alta                          |
|   | 3. Fotos Aereas, LiDAR e InSAR                | Científico     | Si                | C               | Grupo           | Alta                          |
| <b>Evaluación de</b>  | 1. Inventario y susceptibilidad               | Científico     | No                | A               | Individuo       | Alta                          |

|   |   |            |    |   |           |      |
|---|---|------------|----|---|-----------|------|
| <b>amenaza y riesgo de deslizamientos</b>   | 2. Volumen, velocidad, y distancia de alcance | Científico | Si | B | Individuo | Alta |
|   | 3. Modelaje                                   | Científico | Si | C | Individuo | Alta |
| <i>Notas:</i> GPS—Global Positioning System; LiDAR—light detection and ranging; InSAR—interferometric synthetic aperture radar. |   |            |    |   |           |      |
| * Costos relativos (en dólares americanos): A: menor de 1,000; B: entre 1,000 y 10,000; C: más de 10,000.                       |   |            |    |   |           |      |
| + Intensidad del trabajo: baja : menos de algunas horas; mediana= menor de un día completo; Alta : Uno o más días.              |   |            |    |   |           |      |

En sus conclusiones mencionan que no necesariamente son los métodos más caros o de alta tecnología los que mejor resuelven los problemas con deslizamientos (traducido W.S.): *“Un inventario básico de los movimientos de ladera históricos puede aclarar que áreas, instalaciones y operaciones son más susceptibles al impacto de deslizamientos de tierra que otros. El inventario permite la comparación y evaluación del potencial relativo de su ocurrencia bajo diferentes circunstancias. En combinación con el mapeo de los pendientes alterados por taludes o deslizamientos de tierra, un inventario puede demostrar donde las tasas de caída de rocas de podrían ser mayores o menores. Esto puede relacionarse directamente con la identificación de regiones potencialmente peligrosas. Aunque los movimientos de tierra siguen siendo en gran medida impredecibles.*

*A pesar de que se conoce una variedad métodos científicos complejos, muchas de las cuestiones importantes de la vigilancia de los deslizamientos de tierra puede ser llevada a cabo por procedimientos básicos de monitoreo. Una mayor cooperación entre científicos de las universidades con las instituciones geocientíficas estatales en la realización del monitoreo de deslizamientos podrían producir una evaluación más completa y eficaz de las amenazas y riesgos de los deslizamientos.”*

#### 4.6 Mapeo de Amenaza y riesgo de deslizamientos en Centroamérica

En comparación con la situación antes del Huracán Mitch en 1998, la situación en cuanto al mapeo de amenazas ha mejorado sustancialmente. Para todos los países de la región se elaboraron mapas de susceptibilidad de deslizamientos, usando el método de Mora-Vahrson (1991). Para los países de Centroamérica el proyecto CAPRA (2008) ha elaborado primeros mapas de amenaza, en el sentido de probabilidad de ocurrencia, en diferentes escenarios sea temporada seca o de lluvia. En Anexo 5, se presentan los mapas de amenaza por deslizamientos elaborados por el proyecto CAPRA para los diferentes países de la región.

El Instituto Noruego de Geotécnica (NGI) publicó un primer intento de realizar mapas con una estimación del riesgo de muertes por deslizamientos en el mundo, inclusive Centroamérica, combinando datos de la densidad de población con factores que inciden en la ocurrencia de deslizamientos, ver Nadim et al. (2006).

Para un SATD se requieren mapas específicos para el área que permiten identificar a detalle las zonas bajo riesgo. Para muchos volcanes de la región se elaboraron, principalmente en cooperación con el USGS, mapas de amenaza por lahares adecuadas para este fin, usando el programa LAHARZ.

#### 4.7 Determinación de umbrales de desencadenamiento

La determinación del umbral para el desencadenamiento de deslizamientos por precipitaciones es internacionalmente uno de los tópicos científicos más importantes para los SATD. Los umbrales deben ser adaptados a las condiciones geológicas y los tipos de deslizamientos. Existen fórmulas globales elaboradas con una gran cantidad de datos internacionales que pueden servir al inicio de un proyecto de alerta temprana, ver por ejemplo <http://rainfallthresholds.irpi.cnr.it/> o Huang (2007). Umbrales de desencadenamiento fueron determinados por las instituciones geocientíficas o universidades en todos los países de la región. Los estudios más avanzados en Centroamérica fueron realizados por Cepeda (2008, 2009, 2010) en El Salvador.

## **5. Registro de deslizamientos en Centroamérica**

Hay una gran diferencia entre el monitoreo de los deslizamientos y de otros fenómenos como sismos, fenómenos volcánicos, fenómenos hidrometeorológicos. Por ejemplo, los sismos se monitorean en Centroamérica con redes avanzadas de estaciones sísmicas digitales telemétricas. Se publican en tiempo real y pocos minutos después de su ocurrencia la población puede ver e páginas Web correspondientes los mapas epicentrales, sismogramas, evaluaciones automáticas de buena calidad. Se actualizan en tiempo real las estadísticas de sismos y la población esta al tanto de magnitud, epicentro, profundidad etc..

No así con los deslizamientos, inclusive los recurrentes o permanentes. No hay información rápida, no se conoce el estado del deslizamiento, no se publican listas actualizadas, normalmente hay solamente informes periodísticos o de las instituciones de protección civil, casi nunca se conoce la hora exacta de la ocurrencia y no se sabe el tamaño del deslizamiento. Solamente, cuando afectan o matan a personas existe algún chance de obtener mayor información. Por eso la información de deslizamientos es bastante deficiente y dispersa.

Hay pocos datos exactos sobre el desarrollo de los deslizamientos, su velocidad de movimiento, su hora exacta de ocurrencias, sus coordenadas geográficas. La mayoría de los datos – con excepción de los del huracán Mitch - sale de reportes publicitarios o notas de las oficinas de protección civil. Los catálogos de deslizamientos son poco homogéneos, no son consensuados entre los países

## 5.1 Bases de datos

De los datos recopilados por las instituciones científicas y de Protección Civil en Centroamérica se obtuvo la siguiente tabla:

| <b>País</b>        | <b>Fuente</b>     | <b>Período de tiempo</b> | <b># Eventos Desinventar</b> | <b># Eventos H. Mitch</b> | <b>Viviendas destruidas</b> | <b>Muertos</b>    |
|--------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| <b>Guatemala</b>   | CONRED, INSIVUMEH | 1988-2010                | 879                          | no datos                  | 258                         | 668 <sup>1)</sup> |
| <b>El Salvador</b> | SNET              | 1906-2011                | 1,095                        | no datos                  | 2404                        | 1315              |
| <b>Honduras</b>    | COPECO            | 1966-2010                | 560                          | 9,800 <sup>3)</sup>       | 119                         | 20 <sup>2)</sup>  |
| <b>Nicaragua</b>   | INETER            | 1826-2003                | 78 <sup>4)</sup>             | 17,000 <sup>3)</sup>      | ND                          | 2500              |
| <b>Costa Rica</b>  | CNE               | 1970-2010                | 2,083                        | no afectó                 | 197                         | 307               |
| <b>Panamá</b>      | SINAPROC          | 1990-2009                | 331                          | no afectó                 | 41                          | 72                |

Desinventar - Los datos se obtuvieron del sistema Desinventar

<sup>1)</sup> Incluye el evento de 1541 en el volcán Agua.

<sup>2)</sup> Los deslizamientos relacionados con el Huracán Mitch están sub representados

<sup>3)</sup> Deslizamientos mapeados con fotos aéreas y imágenes de satélite

<sup>4)</sup> Dévoli et al. (2007)

ND No hay datos

## 5.2 Deslizamientos importantes ocurridos

La afectación por deslizamientos en los países de la región se detalla en Anexo 3a-3f.

En lo siguiente se da una referencia de los deslizamientos más importantes ocurridos en Centroamérica:

**Lahares y flujos gigantes en volcanes:** Agua (1546) – Guatemala, Tolimán (2005) - Guatemala , Casita (1998) – Nicaragua, San Vicente (2009) - El Salvador

**Erupción volcánica con generación de lahares:** Volcán Santa María en Guatemala (1904), Volcán San Cristóbal en Nicaragua (1999,2000), Volcán Santa Ana en El Salvador (2 Oct 2005, Huracán Stan)

**Grandes deslizamientos y flujos no relacionados con volcanes:** Managua/Nicaragua (1886), Ocotepique/Honduras (1934), Alta Verapaz/Guatemala (2009)

**Deslizamientos a causa de terremotos:** Guatemala (1976), Santa Tecla/El Salvador (2001)

**Deslizamientos lentos sin disparador específico:** Deslizamiento de Puriscal en Costa Rica que afecta toda la ciudad, Barrio Fátima en Matagalpa/Nicaragua.

**Deslizamientos con generación de tsunami:**

Mombacho Este (Isletas de Granada) tiempo de ocurrencia desconocido – Nicaragua, Volcán San Pedro/Guatemala (2005)

**Ejemplos para represa natural de un río a causa de deslizamientos:**

El Berrinche/Tegucigalpa en Honduras (1998), Río Jiboa en El Salvador (después del Terremoto de 2001), Deslizamiento en Subtal en Corquín (Honduras, 2008), peligro de Cerro Tapezco sobre el cauce del Río Uruca en Costa Rica, ver tesis estudiantes Rolando Mora

**Deslizamientos causados o disparados por acción humana:** Los hoyos gigantes que se abrieron en la Ciudad de Guatemala (Anexo 3a).

### **5.3 Deslizamientos extremos**

**Colapsos gigantes en edificios volcánicos,** ver Anexo 4: Volcán Pacaya en Guatemala (fecha desconocida), Volcán Santa Ana en El Salvador (fecha desconocida), Volcán Barú en Panamá (dos eventos, fechas desconocidas), Mombacho Este (fecha desconocida), Mombacho Sur (1570). Además de los deslizamientos muy grandes que han ocurrido en Centroamérica en tiempos geológicos también en la historia escrita se encuentran algunos eventos grandes como por ejemplo el colapso del Volcán Mombacho en 1570. Mapas de deslizamientos extremos se ofrecen en Anexo 4.

**Deslizamientos submarinos:** Se mencionan también los gigantes deslizamientos submarinos indicios de los cuales se detectaron en los últimos años por medio de estudios oceanográficos en la fosa centroamericana del Océano Pacífico. Estas avalanchas de los sedimentos depositados por la actividad volcánica pueden causar grandes tsunamis con efectos desastrosos para Centroamérica. Ver Anexo 4.

## **6. Sistemas de alerta de deslizamientos en Centroamérica**

### **6.1 Experiencias nacionales**

Las experiencias nacionales de alerta de deslizamientos en Centroamérica se presentan en los Anexos 7a-7f y 8. Se encontraron los siguientes problemas generalizadas en toda la región:

- 1) Algunos sistemas que se implementaron, en los años 2000, con mucho trabajo y entusiasmo, ya no funcionan, dejando desprotegida a la población. Un ejemplo muy drástico se mencionó en el capítulo 2.1. La “desaparición” del SATD aportó a un gran desastre.
- 2) En el caso de otros SATD, su funcionalidad y eficiencia no son evidentes, se manejan como “sistemas de alerta temprana”, pero no se dirigen directamente a los afectados y la capacidad real de salvar vidas no es siempre clara. La combinación de SATD con los sistemas de alerta de inundaciones parece ser una buena idea, pero la instrumentación y el manejo de la alerta de deslizamientos resulta ser a veces no tan concreta y dirigida a las personas bajo riesgo de deslizamientos.
- 3) Después de iniciar los SATD, se presenta el informe de su implementación, muchas veces redactado por los ONG que apoyaron la iniciativa. Pero después, los SATD ya no producen mucha información sobre su desarrollo, éxitos, alertas realizadas, alertas falsas, problemas, fallas. No existe un sistema continuo de publicaciones que permitiera monitorear el estado de cualquier SAT (no solamente los SATD) en los países de la región.
- 4) Una vez instalados y presentado el informe inicial, no se encuentra mucho eco de los SATD en las publicaciones de los medios de comunicación masiva. El trabajo tedioso de los integrantes de los SATD comunitarios que realizan las mediciones de lluvia día por día, que mantienen la organización del sistema de comunicación, no se refleja mucho en periódicos o sitios Web
- 5) Las instituciones centrales de protección civil y de geociencias que deberían fomentar y apoyar a los SATD no siempre tienen una comunicación directa e inmediata con los SATD.
- 6) Se observa también que, por lo general, los SATD - y específicamente los comunitarios - tienen un nivel tecnológico relativamente bajo en comparación con sistemas de monitoreo sísmica, volcánico, de tsunamis y de inundaciones mantenidos por instituciones científicas centrales.
- 7) No siempre, el nivel tecnológico y profesional y organizativo de las instituciones geocientíficas centrales y universitarias es lo suficientemente avanzado para poder dar apoyo adecuado a las instituciones de protección civil y los SATD comunitarios. Esto específicamente en la materia de las tecnologías adecuadas, de bajo costo pero alta eficiencia. No se conoce bien el mercado internacional de productos correspondientes. Sin el consejo de los especialistas de la materia los ONG, o Alcaldías que preparan los SAT, los comunitarios, difícilmente pueden tomar las decisiones correctas para decidir sobre el diseño, la selección de la tecnología adecuada.
- 8) Casi no hay publicaciones o intercambio de experiencias en Centroamérica sobre los detalles prácticos del monitoreo de deslizamientos, en la aplicación de ciencia y tecnología, los equipos de comunicación digital y de alarma.
- 9) En las instituciones geocientíficas el personal que trabaja sobre deslizamientos es insuficiente, los grupos no son multidisciplinario y no son suficientemente capacitados en medición y monitoreo de deslizamientos

- 10) Existe poco conocimiento y poca experiencia práctica de los métodos e equipos adecuados para medición, monitoreo, y alerta de deslizamientos. Inclusive los grupos científicos que trabajan sobre deslizamientos en las instituciones geocientíficas de la región no tienen un arsenal de equipos para realizar rápidas evaluaciones de los eventos o para la investigación.
- 11) Estos problemas se basan parcialmente en insuficiente enseñanza - en ningún lugar les enseñan a los estudiantes como medir y monitorear deslizamientos - y en la falta de publicaciones al respecto.
- 12) De esto resulta que tampoco haya empresas en la región que ofrezcan equipos adecuados
- 13) De las insuficiencias anteriores resulta una falta de equipos baratos y estandarizados para monitoreo y alerta de deslizamientos.
- 14) Parcialmente por eso, existe una tendencia de un bajo nivel tecnológico de los SATD comunitarios. Otra razón es la falta de fondos.
- 15) No siempre, es garantizada la responsabilidad única y completa, de inicio a final, para el funcionamiento de los SATD y su enfoque dirigido a las personas realmente bajo riesgo
- 16) Existe una falta generalizada de materiales impresos y audiovisuales sobre ocurrencia, monitoreo y alerta de deslizamientos - con ejemplos de Centroamérica
- 17) Consta una falta de conocimientos concretos de las zonas y personas bajo mayor riesgo, específicamente por flujos y colapsos en los volcanes.

## **6.2 Sistemas regionales y globales**

Se ha comenzado a desarrollar sistemas regionales y globales de deslizamientos en Centroamérica y Anexo 9 reporta sobre estas iniciativas. Por lo general son sistemas de información temprana que pueden aportar datos de monitoreo a los SATD. Se estima que los sistemas satelitales del monitoreo de la lluvia y de la estimación de la posibilidad de deslizamientos pueden resultar muy valiosos para los SATD, especialmente para los que se dedican a los lahares y flujos.

## **7. Métodos del monitoreo y alerta de los deslizamientos**

### **7.1 Instrumentos de monitoreo**

Los deslizamientos son fenómenos complejos y muy variados y por eso se aporta en Anexo 2 una caracterización de los diferentes tipos de deslizamientos y para cada uno de los tipos de las medidas específicas de monitoreo y alerta correspondientes.

Dado que inclusive especialistas en deslizamientos tienen pocos conocimientos sobre los métodos y instrumentos para el monitoreo de deslizamientos, se facilitan, en varios anexos del presente informe, listados de instrumentos de monitoreo de lluvias y de deslizamientos - desde los equipos más sencillos a instrumentos y métodos complejos. Se incluye información de precios y ejemplos donde comprar los equipos. Además, se proveen propuestas, ideas y ejemplos para la realización de mediciones sencillas, la instalación de equipos en el campo, y la realización de sistemas de monitoreo sea de bajo costo o con equipos sofisticados.

En los anexos del presente informe se encuentra información sobre los siguientes métodos:

- a) Monitoreo de precipitación, b) Monitoreo de deslizamientos lentos, c) Monitoreo de flujos, d) Monitoreo sísmico.

Además se proporcionan ideas y esquemas de SATD completos para monitoreo y alerta deslizamientos lentos y de flujos o lahares.

### **7.2 Esquema de alerta para deslizamientos lentos**

Muchas veces los deslizamientos lentos se caracterizan por la cercanía inmediata de las casas o inclusive las casas están construidas sobre el deslizamiento. Cuando el deslizamiento es realmente lento, es decir ocurren movimientos de pocos milímetros por años, no existe peligro para la vida de las personas aunque las construcciones pueden sufrir daños, lentamente con el tiempo.

El problema es que el deslizamiento lento en algunos lugares puede convertirse en un movimiento rápido. El momento cuando ocurra esto, es difícilmente predecible.

Se propone instalar en estos casos instrumentos como extensiómetros de alambre para detectar la aceleración del movimiento. Pero el área afectada puede ser muy grande y tal vez el lugar del extensiómetro se mueve de último. Por eso se propone el uso de elementos baratos para la detección del inicio del movimiento rápido.

Los elementos Reed (ver Anexo 13) son muy baratos y no gastan energía. Se pueden ajustar para detecten movimientos de pocos milímetros. Se pueden combinar con una sirena electrónica. De estos equipos, se pueden colocar varios sobre las fisuras y fallas que se observan en una zona habitada que se encuentra bajo peligro de deslizamiento. Cuando una o varias fisuras se abren, las

sirenas se activan y alarman a las personas. Se instruiría a los pobladores sobre que deben hacer cuando suena la alarma. Al menos, pueden verificar, que está pasando.

Cuando varios equipos suenan dentro de poco tiempo, se puede derivar que toda el área comenzó a moverse y los pobladores deben pensar cómo ponerse a salvo.

### 7.3 Esquema de alerta para lahares o flujos de detritos

Se considera que los lahares o flujos de detritos son los tipos de deslizamientos que más víctimas causan y por eso los esfuerzos de los SATD deberían concentrarse en ellos. Hay otra razón de trabajar preferiblemente en ellos: En el caso de los lahares y flujos de detritos hay una buena posibilidad de hacer una predicción del impacto de del fenómeno, que no es posible o mucho más difícil con otros tipos de deslizamientos.

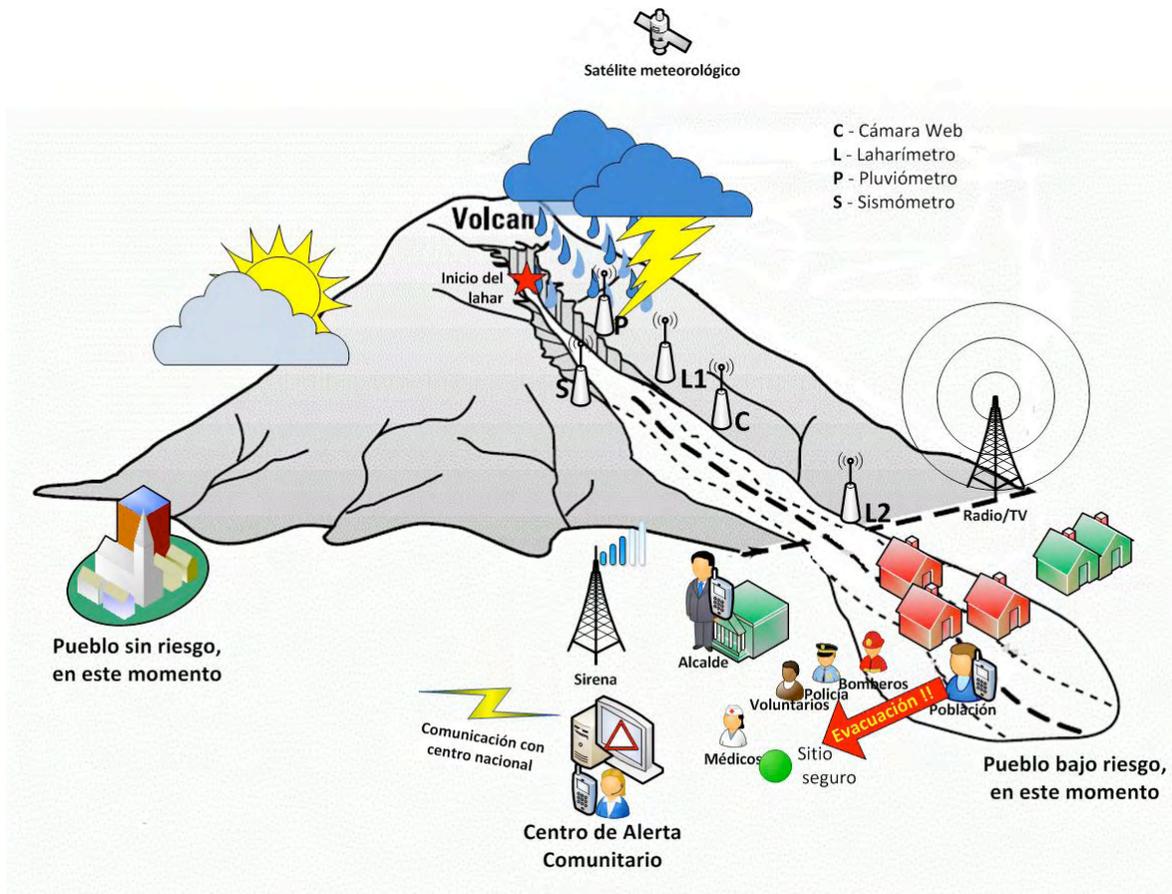


Figura 7-1. Esquema para un SATD de flujos o lahares

Tienen alta energía y se propagan rápido porque se inician cerca de la cumbre de los volcanes altos y la gravedad de la tierra los acelera mucho. Otra característica es que son recurrentes, se pueden

identificar los sitios donde ocurren una y otra vez. Es posible detectar el inicio del lahar en la zona fuente. Entre el comienzo del lahar en la zona alta del volcán y su impacto puede recurrir varios kilómetros hasta decenas de kilómetros. Para eso las masas necesitan cierto tiempo que se puede aprovechar para dar una alerta.

El Esquema consiste de pluviómetros, laharímetros, sismómetros, cámaras Web, un sistema de comunicación de datos, un centro de registro y alerta, dispositivos de alarma, software para el manejo de todo el sistema y para facilitar ayuda para la conciencia de la situación y la toma de decisión. Detalles del sistema se explican en Anexos 16 y 17.

## **8. Aspectos de distribución de la alerta y notificación**

### **8.1 Sistemas técnicas de comunicación**

Hay muchas posibles formas de comunicación rápida sobre un deslizamiento. Hoy día existe un sin número de diferentes dispositivos tecnológicos que se pueden usar. Es recomendable que los sistemas de comunicación tengan mucha redundancia, p.ej en Matagalpa, Nicaragua (Anexo 7d) se combinó un sistema tecnológico usando sensores de lluvias y nivel de ríos con transmisión por la red de telefonía celular (GPRS) en paralelo con un sistema de baja tecnología de tecnología baja tecnología. Las personas que viven en la zona fuente llaman por celular cuando experimentan o miden precipitaciones altas y notan un aumento inusual de la corriente en los arroyos de las micro cuencas.

### **8.2 Aspectos de notificación de las personas bajo riesgo**

Algunas lecciones que pueden ser derivados de experiencias internacionales (p.ej. Feisal Fatham et al, 2010) y centroamericanos con Sistemas de Alerta en general enseñan que el sistema debe ser basado en la tecnología apropiada y adaptada a la condición local y contar con la participación comunitaria.

Por lo tanto, los conocimientos técnicos y habilidades de comunicación son los principales requisitos para lograr el éxito de las primeras advertencias del sistema y el afinamiento de procedimiento según las experiencias obtenidas. El sistema debe incluir aspectos técnicos como los estudios geológicos y la selección del sitio, el diseño de equipos de monitoreo más adecuados para la zona, la determinación de criterios de alerta temprana, la operación y el mantenimiento de los equipos del campo sitio, los aspectos sociales tales como la cartografía social, consulta pública, y el empoderamiento de la comunidad, incluyendo los ejercicios de capacitación técnica y de evacuación para mejorar la resistencia de la comunidad frente a los desastres de deslizamiento.

El estudio de los documentos existentes sobre los SATD en los países de Centroamérica indica que la necesidad de involucrar la comunidad está bien entendida e implementada. Para los SATD, probablemente se domina mejor este aspecto que la parte científica-técnica, tecnológica y la

comunicación rápida de mensajes y toma de decisiones inmediata que en el caso de los deslizamientos puede ser un asunto de minutos.

### **8.3 Relación entre autoridades y población bajo riesgo, Alertas falsas**

En lo siguiente se mencionan algunos aspectos importantes que se discuten a veces en relación con los sistemas de alerta temprana.

El Flash Flood Early Warning System Reference Guide (Hill et al., 2010) ofrece las siguientes consideraciones importantes: *“La mayoría de las advertencias públicas de desastres son emitidos por agencias gubernamentales, ya que, en ausencia de normas claras de las mejores prácticas, las organizaciones privadas podrían incurrir en una importante responsabilidad civil. Muchas organizaciones privadas emiten alertas - por ejemplo para el clima - pero generalmente son cubiertos por contratos que limitan la responsabilidad. Hay meteorólogos de medios de comunicación que pueden perfeccionar las advertencias locales de su comunidad, pero deben ser conscientes de las mejores prácticas.*

*La autoridad es algo que tiene que venir del gobierno. El gobierno debe tomar la responsabilidad final de la emisión de una advertencia. El gobierno debe tener en sus leyes la responsabilidad legal para las alertas para poder emitir advertencias. Antes de la repentina decisión de abandonar sus pertenencias y evacuar el área bajo peligro - las personas necesitan garantías de que un mensaje de advertencia es legítimo. No pueden permitirse el lujo de perder preciosos minutos en la verificación de mensajes de alerta para asegurarse de que están tomando la decisión correcta.*

*Las falsas alarmas cuestan dinero, promulgan el cinismo, y socavan la credibilidad de la organización que emite la advertencia. Pero, en general, resultan mucho menos costosos que la ocurrencia de un evento desprevisto. Los centros de alerta deben estar preparados para tomar el riesgo y difundir ciertas advertencias, incluso con un alto nivel de incertidumbre acerca de la amenaza. Eso, porque la información necesaria para reducir esa incertidumbre podría llegar demasiado tarde. Personas podrían morir porque la advertencia oficial no podía ser recibida y no todos que estaban bajo riesgo podían actuar a tiempo.*

*Las autoridades no deben ocultar información debido a la preocupación por el pánico del público (que las autoridades comúnmente temen, pero casi nunca ocurre). Si las autoridades no proporcionan la información, la gente la busca de otras fuentes - por lo general menos fiables.*

*Repetir los mensajes de advertencia en intervalos regulares, puede asegurar de que aquellos que perdieron una anterior advertencia tengan otra oportunidad de recibirla. Además, aquellos que ignoraron una advertencia anterior tendrán otra oportunidad para responder. La repetición también ofrece a aquellos que no entendían una advertencia tengan otra oportunidad de comprender y a los que no creían en la advertencia se les de otra oportunidad de reconsiderar.*

*Sin embargo, estudios recientes (Ding, 2009) han mostrado que la continua recepción de mensajes de alerta también puede tener efectos negativos. Si la transmisión de una advertencia continúa durante demasiado tiempo y se realiza en períodos demasiado regulares, ya no llega a concientizar a las personas. En realidad, éstas se aburren, se vuelven menos conscientes, y luego comienzan a pasar por alto el mensaje.*

*Por lo tanto, si las autoridades quieren emitir la advertencia repetida para asegurarse de que lleguen a quienes no han escuchado la advertencia antes o para indicar la gravedad de una*

*amenaza – hay que emitir las advertencias en diferentes intervalos de tiempo para lograr un estimulación efectiva en cada ocasión.*

*Igualmente importante es, que la información de actualice rápidamente cuando las condiciones cambian de manera significativa para que la gente pueda adaptar sus respuestas a la nueva situación.”*

## **9. Estrategias para hacer eficientes y sostenibles los SATD**

Los SATD como otros sistemas de monitoreo y alerta deben funcionar por mucho tiempo - muchos años o décadas - sin que ocurra un evento fuerte que haga necesario emitir una advertencia. Durante este tiempo, las personas que trabajan en el SAT, las autoridades y la población pueden perder la convicción de la necesidad del SAT. El recuerdo del desastre que impulsó su instalación se atenúa, otras necesidades de fondos o de personal pueden provocar que se quiten recursos al SAT. Cuando ocurre un nuevo desastre el sistema ya no existe o no tiene las capacidades apropiadas para dar una alerta oportuna (ver el ejemplo en El Salvador, arriba, capítulo 2.1). Otra vez se repite la afectación de las personas por el fenómeno. Este ciclo se ve en Centroamérica en la atención a los sistemas de monitoreo, sísmico, volcánico e hidro-meteorológico.

Es necesario tener una estrategia para evitar que se diluya el esfuerzo para mantener funcionando los sistemas de monitoreo y alerta temprana.

### **9.1 Diversificación de los objetivos y productos**

Una estrategia de hacer sostenibles es la **integración del trabajo del SATD en otras actividades** que tienen más repercusión a corto tiempo. Las instituciones centrales pueden **integrar los SATD comunales en programas científicos** de la investigación de deslizamientos o de otros fenómenos. También se puede **averiguar si los datos del SAT pueden servir para otros propósitos**. Por ejemplo, los datos de precipitación se necesitan también para los SAT de inundaciones, y para la agricultura; los datos de los sismógrafos para la vigilancia sísmica y volcánica. El personal puede **participar en la elaboración y publicación de informes o artículos**. Obviamente esto incluye aportar al financiamiento a los SATD lo que aumentaría también su sostenibilidad.

### **9.2 Supervisión y soporte**

Se recomienda que las instituciones de protección civil y las instituciones geo-científicas centrales tengan al menos un **registro común de los SATD** en su país. En ambas instituciones debe asignarse persona que mantiene activamente el contacto con los SAT. Se podría formar una organización a nivel nacional, inclusive regional que integra los SATD. Debe existir una persona en las instituciones geocientíficas y también otra en la de Protección Civil que sea responsable para mantener el contacto con los SATD. Estas personas deben mantener el registro de los SATD, aportar a las páginas Web centrales sobre los SATD

Se recomienda que los SATD produzcan informes diarios y mensuales que deben enviar a las instituciones centrales. Que reporten también los eventos pequeños, informen sobre su quehacer, cambios de personal. Es muy importante que reporten las alertas falsas porque permiten mejorar el sistema,

### **9.3 Evitar errores de equipamiento**

Durante el análisis del material de los SATD se notaron prácticas inconvenientes. Es cuestionable proveer a los SATD comunales solamente los pluviómetros sencillos y baratos que regularmente se leen una vez al día. Estos datos diarios son de cierto valor para climatología, meteorología y agricultura pero para la alerta de deslizamientos se ha encontrado que específicamente las intensas precipitaciones de corta duración pueden desencadenar flujos y deslizamientos (ejemplos: El Salvador, 7 nov. 2009; Nicaragua 2004 - Cerro Musún). Se necesitan las mediciones más frecuentes, por hora o inclusive cada 10 minutos, para la alerta y para determinar los umbrales para los diferentes ambientes geológicos y del suelo.

Se considera cuestionable la instalación de estaciones meteorológicas satelitales de alto costo en proyectos de SATD comunales. Una sola estación pluviométrica tiene un radio de relevancia de pocos kilómetros para la alerta de deslizamientos. Con los fondos necesarios para una de estas estaciones satelitales se pueden comprar hasta 10 estaciones digitales de bajo costo que registran localmente, dan una alerta cuando se sobrepasa un determinado umbral y transmiten con WIFI a un punto de acceso del INTERNET. Estas 10 estaciones se podrían instalar en 10 zonas fuente de deslizamiento. La instalación de estaciones satelitales caras para este fin se acepta si se trata de lugares remotos poco accesibles, y donde la estación sirva al monitoreo de una zona fuente y a la vez a la red meteorológica nacional. Aún en esta situación sería mejor financiar la estación con los fondos para la red meteorológica nacional para dedicar los pocos fondos accesibles para alerta de deslizamientos directamente para los SATD.

Es cuestionable la instalación de estaciones sísmicas de alto costo en proyectos de SATD comunales si estas no se usan directamente para la detección y alerta de flujos o para la detección muy local de la caída de rocas. La instalación de estaciones sísmicas que simplemente se integran en el monitoreo sísmico local o nacional tiene muy poco efecto favorable para la alerta de deslizamientos. No se puede predecir el terremoto que causaría el deslizamiento. Los parámetros de un terremoto tan fuerte para causar deslizamientos se pueden determinar con estaciones sísmicas remotas, inclusive con la red sísmica global. Sería más favorable usar estos fondos para la compra de pluviómetros digitales de bajo costo o para sismógrafos baratos para la alerta de lahares o flujos. Con el costo de una estación sísmica de banda ancha se pueden comprar alrededor de 10 pluviómetros digitales de bajo costo pero buena calidad.

#### **9.4 Proyectos de equipamiento a nivel nacional y regional**

En cuanto a proyectos sobre la alerta de deslizamientos: Se nota que no hay proyectos importantes de equipamiento para SATD a nivel nacional. Para el monitoreo sísmico, volcánico, inundaciones, monitoreo meteorológico en los países de Centroamérica, hubo, en el pasado, y hay, en la actualidad, proyectos con fondos de centenares de miles hasta millones de dólares. Contrariamente, los proyectos de deslizamientos, son de carácter local, con poco equipamiento. Esto significa, que no se puede acceder a especialistas de alto nivel y/o fondos adecuados para desarrollar soluciones integradas,

#### **9.5 Estímulos y recompensa para los SATD**

Es muy importante que las autoridades locales y centrales conozcan y reconozcan el trabajo de aquellos que mantienen el SAT. Durante su trabajo adquieren práctica, experiencias. Pero, después de las elecciones municipales, frecuentemente existe la tendencia de cambiar el personal técnico en las comunidades. El nuevo responsable de SAT, al inicio no tiene la experiencia. A veces, no es tan interesado o idóneo. A lo mejor, simplemente todavía no es capacitado. A veces, durante el cambio, se pierden los documentos del SAT. Por lo tanto, se requiere la ayuda de las instituciones centrales, se deben realizar cursos de capacitación y refrescamiento después de las elecciones. Se deben

mantener copias de los documentos de los SAT en un repositorio central para que el nuevo personal pueda recuperarlos fácilmente.

Se recomienda que las instituciones centrales organicen actividades de recompensa, como entrega de premios, realización de competencias, publicaciones en los medios locales y nacionales. Se podrían publicar anualmente los nombres y fotos de las personas que trabajan en los SAT. Se podrían publicar videos sobre el trabajo de estas personas en YouTube. Se podría realizar un “Día de los SAT”.

Una forma de incentivar a los SATD y para tener más información sobre su trabajo podría ser que publiquen en una página Web, diario y mensualmente sus informes y experiencias. Las páginas podrían incluir blogs y foros de discusión para cada SATD. Así se posibilitaría también una mejor información al público y se facilitaría una mayor cooperación de la población. Podría ser una página de una institución centralizada o regional o un sitio en Yahoo, Google, Facebook u otro sitio tipo blog o wiki que facilita el intercambio de experiencias.

## **9.6 Respaldo de documentación**

Es indispensable que copias de los documentos de cada SAT se guarden en un repositorio central para poder reiniciar el trabajo después de alguna pérdida de información a nivel local. Hoy día, esta función podría cumplir un sitio Web.

Aunque los deslizamientos son fenómenos muy frecuentes, en Centroamérica hay muy pocos datos sobre ellos y muy pocos estudios científicos. Eso se explica porque los deslizamientos son fenómenos locales que no se pueden registrar a distancia (con muy pocas excepciones, los grandes deslizamientos que se detectarían en imágenes o radares satelitales o con estaciones sísmicas a unas decenas de kilómetros de distancia). Se debe tener instrumentación en la cercanía inmediata para poder caracterizarlo. En el caso de los fenómenos volcánicos hay más datos porque se concentran en algunos pocos lugares, los volcanes activos donde se concentra mucha instrumentación para su vigilancia. Los deslizamientos ocurren no solamente en los volcanes sino también en toda la extensa zona montañosa de los países. Para acumular los datos es necesario que se reporten a las instituciones centralizadas donde deben existir mecanismos para resguardarlos en depósitos o bancos de datos.

## **9.7 Publicación de datos de deslizamientos**

Para mejorar la base de datos, las instituciones geo-científicas de deben publicar listados de eventos de la misma manera como se hace, por ejemplo, para los sismos y la actividad volcánica. Se puede usar la base de Desinventar, pero asignando al deslizamiento también las coordenadas (que actualmente faltan completamente en Desinventar, el tipo de evento, el nombre único del sitio (podría ser un número indicativo) si es repetitivo, la magnitud (derivada de volumen y velocidad). Dado que posiblemente se puede viajar a cada sitio de deslizamiento que reportan los medios o las autoridades locales, los especialistas en las instituciones centralizados deben elaborar métodos para derivar estimados de estos valores. El personal de campo de los organismos de protección civil puede ser capacitado para levantar estos datos. En el caso de Nicaragua se recomienda comenzar a usar el sistema Desinventar. Es actualmente el único país en Centroamérica que no lo usa.

## **9.8 Investigación y Desarrollo**

El “Flash Flood Early Warning System Reference Guide” (Hill et al., 2010) explica las ventajas de participar en proyectos de investigación:

*”Un centro de alerta puede funcionar aceptablemente sin involucrarse en actividades de investigación y desarrollo aprovechando de técnicas desarrolladas en otra parte.*

*Sin embargo, frecuentemente se pueden solucionar problemas específicos locales mediante investigación propia y con el desarrollo propio de aspectos como mejorar la difusión de alertas, la notificación y aportes a la ciencia aplicada.*

*Además, un programa local de investigación y desarrollo crea una atmósfera de progreso dentro de un centro de alerta temprana.”. Esta atmósfera aporta a la sostenibilidad de los SATD.*

No solamente las instituciones centralizadas necesitan la participación en la investigación. También los integrantes de los SATD locales pueden beneficiarse de la participación en los programas de investigación porque aumentan su entendimiento del proceso, su autoestima, se sienten más útiles y su trabajo adquiere o mantiene el nivel de aceptación social.

Los nombres de los integrantes de SAT local que proporcionan datos a las instituciones centralizadas pueden ser mencionados en los informes científicos e inclusive en las publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Eso ya es muchas veces práctica en los programas de monitoreo de sismología y vulcanología.

## **9.9 Personal multidisciplinario**

Hill et al. (2010) mencionan también la necesidad de atacar la problemática de la alerta temprana con un equipo multidisciplinario es decir en caso de los SATD con una mezcla de geólogos, geofísicos, meteorólogos, hidrólogos, programadores de computadoras y expertos de redes de comunicación, ya que ofrece al centro las habilidades necesarias para abordar la investigación y el desarrollo en las categorías generales de la investigación aplicada y el desarrollo del programa de monitoreo. Eso aplica específicamente a las instituciones geocientíficas centrales o grupos universitarios.

## **9.10 Sistemas de alerta integrados - desde el inicio hasta el final**

En los verdaderos sistemas de alerta debe existir una instancia que tenga el control de que todas las medidas estén adecuadamente entrelazadas, desde el inicio hasta el final. Desde los organismos centrales hasta las personas bajo riesgo se debe garantizar que la información, los mensajes de alerta, lleguen directamente y rápido a las personas que los necesitan. Directamente a la población bajo riesgo por el fenómeno sobre el cual se emite la alerta.

Se debe conocer exactamente: 1) Cuántas personas pueden ser afectadas por el fenómeno; 2) Donde se encuentran; 3) Como transmitir a ellos los mensajes; 4) Que carácter debe tener el mensaje; 5) Qué medidas se deben realizar (evacuación); 6) Como se realizan estas medidas.

Hoy día, los sistemas computarizados de información, visualización y comunicación, especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pueden ser utilizados para mantener la visión completa de todo el proceso.

## **9.11 Verificación del funcionamiento del SAT**

Se debe tener métodos para verificar el funcionamiento de SAT.

**Verificación técnica:** Los sistemas técnicos, especialmente los automáticos pueden incluir métodos propios para la verificación del funcionamiento técnico.

**Verificación organizacional:** Las instituciones centralizadas y las autoridades locales deben tener metodología para mantener el control sobre los SATD y verificar su buen funcionamiento. Puede ser por ejemplo con reportes mensuales, llamadas a los responsables de los SAT, reuniones nacionales de los SAT.

**Ejercicios locales, nacionales y regionales:** Se recomienda hacer ejercicios o simulacros, por ejemplo antes del comienzo de la temporada de lluvias. Estos ejercicios se podrían realizar a nivel regional similar como se hace últimamente con los sistemas de alerta de tsunamis. Es decir se asume una situación meteorológica que afectaría toda Centroamérica y se asigna a todos los SATD centrales y comunitarios un determinado escenario en que deben actuar. Los reportes sobre el desempeño de los SAT en estos simulacros serían de gran valor para todos los organismos involucrados en la prevención de los desastres. Además, una acción a nivel regional despertaría un gran interés mediático, ayudaría a conocer que SATD realmente está funcionando.

Ejercicios a nivel de dirección y planificación, los “Juegos de Guerra”, pueden aportar para que las autoridades nacionales y locales conozcan la problemática y aprendan a tomar decisiones adecuadas para el caso de los desastres. Estos ejercicios se pueden considerar como método eficiente de capacitación de los líderes y se deben realizar en un tiempo prudente después de las elecciones nacionales y municipales.

## **9.12 Hacia los sistemas automáticos**

Entre los proyectos de SAT comunitarios prevalecen actualmente los sistemas que usan pluviómetros sencillos que se miden una vez al día y comunicación de voz por radio UHF o VHF o los sistemas que no tienen equipamiento propio sino dependen del aviso de las instituciones centrales.

En la documentación accesible sobre el proceso del diseño y la planificación de SATD comunitarios prevalece la discusión sobre el trabajo con la población, las formas de organización adecuada, etc. Por lo general, se describe poco el proceso de decisión sobre la forma técnica de realizar el monitoreo, los instrumentos, comunicación y alerta temprana. Una excepción es el SAT de Matagalpa, Nicaragua (Anexo 7d), donde se discuten ampliamente las opiniones y propuestas existentes y se desarrolla la argumentación que llevó a la decisión final sobre el diseño del SAT (Baca (2010)). Se decidió para un SAT mixto en el sentido que usa equipos electrónicos automáticos y comunicación digital a la par de equipos sencillos (medidores del nivel del río diseñados por CONRED, Guatemala) y comunicación de voz vía radio y teléfono celular. Se discuten también las dificultades de conseguir equipos adecuados, confiables pero baratos.

A largo plazo puede ser más favorable la instalación de sistemas automáticos. Requieren de menos trabajo, son más confiables y sus datos pueden ser usados para la investigación científica. Es más fácil centralizarlos y se pueden manejar de modo similar como las redes sísmicas o de monitoreo volcánico, posiblemente en una red de comunicación integral. Si los sismólogos en los países centroamericanos pueden manejar (ya desde dos décadas) redes sísmicas con decenas a centenares de estaciones que transmiten cada una mil veces más datos por unidad de tiempo que una estación pluviométrica también debe posible manejar una red de monitoreo de deslizamientos en la región.

El futuro son los sistemas automáticos. Hace todavía 20 años se dudaba que la mayoría de las personas en podría llegar a usar computadoras. Hoy casi todas las personas en Centroamérica tienen una computadora, en forma del teléfono celular y la maneja fácilmente para una gran cantidad de actividades. Las persona que pueden manejar un celular pueden también manejar un sistema automático de monitoreo, bien hecho claro.

La tendencia de equivaler sistemas comunitarios con el uso de los pluviómetros sencillos refleja a veces falta de información y la incapacidad de diseñar sistemas tecnológicos funcionales y fácilmente manejables y aún baratos. Si la institución geocientífica central del país recomienda a una ONG el uso de estaciones meteorológicas satelital o sísmicas de banda ancha para un SATD comunitario parece indicar una falta de conocimientos.

Aparte del Canal de Panamá hay algunos SATD en Tegucigalpa/Honduras, en el OPAMSS/El Salvador, Matagalopa/Nicaragua, es decir en grandes ciudades, que comienzan a aplicar tecnología orientándose en ejemplos fuera de la región. Pero todavía no hay proyectos pilotos para desarrollar soluciones propias adecuadas para SATD comunitarios en pequeñas comunidades. El SATD en Santa Ana, Costa Rica parece usar tecnología sofisticada pero no se encontró información si este sistema actualmente funciona, ver Anexo 7e.

### **9.13 Incorporación del tema SAT en el currículo de educación formal escolar**

Una buena medida dirigida al futuro es la integración del tema de los Sistema de Alerta Temprana en el currículo de educación formal escolar. La experiencia con los SAT tsunami en Japón y otros países ha mostrado que la formación de los estudiantes juega un gran papel en la concientización de la población sobre los riesgos naturales y su activa participación en las medidas de prevención. En el tratamiento del tema de los SAT se puede combinar de una manera vivida la adquisición de conocimientos con actividades prácticas sobre geociencias, ambiente, tecnología, ciencias sociales, trabajo con el Internet, en gabinete y en excursiones al campo. Muchas veces, los estudiantes transfieren sus nuevos conocimientos y habilidades a otros integrantes de sus familias y, más, pueden influir en la toma de decisiones correctas en situaciones de emergencias.

## **10. Estrategia para reducir los desastres por flujos y lahares**

Los deslizamientos se manifiestan de diversas formas y es muy difícil desarrollar al mismo tiempo los métodos de monitoreo y alerta adecuados para todos los tipos. Obviamente es más eficiente concentrarse en un solo tipo.

Por eso, se propone una estrategia para reducir los desastres por flujos y lahares que se basa en las siguientes observaciones:

- 1) **Mayor riesgo:** Los flujos y lahares son los deslizamientos que causan los mayores desastres con el mayor número de víctimas.
- 2) **Concentración de sitios:** Son eventos repetitivos que ocurren en sitios específicos - los cauces que bajan de los volcanes.
- 3) **Problema regional:** Los volcanes tienen condiciones geológicas y estructurales muy similares entre sí y umbrales de desencadenamiento encontrados en uno o varios volcanes pueden ser generalizados y aplicados a todos los volcanes en Centroamérica.
- 4) **Mayor posibilidad de predicción a nivel de fenómenos de desencadenamiento:** Observaciones como la ocurrencia de lahares casi al mismo momento en tres volcanes vecinos en el caso del Huracán Stan cerca del Lago de Atitlan, Guatemala sugieren que las condiciones del desencadenamiento se pueden reproducir.

- 5) **Predicción oportuna factible:** Es posible hacer una predicción del impacto del lahar o flujo una vez detectado su iniciación. Es posible detectar con laharímetros el momento cuando inicia el lahar, detectar el movimiento del lahar con sismógrafos todavía cerca de la cumbre del volcán cuando todavía está lejos de los poblados al pie del volcán. En muchos casos esta distancia es suficiente para emitir una alerta que les da chance a los pobladores de moverse inmediatamente a sitios seguros, aun considerando que los lahares alcanzan velocidades de más de 50 kph. Si la distancia es de 5 km queda un tiempo de preaviso de 5 minutos. En 5 minutos es posible correr 500 metros, lo que puede ser suficiente para salvar la mayoría de la población.

Los pasos para desarrollar esta estrategia en los países Centroamérica serían:

- 1) **Inventario:** Elaborar un inventario de sitios que merecen la instalación de un SATD por tener 1) una población bajo riesgo y por 2) existir un tiempo de preaviso mayor que el tiempo que se necesitaría para alcanzar lugares seguros.
- 2) **Clasificación según riesgo:** Después se clasificaría los sitios según número de personas bajo amenaza es decir según el riesgo de pérdida de vidas. Los sitios de mayor riesgo serían los donde se comienza a instalar los equipos de monitoreo y alerta
- 3) **Desarrollo de equipos y sistemas específicos para flujos y lahares.** Por la similitud de las condiciones en los volcanes se cree posible *elaborar a nivel regional las especificaciones técnicas para los equipos a instalarse en los SAT*. Se podría solicitar a empresas nacionales, regionales e internacionales que ofrezcan equipos y sistemas adecuados. Esto también para el software que debe integrar la adquisición de datos, la transmisión a la central de monitoreo, el procesamiento automático, la visualización y toma de decisión, la emisión de mensajes y la alarma. De esta forma se podría lograr una cierta estandarización del hardware y software, lo que podría bajar precios de los equipos (producción en mayores números) y por otro lado facilitar el intercambio entre los SATD de los países. Se piensa en una iniciativa similar como la de las redes de monitoreo sísmico, el software de procesamiento de sismos, amenaza y riesgo sísmico en la región (Programa de cooperación con Noruega, décadas 1990-2010), en menor grado también en vulcanología (iniciativas del VDAP, USGS). Estandarización y cooperación generan beneficios para el intercambio de datos, para el mantenimiento de los sistemas y la capacitación del personal encargado de desarrollar y mantener los sistemas, como es el caso actualmente con las redes sísmicas de la región. Se puede partir de las características *del Acoustic Flow Monitor (AFM, Monitor Acústico de Flujos)* desarrollado por el USGS para la alerta de lahares y por otro lado de las experiencias existentes en Centroamérica en el campo de la sismología.
- 4) **Instalaciones preliminares de SAT.** Al inicio se instalarían SAT para hacer pruebas y comparaciones de equipos y sistemas. Se realizarían eventos para la capacitación de las personas que trabajan en el monitoreo y alerta de deslizamientos.
- 5) **Instalación masiva de SATD:** Instalar sucesivamente SATD en los sitios seleccionados a base del inventario. Hacer esto en un programa nacional y regional bajo coordinación de las instituciones centrales y por CEPREDENAC. El programa puede extenderse sobre varios años inclusive décadas y se requería financiamiento similar como se obtuvo para sismología y vulcanología. La estructura del sistema de alerta puede ser la de un sistema de monitoreo y alerta nacional con participación local o comunitario. El monitoreo incluiría 1) pluviómetros y uso de otros sistemas para detectar alta precipitación (radar, satélite); 2) laharímetros; monitores acústicos o sísmicos; cámaras Web. 3) Centros locales de alerta. Los centros de alerta serán supervisados por las instituciones geocientíficas centrales y las instituciones de Protección Civil. Se integrarán los sistemas regionales y globales basados en datos de satélite.
- 6) **Cursos de enseñanza** sobre los SAT deslizamientos, específicamente de los flujos y lahares en las instituciones geocientíficas de las universidades.

- 7) **Integración de la temática de los SAT en el currículo escolar**
- 8) **Estudios, investigación científica sobre SATD** a nivel nacional y participación en programas internacionales.

Este proceso requiere del apoyo político y técnico de CEPREDENAC, de las instituciones nacionales geocientíficas y de protección civil, autoridades locales, universidades, agencias internacionales de cooperación técnica.

## **11. Instituciones principales involucrados en los SATD**

### **11.1 Organismos de Protección Civil**

#### **Costa Rica**

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias - CNE

[www.cne.go.cr](http://www.cne.go.cr)

#### **El Salvador**

Dirección General de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres - Protección Civil

[www.proteccioncivil.gob.sv](http://www.proteccioncivil.gob.sv)

#### **Guatemala**

Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres - CONRED

[www.conred.gob.gt](http://www.conred.gob.gt)

#### **Honduras**

Comisión Permanente de Contingencias - COPECO

[www.copeco.gob.hn](http://www.copeco.gob.hn)

#### **Nicaragua**

Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres - SINAPRED

[www.sinapred.gob.ni](http://www.sinapred.gob.ni)

Defensa Civil del Ejército de Nicaragua

[www.ejercito.mil.ni/contenido/sociedad-civil/defensa-civil/defensa-civil.html](http://www.ejercito.mil.ni/contenido/sociedad-civil/defensa-civil/defensa-civil.html)

#### **Panamá**

Sistema Nacional de Protección Civil - SINAPROC

[www.sinaproc.gob.pa](http://www.sinaproc.gob.pa)

### **11.2 Instituciones geo-científicas centralizadas o relevantes para los deslizamientos**

#### **Guatemala**

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH

[www.insivumeh.gob.gt](http://www.insivumeh.gob.gt)

#### **El Salvador**

Observatorio Ambiental del Ministerio del Ambiente

[www.snet.gob.sv](http://www.snet.gob.sv)

#### **Honduras**

No existe una institución centralizada de geociencias

COPECO asume algunas funciones como realización estudios de amenaza,

<http://copeco.gob.hn>

Universidades:

Universidad Nacional de Honduras - Instituto de Geofísica de la UNAH

Instituto ...

### **Nicaragua**

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales  
Dirección General de Geofísica  
[www.ineter.gob.ni](http://www.ineter.gob.ni)

### **Costa Rica**

No existe una institución centralizada de geociencias

Universidades:

Universidad de Costa Rica, Escuela de Geología (UCR) - <http://www.geologia.ucr.ac.cr/>

Universidad Nacional (UNA), OVSICORI - <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>

Instituto *Meteorológico* Nacional (IMN) - <http://www.imn.ac.cr/>

### **Panamá**

No hay una institución centralizada de geociencias.

Universidades:

Universidad de Panamá – Instituto de Geociencias -

Observatorio Sísmico del Occidente de Panamá -

Meteorología - ETESA

## **12. Literatura recomendada**

Para entender la complejidad y diversidad de los deslizamientos ayudan los libros de Suarez J. (1998) sobre “Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales”, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos y el libro de Highland & Bobrowsky (2008) “The landslide handbook—A guide to understanding landslides”. Hay poca literatura sobre SAT de deslizamientos pero se puede aprovechar que la metodología de los SAT de Inundaciones es más avanzada y estudiar publicaciones como “Flash Flood Early Warning System Guide” de Hill et al. (2010). También la abundante literatura reciente sobre los SAT de tsunamis locales presenta modelos para organizar SAT de reacción rápida, ver p.ej. el “Guía de referencia para centros de alerta de tsunamis” publicado por el USAID (2007). En el futuro, la tecnología jugará un papel mucho más dominante en los SAT de deslizamientos y se recomienda por ejemplo los trabajos de Savvaidis (2002) sobre “Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques”, y el artículo de Cornejo (2004) sobre “Sistemas de Monitoreo Remoto para el Control de Deslizamientos” que facilitan el entendimiento de este proceso. Hay muy poca información sobre la aplicación práctica de los instrumentos y equipos en el campo, sobre software de adquisición de datos de lluvia, de las mediciones de deslizamientos.

El artículo de Wieczorek y Snyder (2009) sobre “Monitoreo de Deslizamientos” provee información sobre métodos e instrumentación para monitoreo y alerta de deslizamientos, incluyendo estimados de costos. El artículo de Smith et al. (2009) sobre Monitoreo de Volcanes incluye un capítulo sobre sistemas de detección y alerta de lahares y flujos de detritos por medio de estaciones sísmicas. El libro de Matthias & Hungr (editores) (2005) trata sobre los fenómenos de flujos de detritos, lahares, su monitoreo y alerta.

La mayoría de los recursos arriba mencionados es accesible en la Web, más abajo, en el capítulo de bibliografía se encuentran los enlaces correspondientes y también un gran número de referencias adicionales.

## **13. Bibliografía**

Nota: La bibliografía contiene las referencias de la literatura usada para el documento principal y todos sus anexos.

Amoretty Villavicencio, Roberto (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de Nicaragua - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, octubre de 2011

Agnarsson M. Dubois Th. (1993) Deformation Analysis of the Puriscal Landslide, Royal Ins. Techology, Dept. of Geodesy and Photogrammetry, Stockholm, SWEDEN, Master of Science Thesis. CODEN : TRTTA / GEOD-93 / 3030

AOS-OXFAM-CRE (2011) Lineamientos generales para el diseño participativo y operación de sistemas de alerta temprana ante deslizamientos provocados por lluvias en El Salvador, desarrollados en el marco de la ejecución de los proyectos DIPECHO Plan de Acción VII en El Salvador de Ayuda Obrera Suiza (AOS), Oxfam Solidaridad de Bélgica y Cruz Roja Española, El Salvador, Centro América, Abril del 2011

Arreaga, Vinicio y Tax, Pedro (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de Guatemala - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, octubre de 2011

BALZER, D.; JÄGER, S. & D. KUHN (2010): Manual para la Evaluación de la Exposición al Riesgo frente a Amenazas Naturales en Centroamérica - El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. - Proyecto de Cooperación Técnica 'Mitigación de Geo-Riesgos en Centroamérica': 121 páginas; 26 imágenes; 44 tablas; 35 mapas; San Salvador, Ciudad de Guatemala, Tegucigalpa, Managua, Hannover.

Baum, R. L., J. W. Godt, and W. Z. Savage (2010), Estimating the timing and location of shallow rainfall induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration, *Journal of Geophysical Research*, 115(F03013), 26, doi:10.1029/2009JF001321.

Bonis, Samuel Chiquín, Luis ; Cosillo Allan; Flores Omar; Galicia, Otto; Luna Julio; Mollinedo, Nancy ; Mota Byron ; Orellana, Armando ; Requena, Jaime ; Sagüi, Dehiry ; Valenzuela, Sandra; Vasquez, Osmín (2009) Informe sobre los movimientos de ladera ocurridos en San Cristóbal, A.V., Guatemala. 2009-01-15. Carrera de Geología, Centro Universitario del Norte, USAC - Sociedad Geológica de Guatemala.

Campus Zumbado, Juan A. (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de Costa Rica - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, septiembre de 2011

Cannon, S.H. (2005) A NOAA-USGS Demonstration Flash-Flood and Debris-Flow Early-Warning System: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2005-3104. Prepared in cooperation with National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Casagli, N., Filippo Catani F., Del Ventisette Ch., Luzi G. (2010) Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry, *Landslides* 7:291–301 DOI 10.1007/s10346-010-0215-

CEAH (2007) Sistema de monitoreo y alerta temprana (SAT) comunitaria a deslizamientos en los municipios de San Francisco del Valle, San Marcos de Ocotepeque y Mercedes, Departamento de Ocotepeque, Subcuenca del Río Higuito, presentado a COPECO Programa Multifase de Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Hidrográficas Prioritarias, Informe Final, Diciembre de 2007

Cepeda, J. M. (2009). Characterisation and risk management of rainfall-induced landslides. Doctoral Dissertation, Department of Geosciences, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo.

Cepeda, J., J. A. Chávez, and C. Cruz Martínez (2010a), Procedure for the selection of runout model parameters from landslide back-analyses: application to the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador, *Landslides*, 7(2), 105-116, doi:10.1007/s10346-010-0197-9. [online] Available from: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10346-010-0197-9> (Accessed 8 October 2011)

- Cepeda, J., H. Smebye, B. Vangelsten, F. Nadim, and D. Muslim (2010b), Landslide risk in Indonesia. [online] Available from:  
[http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgdocs/Cepeda\\_et\\_al\\_2010.pdf](http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgdocs/Cepeda_et_al_2010.pdf)
- CNE (2000) Diagnóstico Situacional de las comunidades aledañas al Cerro Tapezco, Proyecto Sistema de Alerta Temprana en el Cerro Tapezco, San José, Costa Rica
- Coe, J. A., J. W. Godt, R. L. Baum, R. C. Bucknam, and J. A. Michael (2004), Landslide susceptibility from topography in Guatemala, in *Landslides: Evaluation and Stabilization*, edited by W. A. Lacerda, M. Ehrlich, S. A. B. Fontura, and A. S. F. Sayao, pp. 69-78, Taylor & Francis Group, London.
- Collins, B.D., Baum, R.L., Mrozek, T., Nescieruk, P., Perski, Zb., Rączkowski, W., and Graniczny, M., 2011, Evaluation of landslide monitoring in the Polish Carpathians: U.S. Geological Survey Open-File Report, 2011-1001, 30 p.
- Copri, Carlos (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de Panamá - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, octubre de 2011
- Corominas, J., J. Amigo, R. Copons, J. M. Vilaplana, and J. Altimir (2003), Integrated Landslide Susceptibility Analysis and Hazard Assessment in the Principality of Andorra, *Natural Hazards*, 30, 421-435.
- CORNEJO D.A. (2004) SISTEMA DE MONITOREO REMOTO PARA EL CONTROL DE DESLIZAMIENTOS, Compendio de Trabajos de Investigación CNDG – Biblioteca, Instituto Geofísico del Perú. V. 5 (2004) p. 173 – 182  
[http://www.igp.gob.pe/sismologia/servicios/biblioteca\\_cndg/compendio/rev2003\\_pdf/pdf/desastres\\_dcornejo.pdf](http://www.igp.gob.pe/sismologia/servicios/biblioteca_cndg/compendio/rev2003_pdf/pdf/desastres_dcornejo.pdf)
- Irene Georgina Baca Téllez, Beatrice Rosa, Eduardo Escobar, Norlan Toruño, Carmen Ruíz Clarissa Molinares (2010) Diseño del Sistema de Alerta Temprana en la ciudad de Matagalpa, Sistematización de experiencias, Proyecto Río Grande de Matagalpa: Reducción de Riesgos a inundaciones y deslizamientos en la ciudad de Matagalpa. VI Plan de Acción DIPECHO CRIC/ECHO/DIP/BUD/2008/03003, Marzo 2010
- CRCR (2003) Sistema de alerta temprana de deslizamientos de tierras en Costa Rica Cruz Roja Costarricense y Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, noviembre de 2003
- Dai, F. C., and C. F. Lee (2002), Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42, 213 - 228.
- Devoli G., Morales A., Høeg K. (2007). Historical landslides in Nicaragua - Collection and analysis of data. *Landslides*: 4 (1), 5-18
- Devoli G., Strauch W., Chávez G., Høeg K. (2007a). A landslide database for Nicaragua: A tool for landslide hazard management. *Landslides*: 4 (2), 163-176

Devoli, G., 2008. A study of the distribution, characteristics, behaviour and triggering mechanisms of Nicaraguan landslides. Ph.D. Thesis. Department of Geosciences, Faculty of Mathematics and Natural Sciences. University of Oslo, Norway 2008.

Devoli G., De Blasio F., Elverhøi A., Høeg K., (2009). Statistical analysis of landslide events in Central America and their run-out distance. *Geotech Geol Eng* 27 (1), 23-42

Devoli G., Cepeda J., Kerle N., (2009). The 1998 Casita volcano flank failure revisited – New insights into geological setting and failure mechanisms. *Engineering Geology*, 105, 65-83

EM-DAT (2011), The OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain. [online] Available from: [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net)

Francia M. Rivas J., Quijano L. Castellanos F., (2003) DEPARTAMENTO DE SAN VICENTE, MUNICIPIO DE GUADALUPE, ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES Y PROPUESTA DE PLAN MUNICIPAL DE REDUCCION DEL RIESGO, COSUDE, Nueva San Salvador, Noviembre 2003

Giron J.R., y Garavito F. (2006) Evaluación del Alud tipo Lahar que soterró al Cantón de Panabaj y afectó seriamente al Cantón de Tzanchag, Municipio de Santiago Atitlán, Sololá, Reporte INSIVUMEH,

Godt, J., B. Sener, K. Verdin, D. Wald, P. Earle, E. Harp, and R. Jibson (2008). Rapid assessment of earthquake-induced landsliding. Proceedings of the First World Landslide Forum, United Nations University, Tokyo, Japan, 4 p.

Halftermeyer, G. (1971) Historia de Managua: data desde el siglo XVIII hasta hoy, 1846-1946, Imprenta Nacional, 383 páginas, <http://es.scribd.com/doc/50770722/Historia-de-Managua-Gratis-Halftermeyer>

Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter (2008) The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p. <http://pubs.usgs.gov/circ/1325/>

Fathani T. F., Dwikorita Karnawati and Fikri Faris (2010) The Determination of Warning Criteria for Rainfall-induced Shallow Landslide by Deploying a Real-time Monitoring System, , 5th Annual International Workshop & Expo on Sumatra Tsunami Disaster & Recovery 2010

Feldman L. (1993) Mountains of Fire, Lands That Shake: Earthquakes and Volcanic Eruptions in the Historic Past of Central America (1505-1899), Labyrinthos (December 1993)

Ferraro, R., G. A. Vicente, M. Ba, A. Gruber, R. Scofield, Q. Li and R. Weldon (1999) Satellite Techniques Yield Insight into Devastating Rainfall from Hurricane Mitch. *EOS, Transaction, AGU*, Vol. 80, No. 43, 10/26/1999, 512-514

Gutiérrez F., Strauch W., Wachowicz, M., Bernabe M., (2009). The Development of an Empirical Workflow Process for Mapping Affected Communities of the Hurricane Felix, Nicaragua, 2007, Joint Symposium of ICA Working Group on CEWaCM and JBGIS Gi4DM, Cartography and

Geoinformatics for Early Warning and Emergency Management: Towards Better Solutions, January, 19-22, 2009, Prague, Czech Republic

Guzzetti, F., A. Carrara, M. Cardinali, and P. Reichenbach (1999), Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology*, 31, 181-216.

Guzzetti, F., S. Peruccacci, M. Rossi, and C. P. Stark (2008), The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides*, 5, 3-17, doi:10.1007/s10346-007-0112-1.

Harders R., Ranero C. R., Weinrebe W., Behrmann J. (2011) Submarine slope failures along the convergent continental margin of the Middle America Trench, *GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS*, VOL. 12, Q05S32, 26 PP., 2011, doi:10.1029/2010GC003401

Harp, E. L., R. C. Wilson, and G. F. Wieczorek (1981) Landslides from the February 4, 1976, Guatemala earthquake. U.S. Geological Survey Professional Paper 1204-A, 35 pp, 2 Plates  
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Septiembre-Octubre2005/CD-1/pdf/eng/doc5175/doc5175.htm>

Harp, E.L., Castañeda, M.R., and Held, M.D., (2002) Landslides triggered by Hurricane Mitch in Tegucigalpa, Honduras: U.S. Geological Survey Open-File Report 02-33, 11 p., 1 plate.

Harp E., Hagaman K., Held M., and McKenna J. (2002a) Digital Inventory of Landslides and Related Deposits in Honduras Triggered by Hurricane Mitch, USGS Open File Report 02-0061, <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-0061/>

Harp E., Held M., Castañeda M., McKenna J., and Jibson R. (2002b) Landslide Hazard Map of Tegucigalpa, Honduras, USGS Open File Report 02-219, <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-219/>

Hill D. , Verjee F., Barrett C. (2010). “Flash Flood Early Warning System Guide” de University Corporation for Atmospheric Research and COMET, ISBN 978-0-615-37421-5

Hong, Y., R. Adler, and G. Huffman (2006), Evaluation of the potential of NASA multi-satellite precipitation analysis in global landslide hazard assessment, *Geophysical Research Letters*, 33(L22402), 1-5, doi:10.1029/2006GL028010.

Hong, Y., R. Adler, and G. Huffman (2007), Use of satellite remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility, *Natural Hazards*, 43(2), 245-256, doi:10.1007/s11069-006-9104-z.

Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, D.B. Wolff, 2007: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. *J. Hydrometeor.*, 8:38-55.

B. Hong, Y. & Adler, R. F. (2007) Towards an early-warning system for global landslides triggered by rainfall and earthquake, *International Journal of Remote Sensing*, Volume 28, Issue 16, 2007, DOI: 10.1080/01431160701311242, pages 3713-3719

INETER (1998) Las lluvias del siglo en Nicaragua: el Huracán Mitch, las lluvias y otros eventos ciclónicos y su recurrencia en Nicaragua, 1892-1998, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), 1998, 159 páginas

Medina P. (2008) Guía para la Elaboración de Maquetas de Riesgos Municipales, con apoyo de SINAPRED, INETER, MINISTERIO DE EDUCACIÓN, ALCALDIAS DE ALTAGRACIA Y MOYOGALPA DEPARTAMENTO DE RIVAS), DEFENSA CIVIL, COMISION EUROPEA, CARE Y COOPERACION SUIZA EN AMERICA CENTRAL, Managua, Nicaragua

Oviedo y Valdez, F.G. (1851) Historia general y natural de las Indias, Islas y Tierra Firme del Mar Océano. (Edición de José Amador de los Ríos). Real Academia de la Historia, Madrid. España.

Incer J. (1970). Nuevo Geografía de Nicaragua. Managua: Talere S de Editorial Recalde, 582 p

Incer J. (1988). Central American volcanic events (1524-1924). Unpublished manuscript, 52 p

Incer J. (1990). Nicaragua: Viajes Rutas y Encuentros 1502-1838. San Jose, Costa Rica: Libro Libre, 638 p

INETER (2010) Sistema de Alerta Temprana ante amenazas sísmicas y deslizamientos para San Juan de Río Coco y alrededores Municipio San Juan de Río Coco, Departamento de Madriz, INETER, TdR de proyecto Dipecho VIII-AC SUR, marzo de 2010

Kirschbaum, D. B., R. Adler, Y. Hong, S. Hill, and A. Lerner-Lam (2009a), A global landslide catalog for hazard applications: method, results, and limitations, *Natural Hazards*, 52(3), 561-575, doi:10.1007/s11069-009-9401-4.

Kirschbaum, D. B., R. Adler, Y. Hong, S. Kumar, C. Peters-Lidard, and A. Lerner-Lam (2011), Advances in landslide nowcasting: evaluation of a global and regional modeling approach, *Environmental Earth Sciences*, doi:10.1007/s12665-011-0990-3. [online] Available from: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s12665-011-0990-3> (Accessed 14 April 2011)

Kirschbaum, D. B., R. Adler, Y. Hong, and A. Lerner-Lam (2009b), Evaluation of a preliminary satellite-based landslide hazard algorithm using global landslide inventories, *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 9, 673-686.

Kirschbaum: Landslide Hazard Assessment and Forecasting System in Mesoamerica

Kumar, S. V. et al. (2006), Land Information System - An Interoperable Framework for High Resolution Land Surface Modeling, *Environmental Modelling & Software*, 21(10), 1402-1415.

Kumar, S., C. D. Peters-Lidard, J. L. Eastman, and W.-K. Tao (2008), An Integrated High Resolution Hydrometeorological Modeling Testbed using LIS and WRF, *Environmental Modelling & Software*, 23(2), 169-181.

Lee, S., and B. Pradhan (2007), Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, *Landslides*, 4, 33-41, doi:10.1007/s10346-006-0047-y.

Kirschbaum Dalia, Cepeda José, Frye Stuart, Kumar Sujay, Santanello Joseph, Strauch Wilfried, Adler Robert, Hong Yang, (2011) Landslide Hazard Assessment and Forecasting System using near real-time remote sensing information over SERVIR-Mesoamerica, project proposal to NASA

LaHusen R. (2005) Debris-flow instrumentation; en: Jacob & Hung (ed.) DEBRIS-FLOW HAZARDS AND RELATED PHENOMENA, Springer Praxis Books, 2005, 291-304, DOI: 10.1007/3-540-27129-5\_12

Mora, Sergio. , Vahrson, Wilhelm. Julio 1991. Modelo Determinación " A Priori " de la Amenaza de Deslizamientos en Grandes Áreas Utilizando indicadores Morfodinámicos. Escuela Centro Americana de Geología, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Informe inédito; p.30.

Mora, S., and W.-G. Vahrson (1994), Macrozonation methodology for landslide hazard determination, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 31(1), 49-58.

Mora Chinchilla Rolando (200?) Apuntes para el Curso Gestión de Riesgo, Capítulo 1, Fundamentos sobre deslizamientos, UCR, Costa Rica

NASA (2010), NASA Science Mission Directorate 2010 Science Plan.  
[http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2010/08/30/2010SciencePlan\\_TAGGED.pdf](http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2010/08/30/2010SciencePlan_TAGGED.pdf)

Nadim, F., O. Kjekstad, P. Peduzzi, C. Herold, and C. Jaedicke (2006), Global landslide and avalanche hotspots, Landslides, 3, 159-173, doi:10.1007/s10346-006-0036-1.

Neall V.E. (1976) LAHARS AS MAJOR GEOLOGICAL HAZARDS, BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY N°14, 233--240 ,KREFELD 1976

Obando T. y Álvarez A. (2007) – Estado Actual del Sistema de Alerta Temprana de deslizamientos en el Cerro El Volcán, Dipilto, Nueva Segovia, Informe interno, Dirección de Geología Aplicada, INETER, Managua, septiembre de 2007

OEA (2001) MANUAL PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES EN CUENCAS MENORES,

Olalla Marañen C. (2007) AUSCULTACIÓN DE LADERAS, Jomadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalses.

Ortiz R., García A., Astiz, M. (xxx) Instrumentación en Volcanología  
[http://www.volcanesdecanarias.com/interna/Educacion/download/Instrumentacion/Instrumentacion\\_Volcanologia.pdf](http://www.volcanesdecanarias.com/interna/Educacion/download/Instrumentacion/Instrumentacion_Volcanologia.pdf)

OXFAM (2011) Lineamientos Generales para el Diseño participativo y Operación de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Deslizamientos Provocados por Lluvias en El Salvador, Desarrollados en el marco de la ejecución de los proyectos DIPECHO Plan de Acción VII en El Salvador de Ayuda Obrera Suiza (AOS), Oxfam Solidaridad de Bélgica y Cruz Roja Española, El Salvador, Centro América, Abril del 2011

Petley, D. N., S. A. Dunning, and N. J. Rosser (2005), The analysis of global landslide risk through the creation of a database of worldwide landslide fatalities, in Landslide Risk Management, edited by O. Hungr, R. Fell, R. Counture, and E. Ebergardt, pp. 367-374, Balkema, Amsterdam.

Pinggen Zhou & Leihua Ya (2006) Landslide hazard early warning system in China and future trends © The Geological Society of London, IAEG2006 Paper number 805

Pradhan, B. (2010), Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, *Advances in Space Research*, 45, 1244-1256, doi:10.1016/j.asr.2010.01.006.

Savvaiddis, P. D. (2002) Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques, Department of Geotechnical Engineering, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The Aristotle University of Thessaloniki, Greece,

Schillinger, S., W. Strauch, and V. Gutierrez (2009), Using satellite based rainfall estimates for early warning on landslides and inundations in Central America, in Joint Symposium of ICA Working Group on CEWaCM and JBGIS Gi4DM, Cartography and Geoinformatics for Early Warning and Emergency Management: Towards Better Solutions, Prague.

Scott K., Vallance J., Kerle N., Macías J., Strauch W. and Devoli G., Catastrophic precipitation-triggered lahar at Casita volcano, Nicaragua: occurrence, bulking and transformation, *Earth Surf. Process. Landforms* 30, 59–79 (2005) Published online 20 December 2004 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/esp.1127

Siebert L., Kimberly P., Pullinger C. (2004) The voluminous Acajutla debris avalanche from Santa Ana volcano, western El Salvador, and comparison with other Central American edifice-failure events, ) *Geological Society of America. Special Paper 375*, 2004

Siebert L, Alvarado G E, Vallance J W, van Wyk de Vries B, 2006. Large-volume volcanic edifice failures in Central America and associated hazards. *In: Rose W I, Bluth G J S, Carr M J, Ewert J W, Patino L C, Vallance J W (eds), Volcanic hazards in Central America, Geol Soc Amer Spec Pap, 412: 1-26*

Silva Rotela, Eliseo (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de Honduras - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, octubre de 2011

Smith, J.G., Dehn, J., Hoblitt, R.P., LaHusen, R.G., Lowenstern, J.B., Moran, S.C., McClelland, L., McGee, K.A., Nathenson, M., Okubo, P.G., Pallister, J.S., Poland, M.P., Power, J.A., Schneider, D.J., and Sisson, T.W., 2009, Volcano monitoring, *in* Young, R., and Norby, L., *Geological Monitoring: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, p. 273–305, doi: 10.1130/2009.monitoring(12). <http://165.83.37.17/geology/monitoring/volcanic.cfm>

Stinson J., Miles S. (2010) Report on Earthquake-Induced Landslides, Guatemala City, Prepared for Oxfam-Great Britain, Guatemala Country Office Resilience Institute, Working Paper 2010\_3  
HUXLEY College of the Environment, WESTERN WASHINGTON UNIVERSITY, February 2010

Strauch W., Chávez G., Gutierrez V., Feldhaus L., Schillinger St., Schmidt R. (2007). Applications of a GIS on Georisks for Nicaragua and Central America, *Eos Trans. AGU*, 88(23), Jt. Assem. Suppl., 2007

Strauch, W., et al. (2007) Reconocimiento de correntadas rápidas, inundación desastrosa y deslizamientos en Matagalpa y alrededores - ocurridos, el 17 de octubre de 2007, a causa de intensas lluvias, Informe INETER

W.Strauch (2008) Sistema de alerta temprana de deslizamientos, correntadas e inundaciones para la ciudad de Matagalpa, propuesta presentada en Matagalpa, INETER, 23 de enero de 2008

Strauch W., Castellón A. (2009) Contribution to Early Warning on landslides in Central America using precipitation estimates from meteorological satellites, Lateinamerika-Kolloquium, Kiel, 2009, Abstract

Strauch W. (2010a) Disaster in El Salvador, 7 and 8 of November, 2009, triggered by strong rain falls. Internal Report of the Project for the Mitigation of Georisks in Central America, Federal Agency of Geosciences and Natural Resources, Hannover-Managua, February 2010, in Spanish

Strauch W. (2010b) Software for the Visualization of the Precipitation in Real Time and the Emission of Alert messages on possible Mass Movements, Internal Report, Project for the Mitigation of Georisks in Central America, Federal Agency of Geosciences and Natural Resources, Hannover-Managua, Feb. 2010, in Spanish

Strauch W. (2010c) Geo-Amenazas y Geo-Riesgos en Centroamérica, Capítulo en: BALZER, D.; JÄGER, S. & D. KUHN (2010): Manual para la Evaluación de la Exposición al Riesgo frente a Amenazas Naturales en Centroamérica - El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. - Proyecto de Cooperación Técnica 'Mitigación de Geo-Riesgos en Centroamérica': 121 páginas; 26 imágenes; 44 tablas; 35 mapas; San Salvador, Ciudad de Guatemala, Tegucigalpa, Managua, Hannover.

Suarez J. (1998) Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos,  
[http://www.erosion.com.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=76:libro-deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales-jaime-suarez&catid=77&Itemid=196](http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=76:libro-deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales-jaime-suarez&catid=77&Itemid=196)

Tejada, Orlando (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de El Salvador - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, septiembre de 2011

Tiedemann, K.H.(2010) LANDSLIDE MOBILITY IN CENTRAL AMERICA: MODELLING VOLCANIC DEBRIS AVALANCHES AND VOLCANIC DEBRIS FLOWS, Proceedings of the Second IASTED International Conference Environmental Management and Engineering (EME 2010) July 15-17, 2010, Banff, Alberta, CANADA

TRIFINIO/GTZ (2007) Guía para la gestión local de riesgo por DESLIZAMIENTOS, Proyecto MARLAH II / GTZ, Guatemala - El Salvador por el grupo de autores: Walter Hernández, Carolina Rivas, Julio Rubio, Carolina Torrecilla, Silvio Ticay, Samaria Cavaría, Otto Galicia, Juan Pablo Ligorria, Manuel Mota, Rudy

TWSI (Innovative Instrumentations for Landslide and Debris flow monitoring. Taiwan Water & Soil Instrumentation, Inc. [http://www.hycom.com.tw/pdf/Brochure\\_landslide\\_0827.pdf](http://www.hycom.com.tw/pdf/Brochure_landslide_0827.pdf)

Machorro, Jaime Requena, Silvia Cortéz y Luis Laj, María Edna Vidaurre, Wilmer Teni, Rosa Sánchez, Jocabet Guerrero, Annette Heinrich y Daniel Cuellar, primera versión 2001, 2da versión 2007

USAID (2007) Guía de referencia para centros de alerta de tsunamis, Programa de Sistema de Alerta de Tsunamis en el Océano Índico, Documento número 26-IOTWS-07 del U.S. IOTWS, ISBN 978-0-9742991-3-6, Impreso en Bangkok, Tailandia

Vallance J W, Siebert L, Rose W I, Giron J R, Banks N G, 1995. Edifice collapse and related hazards in Guatemala. *J Volc Geotherm Res*, 66: 337-355

J.W. Vallance, S.P. Schilling, G. Devoli (2001) Lahar Hazards at Mombacho Volcano, Nicaragua, U.S. Geological Survey Open-File Report 01-455

Vicuña E. (2009) Sistemas de Alerta Temprana en las cuencas del río Negro, Estero Real y Estelí, Exposición Managua, Primer Taller Nacional de de Sistemas de Alerta Temprana ante Inundaciones, 16 de Junio 2009

Villagran J.C (2001) SATs - Sistemas de Alerta Temprana para Emergencias de inundaciones en Centroamérica., UNICEF/CEPREDENAC,

Villagrán J.C. (2003) América Central en el contexto de la Consulta Hemisférica sobre Alerta Temprana, CONSULTA HEMISFÉRICA SOBRE ALERTA TEMPRANA, REPORTES NACIONALES, Antigua, Guatemala, Guatemala del 3 al 5 de junio del 2003

Wieczorek, G.F., and Snyder, J.B., 2009, Monitoring slope movements, *in* Young, R., and Norby, L., *Geological Monitoring: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, p. 245–271, doi: 10.1130/2009.monitoring(11). <http://165.83.37.17/geology/monitoring/slopes.cfm>

Westen, C. J. Van (2000), The modelling of landslide hazards using GIS, *Survey in Geophysics*, 21, 241-255.

Westen C.J.Van (200?) "Introducción a los deslizamientos - Tipos y causas" (200?), <http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Presentaciones%20Powerpoint/04%20Amenaza%20por%20Deslizamientos/Introduccion%20a%20los%20Deslizamientos.pdf>

WMO (1992) International meteorological vocabulary, World Meteorological Organization. Geneva : Secretariat of the World Meteorological xv, 784 p.; Textos en inglés, en francés, en ruso y en español.; ISBN 9263021821.

Wolff (2007), The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales, *Journal of Hydrometeorology*, 8, 38-55, doi:10.1175/JHM560.1.

# **Anexos**

## **Anexo 1. Reseña de la Amenaza por Deslizamientos en Centroamérica**

*(Adaptado de Strauch (2010c) en Balzer et al., 2010)*

### **1. Amenaza y riesgo por deslizamiento**

Los deslizamientos son caracterizados por los movimientos de rocas sólidas, escombros, el suelo, lodo causados por las fuerzas gravitacionales que actúan en la superficie, en el subsuelo de poca profundidad. Los factores desencadenantes pueden ser naturales, tales como, tormentas extremas, períodos prolongados de lluvia y terremotos, o relacionados con la actividad humana como la explotación minera, excavaciones y el uso de explosivos. Dentro de los factores condicionantes que controlan la susceptibilidad a deslizamientos, las propiedades físicas de los materiales relacionadas con la litología y/o suelo y las características morfológicas y geométricas de la ladera son fundamentales para la predisposición a la inestabilidad.

Otros factores importantes son la estructura geológica y las condiciones hidrogeológicas, entre otros. Los deslizamientos han causado decenas de miles de muertes y miles de millones de dólares en pérdidas en todo el mundo. Centroamérica es una de las áreas mayormente sensible a los movimientos de masa, porque la geomorfología, la geología y el clima hacen que el área sea muy susceptible a los deslizamientos desencadenados por lluvias y sismos. La pobreza rural, la sobrepoblación y la urbanización incontrolada resultan en el establecimiento de asentamientos en las laderas y en las orillas de las quebradas propensas a deslizamientos, lo que crea, más que nunca, una mayor exposición de la población a la amenaza de los deslizamientos inducidos por terremotos y precipitaciones (Rodríguez, 2007).

### **2. Población y Vulnerabilidad**

Centroamérica, situada entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe, es un istmo relativamente poco poblado (71 habitantes/km<sup>2</sup>) que conecta América del Norte con América del Sur. La población centroamericana (42 millones de personas) se concentra, en gran parte, cerca de la costa del Pacífico, debido a las condiciones climáticas y el acceso logístico históricamente más fácil a la costa del Pacífico. Por lo tanto, la vulnerabilidad ante las amenazas naturales, en general, es también más alta en esta parte de la región. La vulnerabilidad en Centroamérica es generalmente alta debido al subdesarrollo de la región en donde la carencia de recursos y capacidades a menudo impide la implementación de medidas para la evaluación de amenazas y la reducción de riesgos de desastres.

### **3. Geología y características morfoestructónicas**

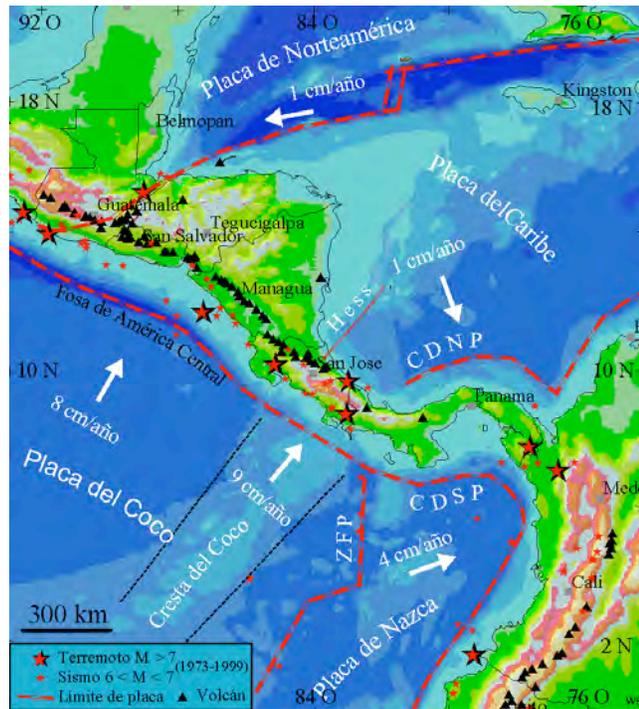
La ocurrencia de los deslizamientos depende de la topografía y geología en Centroamérica. WEYL (1980) dividió el istmo centroamericano en dos mayores unidades, la región del norte integrada por Guatemala, Honduras, El Salvador, y norte de Nicaragua, y la región que se extiende de la parte sur de Nicaragua a Panamá. La región del norte está constituida por una corteza de estilo continental con rocas metamórficas paleozoicas aún más viejas. Las rocas se encuentran cubiertas de sedimentos paleozoicos superiores, mesozoicos y terciarios, los cuales sufrieron deformación a mediados de la era Pérmica y finales de la Cretácica. Durante el Terciario, el norte de Centroamérica experimentó un vulcanismo continental violento. La región del sur, en contraste, consiste de la corteza cretácica tipo oceánico con sedimentos marinos gruesos y rocas volcánicas que fueron depositadas durante el Terciario.

En el contexto de la amenaza por deslizamientos - una característica importante de la región es la cadena de volcanes cuaternarios, que es aproximadamente paralela a la costa del Pacífico y se extiende de la frontera Guatemala-México hacia el sur de Costa Rica, terminando en el Occidente de Panamá.

#### 4. Entorno tectónico

Centroamérica es parte de la faja Circumpacífica de terremotos y actividades volcánicas conocidas como el 'Cinturón de Fuego'. Los terremotos más grandes de la región son causados por la convergencia de las placas Coco y Caribe en la Fosa Centroamericana situada en el Océano Pacífico (véase la figura abajo), que está ocurriendo aproximadamente a 8 cm/año (DEMETTS ET AL., 1994). El mecanismo motriz de los movimientos de las placas tectónicas en la superficie de la tierra es la convección térmica conducida en el manto de la tierra que es la fuente energética principal de los terremotos, procesos volcánicos, y tsunamis.

La subducción es también la causa fundamental de los deslizamientos en Centroamérica porque los volcanes y macizos montañosos donde ocurren los deslizamientos fueron amontados hasta alturas de más de 5 kilómetros por los procesos tectónicos y volcánicos relacionados. Para subir las masas de materiales volcánicos, las rocas, arenas a estas grandes alturas los procesos geológicos actuaron en contra de la gravedad de la tierra y su energía se convirtió en la energía potencial gravitatoria del material depositado. En realidad, la energía destructiva de los deslizamientos resulta únicamente de la gravedad de la tierra que acelera las rocas o masas de arena o lodo cuando se desprenden de alguna manera de los pendientes por el efecto de fenómenos desencadenantes como lluvias, sacudidas sísmicas, procesos volcánicos, actuación de la vegetación, procesos antrópicos.



#### Entorno Tectónico de Centroamérica

CDNP/CDSP: faja deformada al norte/sur de Panamá, ZFP: Zona de Fractura de Panamá, Hess: Escarpe de Hess.  
Fuente: STRAUCH (2000). Los epicentros de los terremotos importantes se demuestran con estrellas y los sitios de volcanes activos se indican con pequeños triángulos negros.

#### 5. Condiciones oceanográficas y climáticas

La ocurrencia de deslizamientos depende mucho de las condiciones climáticas. La región centroamericana es tropical, con una temperatura media a nivel del mar que no cae por debajo de 19°C y con variaciones anuales mínimas de temperatura. La región entera experimenta una estación lluviosa con la precipitación máxima en junio y septiembre, la cual corresponde generalmente del 15 al 20 % de los totales anuales. La estación seca es mucho más intensa en el Pacífico que en el Caribe. Los totales anuales de precipitación disminuyen generalmente de sur a norte, alcanzando 4000 mm en la frontera Panamá-Colombia y reduciéndose a menos de la mitad de dicha cantidad en el norte de Guatemala (BOMMER & RODRIGUEZ, 2002). La costa del Caribe y las faldas

orientales de las áreas montañosas reciben dos veces más precipitación anual que las faldas a lo largo de la costa del Pacífico y de las montañas occidentales. La costa del Pacífico es relativamente seca, en parte debido a la presencia del aire estable frío producido por las corrientes oceánicas frías que inhiben la absorción de mucho vapor de agua, reduciendo de esta manera la precipitación. Por contraste, vientos predominantes del este, transportan una gran cantidad de humedad absorbida del agua cálida del mar Caribe. La condensación y la precipitación ocurren cuando el aire húmedo asciende impulsado por el viento y cae sobre las altas pendientes de Centroamérica. La precipitación anual media a lo largo de la costa de la Mosquitia de Nicaragua alcanza hasta 6000 mm (Bundschuh et al., 2007).

Las condiciones meteorológicas en Centroamérica son influenciadas en gran parte por el contenido de la energía termal del Océano Pacífico y el Océano Atlántico/Mar Caribe. Las variaciones de la temperatura de ambos océanos controlan las ocurrencias diversas de los fenómenos conocidos como 'El Niño' y 'La Niña' y también provocan huracanes, inundaciones y sequías. La fuerte radiación solar de la zona climática tropical proporciona la energía adicional para los fenómenos meteorológicos peligrosos de corto plazo cuando las severas lluvias locales o tormentas eléctricas provocan deslizamientos e inundaciones casi instantáneas con muy poco tiempo de pre-aviso.

Los fenómenos meteorológicos e hidrológicos en combinación con el terreno escarpado, debido a los procesos geológicos, determinan y provocan una gran variedad de acontecimientos peligrosos como deslizamientos, lahares, caída de rocas, flujos detritos y lodos. Una discusión de estas formas de deslizamientos se presenta en Anexo 2 del presente trabajo.

## **6. Deslizamientos y sismos**

La aceleración horizontal y vertical casada por las ondas sísmicas generadas por grandes terremotos puede desprender rocas de la superficie de los pendientes y desencadenar deslizamientos. Debido a su entorno sismotectónico y especialmente a su proximidad a los límites de las placas convergentes, Centroamérica se caracteriza por una alta sismicidad. La mayoría de los terremotos centroamericanos ocurren a lo largo de la zona de subducción y dentro de la cadena volcánica. Otra área importante con actividad sísmica significativa es la zona Motagua-Polochic afectada por un sistema de fallas de desgarre con movimiento sinistral en el flanco noroeste (NO) de la región que corre a través de Guatemala desde la zona de fractura de Swan en el Mar Caribe y marca el límite entre las placas Caribe y Norteamericana. Además, otra área de actividad sísmica es la zona de fractura de Panamá en el margen sudeste (SE) de la región que actúa como el límite entre las placas de Coco y Nazca (véase la figura al lado izquierdo).

Los terremotos en la zona de la subducción en Centroamérica pueden alcanzar magnitudes de hasta  $M = 8$  en la escala de Richter y pueden afectar áreas extensas con, relativamente altas aceleraciones de suelo. Sin embargo, las áreas con la aceleración máxima se sitúan, por supuesto, en el Océano Pacífico. Los acontecimientos sísmicos en la cadena volcánica se limitan generalmente a las magnitudes de hasta 6.5, pero, debido a sus pocas profundidades focales y la coincidencia con las áreas de más alta densidad poblacional, estos presentan un alto peligro sísmico a lo largo de la cadena volcánica, inclusive de deslizamientos causados por sismos locales. Todas las capitales, de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica, se sitúan a lo largo de la cadena volcánica y tienen por lo tanto un riesgo muy alto de terremoto. Una situación especial es la falla de Motagua-Polochic, ya que puede provocar terremotos de magnitudes de hasta 8 y cruzar la masa de tierra, de tal modo que puede pasar por o cerca de muchas áreas urbanizadas.

El terremoto más destructivo en la historia centroamericana ocurrió en 1976 en Guatemala, cuando la falla de Motagua-Polochic causó un terremoto con una magnitud de  $M_S = 7.5$ . Se ocasionaron

por lo menos 10 000 deslizamientos (Harp et al., 1981). El sismo cobró más de 22.700 vidas, muchas debido a los deslizamientos provocados, pero la mayoría murió por el derrumbe de las estructuras inadecuadas (principalmente estructuras de adobe y taquezal) en las zonas rurales. La consecuencia económica fue un daño estimado de US\$ 1.1 mil millones que representaba alrededor del 18 % del producto nacional bruto del país en ese tiempo.

El terremoto de magnitud 7.1 en la zona de Limón, Costa Rica causó un tsunami en la costa del Caribe y muchos deslizamientos en las zonas montañosas del Sur Este de Costa Rica y el NorOeste de Panamá.

San Salvador, la capital de El Salvador, sufrió, en 1986, cuando un terremoto de poca profundidad de magnitud  $M_w = 5.7$  causó destrucciones extensas y deslizamientos cobrando hasta 1500 vidas. El terremoto del 13 de enero del 2001 ( $M_w = 7.7$ ) indujeron aceleraciones locales de hasta 0.8 g causando la muerte de más de 1000 víctimas. Mientras que el impacto directo de la sacudida sísmica causó relativamente pocos daños estructurales en San Salvador, una devastación extensa ocurrió en las zonas rurales del país, principalmente en las áreas en donde las estructuras predominantes de adobe y taquezal. Especialmente en las zonas de suelo blando, los terremotos también provocaron una gran cantidad de deslizamientos. El más significativo fue el de Las Colinas en Santa Tecla, San Salvador, que destruyó varias cuerdas de un área residencial y provocó la muerte a cerca de 500 personas.

Por otro lado, deslizamientos causan oscilaciones de la tierra y ondas sísmicas que se pueden registrar con sismógrafos a grandes distancias. Por eso, sismógrafos en ciertas situaciones pueden servir para el monitoreo y la alerta de deslizamientos.

## **7. Grandes deslizamientos en el ambiente volcánico**

En total, más de 20 millones de personas en Centroamérica, que corresponden a alrededor del 50 % de la población total, viven a una distancia de solamente 30 km de los centros volcánicos activos (PALMA ET AL., 2009). Entre las amenazas volcánicas en Centroamérica se encuentran los Lahares, flujos de ceniza volcánica con agua, y los colapsos parciales de los edificios volcánicos. Los deslizamientos más grandes de que se tiene conocimiento en Centroamérica ocurrieron en tiempos geológicos y fueron el resultado de colapsos de los edificios volcánicos como de los volcanes Pacaya (Guatemala), Santa Ana (El Salvador), Mombacho (Nicaragua) y Barú (Panamá), ver Anexo 3. Los productos de estos deslizamientos gigantes llegaron por decenas de kilómetros hasta la costa del océano Pacífico o cerca de ella. Un colapso del flanco Este del Volcán Mombacho, cerca de Granada, Nicaragua formó una península en el Lago de Nicaragua y una gran cantidad de islas rocosas. En 1570, el colapso de la pared sur del cráter inició una avalancha de escombros en el volcán Mombacho, Nicaragua, mató a 400 personas (FELDMAN, 1993). Cerca de 1300 personas murieron cuando el lago del cráter del volcán Agua de Guatemala, se drenó en 1541 (FELDMAN, 1993). La erupción más fuerte en la historia centroamericana ocurrió en 1902 en el volcán Santa María de Guatemala. La erupción tuvo un Índice de Explosividad Volcánica de 6 (VEI, por sus siglas en inglés) y fallecieron por lo menos 5,000 personas por efectos volcánicos y deslizamientos. En 1929, un colapso del domo con un relativamente bajo VEI = 3 en el volcán Santiaguito, en la vecindad inmediata de Santa María, mató a 200-5000 personas.

El deslizamiento histórico más catastrófico de Centroamérica ocurrió en el volcán Casita, Nicaragua, el 30 de octubre de 1998. En este incidente, la avalancha y el flujo de detritos fueron provocados por la precipitación extrema asociada con el Huracán Mitch y mataron a más de 2,000 habitantes de dos comunidades (SCOTT, 2004; DÉVOLI, 2009). En el 2005, un flujo de detritos en Panabaj, Guatemala mató a más de 500 personas durante el Huracán Stan (CONNOR ET AL.,

2006). En 1991, un terremoto de magnitud 7.3 en la Costa Atlántica de Costa Rica, zona fronteriza con Panamá, causó fuertes deslizamientos en los dos países (Camacho, 1991).

## **8. Deslizamientos y tsunamis**

La causa principal de tsunamis desastrosos en Centroamérica son los terremotos locales de alta magnitud. El catálogo de tsunami para Centroamérica enumera 50 eventos que se registraron desde el siglo XVI en el litoral del Pacífico y en el Caribe. En 1992, un terremoto de magnitud 7.6 desencadenó el tsunami centroamericano más desastroso que impactó en la Costa del Pacífico de Nicaragua. Deslizamientos pueden causar enormes tsunamis y hay ciertas especulaciones sobre deslizamientos que pueden ocurrir en las Islas Canarias frente a la costa de África y causar un mega tsunami que afectaría desastrosamente la costa Este de Estados Unidos e inclusive de Centroamérica (Ward, S. N. & Day, S. J; 2001. Cumbre Vieja Volcano; potential collapse and tsunami at La Palma, Canary Islands. *Geophys. Res. Lett.* 28-17, 3397-3400. [http://www.es.ucsc.edu/~ward/papers/La\\_Palma\\_grl.pdf](http://www.es.ucsc.edu/~ward/papers/La_Palma_grl.pdf)).

Estudios recientes presentaron evidencias de gigantescos deslizamientos submarinos en las escarpadas fosas marinas (HUENE ET AL., 2004) que posiblemente causaron grandes tsunamis en las costas de Centroamérica. Algún tiempo se sospechó que el tsunami de 1992 en Nicaragua podría tener su causa en un fenómeno de este tipo porque entró con olas de hasta 10 m de altura pero el efecto sísmico fue muy pequeño. Pero se descartó esta asunción cuando estudios sismológicos probaron que se trataba de un llamado terremoto “lento” con un movimiento anormalmente despacio de la falla. Una situación especial existe en el Golfo de Fonseca, flanqueado de volcanes (Cosigüina en Nicaragua, Conchagua en El Salvador) y que tiene islas volcánicas. Las explosiones volcánicas inducidas por el contacto del magma con el agua de mar y los deslizamientos voluminosos, así como los colapsos del flanco volcánico y los flujos piroclásticos, pueden también provocar tsunamis. Cuando ocurrió el deslizamiento en el Volcán Mombacho (ver arriba) y formó “Las Isletas” cerca de Granada, Nicaragua – causó seguramente también un gran tsunami en el Lago de Nicaragua. En octubre del 2005, un deslizamiento causó un tsunami en el Lago Atitlán (Guatemala) con olas de 4 m de alto (GIRÓN & MATÍAS, 2005). Por suerte, no hubo víctimas.

## **9. Deslizamientos e Inundaciones**

Inundaciones y la mayoría de los deslizamientos son causados o desencadenados por lluvias. Deslizamientos pueden causar inundaciones entrando en el cauce de un río y creando una represa natural. Cuando se rompe esta represa se puede dar una correntada gigantesca e inundaciones río abajo. Por otro lado, una subida repentina del agua o inundación puede destruir represas naturales o hechas por el hombre e iniciar un flujo de lodo y detritos. Las inundaciones son, en gran medida, los eventos más frecuentes de amenaza en Centroamérica y causan pérdidas de vidas y propiedades todos los años.

Las lluvias torrenciales inesperadas, en los ríos o los barrancos secos, pueden causar la destrucción de casas, la interrupción de servicios básicos y la muerte de las personas. Con frecuencia, estas inundaciones instantáneas transportan los escombros que se suman a las fuerzas destructivas

Cada uno de los países centroamericanos maneja los sistemas de alerta temprana contra las inundaciones en base a los datos meteorológicos y los caudales del río. La Guía de Inundación Instantánea para Centroamérica (CAFFG, por sus siglas en inglés) apoya las agencias hidrológicas nacionales y utiliza valoraciones, casi en tiempo real, de la intensidad de las precipitaciones usando los datos de los satélites meteorológicos (Hidroestimador, CAFFG, 2009).

Dado que deslizamientos e inundaciones dependen de la lluvia se cree a veces que los sistemas de alerta de inundaciones pueden combinarse con los de los deslizamientos.

## **10. Estudios de deslizamientos**

Una gran cantidad de estudios sobre la amenaza y el riesgo de deslizamiento fueron conducidos después del huracán Mitch (1998), especialmente en Honduras y Nicaragua, lo que posibilitó la formación de las bases de datos fundamentadas en el SIG y la elaboración de numerosos mapas de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos (véase p.ej. DÉVOLI ET AL., 2007; HARP ET AL., 2002; JICA, 2001). Sin embargo, no existen bases de datos del inventario de deslizamientos a base científica en todos los países y, si acaso existen, son mantenidas por diferentes organizaciones y en diferentes formatos de base de datos.

Los países y las regiones morfoestructurales de Centroamérica se caracterizan por los diferentes tipos de movimientos de masas y los mecanismos que los provocan, debido a las diferencias morfológicas, geológicas y climáticas que prevalecen. Investigaciones recientes, basadas en una base de datos integral de deslizamientos parecen demostrar que alta amenaza por deslizamientos inducidos por terremotos existe principalmente en Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Panamá (BOMMER & RODRIGUEZ, 2002). En cambio, Nicaragua y Honduras parecen ser menos afectados por deslizamientos a causa sísmica.

En todos los países los deslizamientos son principalmente inducidos por las precipitaciones; sin embargo, se complica el análisis por la falta de estudios de deslizamientos especialmente en Honduras (RODRIGUEZ, 2007). De hecho, investigaciones recientes acerca de la ocurrencia de deslizamientos en Nicaragua, parecen respaldar esta conclusión para Nicaragua. Dévoli, et al. 2008 analizaron la información espacial y temporal de cerca de 17 000 deslizamientos que afectaron a Nicaragua entre 1570 y 2003. Hay que considerar que el 62 % del número total fue provocado por la precipitación fuerte del huracán Mitch en octubre de 1998, y por eso, obviamente, la base de datos está muy parcializada hacia los deslizamientos inducidos por la precipitación. Se demostró que, los flujos de detritos de poca profundidad han constituido el tipo de movimientos de masa más común representando el 66 % del total de deslizamientos registrados en Nicaragua, los deslizamientos representan el 24 % y la caída de rocas cerca del 6 %. La precipitación intensa y prolongada, a menudo asociada con los ciclones tropicales, y la actividad sísmica y volcánica, son los que provocan los deslizamientos de mayor importancia, ascendiendo a alrededor del 62 % de los acontecimientos. En cambio, los deslizamientos provocados por terremotos corresponden al 29 % de los eventos, y los inducidos por la actividad volcánica al 7 %.

También, se analizó estadísticamente la influencia de la topografía (elevación, ángulo de la pendiente, aspecto de la pendiente) y los parámetros litológicos para la predicción del alcance máximo de los diferentes tipos de deslizamientos (DEVOLI ET AL., 2008). Los resultados demostraron que los flujos y las avalanchas de detritos que afectan los flancos de los volcanes tienen la movilidad máxima y alcanzan distancias más largas comparadas con otros tipos de deslizamientos en la región (DÉVOLI ET AL., 2007). Generalmente, su altura, los flancos escarpados y la debilidad inherente de la litología/de los materiales del suelo hacen que los movimientos de masa en las pendientes volcánicas sean más mortales que en otros entornos geológicos - incluso sin la presencia de la actividad volcánica.



*Deslizamiento en El Suptal/Honduras, 11/2008 fuente: KUHN ET AL. (2009)*

## **11. Huracán Mitch**

Aunque la probabilidad de huracanes y lluvias intensas es mucho mayor en la costa del Caribe de Centroamérica, la probabilidad de deslizamientos es aquí, más bien, pequeña debido a la baja topografía. En cambio, los terrenos ásperos y los flancos bruscos de las montañas centrales y a lo largo de la cadena volcánica en el lado del Pacífico hacen que estas regiones sean más propensas a deslizamientos provocados por precipitaciones. Bajo ciertas circunstancias meteorológicas, un huracán, ubicado en la Costa Atlántica, puede inducir una precipitación bastante alta en el lado del Pacífico de la región. Esto sucede cuando la presión baja del huracán puede aspirar una gran cantidad de aire húmedo del Océano Pacífico.

Este escenario ocurrió durante el tránsito del desastroso Huracán Mitch (categoría 4) en octubre de 1998, el cual causó extremas precipitaciones en el noroeste de Nicaragua, aunque el centro del huracán se localizaba sobre la parte noreste de Honduras. Muchas personas fallecieron en las áreas montañosas y la cadena volcánica (desastre del Volcán Casita, 2000 muertos) de Nicaragua debido a los deslizamientos y las inundaciones.

Escenarios sorprendidos pueden ser provocados inclusive por huracanes más pequeños, a como fue demostrado por el Huracán Ida en noviembre del 2009. El fenómeno de categoría 1, en su trayectoria dirigida hacia el norte, afectó la costa del Caribe nicaragüense generando daños menores. Cuando su centro ya estaba ubicado al norte de Honduras, la noche del 7 de noviembre del 2009, unas lluvias de relativamente poca extensión pero muy fuertes ocurrieron repentinamente en El Salvador y afectaron el área entre San Salvador, el Lago Ilopango y el Norte del Volcán San Vicente. Cerca de 120 personas murieron debido a lahares, deslizamientos e inundaciones (STRAUCH ET AL., 2010).

## **12. Fenómenos meteorológicos menores pero peligrosos**

Asimismo, los acontecimientos meteorológicos más pequeños, tales como ondas tropicales, tormentas o alteraciones tropicales pueden provocar situaciones desastrosas. Un ejemplo son los deslizamientos que ocurrieron en 2004 en el Cerro Musún en la región central de Nicaragua (Strauch, 2004). Durante el paso de una onda tropical por Nicaragua deslizamientos totalmente inesperados y extensos ocurrieron en los flancos escarpados del macizo y mataron a cerca de 30 personas. En la zona no había estaciones meteorológicas pero los comentarios de los testigos presenciales de la población local permiten concluir que una lluvia extraordinaria que duró por varias horas había provocado la tragedia.

Un evento similar ocurrió en septiembre de 2008 en Honduras. El paso de una onda tropical con fuertes precipitaciones provocó sorpresivamente, dentro de dos días, grandes deslizamientos en varios sitios del Centro y Oeste del país (Kuhn, Strauch & Silva, 2008).

El más reciente evento de este tipo son las lluvias extremas ocurridas, en octubre de 2011, en Nicaragua, El Salvador y Guatemala que causaron centenares de deslizamientos e inundaciones con más de 100 muertos y centenares de miles de personas afectadas. Las autoridades emitieron alerta roja para grandes partes de estos países y en Nicaragua se declaró un “estado de calamidad”.

## **13. Mapeo de Susceptibilidad**

La prevención de desastre por deslizamientos consiste en: 1) el mapeo de la amenaza; 2) actualización regular del inventario de deslizamientos, 3) la planificación del uso correcto del suelo para evitar la construcción en áreas altamente susceptibles a deslizamientos, 4) medidas de mitigación; 5) la alerta temprana local, nacional y regional; 6) Medidas de Información, Capacitación y Educación a la población como a los miembros de todo el sistema de prevención.

Expresar la amenaza por deslizamientos en términos probabilísticos como se hace para la amenaza sísmica y otros fenómenos es por lo general, al menos para Centroamérica, sumamente difícil dado que no existe la base de datos suficiente. No obstante, el proyecto CAPRA realizó primeros intentos en esta dirección (CAPRA, 2009).

Por lo tanto, se usa el término “susceptibilidad” para tener una aproximación de la amenaza. Susceptibilidad de deslizamientos es una combinación de los factores que causar deslizamientos. A partir de los años '90 se comenzó a realizar evaluaciones regionales de la susceptibilidad por deslizamiento en los países centroamericanos, tomando en cuenta el desencadenamiento por terremotos y precipitaciones, y aplicando la metodología de MORA & VAHRSON (1994). RODRIGUEZ (2007), presentó evaluaciones de deslizamientos inducidos por terremotos y señaló que el método de MORA-VAHRSON tiende a subestimar la amenaza cuando se aplica a las regiones fuera de Costa Rica. NADIM ET AL. (2004), usaron una versión simplificada del modelo de MORA-VAHRSON y datos de la densidad de población para elaborar un mapa global de amenaza y riesgo por deslizamientos. Dentro del proyecto de Mitigación de Geo-Riesgos en Centroamérica se elaboraron mapas de susceptibilidad para Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua

A raíz del Desastre del Huracán Mitch se llevaron a cabo varios proyectos y programas en Centroamérica para promover las actividades dirigidas a la reducción del riesgo por deslizamientos.

#### **14. Proyectos de Alerta de deslizamientos**

Después del Huracán Mitch hubo iniciativas en los países de Centroamérica de fomentar la instalación de sistemas de alerta temprana de deslizamientos. En Anexos 7a-7f de presente trabajo se presentan las experiencias obtenidas con sistemas de alerta temprana de deslizamientos en la región.

Un trabajo novedoso concerniente a los componentes para el sistema regional de alerta temprana contra los deslizamientos, en base a la valoración de las precipitaciones a través de las imágenes satelitales fue realizado dentro del proyecto de Mitigación de Georriesgos en Centroamérica (SCHILLINGER ET AL., 2009; STRAUCH, 2010).

#### **15. Sistemas de Monitoreo, Recolección de Datos, SIG**

Los sistemas de monitoreo son de gran importancia para los estudios de amenazas, la reducción de la vulnerabilidad y la prevención de desastres. En Centroamérica, los sistemas de monitoreo de los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos son desarrollados y mantenidos por instituciones gubernamentales y algunas universidades. Programas de monitoreo temporales a nivel comunitario son frecuentemente desarrollados por ONG en diferentes formas de cooperación con las autoridades locales, instituciones estatales, universidades y empresas privadas. Para el Canal de Panamá existe un programa extenso de monitoreo y alerta. En Panamá hay también un observatorio privado que comenzó a dedicarse a este problema ( [www.osop.com.pa](http://www.osop.com.pa) ). En Centroamérica hay algunas pocas estaciones meteorológicas y sísmicas de aficionados.

**En Guatemala**, el Instituto Sismológico, Vulcanológico, Meteorológico e Hidrológico (INSIVUMEH/Ciudad de Guatemala; compuesto por cerca de 60 personas) que pertenece al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, es responsable de los estudios científicos y el monitoreo de los fenómenos naturales peligrosos. Además, la Comisión Nacional de Reducción de Desastres (CONRED) participa en los procedimientos de monitoreo, manteniendo un sistema de comunicación extenso, y aporta observaciones de campo desde todas las partes del país. Hasta ahora, solamente algunos datos han sido publicados en la Web. El CONRED desarrolla instrumentación de bajo costo para el monitoreo y al alerta temprana. También científicos de las universidades participan en el actividades de monitoreo e investigación.

**En El Salvador**, el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET/San Salvador; compuesto por cerca de 80 personas, autoridad directa del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) desarrolla y mantiene una red sísmica, el sistema de monitoreo de volcanes y las redes de estaciones meteorológicas e hidrométricas, y realiza observaciones de campo y estudios científicos. La institución es también responsable de alerta de tsunamis. La mayoría de las estaciones son telemétricas y se mantiene el intercambio internacional de datos. Los conjuntos de datos resultantes se manejan con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los resultados son publicados de manera oportuna en el sitio Web del instituto. Además, los SIG contienen una gran cantidad de información de proyectos y datos obtenidos de los estudios realizados en El Salvador recientemente.

**En Honduras**, no existe una institución centralizada responsable de la investigación y el monitoreo de los fenómenos naturales. La red meteorológica es en parte manejada por el Servicio Meteorológico que pertenece a la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). Adicionalmente, la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO/Tegucigalpa) mantiene una red meteorológica telemétrica para la alerta temprana de inundaciones. No obstante, COPECO para monitoreo y alerta no tiene una base técnica tan fuerte como el CONRED en Guatemala. La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) mantiene algunas estaciones hidrométricas. Una

gran cantidad de datos referentes a las amenazas y los riesgos, algunos hasta al nivel de Municipio, ha sido compilada y almacenada en el SIG por el 'Proyecto Mitigación de Desastres Naturales' (PMDN) que ha estado en operación desde el 2001. Primero en CERNA y en los últimos años integrado en COPECO. está en curso la preparación de un SIG nacional en Geo-Riesgos. Además, en el instituto de Geociencias de la UNAH, Tegucigalpa, existe un curso de posgrado de prevención de desastres.

**En Nicaragua**, el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER/Managua; compuesto por cerca de 300 personas) es una institución descentralizada subordinada a la presidencia y es, con mucho, la institución geocientífica más grande de Centroamérica. El INETER realiza el monitoreo sísmico, volcánico, meteorológico e hidrológico a través de las numerosas estaciones de campo (la mayoría son telemétricas) y el monitoreo relevante a deslizamientos y tsunamis. Es la institución responsable de proporcionar la información oportuna para la alerta temprana y mantiene el intercambio internacional de datos. El Departamento de Cartografía del INETER tiene la función del Instituto Cartográfico en otros países. La institución maneja el SIG de Geo-Riesgos y la información del monitoreo es publicada, casi en tiempo real, en el página Web de la institución. El SIG contiene una gran cantidad de datos generados o compilados mediante docenas de proyectos recientemente ejecutados en Nicaragua sobre amenazas naturales, vulnerabilidad y riesgos.

**En Costa Rica**, la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR), desde décadas, realiza la investigación sobre el fenómeno de los deslizamientos y ha trabajado activamente en el establecimiento de Sistemas de alerta temprana. La Comisión Nacional de Emergencia (CNE) supervisa actualmente las actividades en este campo.

**En Panamá**, en la parte científica trabaja el Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá (UPA). La alerta temprana realiza el SINAPROC con sus oficinas centrales en la Ciudad de Panamá, sus oficinas en las cabeceras departamentales y oficinas o personas de contacto en las municipalidades con mayor peligro. Datos de precipitación se obtiene de la empresa estatal ETESA. Instrumentación desarrolla e instala la empresa privada OSOP ([www.osop.com.pa](http://www.osop.com.pa)).

## Anexo 2. Tipos de deslizamientos - afectación, monitoreo, alerta, prevención

Los deslizamientos son fenómenos complejos que pueden tener apariencias muy variadas. La afectación de la población y los métodos de monitoreo que se aplican y la posibilidad de alerta temprana dependen mucho del tipo de deslizamiento.

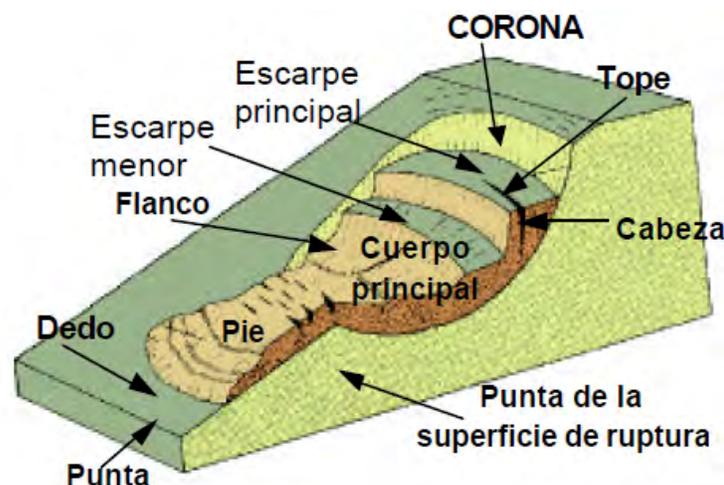
Según Westen “Introducción a los deslizamientos - Tipos y causas” (200?), los siguientes factores pueden ser utilizados para clasificar los deslizamientos:

- Material: Roca, suelo, litología, estructura, propiedades geotécnicas
- Atributos geomórficos : motorization, forma de la pendiente
- Geometría del deslizamiento: profundidad, longitud, altura, etc.
- Tipo de movimiento: Falla, deslizamiento, flujo, etc
- Clima: Tropical, Periglacial etc.
- Humedad: Seco, mojado, saturado
- Velocidad del movimiento: Muy lento, lento, etc.
- Mecanismo de disparo: Terremoto, lluvias, etc.

En lo siguiente nos basamos en los dibujos y algunas definiciones de los tipos de deslizamientos se tomaron del artículo de Rolando Mora Chinchilla “Apuntes para el Curso Gestión de Riesgo, Capítulo 1, Fundamentos sobre deslizamientos, UCR, UCR, Costa Rica. Se agregaron explicaciones sobre las causas y el posible desarrollo del deslizamiento, la posible afectación. Se mencionan ejemplos de ocurrencia de estos tipos de eventos, y se dan elementos para el monitoreo del deslizamiento y para el diseño de un sistema de alerta. En los capítulos 8 - 11 se agregó la información sobre lahares, colapsos volcánicos, colapsos por socavación, y por factores antrópicos que no estaban incluidos en el artículo de Rolando Mora.

### I. Terminología

En el esquema 1 se aprecia la terminología que se usa para caracterizar los deslizamientos. En el caso de las avalanchas, los flujos y lahares no todos los conceptos de esta terminología son aplicables.



Esquema 1. Terminología de deslizamientos

|   |  |
|---|--|
| <b>Corona</b>                             | Sector de la ladera que no ha fallado y localizada arriba del deslizamiento. Puede presentar grietas, llamadas grietas de la corona.   |
| <b>Escarpe principal</b>                  | Superficie de pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura. |
| <b>Escarpe menor</b>                      | Superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.  |
| <b>Punta de la superficie de ruptura:</b> | Intersección (algunas veces cubierta) de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.   |
| <b>Cabeza</b>                             | Parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.   |
| <b>Tope</b>                               | El punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.   |
| <b>Cuerpo principal</b>                   | Parte del material desplazado que sobre yace la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.  |
| <b>Flanco</b>                             | Lado del deslizamiento   |
| <b>Pie</b>                                | Porción de material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura  |
| <b>Dedo</b>                               | Margen del material desplazado más distante del escarpe principal.   |
| <b>Punta</b>                              | Punto en el pie más distante del tope del deslizamiento.   |

### Par caracterizar los deslizamientos se usan algunos parámetros que se

#### Contenido de agua (*W.S.: sería bueno poder poner valores de humedad*)

El agua es el agente principal que controla la movilidad del deslizamiento. Para caracterizar el contenido del agua en el deslizamiento o partes del mismo se usa la siguiente terminología:

- Seco: no hay humedad visible
- Húmedo: contiene algo de agua pero no en estado libre, se comporta como un sólido plástico y no como un fluido.
- Mojado: contiene suficiente agua para comportarse como un fluido, el agua fluye del material o forma depósitos significativos (charcas, lagunas).
- Muy mojado: contiene suficiente agua para fluir como un líquido viscoso en pendientes bajas.

#### Dinámica

La velocidad horizontal es un factor importante para caracteriza la peligrosidad del deslizamiento porque determina si las personas pueden tomar medidas de prevención o mitigación o no.

- Muy lentos: menos de algunos milímetros por año
- Lentos: menos de un centímetro por mes
- Medianos: más de un metro por día
- Rápidos: más de 10 km por hora (pequeños flujos de detritos, pequeños flujos de lodo)
- Muy rápidos: más de 50 km por hora (avalanchas de rocas, flujos de agua y lodo, lahares)

#### Diferencia de altura

La diferencia de la altura entre la zona fuente y la zona de impacto determina en gran medida la velocidad del deslizamiento y por ende su energía destructiva.

### **Área afectada**

El área afectada o bajo amenaza si el deslizamiento todavía no ocurrió influye en el riesgo, con mayor área mayor la probabilidad de que personas, casas, instalaciones estén bajo amenaza

Muy pequeños: menos de 1 hectar (10,000 metros cuadrados)

Pequeños: 1 a 10 hectares (0.1 km cuadrado)

Medianos: 0.1 a 1 km cuadrado

Grandes: 1 a 10 km cuadrado

Muy grandes: 10 a 100 km cuadrados

Extremos: más de 100 km cuadrados

### **Volumen involucrado**

El volumen es un factor que determina el peligro. Con mayor volumen el deslizamiento tiende a tener más energía.

Muy pequeños: algunas decenas de metros cúbicos

Pequeños: centenares de metros cúbicos

Medianos: miles de metros cúbicos

Grandes: decenas a centenares de miles de metros cúbicos

Extremos: más de algunos kilómetros cúbicos

También la **Densidad del material** que se desliza juega un rol en la afectación.

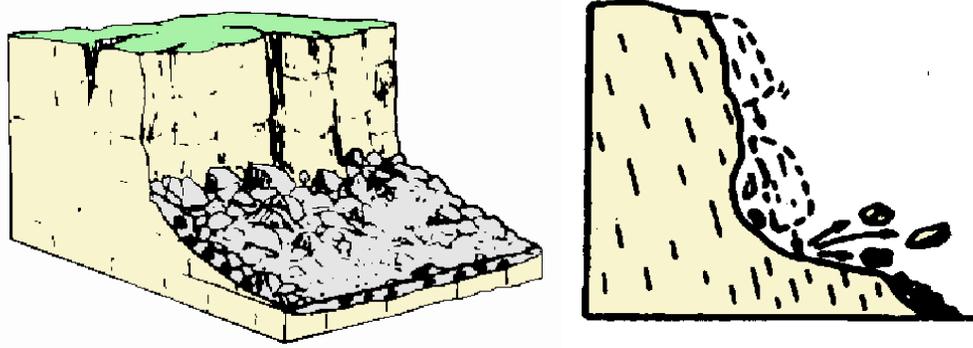
### **“Magnitud” de deslizamientos**

Un mayor problema en el estudio de los deslizamientos es que no existe una sencilla manera de definir su “tamaño” como se hace con los terremotos (Magnitud Richter) o erupciones volcánicas (Índice de Explosividad). Así en las listas de deslizamientos figuran eventos muy pequeños a la par de deslizamientos grandes por la dificultad de diferenciarlos de una forma objetiva. Es similar con los tsunamis para que tampoco exista actualmente una medida sencilla de caracterizar su energía.

## **II. Tipos de Deslizamientos**

### **1. Caída de rocas y basculamiento de rocas**

En un ambiente rocoso con paredes verticales ocurre este tipo de deslizamientos. Las fisuras entre los bloques arriba del deslizamiento se abren lentamente por la acción de las raíces de las plantas, los movimientos por cambios de temperatura o la disolución química del contacto entre los bloques, por el agua de las lluvias. Así se desestabilizan y desprenden los bloques de macizo rocoso. En algún momento el bloque pierde su estabilidad y se cae o es empujado por la aceleración de las ondas sísmicas de un fuerte terremoto local o lejano. Se puede golpear otros bloques que también se caen y eventualmente se forma una cascada de rocas que impacta al pie de la pared de roca.



**Figura 1. Caída de rocas.**

Masas desprendidas de pendientes muy fuertes o escarpes, que se mueven en caída libre, dando tumbos (saltos) o ruedan ladera abajo (Fig. 1.2).

**Afectación:** Casas u otros objetos al pie del deslizamiento se ven afectados por la caída y el rodamiento de los bloques hasta ciertas distancias.

**Ejemplos:** La Trinidad, Nicaragua

**Monitoreo, Alerta:** Se puede medir con distanciómetros estos pequeños movimientos que primero son de milímetros, después centímetros. Cuando se acelera el movimiento, cuando las fisuras se abren más de cierto umbral se deben tomar medidas. Ingenieros pueden estimar el momento cuando se debe tomar acción.

**Medidas de prevención:** En las paredes se pueden tomar medidas de estabilización con anclaje de metal, redes metálicas. Se puede tratar de hacer que se caiga el bloque en condiciones controladas. Es decir se evacua la población y se empuja al bloque o se destruye con métodos ingenieriles o con explosivo. Para la protección de las casas abajo del deslizamiento se pueden tomar medidas ingenieriles como muros de concreto, o desviadores.

Comportamiento recomendado en caso de sismo: En caso de que se comience a sentir un sismo fuerte - alejarse rápido de la pared aprovechando del preaviso natural por las ondas sísmicas P. Al movimiento de las primeras ondas (P) del sismo sigue después de algunos 10 segundos la sacudida horizontal por las ondas S y superficiales del sismo que pueden desprender los bloques inestables.

## **2. Basculamiento de columnas.**

En ciertas rocas (Basalto) se desarrolla durante su formación una estructura de columnas verticales. Por el movimiento tectónico estas paredes pueden inclinarse lo que facilita su derrumbe. Las fisuras entre los bloques arriba del deslizamiento se abren lentamente por la acción de las raíces de las plantas, los movimientos por cambios de temperatura o la disolución química del contacto entre los bloques, por el agua de las lluvias. Así se desestabilizan y desprenden las columnas del macizo rocoso. Puede ocurrir un movimiento lento de rotación de la columna sobre su base de soporte. En algún momento la columna pierde su estabilidad o es empujada por la aceleración de las ondas sísmicas de un fuerte terremoto local o lejano y se cae en rotación.



**Figura 2. Basculamiento de columnas.**

Rotación de uno o más elementos alrededor de un punto pivote

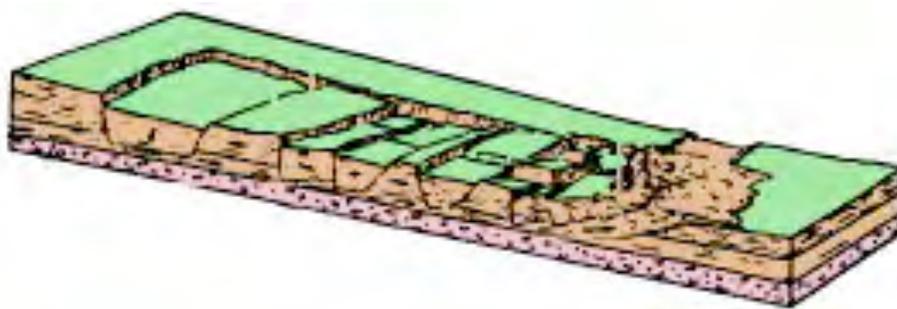
**Afectación:**

- a) Casas o construcciones arriba del deslizamiento se ven afectadas por las fisuras que se abren lentamente por descomposición de la roca (raíces de las plantas, procesos hidroquímicos, socavación de los materiales blandos entre y debajo de los bloques). En este proceso puede destruir lentamente la casa que está construida sobre las fisuras. Cuando se cae un bloque se lleva consigo la casa o una parte de ella.
- b) Objetos al pie del deslizamiento se ven afectados por la caída y el rodamiento de los bloques hasta ciertas distancias.

**Ejemplo:** Esquipulas, Nicaragua, muchas casas del pueblo se encuentran arriba del deslizamiento a pocos metros del abismo.

**Monitoreo, Alerta y Prevención:** La fisuras arriba del deslizamiento se abren lentamente antes de que se desestabilicen y desprenden los bloques. Se puede medir con distanciómetros estos pequeños movimientos que primero son de milímetros, después centímetros hasta metros. Cuando se acelera el movimiento se deben tomar medidas. Se puede tratar de hacer que se caiga la columna en condiciones controladas. Es decir se evacua la población y se empuja al bloque con una gata hidráulica, se destruye con métodos ingenieriles o con explosivo.

### 3. Separación lateral



**Figura 3. Separación lateral**

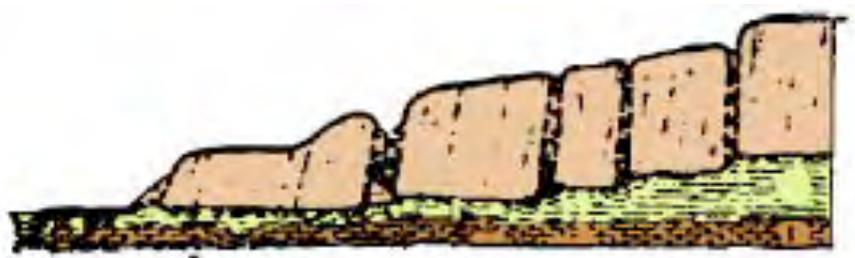
Separaciones laterales tiene un movimiento de extensión lateral acompañado por fracturamiento cortante o tensional (Fig. 1.4). Este tipo de deslizamientos puede tener una gran extensión de varios kilómetros. La superficie de ruptura no es una superficie de corte intenso y el proceso es el producto de la licuefacción o flujo (extrusión) del material más blando. Claramente estos movimientos son

complejos, pero debido a que son muy comunes en ciertos materiales y situaciones geológicas, es mejor reconocerlos como un tipo separado de movimiento. Normalmente son desplazamientos muy lentos pero hay casos raros cuando grandes áreas entran en rápido movimiento y pueblos enteros viajan por kilómetros.

**Afectación:** En un poblado que se encuentra sobre una zona afectada por este tipo de deslizamiento, las casas que se encuentran en el centro de un bloque no van a verse afectadas de todo o poco. Pero, casas construidas sobre los límites entre los bloques se destruyen lentamente por el movimiento diferencial vertical y horizontal. Si el movimiento se acelera las destrucciones pueden tener carácter catastrófico.

**Monitoreo, Alerta y Mitigación:** Las fisuras arriba del deslizamiento se abren lentamente antes de que se desestabilicen los bloques. Se puede medir con distanciómetros como se abren las fisuras y grietas que primero son de milímetros, después centímetros hasta metros. Se miden en las fisuras o se ocupan sitios de GPS o Totalstation. Cuando se acelera el movimiento se deben tomar medidas. Es decir se evacua la población o partes. En algunos casos se puede tratar de influir con un sistema de drenaje en el movimiento quitándole el agua que sirve de lubricación.

#### 4. Separación lateral en roca



**Figura 4. Separación lateral en roca (Varnes, 1978).**

La separación lateral se define como una extensión de una masa cohesiva de suelo o roca, combinada con la subsidencia del material fracturado en un material subyacente más blando (Cruden & Varnes, 1996) (Figs. 3.11 y 3.12).

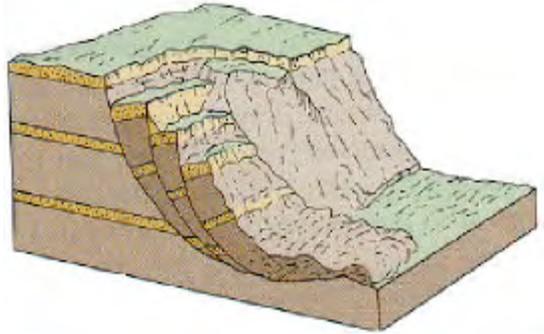
El movimiento es bastante lento.

**Afectación:** En un poblado que se encuentra sobre una zona afectada por este tipo de deslizamiento, las casas que se encuentran en el centro de un bloque no van a verse afectadas de todo. Pero, casas construidas sobre los límites entre los bloques experimentarán lentamente daños por el movimiento diferencial vertical y horizontal.

**Monitoreo, Alerta y Mitigación:** Las fisuras arriba del deslizamiento se abren lentamente. Se puede observar y medir estos pequeños movimientos horizontales y verticales en las fisuras y grietas que primero se abren por milímetros, después centímetros hasta metros. Se miden con distanciómetros de diferentes tipos en las fisuras debajo de las casas afectadas o se ocupan sitios de GPS o Totalstation para monitorear toda la zona. Cuando se acelera el movimiento se deben tomar medidas de mitigación o prevención. Es decir se evacua la población de la casa. En algunos casos se puede tratar de influir con un sistema de drenaje en el movimiento quitándole el agua que sirve de lubricación. Dado que el movimiento es lento, es posible tomar medidas de mitigación como fundaciones móviles o ajustables.

## 5. Deslizamiento rotacional

**Deslizamientos:** desplazan masas a lo largo de uno o más planos discretos. Pueden ser rotacionales o translacionales en su movimiento. El movimiento rotacional se da donde la superficie de ruptura es curva, la masa rota hacia atrás alrededor de un eje paralelo a la ladera (Fig. 1.5.)



**Figura 5 Deslizamiento rotacional, (Skinner & Porter, 1992)**

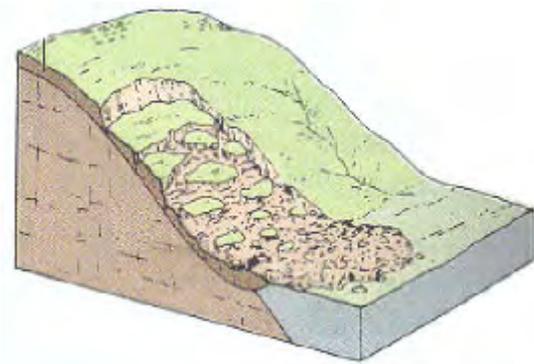
**Afectación:** En un poblado que se encuentra sobre una zona afectada por este tipo de deslizamiento, las casas que se encuentra en el centro de un bloque no van a verse afectados de todo o poco cuando el movimiento es muy lento o lento. Pero, casas construidas sobre los límites entre los bloques experimentarán lentamente daños por el movimiento diferencial vertical y horizontal. Pueden ser áreas muy grandes. El movimiento puede acelerarse y convertirse en un proceso catastrófico

**Ejemplo:** El Subtal, Corquín, Honduras (2008), ver Anexo 3c.

**Monitoreo, Alerta y Mitigación:** La fisuras arriba del deslizamiento se abren lentamente. Se puede medir con distanciómetros estos pequeños movimientos que primero son de milímetros, después centímetros hasta metros. Se observa visualmente. Monitoreo instrumental con distanciómetros de diferentes tipos en las fisuras debajo de las casas afectadas o se ocupan sitios de GPS o Totalstation para monitorear toda la zona. Cuando se acelera el movimiento se deben tomar medidas. Observación visual de los pobladores es importante para detectar cuando el movimiento se convierte en un proceso rápido. Es decir se evacua la población. En algunos casos se puede tratar de influir con un sistema de drenaje en el movimiento quitándole el agua que sirve de lubricación. Cuando el movimiento es lento, es posible tomar medidas de mitigación como fundaciones móviles o ajustables.

## 6. Deslizamiento translacional

El movimiento translacional se da cuando la superficie de ruptura es más o menos plana o suavemente ondulante y la masa se mueve paralela a la superficie del terreno



**Figura 6. Deslizamiento translacional (Skinner & Porter, 1992)**

**Afectación:** En un poblado que se encuentra sobre una zona afectada por este tipo de deslizamiento, todas las casas se ven afectadas daños por el movimiento diferencial vertical y horizontal porque no hay diferenciación entre bloques. Pueden ser áreas muy grandes. El movimiento puede acelerarse y convertirse en un proceso catastrófico (ejemplo 2008, Honduras)

**Monitoreo, Alerta y Mitigación:** La fisuras arriba del deslizamiento y dentro de él se abren lentamente. Se puede medir con distanciómetros estos pequeños movimientos que primero son de milímetros, después centímetros hasta metros. Se observa también visualmente. Monitoreo

instrumental con distanciómetros de diferentes tipos en las fisuras debajo de las casas afectadas o se ocupan sitios de GPS o Totalstation para monitorear toda la zona. Cuando se acelera el movimiento se deben tomar medidas. Observación visual de los pobladores es importante para detectar cuando el movimiento se convierte en un proceso rápido. Es decir cuando se debe evacuar la población. En algunos casos se puede tratar de influir con un sistema de drenaje en el movimiento quitándole el agua que sirve de lubricación. Cuando el movimiento es lento, es posible tomar medidas de mitigación como fundaciones móviles o ajustables. No se deben construir nuevas casas en estos terrenos.

## 7. Flujos

### 7.1 Flujos de Detritos

Un flujo es un movimiento espacialmente continuo, en el que las superficies de corte son de corta duración, de espaciamiento corto y usualmente no se preservan; la distribución de velocidades en la masa que se desplaza se compara con la de un fluido viscoso (Cruden & Varnes, 1996) (Fig.3.14).

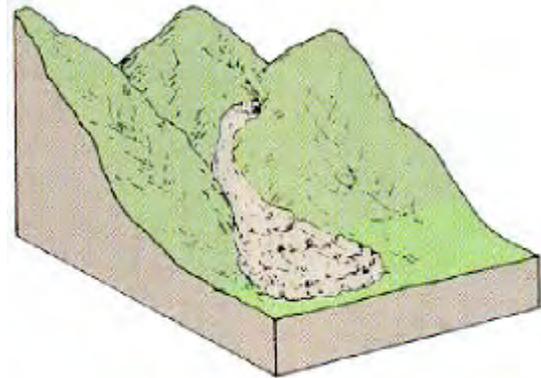
El límite inferior de la masa desplazada puede ser una superficie, a lo largo de la cual se desarrolla un

movimiento diferencial apreciable o una zona gruesa de corte distribuido (Cruden & Varnes, 1996). Es decir, existe una gradación desde deslizamientos a flujos, dependiendo del contenido de humedad, la movilidad y la evolución del movimiento (Cruden & Varnes, 1996). Los deslizamientos de detritos pueden convertirse en flujos de detritos extremadamente rápidos o avalanchas de detritos, en la medida en que el material desplazado pierde cohesión, aumenta de contenido de humedad o encuentra pendientes más fuertes (Cruden & Varnes, 1996) (Figs. 3.15, 3.16 y 3.17).

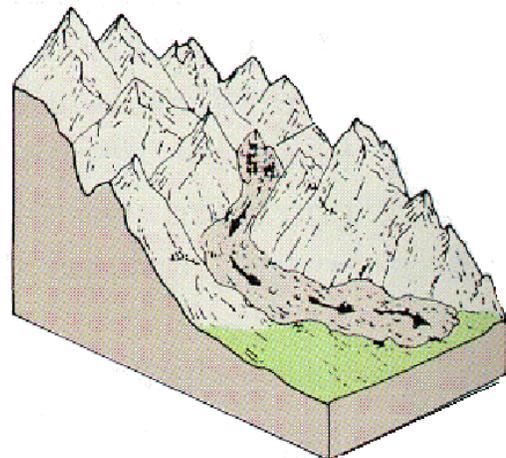
**Flujos:** masas que se mueven como unidades deformadas, viscosas, sin un plano discreto de ruptura, inclusive con poca agua o sin agua.

### 7.2 Avalanchas de detritos

Con gran diferencia de altura una cantidad inicial pequeña de detritos se acelera rápido y alcanza gran energía. Si encuentra en su camino más material lo involucra en el movimiento y la masa aumenta grandemente. Aire atrapado debajo del flujo y entre las rocas sirve para reducir grandemente la fricción especialmente con el fondo del cauce. La avalancha entra en la planicie con una velocidad extrema y puede correr centenares de metros, en casos extremos kilómetros, y destruye todo en su paso. La destructividad es alta por la extrema velocidad la gran densidad del material (rocas pesadas) y el volumen involucrado.



**Fig. 7 Flujo de detritos (Skinner & Porter, 1992)**



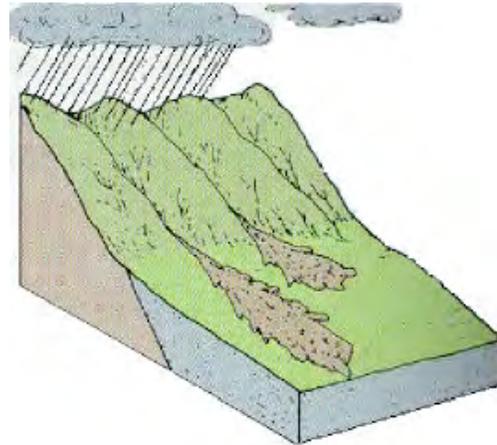
**Figura 8. Avalancha de detritos (Skinner & Porter, 1992).**

### 7.3 Flujos de lodo

Flujos de lodo ocurren en ambientes montañosos con potentes capas de material poco consolidado, arcilloso, arenoso, sedimentos de antiguos ríos o lagos, cenizas volcánicas ocurren. Tienen en América Latina la denominación popular de “deslaves”.

Con bastante agua, pueden alcanzar grandes velocidades y llegar a grandes distancias.

Durante y después de muy fuertes lluvias la población bajo riesgo debe ser evacuada. Contra flujos pequeños se pueden instalar barreras o trampas que quitan el agua del flujo y lo frenan de esta forma. Pero son medidas muy caras. La mejor forma de prevención y mitigación puede ser reubicar la población bajo peligro de flujos destructivos



**Fig. 9 Flujo de lodo (Skinner & Porter, 1992).**

### 7.4 Afectación, monitoreo, mitigación para los flujos

**Afectación:** En un poblado que se encuentra sobre una zona afectada por este tipo de deslizamiento, las casas son inundadas con gran velocidad por el lodo y el agua. Flujos de lodo son recurrentes, la misma área es afectada frecuentemente por correntadas de agua y/o flujos de lodo pequeños y de vez en cuando por un evento grande, destructivo.

**Monitoreo, Alerta:** Se realiza monitoreo de tiempo real de las lluvias en la zona de generación del flujo, es decir arriba en la montaña. Durante y después de muy fuertes lluvias la población bajo riesgo debe ser evacuada. Se instalan equipos de monitoreo en o cerca de los cauces o ríos arriba en la montaña donde se origina el flujo. Cuando la precipitación acumulada en la zona fuente sobrepasa un determinado umbral (por ejemplo 15 mm por hora, ó 80 mm por día) se da una primera alerta para que la población se prepare. Cuando la precipitación continúe con altos valores se realizan evacuaciones de precaución, es decir escuelas, hospitales y otros centros con alta concentración de personas se evacúan. Se trata de detectar los movimientos iniciales de los flujos con laharímetros (alambres que se cortan por el movimiento de las rocas, o switches que se abren o cierran cuando ocurren un determinado movimiento) y/o con hidrómetros que miden la altura del río. Cuando se detecta algún movimiento inicial que sobrepasa un determinado umbral se da una alerta de flujo inminente para el cauce correspondiente y áreas vecinas. Se estima el tamaño del flujo con la amplitud en el registro del movimiento hecho con sismógrafos instalados cerca del cauce del flujo (decenas hasta centenares de metros.). Si amplitud y duración del movimiento (que se puede determinar con el método RSAM) sobrepasan ciertos niveles anteriormente definidos - se da alarma incluyendo pronóstico del minuto del impacto y se procede evacuación inmediata de toda la población en la zona de posible afectación. Por la alta velocidad de los flujos las decisiones deben tomarse en minutos, es decir un sistema automático es recomendable. La eficiencia de la alerta depende mucho de la distancia del equipo de monitoreo de la zona bajo riesgo y la velocidad del flujo lo que determina en tiempo disponible para la alerta y evacuación.

**Mitigación:** Durante y después de muy fuertes lluvias la población bajo riesgo debe ser evacuada. La población debe ser informada sobre los sitios de reunión en áreas seguras adonde pueden dirigirse en caso de una alerta de flujo. Contra flujos pequeños se pueden instalar barreras para desviarlos. Pero son medidas muy caras. La mejor forma de prevención y mitigación puede ser

reubicar la población bajo peligro de flujos destructivos. Se debe elaborar mapas de probable afectación en dependencia del tamaño del flujo. Ejemplo: Deslizamientos en Venezuela, 1999, [http://es.wikipedia.org/wiki/Tragedia\\_de\\_Vargas\\_\(1999\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Tragedia_de_Vargas_(1999))

Los Deslaves de Vargas, del 15, 16 y 17 de diciembre de 1999, en la Costa del Caribe de Venezuela causaron entre 10.000 y 50.000 muertos, dependiendo de la fuente. Entre la infraestructura perdida por el desastre se cuentan universidades, grandes hoteles, clubes, importantes comunidades, vialidad, entre otros. En [www.youtube.com](http://www.youtube.com) hay videos impresionantes de este desastre.

El desastre del Volcán Casita, Nicaragua (2000 muertos) comenzó con una caída de rocas que se convirtió en avalancha de detritos y involucró y tanta agua que se convirtió en flujo de lodo en ambiente volcánico (Lahar).

## **8. Lahares, flujos en el ambiente volcánico**

En Centroamérica, los deslizamientos en el ambiente volcánico (Flujos de lodo, de detritos, lahares) han causado los mayores desastres por movimientos de masas. La evidencia sugiere que deslizamientos de tierra (avalanchas de escombros y flujos de escombros) en contextos volcánicos de Centroamérica tienen una mayor movilidad que la de otros tipos de deslizamientos de tierra, ver Dévoli et al (2009), Tiedemann (2010).

Los deslizamientos de tierra son grandes masas de rocas y tierra que caen, se deslizan o fluyen muy rápido bajo la fuerza de la gravedad. Estas mezclas de escombros se mueven en estado húmedo o seco, o ambas cosas. Los deslizamientos de tierra comúnmente se originan como desprendimientos masivos de rocas o avalanchas en que se desintegran durante el movimiento en fragmentos que varían en tamaño desde partículas pequeñas hasta enormes bloques de cientos de metros de diámetro. Si la cantidad de material en movimiento es lo suficientemente grande y contiene un alto contenido de agua y material fino, el deslizamiento puede transformarse en un lahar y puede fluir hasta distancias de más de 100 kilómetros del volcán !

Deslizamientos de tierra del volcán varían en tamaño desde menos de 1 km<sup>3</sup> a más de 100 km<sup>3</sup>. La alta velocidad (más de 100 kmh) y el gran impulso de los deslizamientos de tierra les permite subir pendientes y sobrepasar valles hasta cientos de metros de altura. Por ejemplo, el deslizamiento de tierra en el Monte St. Helens el 18 de mayo de 1980, tuvo un volumen de 2.5 km<sup>3</sup>, alcanzaba una velocidad de 50-80 metros por segundo (180-288 kmh), y subió y una cresta de 400 m de altura situada a unos 5 km del volcán!

Los deslizamientos de tierra son comunes en los volcanes porque: 1) se elevan de cientos a miles de metros por encima del terreno circundante, y 2) con frecuencia están debilitados por el mismo proceso que los creó - la subida y la erupción de roca fundida. Cada vez se mueve el magma hacia la superficie, las rocas sobre yacientes se desplazan hacia un lado porque la roca fundida ocupa el espacio para sí mismo. Eso lleva a menudo a la creación de zonas internas de corte y a flancos muy inclinados en uno o más lados del cono. El magma que se mantiene dentro del cono libera gases volcánicos que en parte se disuelven en el agua subterránea. Eso resulta en un sistema hidrotermal de ácidos calientes que debilitan la roca mediante la alteración de minerales de la roca y su conversión en arcilla. Además, la enorme masa de miles de lava y capas de restos sueltos de roca fragmentada puede llevar a fisuras internas y zonas de fallas que se mueven con frecuencia como si el cono se "asentara" bajo la fuerza de la gravedad.

Estas condiciones llevan a una serie de factores para desencadenar deslizamientos de tierras o para permitir que parte del cono de un volcán colapse simplemente bajo la influencia de la gravedad:

- 1) La intrusión de magma en el volcán
- 2) Erupciones explosivas (magmáticas o freáticas (explosiones impulsadas por vapor)
- 3) Un gran terremoto directamente debajo de un volcán o en su cercanía (por lo general con una magnitud mayor de 5)
- 4) Intensas lluvias que saturan el volcán y las laderas cercanas cubiertas de tefra con agua, especialmente antes o durante un gran terremoto.

Lahar es un término indonesio que describe una mezcla caliente o frío de los fragmentos de roca y agua que fluye por las laderas de un volcán y (o) valles de los ríos. Cuando se mueve, un lahar se ve como una masa de hormigón fresco que lleva restos de rocas que varían en tamaño de la arcilla a cantos rodados de más de 10 m de diámetro. Los lahares pueden variar en tamaño y velocidad. Lahares pequeños de menos de unos pocos metros de ancho y varios centímetros de profundidad puede fluir a pocos metros por segundo (algunos kilómetros por hora). Grandes lahares con decenas de metros de ancho y hasta decenas de metros de profundidad pueden fluir a varias decenas de metros por segundo (más de 100 km por hora) - demasiado rápido para que la gente escape corriendo. Deben salir del cauce del lahar y subir a zonas altas.



**Foto 1. Lahar del Volcán Casita, Nicaragua 1998**

<http://volcanoes.usgs.gov/hazards/lahar/casita.php>

Lahares pueden ocurrir durante y después de erupciones arrasando la ceniza volcánica fresca y suelta. Pero suceden también en volcanes inactivos. Pueden ser desencadenados por un derrumbe inicial en la cumbre del volcán, como ocurrió en el Volcán Casita. Lahares pueden correr grandes distancias hasta decenas de kilómetros.

**Afectación:** En un poblado que se encuentra sobre una zona afectada por este tipo de deslizamiento, las casas son inundadas con gran velocidad por el lodo y el agua. Bloques de grandes rocas vienen rodando o flotando con el lodo, golpean contra las paredes y las pueden tumbar. Con mayor espesor del flujo los poblados pueden ser aniquilados como pasó en el desastre del Volcán Casita en 1998. Lahares son recurrentes, la misma área es afectada frecuentemente por corrientadas de agua y/o lahares pequeños y de vez en cuando por un lahar grande, destructivo.

**Monitoreo, Alerta:** Se realiza monitoreo de tiempo real de las lluvias en la zona de generación del lahar, es decir arriba en el volcán. Durante y después de muy fuertes lluvias la población bajo riesgo debe ser evacuada. Se instalan equipos de monitoreo de lahar en los cauces arriba en el volcán donde se origina el flujo. Se detectan los movimientos de los flujos con laharímetros (alambres que se cortan por el movimiento de las rocas). Se estima el tamaño del flujo con la amplitud en el registro del movimiento hecho con sismógrafos instalados cerca del cauce del lahar (decenas hasta centenares de metros.). Si el tamaño y su duración sobrepasan ciertos niveles anteriormente definidos - se da la alerta. Por la alta velocidad de los lahares las decisiones deben tomarse en minutos, es decir un sistema automático es recomendable. La eficiencia de la alerta depende mucho

de la distancia del equipo de monitoreo de la zona bajo riesgo y la velocidad del lahar lo que determina en tiempo disponible para la alerta y evacuación.

**Mitigación:** Durante y después de muy fuertes lluvias la población bajo riesgo debe ser evacuada. Contra lahares pequeños se pueden instalar barreras o trampas que quitan el agua del flujo y lo frenan de esta forma. Pero son medidas muy caras. La mejor forma de prevención y mitigación puede ser reubicar la población bajo peligro de lahares destructivos.

Ejemplos:

- 1) Desastre del Volcán Casita, Nicaragua, relacionado con el Huracán Mitch. El fenómeno comenzó en la cumbre del volcán con una caída de rocas que se convirtió en avalancha de detritos e involucró después tanta agua y arrasó mucho material suelto que se convirtió en flujo de lodo en ambiente volcánico (Lahar). Ver <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/lahar/casita.php> , Un análisis científico - ver Scott et al. 2004
- 2) Desastre de Panabaj, Santiago Atitlan, Guatemala, 2005 relacionado con el Huracán Stan, ver Connor et al (2006)
- 3) Nevado de Ruiz, Colombia, erupción provoca deshielo que causa un lahar que aniquiló Armero, 20,000 muertos
- 4) Nevado de Huila Colombia, combinación de terremoto y fuertes lluvias, centenares de muertos, <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/lahar/HuilaLahar.html>

## 9. Colapsos volcánicos

Ver anexo 3.

## 10. Colapsos por socavación

El hoyo de Ciudad de Guatemala fue producto de la socavación del suelo por el agua que salió de un tubo roto de alcantarillado.

Socavación por el agua saliendo de tubería rota de agua potable, agua negra o de acueductos y alcantarillado es frecuente en grandes ciudades, normalmente un hoyo de pocos metros de diámetro se forma en poca profundidad y puede llevar al colapso de

una pared o de una casa o una parte de ella. Eventos grandes como en Guatemala, ocurren cuando la fuente de agua se ubica en gran profundidad y el suelo es suave. Se forma una gran cúpula que se agranda cada vez que una gran cantidad de agua la llena por lluvias fuertes en la temporada.



**Foto 2. Hoyo de 30 m de diámetro y 60 m de profundidad, Ciudad de Guatemala, enero de 2010**

<http://edubruces.blogspot.com/2011/01/hoyo-gigante-en-guatemala.html>

**Afectación:** El área de afectación es bien limitada. Pero los edificios y casas se ubican sobre el hoyo se caen en él. Si se trata de edificios con alta presencia de personas puede resultar un gran desastre.

**Monitoreo:** El fenómeno se puede anunciar por grietas en el suelo y en las construcciones, pequeños temblores que solo localmente se sienten, se escuchan “pequeñas explosiones”. Cuando se recibe reportes de la población sobre sismos muy locales y la red sísmica no los detecta se puede sospechar una socavación, especialmente en la temporada de lluvias. Se deba actuar muy rápido porque el colapso puede ocurrir en horas o días. Para delimitar el área afectada se hace una encuesta a la población. Se mapean las casas donde se sienten o escuchan los temblores. Se mapean las grietas en el suelo y en los edificios. Se ponen distanciómetros en las grietas para verificar si se abren y con qué velocidad. Se pueden poner alarmas que suenan cuando las grietas se abren más de cierto umbral. Se instala temporalmente un sismógrafo o acelerógrafo que se ubica en la cercanía de las casas donde los pobladores sienten los temblores - pero fuera del área agrietada para no poner en peligro al personal técnico. Si las grietas y el número de temblores aumentan se debe evacuar a la población. Se hacen perforaciones - con las debidas medidas de seguridad para el personal - para confirmar la existencia de una caverna debajo del área afectada por los temblores y las grietas. Se puede realizar un perfil sísmico de reflexión (de alta frecuencia) sobre la zona para detectar la caverna. Se puede usar este registrador con al menos 6 geófonos distribuidos alrededor de la zona de las grietas. Se registran los temblores, se pican las fases P y se localiza con SEISAN (en modo precisión) el origen de los temblores lo que puede dar una idea de la profundidad de la caverna.

**Mitigación:** Inspección regular del sistema de alcantarillado, específicamente de los grandes tubos y túneles. Tener equipo de medición preparado para el uso rápido.

## **11. Deslizamientos por factores antrópicos**

Deslizamientos pueden ser provocados por las excavaciones de las minas subterráneas y superficiales, por acumulaciones de excavaciones de las minas, por cortes de carreteras, extracción de arena, por represas que se rompen desatan una ola de agua que se convierte en avalancha de lodo.

La mejor de prevención es prever las posibles consecuencias y tomar medidas al respecto.

## Anexo 3a. Ocurrencia de deslizamientos en Guatemala

Datos sobre deslizamientos en Centroamérica y evaluaciones estadísticas se encuentran en la página del proyecto CAPRA [http://www.ecapra.org/capra\\_wiki/es\\_wiki/](http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/), con excepción de Panamá. Pero esta base contiene pocos eventos. Una base más completa se encuentra en la página de Desinventar <http://www.desinventar.org/> (pero no incluye Nicaragua). De la base de Desinventar se obtuvo la siguiente información sobre deslizamientos recientes registrados en Guatemala:

| Tabla 1. Deslizamientos en Guatemala |                  |                   |                       |                      |                   |
|--------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| País                                 | Fuente           | Período de tiempo | # Eventos Desinventar | Viviendas destruidas | Muertos           |
| Guatemala                            | CONRED,INSIVUMEH | 1988-2010         | 879                   | 258                  | 668 <sup>1)</sup> |

<sup>1)</sup> Incluye el evento de 1541 en el volcán Agua. No incluye los muertos causados por los deslizamientos del terremoto de 1976.

La base de datos del Sistema de Información geográfica del INSIVUMEH contiene una gran cantidad de deslizamientos históricos y recientes. Los datos recientes se obtuvieron de las notas de CONRED para las últimas décadas. La mayoría de los eventos destructivos son flujos de lodo o lahares en la zona volcánica. En lo siguiente se proporciona información de algunos eventos importantes.

### 1. Lahar del Volcán Agua 1541

El deslizamiento histórico más importante de Guatemala ocurrió poco después de la conquista. Ciudad Vieja, la primera capital de Guatemala (1527-1541) fue destruida el 11 de septiembre de 1541 casi en su totalidad por las inundaciones y deslaves provenientes del volcán de Agua. Murieron 600 personas (algunos dicen 1.300). La leyenda de doña Beatriz de la Cueva da una buena descripción de los efectos de un lahar castrófico: *“Entonces comenzó a llover; grandes tormentas se abatieron sobre el sonriente valle. El volcán de Fuego comenzó a vomitar y sobre el volcán de Agua cayeron rayos. Bajo la tierra parecía que rodaran mil carrozas. Los volcanes saltaban como si se quisieran arrancar de la tierra. La lava y el agua hirviente arrasaron la blanca ciudad del Adelantado, la correntada llevaba grandes piedras flotando como corchos junto con las casas, los animales, los muebles, la gente. Doña Beatriz, con sus damas, no quiso huir. Envolvió a su pequeña hija en una manta y se refugió en el oratorio. El agua las arrasó abrazadas al crucifijo. Al amanecer el volcán de Agua estaba descabezado y había muerto con su pueblo, la primera gobernadora de América.”* <http://beatrizdelacueva.galeon.com/>. Además de la leyenda hay también un reporte en las archivos históricos españoles. La fuente histórica del evento es citado en el libro de Feldman (1993) sobre terremotos y volcanes de Centroamérica, 1505-1899. Neall (1976) escribe que *“La evidencia señala que el cráter del Monte Agua ha sido una antigua cuenca lacustre, y un inmenso barranco es claramente visible que indica la descarga violenta de un lago*

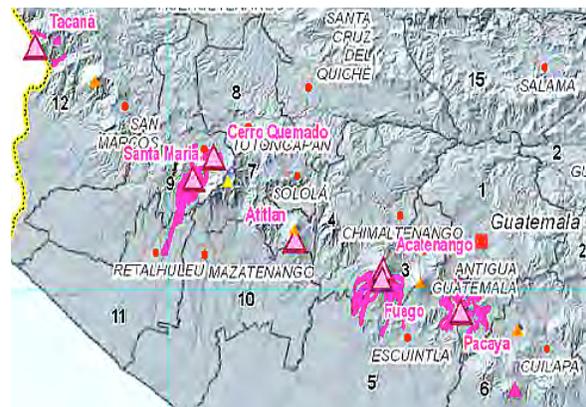


Figura 1. Lahares en Guatemala, Balzer et al. (2010)

*del cráter antiguo que se había formado, posiblemente, durante las fuertes lluvias. Más de 1.300 personas fueron asesinadas, incluyendo Gobernadora doña Beatriz, la primera jefa de gobierno en el continente americano.”*

## **2. Lahares de las erupciones del Volcán Santa María**

Neall (1904) reporta *“Durante la gran erupción, de 1904, que mató a 4,000 personas, se generaron muchos lahares que bajaron los cauces de los ríos con alturas de 10 metros. En la erupción de 1929, flujos de lodo, que fueron generados con el material que depositaron las nubes ardientes, viajaron más de 100 km. Más recientemente, lahares han sido provocadas por los flujos de ceniza en el volcán Fuego en 1971 y 1973. Llama la atención la ocurrencia de lahares, flujos de lodo e inundaciones resultantes de este mecanismo, ya que a menudo causan más daños que los propios flujos de piroclásticos.”*

La generación de lahares es obviamente facilitado por los depósitos de grandes cantidades de cenizas frescas, sea por caída de la columna de ceniza o por los flujos piroclásticos.



**Foto 1. Volcán Santa María, 1902.**

Tomado de <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/santamaria/scan/sm20.gif>

### 3. Deslizamientos por el Terremoto de 1976.

El evento reciente en Guatemala que más deslizamientos causó fue el terremoto de magnitud 7.6 que ocurrió el 4 de febrero de 1976. Lo siguiente se tomó de Godt et al. (2009), traducción W. Strauch: *“El terremoto golpeó el este y centro de Guatemala, mató a más de 20.000 personas y dejó a casi una quinta parte de de la población del país sin hogar. El terremoto desencadenó al menos 10.000 deslizamientos de tierra, repartidos en una superficie de unos 16.000 kilómetros cuadrados que se concentraron en un área a unos 180 km al oeste del epicentro. La mayoría de los deslizamientos fueron caídas de rocas y deslizamientos de escombros de menos de 15.000 metros cúbicos en depósitos de edad de Pleistoceno piedra pómez. Sin embargo, varios deslizamientos más grandes fueron identificados, algunos de los cuales bloquearon cauces de los ríos creando represas tierra que posteriormente fallaron (Harp et al., 1981). Los deslizamientos de tierra provocados por el terremoto fueron los responsables de varios cientos de muertes y el transporte fue interrumpido en varias carreteras importantes y el sistema ferroviario nacional.”*



Foto 2. Terremoto de Guatemala, 1976.

Fallas en la fundación de algunos edificios construidos cerca de un barranco con paredes muy inclinadas en Ciudad de Guatemala. Aproximadamente 5,000 casas en Ciudad de Guatemala quedaron no habitables o amenazadas por deslizamientos. Tomado de: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:GuateQuake1976CiudadFoundationFailures.jpg>

Un trabajo reciente sobre los deslizamientos desencadenados por terremotos en Ciudad de Guatemala demostró que 95 por ciento de las afectaciones se podrían evitar si se construyera a más de 10 metros del barranco, Stinson&Miles (2010).

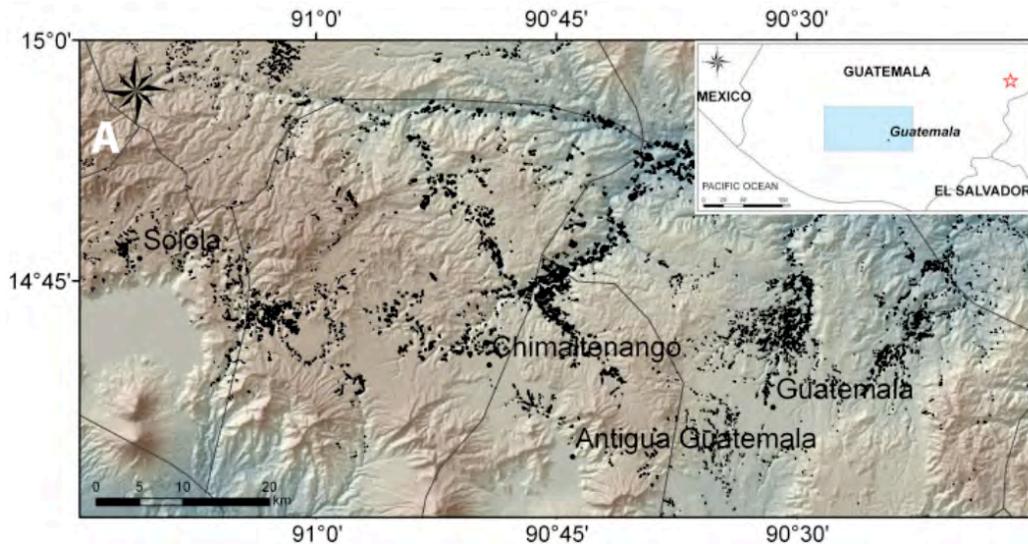


Figura 2. Distribución de los deslizamientos causados por el terremoto de 1976.

Tomado de Godt et al (2009)

#### 4. Lahares desastros de Panabaj, 2005

Tres flujos de lodo ocurrieron en el Volcán Talimán, el 6 de octubre de 2005 alrededor de las 4 am durante la tormenta tropical Stan, y causaron la muerte de más de 600 personas en los pueblos Panabaj, Santiago Atitlán y Tzanchag (Giron y Garavito, 2006). Casi al mismo tiempo ocurrió un lahar en el Volcán Atitlán, a unos 4 km al Sur del Talimán, y se unió en la planicie con uno de los lahares del Colimán aportando a la destrucción. La precipitación se fue incrementando a partir del 1 de octubre y alcanzo su punto máximo durante el 5 de octubre, culminando con la formación del lahar y el desastre que afectó la población a las 04:00 horas del 6 de octubre.



Foto 3 (Izquierda) Vista al Volcán Tolimán y la zona fuente del desastroso lahar  
Foto 4 (Derecha) Afectación de Panabaj por el lodo.  
Fuente: Giron y Garavito (2006).

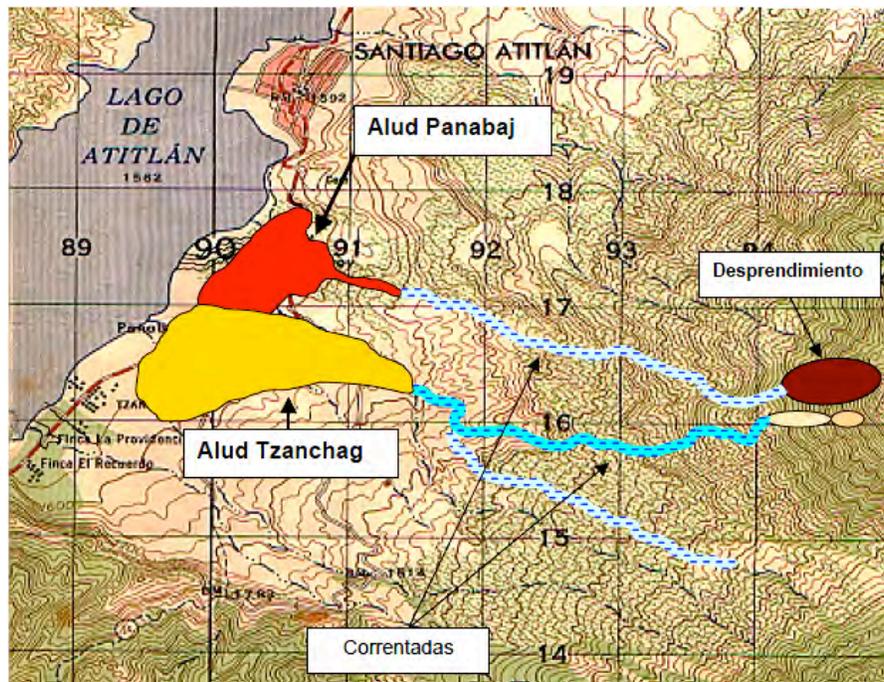


Figura 3. Ubicación y delimitación de aludes, correntadas, deslizamientos y colapsos que provocaron la tragedia de los Caseríos de Panabaj y Tzanchag.

Tomado de Giron J.R., y Garavito F. (2006)



**Foto 6. Estratigrafía en la zona de Panabaj.** Tomado de Giron y Garavito (2006).

El mismo lugar fue afectado múltiples veces en los últimos 100 años por pequeños y grandes lahares.

## 5. Tsunami en el lago Atitlán causado por un lahar en el Volcán de San Pedro, Sololá

Solamente dos horas después del desastre en Panabaj inició el mismo 06 de octubre del 2005, a las 05:50 hora local, un lahar en el vecino Volcán San Pedro, al otro lado de la Bahía de Santiago del Lago Atitlán y a unos 10 km al Noroeste del Volcán Talimán, (Girón & Matías, 2005). Generó olas de hasta 6 metros de altura que cruzaron dentro de minutos la Bahía de Santiago y impactaron en Santiago con olas de 4 metros de altura. Afortunadamente sin causar víctimas adicionales a las que ya causaron los lahares que bajaron de Tolimán y Atitlán y destruyeron Panabaj y Tzanchag.

La ocurrencia de varios lahares grandes en tres volcanes cercanos casi al mismo tiempo indica que, en la madrugada del 6 de octubre del 2005, debe haber existido una condición desencadenante bien puntual, posiblemente una fase corta de muy alta precipitación en esta área.



Foto 7. Zona entre los Volcanes San Pedro y Talimán. Se aprecian los lahares que causaron el desastre de Panabaj y el tsunami en el Lago Atitlán

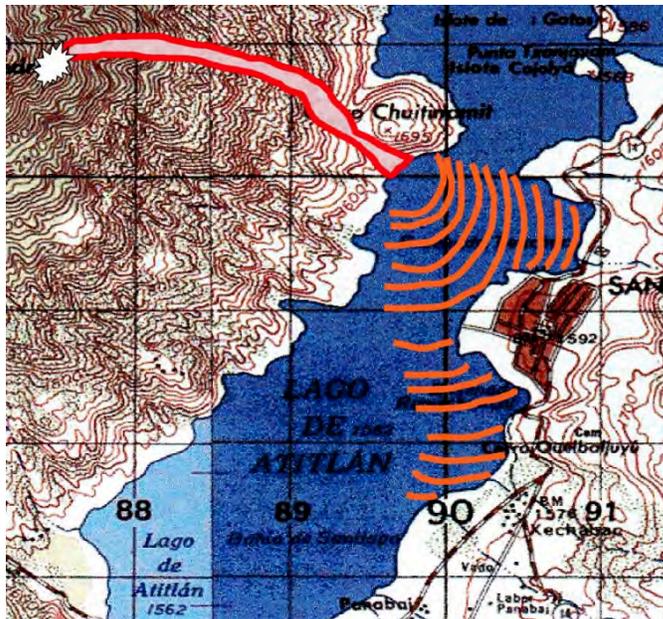


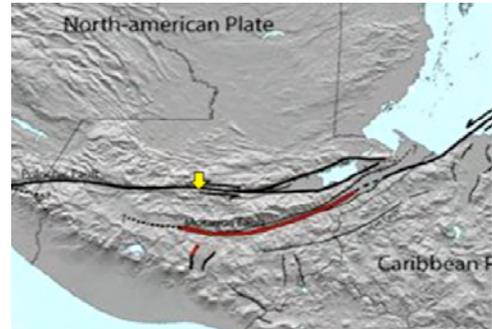
Figura 4. Croquis del lahar y de la propagación del tsunami cruzando la Bahía de Santiago



Foto 8. Embarcadero del Hotel Posada de Santiago. Se aprecia el depósito de lodo que indica la altura de la ola, que alcanzó en la base mirador.

## 6. Deslizamientos de San Cristóbal, Alta Verapaz

Movimientos de ladera ocurrieron en el Cerro Xicut, situados a 5.5 kilómetros de distancia de San Cristóbal (Alta Verapaz), en el sitio denominado Los Chorros. Aquí, pequeños movimientos de ladera iniciados en noviembre del 2,008 dieron como resultado el 2009-01-04, un movimiento catastrófico que acarreó con más de 10 millones de toneladas de rocas, causando la muerte de 40 personas, 30 desaparecidos (ahora, posiblemente muertos) decenas de heridos, y destrucción de 1,300 metros de la carretera de terracería San Cristóbal-Chicamán (Quiche), Bonis et al (2009). Actualmente se está organizando un SAT de Deslizamiento en este lugar (ver Anexo 7a).



**Figura 5. Localización del sitio del desastre (flecha amarilla) y su entorno tectónico situado sobre el sistema de fallas Chixoy-Polochic . tomado de Bonis et al.**



**Foto 9. Vista aérea del movimiento de ladera de San Cristóbal.**

Note la zona del depósito de los materiales.

Tomado de Bonis et al. (2009)

## **7. Derrumbes en Ciudad de Guatemala**

Deslizamientos de un raro tipo ocurrieron en febrero 2007 y mayo de 2010, en Ciudad de Guatemala, producto de la socavación del suelo por el agua que salió de tubos rotos de alcantarillado. En ambas ocasiones los hoyos se tragaron varios edificios, inclusive personas.



**Foto 10. Derrumbe en Ciudad de Guatemala, 2010**

Tomado de <http://www.blog.com.mx/hechos-curiosos/nuevo-hoyo-en-guatemala/>

La socavación se desarrolló posiblemente durante mucho tiempo, pero las fuertes lluvias (en 2010 relacionadas con el Huracán Agatha) sobrecargaron el sistema de alcantarillado, y desencadenaron el colapso de las capas superiores del suelo y la formación del hoyo.

## Anexo 3b. Ocurrencia de deslizamientos en El Salvador

### 1. Datos generales

Datos sobre deslizamientos en Centroamérica y evaluaciones estadísticas se encuentran en la página del proyecto CAPRA [http://www.ecapra.org/capra\\_wiki/es\\_wiki/](http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/), con excepción de Panamá. Pero esta base contiene pocos eventos. Una base más completa se encuentra en la página de Desinventar <http://www.desinventar.org/> (pero no incluye Nicaragua). De la base Desinventar, y publicaciones sobre Nicaragua se elaboró la siguiente tabla sobre la ocurrencia y afectación de deslizamientos en El Salvador:

| País        | Fuente | Período de tiempo | # Eventos Desinventar | # Eventos H. Mitch | Viviendas destruidas | Muertos |
|-------------|--------|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------|
| El Salvador | SNET   | 1906-2011         | 1,095                 | no datos           | 2404                 | 1315    |

El SNET/MARN de El Salvador mantiene un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Georíesgos que contiene también una base de la ocurrencia de Deslizamientos.

| Fecha        | Descripción Ubicación   | Muertos | Desaparecidos | Heridos | Afectados                |
|--------------|---|---------|---------------|---------|--------------------------|
| 1774         | <a href="#">volcán San Vicente</a>  | -       | -             | -       | -                        |
| 1878         | Cerro el Tigre  | 14      | -             | -       | -                        |
| 1934         | <a href="#">volcán San Vicente</a>  | -       | -             | -       | -                        |
| 19/09/1982   | Deslizamiento de Montebello (El Picacho) El Picacho, volcán de San Salvador   | 300     | -             | -       | -                        |
| 1988         | Volcán Conchaguila  | 22      | 12            | 11      | 30 familias damnificadas |
| 15/10/1986   | Deslizamientos 2 días después del terremoto de San Salvador   | 200     | -             | -       | -                        |
| Sep-94       | Deslizamiento en la colonia El Marabú, Loma Larga, Planes de Renderos. Faldas Norte de la cordillera Loma Larga, a 850 y 1050 msnm en el Km 10½ autopista a Comalapa. | -       | -             | -       | -                        |
| Oct-Nov/1994 | Deslizamiento cerro de Artillería, Tempisque Las Chinamas, Faldas Oeste del cerro Artillería Tempisque carretera CA-8, paso fronterizo Las Chinamas                   | -       | -             | -       | -                        |
| Nov-94       | Deslizamiento en colonia El Matazano III, Soyapango Colonia Valle Nuevo al final de los pasajes La Molienda y Las Amapolas.   | -       | -             | -       | -                        |
| Ago-95       | Deslizamiento en el <a href="#">volcán San Vicente</a> Cantón El Coyolito, costado sur-este del <a href="#">volcán San Vicente</a> .                                  | 2       | -             | 1       | -                        |
| Mar-96       | Deslizamiento en el cantón El Pital Municipio de San Luis del Carmen, departamento de <a href="#">Chalatenango</a> .  | -       | -             | -       | -                        |

|                                |  |     |   |   |   |
|--------------------------------|--|-----|---|---|---|
| May-96                         | Deslizamiento Loma La Cuaresma Costado Este de la carretera que de Santa Ana conduce a Metapan, entre los Km 103 y 105   | -   | - | - | - |
| Oct-96                         | Deslizamiento en el Cerro La Burrera 17 Km al noreste de la ciudad de Sensuntepeque, cantón San Gregorio departamento de <a href="#">Cabañas</a>   | -   | - | - | - |
| 1996                           | Deslizamiento La Zompopera, cerro Miramundo Cerro Miramundo, 6 Km al Oriente de La Palma, Depto. de <a href="#">Chalatenango</a> .   | -   | - | - | - |
| Jul-98                         | Deslizamientos en los taludes ubicados entre los kilómetros 75 y 78 de la carretera CA-4 Km 75 y 78 de la carretera que conduce a la Ciudad de La Palma, departamento de <a href="#">Chalatenango</a> .  | -   | - | - | - |
| 1998                           | Deslizamiento La Zompopera, cerro Miramundo, departamento de <a href="#">Chalatenango</a>  | -   | - | - | - |
| Ene-01                         | Deslizamiento en las laderas de Las Colinas; al suroeste de la capital, desencadenado por el terremoto de magnitud 7.6 del 15 de enero de 2001   | 536 | - | - | - |
| <i>Agregado por W.Strauch:</i> |  |     |   |   |   |
| Ene-01                         | Numerosos deslizamientos causados por el terremoto de magnitud 7.6 del 15 de enero de 2001 y de 6.4 del 14 de febrero de 2001, derrumbes en las carreteras, represas naturales en ríos   |     |   |   |   |
| 7 y 8 de noviembre 2009        | Correntadas, inundaciones y numerosos deslizamientos, en la zona entre San Salvador y Volcán San Vicente desencadenados por extremas lluvias. Lahares al N del Volcán San Vicente, en total aprox. 200 muertos, aprox. 100 en el V. San Vicente. |     |   |   |   |
| Noviembre de 2011              | Deslizamientos causados por fuertes lluvias  |     |   |   |   |

**Tabla 3. Deslizamientos en El Salvador, según RECLAIMM (2008)**

| <b>Principales Deslizamientos de Tierra ocurridos en El Salvador durante el período 1982-2005, y disparados por lluvias</b> |                                 |               |                    |                  |
|---|---------------------------------|---------------|--------------------|------------------|
| No.   | Deslizamientos entre 1982-2005  | Fecha (d/m/a) | Tipo               | Zona Morfológica |
| 1   | El Picacho, San Salvador.       | 19-Sep-82     | Flujo de escombros | Cadena volcánica |
| 2   | Maradiaga, San Vicente.         | 19-Ago-95     | Flujo de escombros | Cadena volcánica |
| 3   | La Cuaresma, Metapán.           | 21-Sep-95     | Flujo de escombros | Cadena montañosa |
| 4   | La Burrera, Cabañas.            | 27-Sep-96     | Rotacional         | Cadena montañosa |
| 5   | La Zompopera, Chalatenango.     | 1-Nov-98      | Traslacional       | Cadena montañosa |
| 6   | Cerro Pelón, Usulután.          | 1-Nov-98      | Flujo de escombros | Cadena volcánica |
| 7   | Guadalupe, San Vicente.         | 15-Sep-01     | Flujo de escombros | Cadena volcánica |
| 8   | Apaneca, Ahuachapán.            | 26-Jun-05     | Flujo de escombros | Cadena volcánica |
| 9   | Volcán de Santa Ana, Santa Ana. | 2-Oct-05      | Flujo de escombros | Cadena volcánica |

## 2. Eventos recientes importantes

A continuación se hace un breve recuento de algunos de los principales eventos históricos asociados a fenómenos de deslizamientos. La información fue tomada de las bases de datos del Servicio Nacional de Estudios Territoriales-SNET. (Tomado de RECLAIMM 2008)

Deslizamiento de Montebello (1982) El 19 de Septiembre de 1982 a las 6:15 am se registró un deslizamiento en la parte alta del Picacho, volcán de San Salvador. En total se deslizaron 400,000 m<sup>3</sup> de tierra y rocas que migraron hacia la parte baja de Montebello y otros lugares urbanos, enterrando viviendas y causando la muerte a cientos de personas.

Deslizamiento de 1986 El deslizamiento se produjo el día 15 de Octubre de 1986, dos días después de un terremoto registrado en San Salvador. El saldo del evento arrojó un resultado de 200 personas fallecidas debido a que un alud de tierra se volcó sobre ellas.

Deslizamiento en el Volcán San Vicente (1995) El deslizamiento se produjo en Agosto de 1995 cuando un flujo de escombros conformado por rocas, árboles y lodo se deslizó dejando un saldo de 2 personas fallecidas y 1 herida. Debido al choque de las rocas y los árboles con el puente del río Chuncuyo, se formó un embalse que, posteriormente, inundaría la carretera que comunica Zacatecoluca y San Vicente.

Deslizamiento de La Zompopera (1996) El deslizamiento ocurrió en el departamento de [Chalatenango](#), en el cerro Miramundo. Según información brindada por los pobladores, los deslizamientos de mayor magnitud han ocurrido en los años 1996 y 1998, éste último durante el [huracán Mitch](#). En el deslizamiento de 1996 se calcula que la tierra afectada tuvo dimensiones de 500 metros de ancho, 1,500 metros de largo y una pendiente que oscilaba entre los 70 y 80 grados.

Deslizamiento de Las Colinas (2001) El deslizamiento fue desencadenado por el terremoto de magnitud 7.6 en El Salvador. Se desprendió una porción de tierra de una ladera desde una altura de 400 metros, aproximadamente. La masa de tierra cayó sobre una zona residencial al sur de la ciudad, dejando un saldo de 536 personas fallecidas.

Nota (W.S.) : El terremoto causó alrededor de 500 deslizamientos en todo el país.



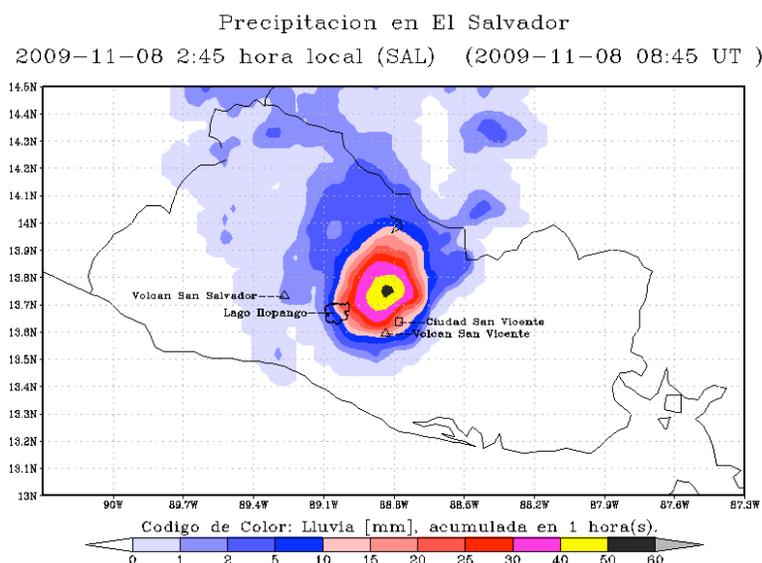
**Foto 1. Deslizamiento de Las Colinas**

Tomado de <http://eduardo7.wordpress.com/tag/terremoto/>

### 3. Deslizamientos del 7 y 8 de noviembre de 2009

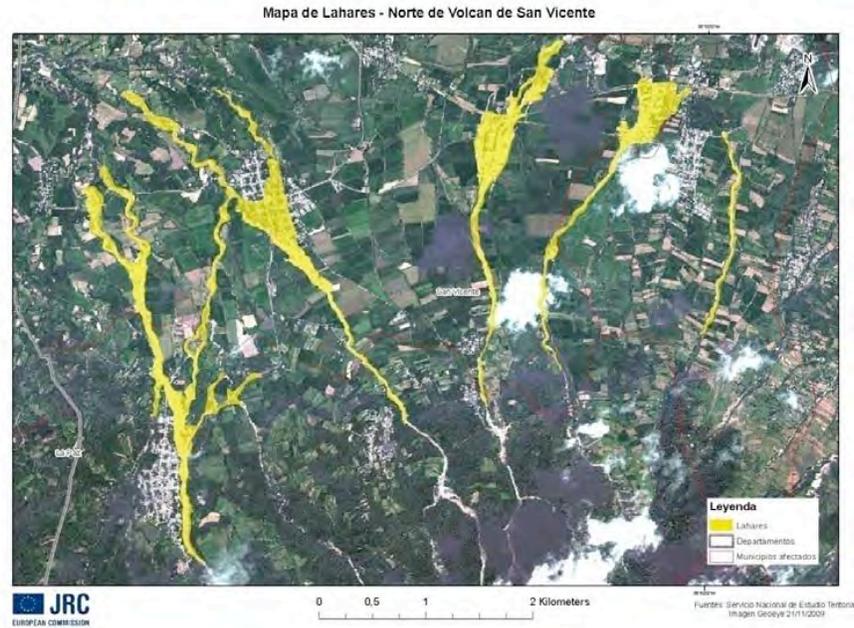
El desastres de grandes dimensiones más reciente en Centroamérica, relacionado con deslizamientos y lahares es el del 7 y 8 de noviembre de 2009 en El Salvador. *En lo siguiente se usan partes de una evaluación de CEPAL, 2010 (<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/38598/2010-03-1957-w2.pdf>):*

*“El evento ocurrido esta vez se asocia a alta precipitación que alcanzó más de 450 mm. en un periodo de tres días (7-9 de noviembre de 2009), con una intensidad que alcanzó su límite máximo de 355 mm. en un periodo de cinco horas, durante las cuales ocurrieron los deslizamientos y la catástrofe. Tal cifra corresponde a cerca de cinco veces la precipitación media esperada para el mes de noviembre. Los lahares<sup>5</sup> que se precipitaron sobre Verapaz, donde se produjo la mayor mortalidad de víctimas, ocurrieron en la madrugada (alrededor de las 2 AM del 8 de noviembre de 2009).”*

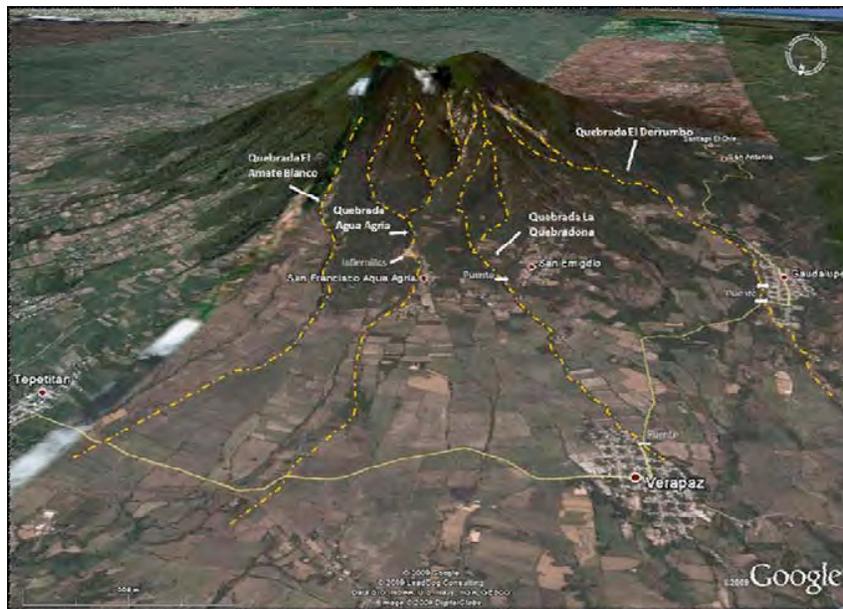


**Figura 1. Mapa de precipitación para máxima lluvia acumulada en 1 hora.**

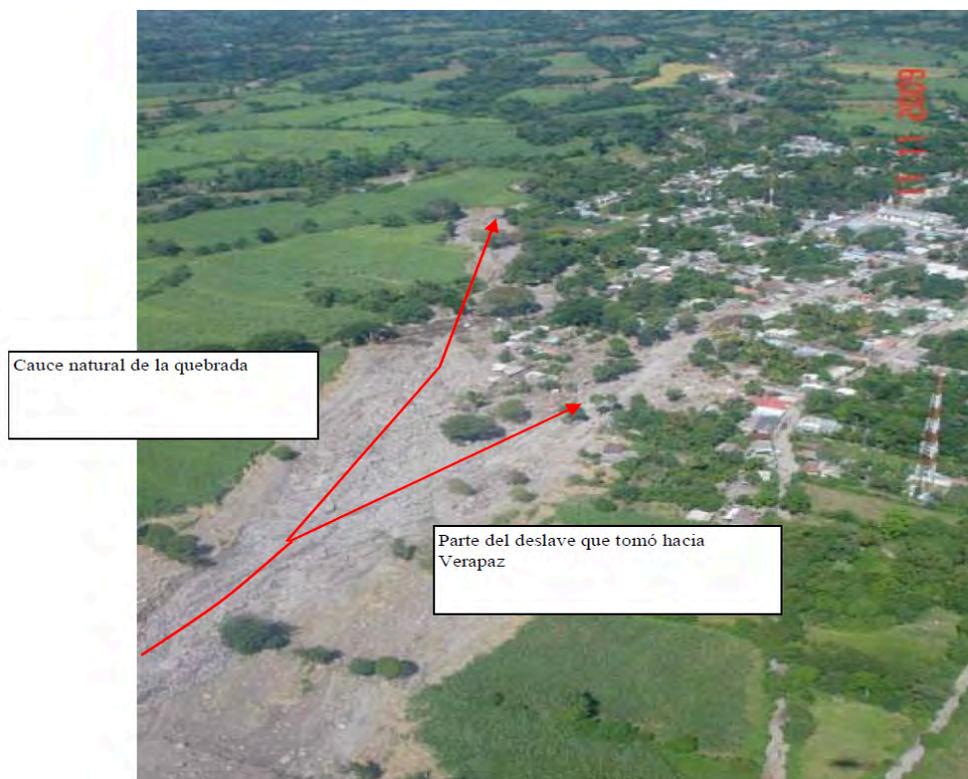
Se aprecia que el volcán San Vicente no se ubica en el sitio de la máxima intensidad sino en la periferia de la zona con mayor precipitación. Tomado de Strauch (2009)



**Mapa 1. Lahares del 8 de noviembre de 2009 en el Volcán San Vicente.  
Fuente JRC**



**Mapa 2. Trayectoria de lahares del 8 de noviembre de 2009 en el Volcán San Vicente**



**Mapa 3. Afectación de Verapaz, 8 de noviembre de 2009. Fuente: SNET**

*“Con base en el pronóstico meteorológico emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales a través del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (MARN/SNET), el día 5 de noviembre la Dirección General de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres, declaró la **Alerta Verde** preventiva en todo el territorio salvadoreño y comenzó a emitir comunicados para poner en alerta a las alcaldías municipales y gobernaciones departamentales, para el alistamiento de sus respectivas Comisiones Departamentales y Municipales de Protección Civil. **El día 8 de noviembre se elevó la alerta a nivel Naranja** en los 5 municipios más afectados por el desastre (después del impacto. W.S.).*

*La primera respuesta del Sistema Nacional de Protección Civil fue la activación de las siete Comisiones Técnicas Sectoriales de Protección Civil: servicios de emergencia; logística; seguridad; albergues; técnico-científica; infraestructura y salud.*

*Las acciones operativas iniciales fueron emprendidas por todas las entidades gubernamentales relacionadas con la atención de la emergencia, quienes realizaron labores de rescate de víctimas, evacuación de población y traslado hacia los albergues.*

*El Presidente de la República expidió el lunes 9 de noviembre el Decreto N° 73 que declara el Estado de Emergencia en todo el territorio nacional; asimismo, se expide el Decreto Legislativo 175 del 9 de noviembre donde se declara el Estado de Calamidad y posteriormente, la Asamblea Legislativa expidió el Decreto 179 el 12 de diciembre con el fin de reorientar recursos para la atención de la emergencia.”*

*“La evaluación preliminar, preparada por el MARN, de los efectos en el ambiente causados por la baja presión y Tormenta Tropical Ida, indican los siguientes impactos, los cuales se presentaron, en mayor o menor magnitud, tanto en las áreas naturales protegidas como en los agroecosistemas ubicados en las zonas afectadas: 1) Degradación y deterioro de hábitat de vida Silvestre (ecosistemas naturales y agroecosistemas); 2) Deterioro de la calidad del agua debido al aumento de sedimentos y contaminación con nutrientes; 3) Posible ocurrencia de eutroficación y otros daños a los cuerpos de agua; 4) El aumento significativo de los caudales y las inundaciones que causaron la degradación o destrucción completa de áreas de bosques de galería o riparios y en zonas de manglar. La afectación más evidente sobre el ambiente fue provocada por los deslizamientos de escombros o lahares que causaron grandes estragos y la pérdida de vidas humanas, entre los habitantes de varias comunidades.*

*2) Flujo de escombros en la ciudad de Verapaz. De acuerdo con los datos obtenidos por el*

*MARN, se calculó que el volumen aproximado de escombros que alcanzaron la ciudad de Veracruz fue de 240.000 m<sup>3</sup>. El recorrido aproximado desde el inicio del flujo se estimó en 6 kilómetros, alcanzando, a la entrada de la ciudad de Verapaz, dos metros de altura.*

*3) Flujo de escombros en la ciudad de Guadalupe. El reporte de daños del MARN indica que en la ciudad de Guadalupe convergieron varios deslaves, con el aporte principal del deslave en flanco norte del volcán de San Vicente, que desembocaron en el cauce de la quebrada El Derrumbo. El flujo destruyó varios puentes, así como casas de habitación de la Colonia Santa Rosa. De acuerdo con los datos obtenidos, se calculó un volumen aproximado de escombros de 370.000 m<sup>3</sup>. El recorrido aproximado del flujo de escombros se estimó en 6 kilómetros.*

*4) Flujo de escombros en la quebrada Los Infiernillos. El flujo de escombros en la quebrada Los Infiernillos tuvo un recorrido de unos 6 km. Los cálculos preliminares del volumen del flujo de escombros depositado en el abanico aluvial, fue de 250.000 m<sup>3</sup>.*

*5) Flujo de escombros en la quebrada El Amate Blanco. El flujo de escombros en la quebrada El Amate Blanco tuvo un recorrido de unos 6 km. Las comunidades de El Refugio y Barrio San José en las cercanías de Tepetitán, experimentaron pérdidas de vidas humanas y daños materiales. Ambas comunidades se encontraban en el medio de la zona de depósito del deslave. De acuerdo con las mediciones realizadas se estimó un volumen de 300,000 m<sup>3</sup> depositados.*

*6) Otras zonas con deslizamientos. Durante los vuelos de reconocimiento aéreo que se realizaron se observó un gran número de deslizamientos en las zonas de las poblaciones de Paraíso de Osorio, San Emigdio, Santa Cruz Analquito, San Ramón y Candelaria, todas ubicadas al oriente del Lago de Ilopango. La mayoría de los deslizamientos fueron de poca extensión y espesor, pero que en conjunto tienen un efecto considerable, al igual que incrementan el nivel de riesgo al cual han quedado expuestas las comunidades cercanas. Otra zona que sufrió deslizamientos fue el norte del lago de Ilopango, en donde se encuentran poblaciones como San Agustín y zonas aledañas*

*Informe Preliminar de evaluación de daños ambientales provocados por la Tormenta del 7 y 8 de noviembre de 2009. Preparado por Dirección General de Gestión Ambiental (DGGA), Dirección General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (DGSNET), Dirección General de Patrimonio Natural (DGPN), Dirección General de Inspectoría Ambiental (DGIA), Unidad de Desechos Sólidos, noviembre, 2009.”*

*“Con respecto a la lluvia extrema, conforme a registros históricos, a deslizamientos registrados y con respecto a eventos climáticos que afectan al país, este evento no es inusual ni infrecuente. Existe información de eventos previos y hay registros de los 100 años pasados sobre varios lahares con consecuencias desastrosas en el área de San Vicente. En la mayoría de ellos fueron resultado de lluvias intensas (períodos de 5 a 7 días continuos conforme a testimonios de testigos).*

*El período de retorno (recurrencia) de situaciones de intensidad similar a la actual es difícil de estimar dada la falta de una serie continua de precipitación por hora diaria. Sin embargo, se puede decir que un factor crítico fue el período de 7 horas de lluvia. Los daños mayores causados por los deslizamientos parecen asociarse a la presencia de tormentas tropicales con duración de 3 a 4 días. Si ocurren lluvias durante períodos de 5 a 10 horas, con intensidades por hora superiores a 30-50 mm en la fase terminal de una tormenta o depresión, cuando el suelo ya está saturado, es casi una certeza de que ocurrirá un evento catastrófico.*

*A partir de los datos históricos se puede inferir que situaciones críticas para eventos de desastres con un gran número de víctimas ocurren con relativamente alta frecuencia cada 10 a 30 años para el país en su conjunto en eventos climáticos. Elevada intensidad de lluvias puede afectar también a otras regiones pero, basados en la evidencia disponible, serán las zonas de San Vicente e Ilopango las que presentan una mayor exposición. Lahares de similar magnitud puede asumirse que tendrán un período de retorno entorno a los 50 años, y los originados en San Vicente parecen tener el más alto potencial de ocurrir en el país. Si se toma en cuenta además el potencial de que por el cambio climático haya una mayor frecuencia en eventos de lluvias por encima de los promedios históricos, podrían ocurrir episodios similares en el futuro con mayor frecuencia. Ello solo refuerza la necesidad de acciones inmediatas de tipo preventivo para prepararse frente a futuros lahares destructivos.”*

**Tabla: LOS LAHARES MÁS SEVEROS EN EL SALVADOR**

| <b>Año</b> | <b>Afectación</b>  |
|------------|--|
| 1774       | <i>Lahar en la ladera noreste del volcán afectando a la ciudad de San Vicente.</i>   |
| 1912       | <i>Lahar destruye totalmente a Verapaz, causando numerosas muertes tanto en Verapaz como en Agua Agria, poblado arriba en la ladera del volcán</i>   |
| 1934       | <i>Destrucción total de Tepetitán por lahar originado en la Quebrada El Blanco, con numerosas víctimas (por lo cual se funda Nueva Tepetitán). Igualmente Guadalupe fue golpeado en 1934 por un lahar originado en la Quebrada El Derrumbo, que destruyó varias causas y causó víctimas.</i><br><br><i>Nota: El mismo fenómeno meteorológico causo el desastre de 1934 en Ocotepque, Honduras. W.S.)</i>   |
| 1996       | <i>En la ladera sur del volcán un desprendimiento bloqueó la vía principal entre Tecoluca y Zacatecoluca.</i>  |
| 2001       | <i>Derrumbes ocasionados por el terremoto del 13 de febrero en las laderas norte y noroeste fluyeron hacia el valle si bien no se transformaron en lahares. Sin embargo los deslizamientos depositaron más de 200 000 metros cúbicos de sedimentos en los canales que drenan al volcán, por lo cual la inestabilidad de esos sedimentos representa un riesgo incrementado de inundaciones y lahares aguas abajo, hacia Guadalupe, Verapaz y Tepetitán, como se demostró en 2009.</i> |

|      |   |
|------|---|
| 2001 | <i>El 15 de septiembre Guadalupe fue golpeada por un lahar proveniente de la Quebrada El Derrumbo, detonado por lluvias. Hubo una víctima y numerosas casas destruidas en aproximadamente la misma zona afectada por el evento de 1934.</i> |
| 2005 | <i>La tormenta tropical Stan produce varios deslizamientos en la ribera este del Lago de Ilopango.</i>  |
| 2009 | <i>Lahares desastrosos al Norte del Volcán San Vicente, aprox. 100 muertos</i>  |

### ***“Mitigación de riesgo para reducir exposición a los peligros naturales***

*Protección Civil maneja un sistema de alerta temprana para salvar vidas y mover la población afuera de zonas de riesgos inmediatos. Entre las medidas no físicas es necesario el fortalecimiento y mantenimiento de sistemas de alerta temprana que permitan en forma oportuna, clara y efectiva prevenir a las personas expuestas, teniendo en cuenta las características demográficas, el género, la cultura y el modo de vida y otras características específicas de las poblaciones involucradas, que den orientación clara sobre la forma de actuar en caso de alerta y que contribuyan a la eficacia de las intervenciones de los encargados de la gestión de las situaciones de desastre y otras autoridades.*

*Durante los últimos años el sistema de monitoreo distribuido sobre el territorio, lo que forma la base de la cadena de información sobre amenazas naturales ha sido afectado por varios desastres, reduciendo los puntos de monitoreo los cuales no han sido restituidos. Se necesita restablecer y mantener estaciones de registro pluviométrico en las poblaciones expuestas para monitorear las intensidades de precipitación por hora y adoptar planes para evacuar las viviendas expuestas cuando se alcancen niveles críticos de lluvia. Las estaciones deberán ser operadas por autoridades locales, capacitadas para enfrentar situaciones críticas. Los datos deberán estar también disponibles en tiempo real al SNET/MARN.*

*Asimismo, se hace necesario fortalecer el papel del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y en particular del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) para el desarrollo de sus competencia relacionadas con el mejoramiento del conocimiento de los riesgos y el monitoreo de fenómenos climáticos y de otra índole, la difusión de información, la incorporación de la gestión de riesgos en planes, programas y proyectos de desarrollo, el establecimiento de lineamientos para un ordenamiento ambiental del territorio y el soporte científico-técnico para el diseño, instalación y operación de los sistemas de alerta temprana.*

*Finalmente es necesario reforzar los mecanismos de coordinación entre el SNET y la Comisión Nacional de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres para que ambas instituciones se fortalezcan y puedan trabajar en forma sinérgica en las actividades de gestión de riesgos. Por lo tanto es necesario que la Comisión Nacional de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres tenga acceso prioritario e inmediato a la información y personal ante la eventualidad de una amenaza natural.*

*Entre las medidas estructurales para reducir el riesgo frente a lahares, deslizamientos e inundaciones que pueden sugerirse con base a la experiencia y la situación actual en el país se encuentran:*

- a) Establecer medidas de protección física en Verapaz, San Vicente y Guadalupe.*
- b) Reubicar las viviendas ubicadas en las zonas más expuestas hacia zonas de menor riesgo.*

c) Los sistemas de drenaje de los caminos y carreteras han de ser mejorados para evitar la erosión y daños a los rellenos.

De manera más específica se recomiendan las siguientes medidas focalizadas en lugares y tipos de obra.

### **3. Lahares en el volcán Chinchontepic (San Vicente)<sup>52</sup>**

Canalización combinada con muros deflectores en la parte baja de las pendientes como la medida más apropiada para los lahares mayores. Otras medidas en las partes más altas de las pendientes no parecen ser factibles. Para Verapaz y Guadalupe se proponen medidas preliminares de seguridad a ser llevadas a cabo conjuntamente por SNET/MOP.

Se propone un muro deflector en Verapaz con una altura no menor a 10 metros y una longitud de 850 metros. El material resultante de la excavación del sedimento hoy depositado en el canal se podría usar para el relleno. Cálculos preliminares de NGI, indican que el costo aproximado de esta obra sería de 3 millones de dólares, incluyendo la construcción de un nuevo puente. Es de vital importancia realizar labores de limpieza de materiales depositados en el canal tras cada estación lluviosa a fin de mantener su capacidad. El reto mayor es prevenir que grandes volúmenes se acumulen tras el muro de contención que reduzca su altura efectiva.

En Guadalupe la excavación del canal ribereño debería acompañarse de la restauración de suficiente espacio transversal. De manera preliminar se sugiere ampliar el área del cauce a al menos 100 m<sup>2</sup>. Se requiere excavar las otras cuencas que fueron saturadas por los materiales del lahar.

Dado que la casi totalidad de Verapaz está expuesta a nuevos eventos, **debería optarse por un traslado gradual hacia una ubicación de menor riesgo**, aproximadamente 100 metros al este. Este traslado deberá tomar en cuenta consideraciones sociales y ambientales para minimizar su impacto. Para Tepetitán se optó por la relocalización tras el lahar que destruyó gran parte de la población en 1934. Como mínimo debería evitarse la reconstrucción de casas destruidas en las mismas ubicaciones actuales. En el caso de San Vicente igualmente las zonas afectadas habrían de ser trasladadas a zonas de menor exposición. Como medida de reducción de riesgo debería establecerse una estación pluviométrica en el centro de la población, que sería operada y monitoreada por las autoridades locales. Se establecerían las cotas de intensidad crítica de lluvia para distintos niveles de alarma (tipo semáforo). En los niveles de menor peligro se requeriría una mayor frecuencia de inspección de los cauces. En los niveles más altos se consideraría la evacuación de las zonas más expuestas a sitios seguros preestablecidos.

Sistemas similares de alerta temprana deberían considerarse para las áreas que están amenazadas por sedimentos de lahares. Tales sistemas deberían tener la posibilidad de coordinarse en toda el área bajo riesgo.

### **4. Laderas de Alta Pendiente en el Lago de Ilopango<sup>53</sup>**

a) En las pendientes de alta gradiente al sur del Lago de Ilopango, los lechos de los ríos han sido fuertemente colmatados y sus riberas erosionadas (en determinadas secciones por varios metros), reduciendo la estabilidad de las pendientes. Si esas laderas permanecen sin atención las pendientes seguirán aumentando hasta alcanzar el ángulo máximo de reposo. La protección de viviendas y caminos en las cumbres de estas pendientes podrían lograrse de dos maneras:

b) Reforestación de la cuenca

c) Rellenar las bases de las colinas en el valle hasta alcanzar su dimensión anterior, o

d) Reforzar la ladera mediante el uso de materiales estabilizantes como los geotextiles (hechos de polipropileno o poliéster).

*Para evitar la continua erosión de los lechos de las cuencas, el uso de piedras o concreto podría ser considerado.*

*Sistema de Drenaje de Caminos. Los sistemas de drenaje de los caminos que siguen las cumbres de las laderas requieren ser reparados. Las cunetas de los caminos están invadidas por materiales resultantes de deslizamientos y erosión, que requiere ser removido. En muchos lugares las alcantarillas están atascadas o dañadas y requieren ser reparadas para que drenen eficientemente. En otros lugares las existentes son insuficientes y se requiere construir nuevas alcantarillas pues las canaletas y cunetas no pudieron canalizar el agua en los volúmenes alcanzados. Las entradas a las alcantarillas han de moldearse para reducir la velocidad del flujo (caída vertical) y diseñarse para prevenir que se atasquen con vegetación y sedimentos mediante rejillas. En las salidas debería evitarse la erosión reforzándolas con piedras o concreto.*

*Relleno de caminos. Muchas bases de carreteras han sido erosionadas o socavadas por la erosión de las pendientes en que se sientan. Muchos de los problemas existentes surgen de erosión hídrica en las salidas de las alcantarillas o por escurrimiento superficial no controlado de las cunetas. Se requiere el control de la erosión del agua superficial que entra a la ladera y el reforzamiento del terreno como medidas preventivas de una mayor erosión.*

*Tajos y cornisas. Muchos de los cortes en caminos han sufrido deslizamientos, erosión y depresiones. Para evitar una mayor erosión se requieren medidas como las siguientes:*

- a) Protección vegetal*
- b) Reducir el ángulo del corte mediante excavación de los tajos*
- c) Uso de geotextiles*
- d) Redes, gaviones y amarres en la roca, entre otras estructuras de contención.”*

## Anexo 3c. Ocurrencia de deslizamientos en Honduras

### 1. Base de Desinventar

Datos sobre deslizamientos en Centroamérica y evaluaciones estadísticas se encuentran en la página del proyecto CAPRA [http://www.ecapra.org/capra\\_wiki/es\\_wiki/](http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/), con excepción de Panamá. Pero esta base contiene pocos eventos. Una base más completa se encuentra en la página de Desinventar <http://www.desinventar.org/> (pero no incluye Nicaragua). De la base Desinventar, y publicaciones sobre Honduras se elaboró la siguiente tabla sobre la ocurrencia y afectación de deslizamientos en el país:

| Tabla 1 Número de Deslizamientos registrados en Centroamérica, según Desinventar |        |                   |                       |                     |                      |                  |
|--|--------|-------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| País   | Fuente | Período de tiempo | # Eventos Desinventar | # Eventos H. Mitch  | Viviendas destruidas | Muertos          |
| Honduras   | COPECO | 1966-2010         | 560                   | 9,800 <sup>1)</sup> | 119                  | 20 <sup>2)</sup> |

<sup>1)</sup> Deslizamientos mapeados con fotos aéreas y imágenes de satélite

<sup>2)</sup> Los deslizamientos relacionados con el Huracán Mitch están sub representados. Obviamente falta también la información sobre el desastre en Ocotepeque, con supuestamente 2800 muertos, ver tabla 2

Existen varios estudios particulares pero no hay una base de datos y un estudio integral sobre deslizamientos en Honduras. En COPECO se desarrolla desde casi 10 años un proyecto financiado por el Banco Mundial que elabora mapas de amenaza, incluyendo la ubicación de deslizamientos.

### 2. Base de COPECO

**Tabla 2. Muertos, desaparecidos y afectados por los deslizamientos en Honduras, según COPECO (no incluye los causados por el Huracán Mitch)**

| Fecha      | Descripción Ubicación  | Muertos | Desaparecidos | Afectados |
|------------|--|---------|---------------|-----------|
| 20/09/1973 | <i>Ocotepeque (este evento es probablemente equivocado. W.S.)</i>  | 2,800   | -             | -         |
| 25/08/1995 | <i>Vecindario Flor del campo, en las afueras de Tegucigalpa. Se registró un deslizamiento de tierra que arrasó con 30 casas y dejó un saldo de 2 muertos.</i>  | 2       | -             | 10,000    |
| 22/06/2009 | <i>Las lluvias que se registraron en el sur, occidente y centro del país obedecieron a los efectos de la tormenta tropical "Andrés". Dejando un saldo de dos mujeres muertas y otra más desaparecida. Además de múltiples deslizamientos de tierra y rocas entre Tegucigalpa y la ciudad de Comayagua.</i> | 2       | 1             | -         |

---

### 3. Eventos históricos importantes, según CAPRA (2009)

*La información existente sobre particularidades de los eventos de deslizamiento en territorio hondureño es limitada. En el portal de internet de International Emergency Events Database (EM DAT) se tiene registro de un evento en todo el siglo XX. Además de esto se presenta información sobre dos deslizamientos ocurridos en los últimos años. Dicha información fue tomada de portales noticias.*

*Deslizamiento de 1973 El evento se presentó el 20 de Septiembre de 1973 en Ocotepeque dejando un saldo de **2,800** personas fallecidas. No se tiene registro de personas damnificadas ni de pérdida económica por daños materiales.*

(Nota: Esta evento es probablemente un error. En la web no se pudo verificar un desastre en Ocotepeque o Honduras en esta fecha. W.S.)

*Deslizamiento de 1995 El evento se presentó el 25 de Agosto de 1995 en el vecindario de la Flor del Campo, en las afueras de [Tegucigalpa](#). Se produjo debido a las fuertes lluvias que provocaron la caída de grandes piedras y volúmenes de tierra considerables. El evento dejó un saldo de 30 viviendas destruidas y 2 personas fallecidas.*

*Deslizamientos de 1998 Uno de los deslizamientos se produjo en el barrio Mira-mesi, junto al [Rio Choluteca](#). El evento fue ocasionado por el [Huracán Mitch](#). Se originó como un deslizamiento de escombros relativamente pequeño en depósitos de terraplén más antiguos, junto al [Rio Choluteca](#). El deslizamiento destruyó varias viviendas por efecto del hundimiento a causa del socavado erosivo del río en el terraplén.*

*También desencadenado por el [Huracán Mitch](#) fue un deslizamiento en el cerro Berrinche, en la capital Tegucigalpa, el cual soterró las colonias situadas en sus laderas. El evento destruyó una porción del centro de la ciudad conocida como Colonia Soto y represó al [Rio Choluteca](#), creando así una laguna de aguas residuales corriente arriba de la presa formada por el deslizamiento de tierra. También destruyó partes de las cercanas colonias Catorce de Febrero y El Porvenir.*

*El tercer evento de relevancia durante el paso del [huracán Mitch](#) fue ocasionado por el Río Guacerique al socavar y erosionar la pendiente. El evento destruyó más de 20 viviendas asentadas en la cima de las pronunciadas pendientes del margen del río.*

*Deslizamiento de 2009 El evento se presentó el 22 de Junio de 2009 entre [Tegucigalpa](#) y [Comayagua](#). Se produjo debido a las fuertes lluvias que obedecieron a los efectos de la tormenta tropical “Andrés”. El evento dejó un saldo de 2 personas fallecidas y una persona desaparecida.*

#### 4. Desastre del deslizamiento en Ocotepeque, 1934

Este fue el mayor desastre por deslizamientos en Honduras y uno de los mayores desastres naturales en Honduras. El mismo evento meteorológico causó la destrucción de Tepetitán, El Salvador, 1934. El siguiente material se tomó de una presentación Powerpoint (autor desconocido), facilitado por Eliseo Silva (COPECO).

*“Ocotepeque fue fundada por los españoles en el año de 1,530, por muchos años estuvo bajo el curato de Santa Rosa de Copan. Su nombre significa cerro de los ocotes, por estar situada en una región cubierta de pinos. Su mayor actividad económica era el comercio y la agricultura. La ciudad era considerada una de las ciudades más atractivas en vías de desarrollo de la zona occidental del país, contaba con los servicios de agua potable y energía producida por una estación hidroeléctrica, uno de sus mayores atractivos era y sigue siendo la iglesia católica construida por los españoles. Antes del desastre Antigua Ocotepeque contaba con aproximadamente 4,300 habitantes.*

*El siete de Junio de 1934 a las seis de la mañana, Antigua Ocotepeque sufrió el daño más grande y nunca espero por sus pobladores. El fenómeno fue considerado como una avalancha de piedra, lodo y agua, provocada por la creación de una represa natural en lo alto del Río Márchala. La fuerza de este deslave dejó aproximadamente como resultado 486 muertos.”*



**Foto 1. Destrucción de Ocotepeque, 1934**



**Foto 2. Destrucción de Ocotepique, 1934**



**Foto 3. Destrucción de Ocotepique, 1934**

## 5. Deslizamientos provocados por el Huracán Mitch, 1998

Una parte de los miles de deslizamientos desencadenados por el Huracán Mitch (1998) fue mapeado por especialistas del USGS con fotos aéreas e imágenes de satélite (ver más abajo).

Lo siguiente se tomó de Harp et al. (2002a):

*“La intensa precipitación pluvial provocada por el paso del huracán Mitch del 27 al 31 de octubre de 1998 en algunas partes de Honduras llegó a rebasar los 900 mm y provocó más de **500,000 deslizamientos** de tierra en todo el país. Con base en cálculos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU., se estima que los deslizamientos de tierra dañaron un 70% de la red carretera de Honduras. No se sabe con precisión el número de muertes ocasionadas por los deslizamientos de tierra debido a que en muchas de las poblaciones hondureñas no se registró el número de habitantes desaparecidos como consecuencia de los deslizamientos de tierra. Un cálculo conservador estima este número en 1,000.*

*Más del 95% de los deslizamientos de tierra consistieron en flujos de escombros. Los espesores de éstos oscilaron entre 1 y 15 m; la longitud del recorrido de los flujos fue desde varios metros hasta 7.5 km. La concentración más elevada de flujos de escombros ocurrió en las montañas cercanas al pueblo de Choluteca, en donde se registró una precipitación pluvial de más de 900 mm en tres días.*

*Si bien se produjeron pocos deslizamientos de tierra distintos a los flujos de escombros, varios deslizamientos de tierra profundos que ocurrieron en la ciudad de Tegucigalpa afectaron gravemente a pobladores y propiedades de esta ciudad. El hundimiento de rotación / flujo de tierra de **"El Berrinche"**, con un volumen aproximado de seis millones de metros cúbicos, destruyó totalmente al barrio de Colonia Soto, cerca del centro de la ciudad. El deslizamiento de tierra provocó el represamiento del Río Choluteca, presa que dio lugar a la formación de un lago; éste representó un grave problema para la salud para la ciudad, debido a la descarga de aguas residuales sin tratar en el Río Choluteca.*

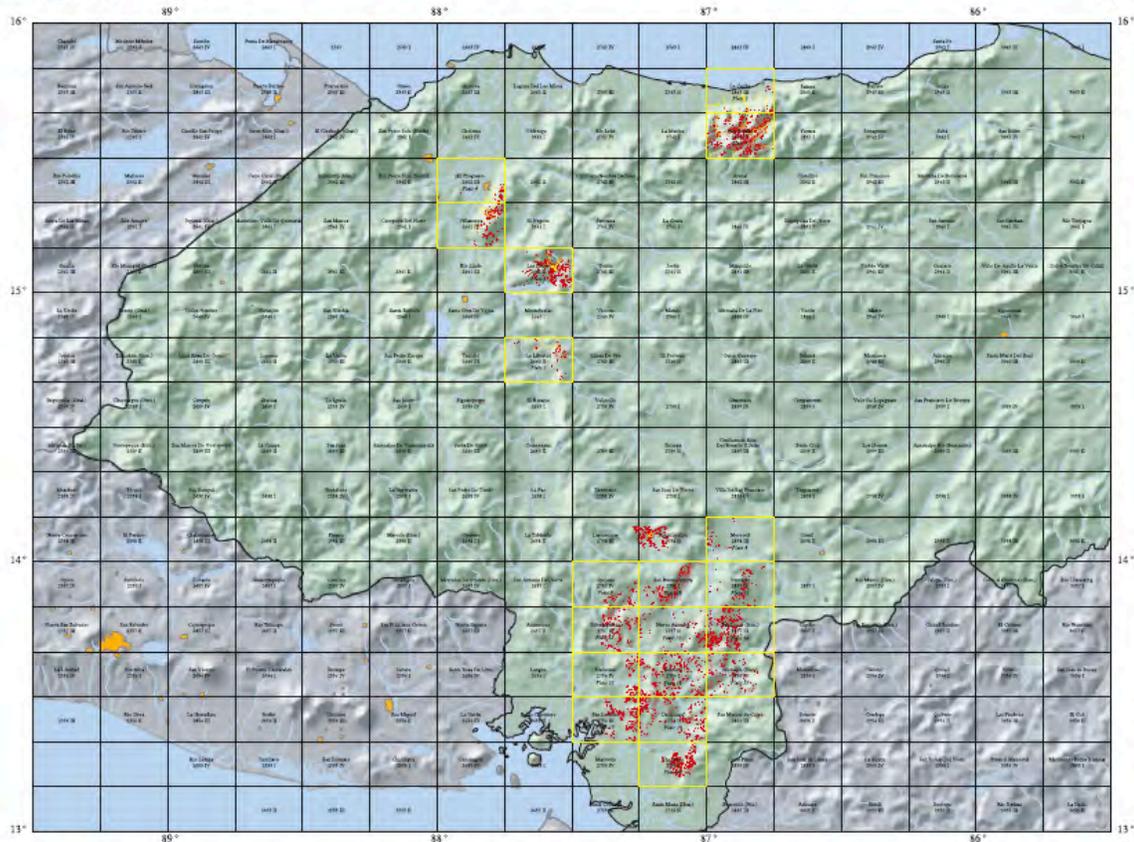
*Por otra parte, diversas áreas con una elevada concentración de deslizamientos de tierra han contribuido a agravar el problema de las inundaciones. Después del paso del huracán Mitch, la afluencia de grandes volúmenes de sedimentos provenientes de áreas de fuentes de deslizamientos de tierra cerca de La Ceiba, La Libertad, Marale y en varios ramales de la represa de El Cajón han contribuido a reducir prácticamente a cero la capacidad de contención del lecho del río y a exacerbar las condiciones para causar inundaciones, incluso durante las estaciones con precipitación pluvial moderada.*

*El riesgo permanente que representan para las comunidades los deslizamientos de tierra producidos durante el paso del huracán Mitch se están analizando tomando como base las fotografías aéreas de la Fuerza Aérea de los EE.UU. y complementándolas con fotografías de contratistas locales. Utilizando modelos de elevación digitales obtenidos a partir de mapas topográficos con escala de 1:50,000 y de mapas geológicos, se obtendrán mapas de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra. Dichos mapas servirán para la planificación del uso de la tierra y reubicaciones.”*

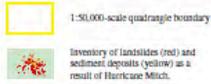


U.S. Department of the Interior  
U.S. Geological Survey

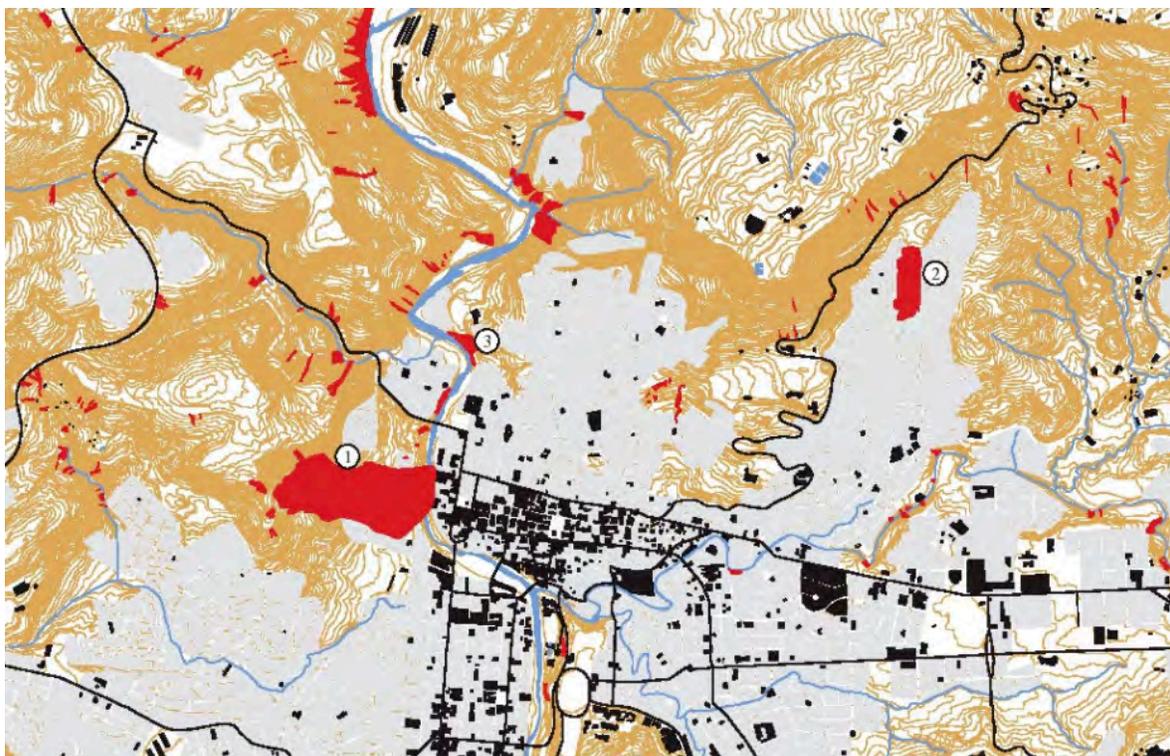
OPEN-FILE REPORT 02-61  
Plate 1 of 20  
Hoja 1 de 20



Landslide Inventory Index Map of Honduras



**Mapa 1. Deslizamientos mapeados después del Huracán Mitch**  
Tomado de Harp et al (2002a)



**Mapa 2. Deslizamientos en Tegucigalpa provocados por el Huracán Mitch**  
(fuente: Harp et al (2002) 1= El Berrinche 2 — El Reparto, 3 = Barrio Mira Mesí,

## 6. Deslizamientos de 2008

Lluvias muy fuertes sobre áreas extensas del país relacionadas una onda tropical desencadenaron o reactivaron deslizamientos en los lugares detallados en la tabla siguiente. Los eventos afectaron a muchas personas. Algunos de estos deslizamientos fueron de grandes dimensiones, como el pequeño pueblo Subtal que fue completamente destruido. En otros pueblos numerosas casas fueron destruidas. Afortunadamente, no hubo víctimas humanas por los deslizamientos, en algunos casos los pobladores se salvaron auto evacuándose poco antes de la ocurrencia del deslizamiento. El gobierno de Honduras pidió ayuda internacional para la evaluación de la situación. Grupos de científicos de Alemania (Proyecto Georiesgos, BGR), Suiza (COSUDE) y de la UNESCO/Suecia realizaron visitas al campo juntos con geólogos nacionales y elaboraron recomendaciones a COPECO. Ver Kuhn, Strauch & Silva (2008).

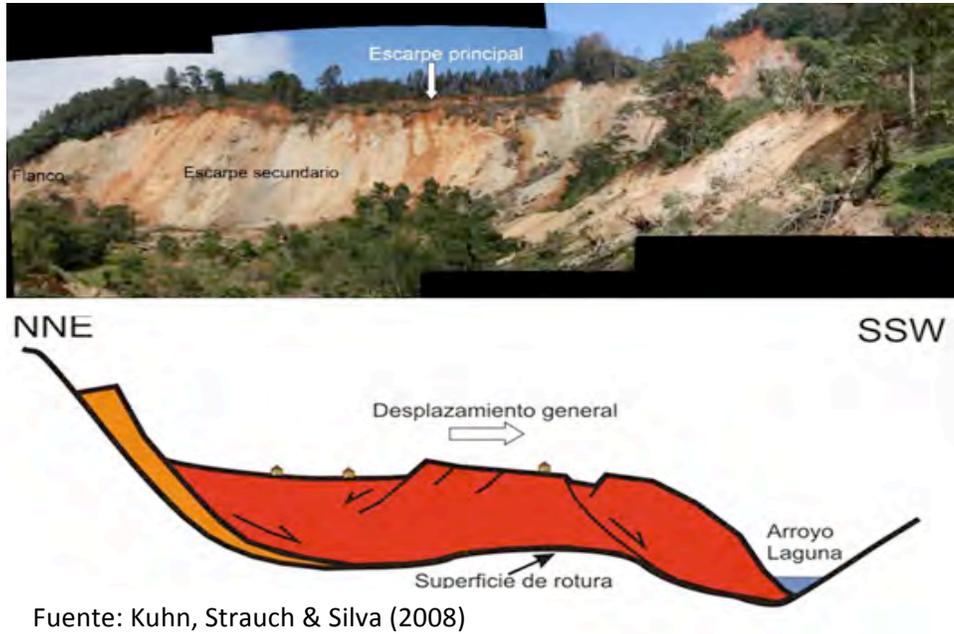
**Tabla 3. Deslizamientos activos en Honduras en octubre de 2008**

| Nombre      | Municipio  | Departamento      |
|-------------|------------|-------------------|
| El Derrumbe | Marale     | Francisco Morazán |
| Gracias     | Gracias    | Lempira           |
| Marale      | Marales    | Francisco Morazan |
| El Ichozal  | Corquin    | Copan             |
| Santa Rita  | Santa Rita | Copan             |

|                                |                         |            |
|--------------------------------|-------------------------|------------|
| <b>El_Suptal, Subtal Belén</b> | Corquin                 | Ocotepeque |
| <b>Lepaera</b>                 | Lepaera                 | Lempira    |
| <b>San_Rafael</b>              | Ajuterique              | Comayagua  |
| <b>San_Manuel</b>              | San_Manuel de Colohete  | Lempira    |
| <b>Goascorancito</b>           | Caridad                 | Valle      |
| <b>Matapalo</b>                | Meambar                 | Comayagua  |
| <b>El_Cajon</b>                | Santa_Cruz de Yojoa     | Cortes     |
| <b>Morocopay</b>               | Nacaome                 | Valle      |
| <b>La_Union</b>                | Catacamas               | Olancho    |
| <b>La_Avispa</b>               | San_Francisco de la Paz | Olancho    |
| <b>La_Jagua</b>                | Catacamas               | Olancho    |
| <b>El_Naranja</b>              | Catacamas               | Olancho    |
| <b>Belen_Gualcho</b>           | Belen_Gualcho           | Ocotepeque |
| <b>Las_Tres_Marias</b>         | Yoro                    | Yoro       |
| <b>Altos_del_Granzal</b>       | San_Marcos              | Ocotepeque |



**Foto 1. Deslizamiento de Subtal, Corquín, Octubre de 2008**  
La población se salvó por auto-evacuación.



Fuente: Kuhn, Strauch & Silva (2008)

**Figura 1. Mecanismo del deslizamiento en Subtal, Corquín, 2008**

El río fue apresado, la represa natural se destruyó y se originó una ola de agua. Los pobladores río abajo recibieron, a tiempo, alertas por las autoridades locales y centrales (COPECO)



**Tabla 2. Fenómenos naturales que provocaron deslizamientos in Nicaragua, 1570 y 1826-1988**

| Fecha         | Causa   | Fuente                           | Área afectada   | Tipo   | Referencia   |
|---------------|---|----------------------------------|---|--|--|
| 1570          | Terremoto – lluvia  | INETER                           | Mombacho, flanco Sur  | Debris avalanche   | Morales 1999a; INETER 2001;  |
| 1826/11       | Terremoto   | Dévoli et al. (2007)             | Masaya  | L  | Dévoli et al. (2007)   |
| 1849/10/27    | Terremoto   | International journal            | No especificada   | Slumps y L   | Bommer y Rodríguez 2002  |
| 1858/5/11     | Terremoto (relacionado con erupción del Volcán Masaya) eruption?) | International journal            | Las Lomas (Masaya–Granada)  | L  | Bommer y Rodríguez 2002  |
| 1876/10/4     | Tormenta  | Book                             | Managua (Aluvión!), León, Rivas, Granada  | Inundación,  | Halftermeyer Incer et al. 1999   |
| 1883/2-5      | Actividad volcánica (Concepción )                                 | INETER, international journal    | Volcán Concepción   | Gas, explosions, lava flows, L                                 | Crawford 1902; Ferrey y Williams 1971; INETER 2005                                       |
| 1885/10/11    | Terremoto   | INETER, international journal    | León, Managua, Sierras de Managua (L,c), Chinyega. Rivas, Granada, Masaya, Nandaimé, Jinotepe, Diriamba, San Juan del Sur, Potosí, San Jorge, Juigalpa, La Libertad, Tipitapa, Corinto, Acoyapa, Dario, Matagalpa, Isla de Ometepe, Puerto Momotombo, El Viejo, Masatepe, Boaco, Cosiguina (L)                      | L  | Crawford 1902; Morales 1999a; Morales y Strauch 1999; INETER 2001                        |
| 1898/4/29     | Terremoto   | INETER, international journal    | Leon, Managua, Chinyega. Granada, Rivas, Momotombo (L)  | L (inside of the crater)                                       | Crawford 1902; Morales 1999a; Morales y Strauch 1999; INETER 2001                        |
| 1914/10-11    | Actividad volcánica (Cerro)                                       | INETER                           | León (AF)   | Ash, flujo de lodo, rumbles                                    | INETER 2005  |
| 1919/6/29     | Terremoto/Tsunami   | INETER; international Journal    | Cosiguina (L), Pacific Ocean, Corinto, Leon, Managua, El Crucero, Chichigalpa, Telica, La Paz Centro, Masaya, Granada, San Juan del Sur, Tecolostote, Matagalpa, Jino-tega, Jinotepe, San Marcos, Las Segovias, Ocotál. El Salvador, Honduras   | (Subs y L, Subs, c Tsu)  | Morales y Strauch 1999; INETER 2001; Fernyez et al. 2000                                 |
| 1921/12       | Actividad volcánica (Concepción)                                  | INETER                           | Concepción  | Terremotos, tephra fall (bombas), flujo de lava, flujo de lodo | Morales 1999b; Morales 1999c; INETER 2005  |
| 1924/10/16-18 | Tormenta  | Dévoli et al. (2007)             | Sierras de Managua, Apoyo   | Inundación, L  | Dévoli et al. (2007)   |
| 1926/11/5     | Terremoto/ Tsunami  | INETER, international Journal    | Leon, Managua, El Crucero (L), Sierras de Managua (L), Ticuantepe (L), Nagarote, Masatepe. Granada, Jinotega, Masaya, Rivas, Matagalpa, Chontales, Estelí, San Juan del Sur, San Marcos, Diriamba, Belen, Nyaimé, San Rafael del Sur, El Sauce, Ocotál, Corinto. Panama, Centroamerica, California, y South America | L, Tsu?  | Morales y Strauch 1999; Fernyez et al. 2000; INETER 2001                                 |
| 1927          | Terremoto   | Dévoli et al. (2007)             | Masaya  | L (dentro del ráter)   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1931/3/31     | Terremoto   | INETER, OFDA/CRED, international | Managua, Sierras de Managua (L)   | L  | Morales 1999a; Morales y Strauch 1999; INETER 2001; Bommer y Rodríguez 2002; EM-DAT 2005 |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|               |                                  |                               |  |  |   |
|---------------|----------------------------------|-------------------------------|--|--|---|
|               |                                  | journal                       |  |  |   |
| 1932/4        | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | Casita   | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1937/6        | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | Asososca, Casa Colorada  | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1938/5/11     | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | Managua  | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1942/6/11     | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua, Sabana Grye   | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1943/10/23-24 | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Sierras de Managua, Catarina   | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1947/6/14     | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua, Sabana Grye   | Inundación; flujo de lodos                 | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1948/8/15     | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | Masaya   | L (inside of the crater)                   | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1951/1        | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | Cerro Negro  | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1951/8/2-3    | Terremoto                        | INETER, international journal | Cosiguina (Potosi)   | Mud or debris flow, Tsu                    | Morales 1999a; INETER 2001; Bommer y Rodríguez 2002 |
| 1951/9/27-28  | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua  | Inundación, flujo de lodos                 | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1952/10       | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | South of Nicaragua   | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1953/1/12     | Actividad volcánica (Masaya)     | INETER                        | Masaya   | Rumbles, terremotos, rock falls            | Morales 1999c; INETER 2005                          |
| 1953/1/1      | Terremoto                        | INETER                        | Somoto, Ocotol   | L y c                                      | Morales y Strauch 1999; INETER                      |
| 1953/9/9      | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua, León, Nagarote  | Inundación, flujo de lodos                 | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1954/10/22-31 | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua, Granada   | Inundación, flujo de lodos                 | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1954/2        | Terremoto                        | Dévoli et al. (2007)          | Apoyo  | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1955/4/4      | Terremoto                        | INETER, international journal | Casita (L), San Cristobal  | L, c                                       | Kerle 2001  |
| 1955/8/12     | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Chinyega, Casita, Cosmapa, León                                      | Inundación, flujo de lodos, debris flows,  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1955/8/25     | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Catarina   | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1955/9/9-16   | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Siuna  | L  | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1955/9/19     | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua, Sabana Grye   | Inundación, flujo de lodos                 | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1956/10/14    | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua, Tipitapa, Ciudad Dario, León, Chinyega, Matagalpa, Jinotega | Inundación, flujo de                       | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1956/10/21    | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Chichigalpa, Posoltega   | Inundación, flujo de                       | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1956/9/8      | Tormenta                         | Dévoli et al. (2007)          | Managua  | Inundación, flujo de lodos                 | Dévoli et al. (2007)                                |
| 1957/3-7      | Actividad volcánica (Concepción) | INETER, international journal | Rivas (AF)   | Tephra column, tephra y AF, rumbles, lodos | INETER 2005; Borgia y van Wyk de Vries 2003         |
| 1958/11/14    | Terremoto                        | INETER                        | Mateare, Managua, Motastepe  | L  | Morales 1999a; INETER 2001                          |
| 1959          | L                                | INETER                        | Masaya   |  | Morales 1999c                                       |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|               |                              |   |  |   |  |
|---------------|------------------------------|---|--|---|--|
| 1960/10/28-30 | Tormenta/<br>Inundación      | INETER,<br>OFDA/CRED  | El Chonco, Chinyega, Cosmapa, Masaya, Nyaime, Mateare, Managua, Matagalpa, San Juan del Sur, Leon, Granada, Chontales, Somoto, Ocotal, Telpaneca, Rivas, El Sauce, Somotillo, Jinotega, Bluefields, San Marcos, Minas El Limon, Malpaisillo, Posoltega, Chichigalpa, Esteli, Mina La India | Inundación,<br>flujo de lodos,<br>debris flows,<br>L    | INETER 2005; EM-DAT 2005   |
| 1961/8/14     | Terremoto                    | Dévoli et al. (2007)  | Siuna, Bonanza, Saslaya  | L   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1964/10/12-16 | Tropical Tormenta (Isabelle) | INETER  | Managua  | Inundación,<br>flujo de lodo                            | INETER 2001  |
| 1965/11/20-26 | Actividad volcánica (Masaya) | INETER  | Masaya, Laguna de Masaya   | Terremotos,<br>explosions, y<br>L (remarkable activity) | INETER 2005  |
| 1968/1/4      | Terremoto                    | INETER,<br>OFDA/<br>CRED,<br>SINAPRED,                        | Managua (Colonia Centroamerica), Cuesta del Plomo, Sierras de Managua (L), Granada, Masaya   | Slumps y L  | Morales 1999a; Morales y Strauch 1999; Bommer y Rodríguez 2002; EM-DAT 2005; Base de Datos Históricos sobre Desastres en Nicaragua 2005              |
| 1968/9/17-24  | Hurricane                    | INETER  | Matagalpa, Cerro La Castilla   | L   | INETER 2001  |
| 1969/3        | Terremoto                    | Dévoli et al. (2007)  | Cosiguina  | L   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1970/9/9      | Tropical depression          | INETER  | Managua, Matagalpa, Jinotega   | L   | INETER 2001  |
| 1971/9/18-29  | Hurricane (Irene)            | INETER  | RAAS, Rio San Juan, Chontales, Granada, Nyaime, Managua, Leon,   | Inundación,<br>flujo de lodos                           | INETER 2001  |
| 1972/1/2      | Terremoto                    | Dévoli et al. (2007)  | Los Brasiles, Cuesta del Plomo   | L   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1972/12/23    | Terremoto                    | INETER,<br>OFDA/CRED,<br>CEPRENAC<br>Revistas internacionales | Managua, Tiscapa (L), Asososca (L)   | L   | Morales 1999a; Morales y Strauch 1999; INETER 2001; Bommer y Rodríguez 2002; EM-DAT 2005; Inventario de Desastres en Centro America 1960-1999 (2005) |
| 1973/3/31     | Terremoto                    | Dévoli et al. (2007)  | Managua, Batahola, Asososca  | L   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1973/5/17     | Terremoto                    | Dévoli et al. (2007)  | Bonanza  | L   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1974/3/6      | Terremoto                    | International journal   | León (L)   | L   | Bommer y Rodriguez 2002  |
| 1974/3/5      | Terremoto                    | Dévoli et al. (2007)  | Masatepe, La Concepcion  | L   | Dévoli et al. (2007)   |
| 1974/9/19-30  | Hurricane (FiFi)             | INETER  | Matagalpa, Jinotega, Esteli, Ciudad Dario (Las Inundación, Calabazas), Chinyega, Corinto, Leon, La Paz Centro, Esteli, Nagarote, Carazo, Masaya, Granada, Rivas, Teustepe, San Francisco del Carnicero   | L   | INETER 2001  |
| 1979/4        | Tormenta                     | Dévoli et al. (2007)  | Concepción   | Lahars  | Dévoli et al. (2007)   |
| 1982/5/20-24  | Hurricane (Alleta)           | INETER,<br>OFDA/CRED  | Corinto, Managua, Leon, Masaya, Leon, Tipitapa, Las Maderas, Las Byeras, Boaco, Tecolostote, Juigalpa, Chinyega, Granada, Matagalpa, Rivas, Nueva Segovia, Las Calabazas, Cuesta Coyol   |   | INETER 2001;<br>EM-DAT 2005 L  |
| 1986          | L                            | Dévoli et al. (2007)  | Concepción   | —   | Dévoli et al. (2007)   |

*Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO*

|               |                      |                             |  |                             |  |
|---------------|----------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| 1988/10/18-31 | Hurricane (Joan)     | INETER, OFDA/CRED, CEPREDE- | RAAS, Chontales, Granada, Leon, Masaya, Concepción, Tola, Apoyo, Managua | Inundación, flujo de lodos, | INETER 2001; EM-DAT 2005; Inventario de L Desastres en Centro América 1960–1999 2005 |
| 1988/5/6      | Terremoto            | Dévoli et al. (2007)        | Managua, Cuesta Santa Ana, Masachapa                                     | L                           | Dévoli et al. (2007)   |
| 1988/9/8      | Tormenta             | Dévoli et al. (2007)        | Matagalpa  | L                           | Dévoli et al. (2007)   |
| 1988/9/17-18  | Hurricane (Gilberto) | Dévoli et al. (2007)        | Rio Dipilto, Volcán Casita   | L                           | Dévoli et al. (2007)   |

Notas: Datos tomados de Devoli et al., 2007 y Devoli et al., 2007<sup>a</sup>. La tabla indica los eventos que desencadenaron deslizamientos pero no el número de eventos. La clasificación propuesta por Cruden y Varnes (1996) se utilizó para la terminología. El término "deslizamientos" se utiliza cuando, en las fuentes originales, el tipo de deslizamientos no se ha especificado. El término "slumps" desplome, se informó cuyo aparentemente la fuente original parece referirse a deslizamientos rotacionales. En la categoría de los flujos que era posible identificar flujos de lodo y flujos de escombros. Flujo de escombros se utilizó para un flujo de material grueso (cantos rodados y rocas de tamaño). Puede incluir los lahares también. Flujo de lodo se refiere a un flujo con una gran cantidad de material fino (limo y arcilla de tamaño). Cuyo en la misma entrada más de un tipo se registra, significa que los diferentes tipos de deslizamientos de tierra fueron identificados como provocados por el mismo evento. El símbolo "/", señala la combinación de varios fenómenos naturales. El símbolo "-" indica que varios procesos se han indicado como factores desencadenantes AF caída de cenizas, deslizamientos de tierra L, c grietas, hundimientos Subs, Tsu tsunamis, OFDA Oficina de Asistencia para Desastres en el Exterior EE.UU., CRED Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres, SINAPRED Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres, RAAS Regiones Autónoma Atlántico Sur, CEPREDENAC Centro de Coordinación de la Prevención de Desastres Naturales en América Central

## 2. Eventos recientes importantes

**Deslizamientos de 1960** Flujos de lodo en el flanco Norte del Volcán Chonco que causó unas decenas de fatalidades y daños a cultivos y caminos en el Municipio de Chinandega

**Deslizamientos 1996** Un flujo de lodo en el flanco Este del volcán Maderas mató a 6 personas en la comunidad de El Corozal.

### Deslizamientos de 1998



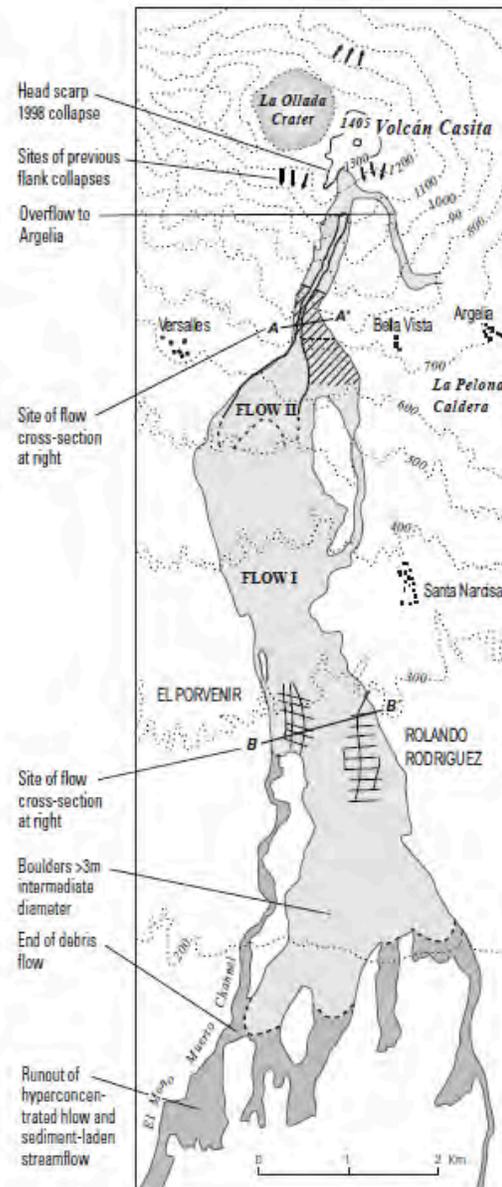
**Deslizamiento en el volcán Casita**

Fuente: INETER

[-http://www.ineter.gob.ni/geofisica/vol/casita/casita.html](http://www.ineter.gob.ni/geofisica/vol/casita/casita.html)

El huracán Mitch afectó ampliamente la franja montañosa del norte de Chinandega. El cauce de los ríos se desplazó, hubo sectores con tendencia a derrumbes con las lluvias y hubo un aumento de caudal en los ríos que cruzaban algunos pueblos. Cerca de mil manzanas de suelo fueron arrastradas al mar; y en los municipios del norte el 60 por ciento de las tierras fueron afectadas por cárcavas y deslaves con impacto devastador. El Volcán Casita fue lugar de un catastrófico deslave causado por el huracán Mitch. El 30 de Octubre de 1998, murieron aproximadamente 2000 personas, es decir casi toda la población de los pueblos El Porvenir y Rolando Rodríguez. (Ver Scott et al (2005), W.S.)

El evento del volcán Casita además dejó a varios cientos de desplazados, destruyó varios poblados, e interrumpió la Carretera Panamericana al destruir varios puentes. Por algunos días hubo incertidumbre sobre el origen de este evento



natural. INETER rápido organizó una evaluación de desastre. Los días 11 y 12 de Noviembre el primer grupo de científicos nacionales e internacionales visitó el volcán para determinar las causas y efectos del desastre. Durante el primer día el grupo examinó el área de la cima del volcán y durante el segundo día atravesó completamente la zona devastada hasta llegar hacia el Sur a la Carretera Panamericana. El 14 de noviembre de 1998, se entregó un primer informe a las autoridades nacionales y se publicó por email en el Volcano-Network, ver Sheridan et al (1999).



**Vista del deslizamiento del volcán Casita**

Fuente: INETER -<http://www.ineter.gob.ni/geofisica/vol/casita/casita.html>

El volcán Casita (1405 m sobre el nivel del mar) se ubica en la Cordillera de los Maribios, una cadena volcánica con 70 km de longitud, que se extiende de la costa Norte del lago de Managua hasta las cercanías de la ciudad de Chinandega. Casita es parte del complejo volcánico San Cristóbal que consiste de 5 edificios volcánicos principales (Hazlett, 1987). San Cristóbal, situado a 4 kilómetros al Oeste-noroeste de Casita, es el volcán más grande de Nicaragua (1745 m sobre el nivel del mar). Este volcán presentó episodios frecuentes de actividad histórica y en la actualidad emite una fumarola vigorosa. Por estas razones San Cristóbal ha sido estudiado en más detalle que Casita.

Durante los primeros dos kilómetros la avalancha principal se encauzó por un valle estrecho. El máximo del flujo tuvo un ancho de 150 a 250 m y una profundidad de 30 a 60 m. Un perfil perpendicular a la dirección del flujo fue estimado entre 7500 y 9000 metros cuadrados. El flujo osciló de un margen del cauce al otro durante su trayectoria. De los efectos de fuerzas centrifugas en la trayectoria del flujo se calcularon velocidades de aproximadamente 15 metros por segundo. El margen de la avalancha es bien definido y rocas lanzadas al aire dejaron rasgos en los árboles adyacentes. Algunos árboles fueron cortados en alturas de varios metros.

En una distancia de entre 2 y 3 km de la fuente, grandes rampas del material de la avalancha formaron colinas donde existía un cambio prominente de la pendiente. Aquí los depósitos tuvieron un espesor de 4 a 6 m, todavía sin matriz. Los materiales de la avalancha tuvieron soporte esencial por clastos. La avalancha escarpó suelo arcilloso y bloques de lava, de las paredes y del fondo del valle por el cual se deslizó, hasta en profundidades de 10 m.

**Deslizamientos de 2004** En junio del 2004, cientos de deslizamientos de tierra en el Cerro Musún (Masizo montañoso en el Centro de Nicaragua, W.S.) mataron más de 30 personas. Este fue un

*desastre provocado por ondas tropicales que afectaron al país. 990 personas resultaron damnificadas en las comunidades La Isla, Palam Grande, Caño Negro y Mansera, en el municipio de Río Blanco, Matagalpa.*

**Deslizamientos de 2007** *En Septiembre de 2007 el huracán Félix causó en territorio Nicaragüense varios deslizamientos a causa de las fuertes lluvias. (Nota W. Strauch: Las afectaciones del Huracán Félix ocurrieron por los vientos huracanados y las inundaciones en la zona del Atlántico de Nicaragua que es no es montañosa. No se reportaron deslizamientos de importancia porque no hubo lluvias muy copiosas en las zonas montañosas de Nicaragua, ver Gutiérrez et al. (2009)*

Agregado W.Strauch:

**Deslizamientos de 2011** *En noviembre de 2011 ocurrieron fuertes lluvias en que causaron correntadas, inundaciones y múltiples deslizamientos en la zona de Managua, El Crucero, Masaya, Chinandega. Hubo decenas de muertos en Nicaragua por inundaciones y deslizamientos menores.*

## Anexo 3e. Ocurrencia de deslizamientos en Costa Rica

### 1. Datos generales

Datos sobre deslizamientos en Centroamérica y evaluaciones estadísticas se encuentran en la página del proyecto CAPRA [http://www.ecapra.org/capra\\_wiki/es\\_wiki/](http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/), con excepción de Panamá. Pero esta base contiene pocos eventos. Una base más completa se encuentra en la página de Desinventar <http://www.desinventar.org/> (pero no incluye Nicaragua). De la base Desinventar, y publicaciones sobre Costa Rica se elaboró la siguiente tabla sobre la ocurrencia y afectación de deslizamientos en el país:

| <b>Tabla 1 Número de Deslizamientos registrados en Centroamérica</b> |               |                          |                              |                           |                             |                |
|--|---------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| <b>País</b>  | <b>Fuente</b> | <b>Período de tiempo</b> | <b># Eventos Desinventar</b> | <b># Eventos H. Mitch</b> | <b>Viviendas destruidas</b> | <b>Muertos</b> |
| <b>Costa Rica</b>  | CNE           | 1970-2010                | 2,083                        | no afectó                 | 197                         | 307            |

En Costa Rica hay varios grupos científicos que trabajan sobre el tema de los deslizamientos, se menciona específicamente la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica y la Universidad Nacional.

**Tabla 2. Muertos, desaparecidos, heridos y afectados por los deslizamientos en Costa Rica**

| <i>Fecha</i> | <i>Descripción Ubicación</i>                             | <i>Muertos</i> | <i>Desaparecidos</i> | <i>Heridos</i> | <i>Afectados</i> |
|--------------|--|----------------|----------------------|----------------|------------------|
| 30/12/1888   | Fraijanes  | 5              | -                    | -              | -                |
| 30/12/1952   | Patillos   | 21             | -                    | -              | -                |
| 00/12/1952   | Falda NW del Volcán. Irazú                               | 21             | -                    | -              | -                |
| 00/00/1955   | Toro Amarillo  | 7              | -                    | -              | -                |
| 00/09/1988   | Vertientes del Pacífico y el Caribe                      | 14             | -                    | -              | -                |
| 00/10/1988   | Todo el país   | 32             | -                    | -              | -                |
| 00/11/1989   | Vertiente del Caribe                                     | 5              | -                    | -              | -                |
| 00/08/1991   | Vertiente del Caribe, Turrialba                          | 4              | -                    | -              | -                |
| 00/07/1993   | Pejibaye, Turrialba                                      | 1              | -                    | -              | -                |
| 00/10/1993   | Arancibia, Santa Ana                                     | 6              | -                    | -              | -                |
| 27/10/1989   | Alajuela, Itiquís  | 2              | -                    | 2              | -                |
| 30/10/1993   | Puntarenas, Miramar, Lagunas de Arancibia, Montes de Oro | 6              | -                    | -              | -                |
| 08/12/1993   | Turrialba, Barrio Campabadal                             | 4              | -                    | -              | -                |
| 00/08/2002   | Orosí de Cartago   | 7              | -                    | -              | -                |
| 08/09/1988   |  |                |                      |                |                  |
| 30/10/1993   | Distrito: Cantón Central de Puntarenas.                  | 10             | 4                    | -              | 100              |
| 27/06/2000   | Deslizamiento: Pitahaya.                                 |                |                      |                |                  |
| 11/07/2000   |  |                |                      |                |                  |

## **2. Eventos históricos y recientes importantes**

---

**Deslizamiento de 1822** El 7 de Mayo de 1822 un sismo con magnitud 7.5 causó daños en el Valle Central y en Matina . Debido a este evento se produjo un deslizamiento con un área de afectación de 13500 m<sup>2</sup>.

**Deslizamiento de 1952** El 30 de Diciembre de ese año se presentaron numerosos deslizamientos generados por un sismo con magnitud 5,5 en la falda noroeste del volcán Irazú. Afectó la zona de patillos, dejando 21 personas muertas y varias fincas ganaderas afectadas.

**Terremoto de Patillos, del 30 de diciembre de 1952 (5,9 Ms)** El terremoto de Patillos, del 30 de diciembre de 1952 fue uno de los terremotos más destructivos que ocurrió durante la crisis sísmica que afectó en la región central de Costa Rica, entre los años 1951 y 1955. El sismo tuvo una magnitud de 5,9 (Ms) y 5,2 (ML) y una profundidad de 14 km. El sismo tuvo un trágico saldo de 21 muertos y se caracterizó por disparar grandes deslizamientos en la zona epicentral, ubicada en la falda WNW del volcán Irazú (Montero y Alvarado, 1995), Linkimer (2003).

**Lahares después de la erupción del Volcán Irazú, 1963.** Lo siguiente se tomó de Neall (1976), traducción W. Strauch: “Tras una serie de erupciones de ceniza del volcán Irazú en Costa Rica, que comenzaron en marzo de 1963, la zona de la cumbre fue enterrada por la ceniza. El entierro de la cubierta vegetal condujo a un mayor escurrimiento, pero adicionalmente. Se formó una delgada costra impermeable duro, que cubrió la parte superior de las cenizas depositadas. Esto llevó a tasas de escurrimiento muy altas, a veces 95-100% del la precipitación, y en los cauces la corriente penetró profundamente en la suave ceniza suelta. Esto llevó a una serie de flujos de lodo en la cuenca del Río Reventado que drena hacia el sur-oeste de Irazú y puso en peligro la ciudad de Cartago. Los flujos de detritos más desastrosos se produjeron el 9 de diciembre de 1963, cuando una violenta tormenta provocó un flujo masivo que transportó a unos 407 m<sup>3</sup>/seg, y llegando en algunos lugares a alturas de más de 12 m. Extendiéndose a un abanico aluvial, el lahar devastó un área de tres kilómetros cuadrados junto a Cartago, matando a 20 personas y la destruyendo 300 casas. El daño fue estimado en más de 3.5 millones de dólares.

Más de 90 flujos de escombros se produjeron durante la temporada de lluvias de 1964, 40 en el Río Reventado. Los flujos de lodo a menudo muy gruesos y pastosos y cerca de sus márgenes finales eran similares hormigón grueso que fluye, pero algunos se hicieron menso espeso y acuoso. Las concentraciones de sedimentos oscilaron entre 20% y casi 80% en peso. Rocas de 2 a 3 metros de diámetro son comunes en todos los flujos, el más grande que se observó siendo transportado pesó por lo menos 200 toneladas (Waldron 1967).”

“Después de que parte de la ciudad de Cartago fuera inundada por el lahar del Río Reventado, en diciembre de 1963, se temió la ocurrencia de otros flujos, por lo que varias medidas de protección se llevaron a cabo. Además de la conservación de suelos destinada a reducir la escorrentía de cuencas hidrográficas en las laderas más altas del volcán, dos grandes diques, con varios kilómetros de largo, se construyeron a lo largo del cauce cerca de Cartago, desde donde los lahares se originaron. Más de 1.5 millones de metros cúbicos de material se utilizaron en la construcción del dique que fue diseñado de acuerdo con en las prácticas comunes de la ingeniería diseñando altura, anchura y pendientes laterales para prevenir la filtración o la subvaloración. Daños por lahares en la zona de Cartago restringieron desde entonces a las carreteras secundarias y puentes (Waldron 1967).”

**Deslizamientos por Huracán Juana (1988)** El huracán Juana generó erosión y deslizamientos en todo el territorio Costarricense. Estos sucesos afectaron sectores como la agricultura, puentes, infraestructura, casas, caminos y ganado. Causó la muerte de 32 personas. Las pérdidas fueron calculadas como el 1.6% del PIB.

**Deslizamientos por Huracán Gilbert (1988)** Debido al paso del huracán Gilbert se presentaron deslizamientos en la vertiente del Pacífico y el Caribe. Hubo múltiples derrumbes y zonas de erosión, afectaciones en agricultura, caminos e infraestructura. Se tuvo información de 14 muertos.

Durante la segunda quincena del mes de setiembre de 1988, se desencadenó una cantidad considerable de deslizamientos superficiales de tierra y de caída de escombros en la cuenca superior del río Aranjuez, debido a las fuertes lluvias provocadas por el paso del huracán Gilbert en el mar Caribe (Mora y Rojas, 1988). Estos deslizamientos afectaron a varias aldeas y algunas familias fueron evacuadas a lugares más seguros, al menos hasta que la emergencia hubiera disminuido. Se escucharon fuertes sonidos al activarse los deslizamientos de tierra y se generó polvo cuando las rocas eran trituradas mientras bajaban por las cuestas.

**Deslizamientos de 1990** En Marzo de 1990 el Terremoto de Cóbano ( $M_s=6.5$ ) causó diversos deslizamientos y licuefacción. Las regiones más afectadas fueron la península de Nicoya, Herradura y Puntarenas, y los daños más importantes ocurrieron para la infraestructura y las viviendas. Daños calculados como el 0.6% del PIB.

En Diciembre de 1990 el terremoto de Piedras Negras ( $M_s=5.9$ ) causó varios deslizamientos debidos a las diversas réplicas que presentó. Las regiones más afectadas fueron Alajuela, Pavas, Puriscal, Guácima y San José; y se tuvieron daños en infraestructura, viviendas y en una planta hidroeléctrica. El costo de los daños fue calculado como el 0.45% del PIB.

**Deslizamientos de 1991** En el mes de Agosto se presentaron varios deslizamientos en la zona de Los Santos, debido a un enjambre sísmico que vivió la región. Se tuvieron afectaciones en viviendas y caminos y los daños fueron calculados como el 0.01% del PIB.

En Abril **el terremoto de Limón** generó una licuefacción muy extensa, deslizamientos diversos, elevación continental y corrientes de lodo. Las regiones más afectadas fueron la vertiente del Caribe, Turrialba, Panamá, Limón y San José. Hubo afectaciones por estos eventos en los sectores de agricultura, ganado, infraestructura, salud, puentes, exportación, muelles, caminos, vivienda, educación y servicios públicos. Pérdidas aproximadas entre 5 a 8.5% del PIB. También, se identificó la elevación del nivel freático, que varió entre 0,5 y 2,0 m, especialmente en Matina y al noreste de Limón. Cerca de 3 000 km<sup>2</sup> fueron afectados por licuefacción de suelos en las tierras bajas del litoral Caribe y un área de 2 000 km<sup>2</sup> (gran parte de la cordillera de Talamanca) fue devastada por deslizamientos.

**Deslizamiento de 1992** Deslizamiento en Alajuela. Afectación de Pital de San Carlos y Río Toro. Evacuación de aproximadamente 3000 personas, de las cuales 2000 fueron alojadas en albergues, debido a la posible formación de avalanchas de lodo. No hubo desbordamiento del río, ni daños.

**Deslizamiento de 1993** Al mediodía del 30 de octubre de 1993 en Las Lagunas de Arancibia, un deslizamiento translacional de 2.9 millones de metros cúbicos se desencadenó y la avalancha de escombros cubrió un área de 17.7 hectáreas. La longitud del deslizamiento de la avalancha fue de 850 metros. Al desprendimiento le antecedió un período de fuertes lluvias; pero cuando el material se derrumbó ya habían pasado 12 horas desde que la lluvia había cesado. La avalancha descendió siguiendo dos trayectorias: una de ellas bajó por el arrollo El Silencio hasta llegar al río Veracruz y la segunda cubrió parcialmente el poblado de Las Lagunas, matando a 6 personas, destruyendo 2 casas, 1 edificio para actividades sociales y la cancha de fútbol. No se obstruyó el río Veracruz, sino que éste transportó material hasta las zonas más bajas de la cuenca.

**Deslizamientos de 2001** En Diciembre de ese año hubo fuertes aguaceros, lo que generó varios deslizamientos. En ciudad Quesada no había paso vehicular por derrumbes en la vía y varios puentes en mal estado. Se presentaron pequeños derrumbes en diversas zonas, como por ejemplo en el camino entre La Fortuna y Nuevo Arenal en el cantón de Tilarán, en Guanacaste.

Los fuertes aguaceros afectaron la zona norte y el Caribe del país y dejaron incomunicadas a decenas de comunidades, obligando a la reubicación de al menos 156 personas e impidiendo la recolección de productos agrícolas. Las fuertes lluvias obligaron a que se cerrara el tránsito de vehículos por la carretera Braulio Carrillo que comunica a San José con Limón. Esto por la caída de piedras en diversos sectores y por los deslizamientos en las cercanías del río Sucio.

La situación más conflictiva se presentó en los cantones de San Carlos, Guatuso, Upala, Los Chiles (norte de Alajuela), Sarapiquí (Heredia) y Siquirres (provincia de Limón). En San Carlos, el agua del río Quebrada Estero abrió una zanja de 12 metros en la carretera que comunicaba a Muelle con las comunidades de San Josecito de Cutris, San Jorge y el Tanque de La Fortuna. Asimismo, debido al desbordamiento de los ríos San Carlos y San Juan, fue necesario evacuar varias familias de Boca San Carlos. El agua subió dos metros y la población tuvo que abandonar el lugar. Otras localidades como Boca Tapada de Pital, San Humberto de Los Chiles y Conchito de Pocosol estaban aisladas, debido a que el agua arrastró varios puentes.

El huracán Michelle generó 1.928 kilómetros en rutas de lastre, cerca de 16 kilómetros de asfalto, puentes y accesos socavados. El reporte de los principales daños se centró en los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Guanacaste.

Carrillo fue el sitio en el cual se reportaron los mayores daños. Hubo 330 afectados en seis albergues. Los perjudicados provenían de Bambú 1, Bambú 2, Corralillo y La Guinea. Hubo problemas para trasladarse a las diferentes comunidades por los daños en los caminos vecinales. En Nandayure persistieron los problemas con deslizamientos en varias localidades, debido a que las aguas destruyeron varios puentes. En la región del Pacífico Sur los fuertes aguaceros provocaron pequeños derrumbes en la carretera Interamericana Sur, en el tramo comprendido entre Palmar Norte y Buenos Aires. En Pérez Zeledón el mayor problema fue un deslizamiento en Zapotal de San Pedro.

**Deslizamientos por Huracán Alma (2002)** Debido al huracán Alma (Océano Pacífico) se generaron condiciones de temporal con cuencas variando a condiciones de desbordamientos en el

*Valle Central, Pacífico Sur, Pacífico Norte, e inclusive en sectores de la vertiente Caribe. Esto generó deslizamientos importantes en esas regiones.*

**Deslizamiento de Orosí (2002)** *Tres días de torrenciales lluvias tropicales a fines de agosto del 2002 hicieron crecer los ríos de Costa Rica hasta un punto explosivo. Los deslizamientos de tierras que afectaron a las comunidades de Orosí de Cartago provocaron al menos 7 muertes, destruyeron 17 casas y dañaron acueductos, líneas telefónicas y tendidos eléctricos. Hubo que evacuar a cientos de personas. La Cruz Roja Costarricense desplegó 120 personas en la operación de búsqueda y salvamento, que se volvió extremadamente peligrosa debido al constante y reiterado deslizamiento de tierras en la zona afectada.*

### **3. Deslizamientos en Santiago de Puriscal**

Una situación muy especial se da en la ciudad de Santiago de Puriscal. Es afectada desde siglos por deslizamientos lentos. Casas y edificios históricos sufren daños.

Santiago de Puriscal es una ciudad de 12.000 habitantes situada a unos 40 km al suroeste de San José, la capital de Costa Rica. La ciudad está ubicada sobre un sector de gran deslizamiento. Este tiene una velocidad de 5-15 centímetros por año en dirección noroeste. Hay evidencias de que el área del sector de deslizamiento aumenta cada año, especialmente en los periodos de lluvia. El deslizamiento y los terremotos han causado daños graves en la ciudad. Muchos edificios han sido dañados por grietas, algunos han debido ser demolidos y otros, como por ejemplo la vieja iglesia, declarados inhabitables por temor a derrumbes, Agnarsson&Dubois (1993).

Se documentan daños desde el año 1877 hasta el presente por reactivación del deslizamiento a través del tiempo. Se han encontrado que los aspectos antropogénicos y los naturales interactúan provocando la reactivación del deslizamiento, Peraldo&Molina (1993). Muchos habitantes de la ciudad de Santiago prefieren seguir reparando constantemente sus viviendas (por el deslizamiento), antes de abandonar su ciudad. Por eso se dice que las grietas y deslizamientos ya son parte de su vida cotidiana ( <http://www.munibarva.go.cr> ) .

#### 4. Deslizamientos del terremoto del 8 de enero de 2009, de Cinchona (Volcán Poás)

Un terremoto de magnitud 6.2 en el volcán Poás desencadenó más de 100 deslizamientos y causó 22 muertos y 300 heridos.

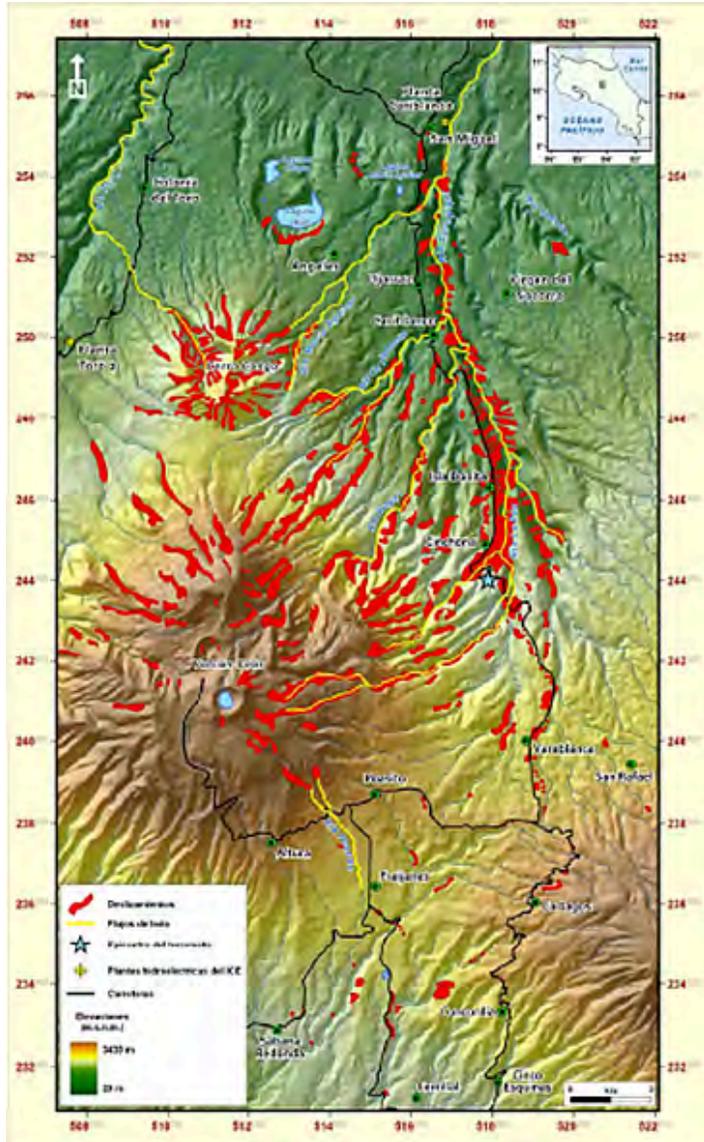


Figura . Ubicación de deslizamientos desencadenados por el terremoto de Cinchona (Volcán Poás)

**Tabla 3. Datos de los efectos principales del terremoto de Cinchona.**

(Fuente: UCR, Red Sismológica Nacional. Informe Terremoto de Cinchona. Abril 2009)

| Lugar  | Efectos   |
|--|---|
| Cinchona e Isla Bonita   | Gran cantidad de deslizamientos, casi 90% de destrucción de infraestructura incluyendo las casas, escuela, iglesia, negocios e industria. Cambios importantes en la topografía y el relieve, 13 muertos, 15 heridos y varios desaparecidos. Muy pocas estructuras quedaron en pie.        |
| Vara Blanca, San Rafael de Vara Blanca, Cariblanco, Ujarraz, Poasito, Volcán-Poás, Colonia Virgen del Socorro      | 70 % de infraestructura destruida, 7 muertos y 10 heridos, varias personas desaparecidas, muchos deslizamientos, gran cantidad de fracturas del terreno, tuberías rotas, caída de postes eléctricos, más de 50 reses muertas y animales heridos. Imposibilitó la conducción de vehículos. |
| Los Cartagos, Fraijanes, San Miguel, La Virgen, Bajos del Toro, Colonia Toro, Sacramento, Carrizal, Sabana Redonda | Deslizamientos de laderas, agrietamiento moderado del suelo, casas de mala construcción colapsadas y averiadas, casas de calidad A y B con fracturas leves, cinco muertos. Sentido en vehículos en circulación. Corrimiento de muebles y caída de algunos. Pánico general.                |
| Alajuela, Heredia, San José, Puerto Viejo, Ciudad Quesada, Zarcero, San Pedro de Poás, Veracruz                    | Sentido por todas las personas en movimiento, caída de repellos y algunos cielorrasos, fracturamiento moderado en las paredes de edificaciones de baja calidad, fracturamiento de algunas vidrieras, dos muertes por infarto, muchas personas asustadas.                                  |
| Guápiles, San José, Atenas, Turrialba, Cartago, Muelle de San Carlos, San Ramón                                    | Sentido por casi todas las personas en movimiento, balanceo fuerte en el agua de las piscinas, caída de objetos.  |
| Puntarenas, Los Santos, Siquirres, San Isidro de Pérez Zeledón, Jacó   | Sentido por muchas personas, vibración de ventanas y personas levemente asustadas.  |
| Nicoya, Dominical, Limón, Los Chiles   | -   |

## Anexo 3f. Ocurrencia de deslizamientos en Panamá

Datos sobre deslizamientos en Centroamérica y evaluaciones estadísticas se encuentran en la página del proyecto CAPRA [http://www.ecapra.org/capra\\_wiki/es\\_wiki/](http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/) desafortunadamente con excepción de Panamá. Pero esta base contiene pocos eventos. Una base más completa se encuentra en la página de Desinventar <http://www.desinventar.org/> (pero no incluye Nicaragua). De esta base se elaboró la siguiente tabla sobre la ocurrencia y afectación de deslizamientos en Panamá:

| Tabla 1 Número de Deslizamientos registrados en Panamá |          |                   |                       |                    |                      |         |
|--|----------|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------|
| País   | Fuente   | Período de tiempo | # Eventos Desinventar | # Eventos H. Mitch | Viviendas destruidas | Muertos |
| Panamá   | SINAPROC | 1990-2009         | 331                   | no afectó          | 41                   | 72      |

En el país no existe una institución científica centralizada que se dedica explícitamente al estudio de deslizamientos, su monitoreo y medidas de alerta temprana. No se encontró un catálogo consensado por científicos o una lista de deslizamientos históricos y recientes en toda Panamá. La Administración del Canal de Panamá tiene una lista de eventos para su zona de responsabilidad. SINAPROC tiene una lista de deslizamientos recientes. Para la zona del Volcán Barú existe una lista de deslizamientos en la oficina local de SINAPROC en Cerro Punta.

*Según las estadísticas de SINAPROC, entre los años 1990 y 2007, ocurrieron 308 deslizamientos en Panamá. El fenómeno de los deslizamientos se asocia a las lluvias prolongadas, pero posee una menor ocurrencia, las provincias con mayor número de deslizamientos han sido Panamá y Colón, con 185 y 31 respectivamente para el período entre 1990 y 2007. Deslizamientos en Panamá pueden ser provocados por terremotos, especialmente en la zona del Occidente del País. Otra zona de deslizamientos es el Volcán Barú.*

**San Miguelito** El distrito de San Miguelito está propenso a sufrir deslizamientos de tierra debido a la manera desordenada como se ha construido este populoso lugar y a la carencia de normas de ordenamiento territorial. En el caso de que en San Miguelito se suscite un terremoto, los resultados pueden ser similares a los que se registraron en El Salvador a inicios del año 2001

**Deslizamiento en Santa Librada, San Miguelito** Santa Librada, es una comunidad urbanizada, que agrupa a pobladores con un nivel socio económico medio-bajo. El pasado 13 de mayo del 2007, se vio afectada por un deslizamiento en el punto de la Quinta etapa.

**Deslizamiento en el Corregimiento Arnulfo Arias, San Miguelito.** La vivienda # F 54 propiedad de la señora Elen Pérez, ubicada en Palma de Oro, La Paz, corregimiento de Arnulfo Arias, distrito de San Miguelito se vio afectada por un deslizamiento el 20 de octubre de 2007.

**Deslizamiento en Monte Oscuro, Distrito de San Miguelito.** El 12 de Noviembre, 2007, el suceso se dio en la vivienda, N° 27B-58, propiedad de la señora Rosa Roa Gutiérrez, ubicada en la calle Altamira, sector de Monte Oscuro, corregimiento de Victoriano Lorenzo, distrito de San Miguelito

**Deslizamientos en Bocas del Toro en 2005.** El 16 de enero de 2005, los pobladores de la provincia de Bocas del Toro quedaron incomunicados, luego de que se registrara un deslizamiento en el punto conocido como Quijada del Diablo, a la altura del kilómetro 50, cerca de la carretera Gualaca- Rambala.

**Deslizamientos en Peñas Blancas, 2006**

En el año 2006 se registraron fuertes precipitaciones sobre el norte de las provincias de Colón y Coclé. Producto de estas lluvias extraordinarias, se registraron múltiples deslizamientos e inundaciones en el área. La mayoría de los deslizamientos registrados, fueron sobre laderas montañosas, donde no existían comunidades o presencia humana significativa. Sin embargo, se registró un deslizamiento considerable en el sector conocido como Peñas Blancas (Figuras 28 a 31).

**Deslizamientos en el Canal de Panamá** (Tomado de RECLAIMM, 2008)

Ver también Anexo 7 del presente trabajo

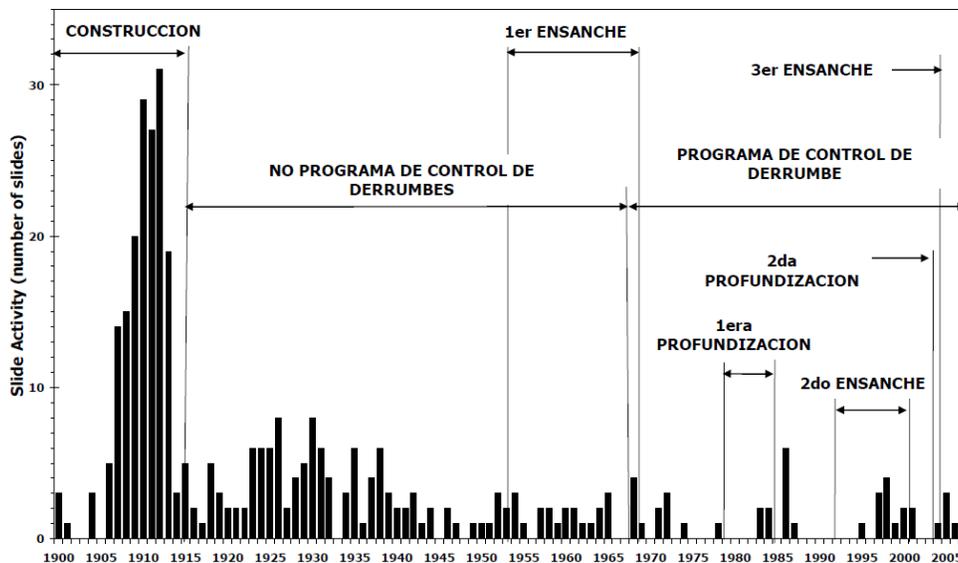


Figura . Ocurrencia de deslizamientos en el Corte Gaillard, Canal de Panamá



**Foto . Derrumbe de Culebra Este y Oeste.**  
El Canal permaneció cerrado por 7 meses.

| <b>Cierres del Canal debido a Derrumbes (Vulnerabilidad)</b> |               |                          |
|--|---------------|--------------------------|
| <b>Deslizamientos</b>  | <b>Fecha</b>  | <b>Tiempo de Cierre</b>  |
| East Culebra   | Oct. 14, 1914 | 6 días                   |
| East Culebra   | Oct. 31, 1914 | 4 días                   |
| East & West Culebra  | Ago. 31, 1915 | 3 días                   |
| East & West Culebra  | Sep. 4, 1915  | 5 días                   |
| East & West Culebra  | Sep. 18, 1915 | 7 meses                  |
| Cucaracha  | Ago. 30, 1916 | 8 días                   |
| East Culebra   | Ene. 10, 1917 | 2 días                   |
| Cucaracha  | Mar. 21, 1920 | 3 días                   |
| East Culebra Extension                                       | Nov. 9, 1931  | 2 días                   |
| 1925 East Culebra  | Oct. 10, 1974 | 3 horas                  |
| Cucaracha  | Oct. 13, 1986 | 12 horas                 |
| North East Culebra   | Jun. 6, 2004  | Afectó solamente una vía |
| East Lirio   | Oct. 25, 2005 | Afectó solamente una vía |

Se observa que la cantidad de incidencias se redujo significativamente después del año 1920 por un sistema riguroso de monitoreo y prevención.

## Anexo 4. Deslizamientos extremos en Centroamérica

En Centroamérica han ocurrido muy grandes deslizamientos, específicamente en la cadena volcánica. El colapso total o parcial de un volcán genera grandes avalanchas de detritos que afectan extensas áreas. Las avalanchas de escombros pueden alcanzar velocidades superiores a 150 km por hora. Estas avalanchas con volúmenes menores al millón de metros cúbicos típicamente solo viajan algunos kilómetros desde su fuente, en cambio, grandes volúmenes de avalanchas de escombros pueden viajar decenas de kilómetros más allá del volcán. Las avalanchas de escombros destruyen todo lo que encuentren a su paso. El depósito resultante varía de 10 m a más de 100 m de espesor en los pisos de los valles. En lo siguiente se presentan mapas de deslizamientos extremos en los volcanes Pacaya (Guatemala), Santa Ana (El Salvador), Mombacho (Nicaragua) y Barú (Panamá). La única forma de prevención para este tipo de evento sería un monitoreo adecuado que detecta señales (agrietamientos, deformaciones en el volcán) de posible colapso y la evacuación de todo el área. Estos eventos son muy raros y ocurren cada 1000 a 2000 años en Centroamérica. Además se mencionan los deslizamientos submarinos que se detectaron en los últimos años con estudios geofísicos y geológicos en el Océano Pacífico de Nicaragua y Costa Rica. Estos movimientos de masas submarinas pueden causar tsunamis.

### 1. Volcán Pacaya, Guatemala

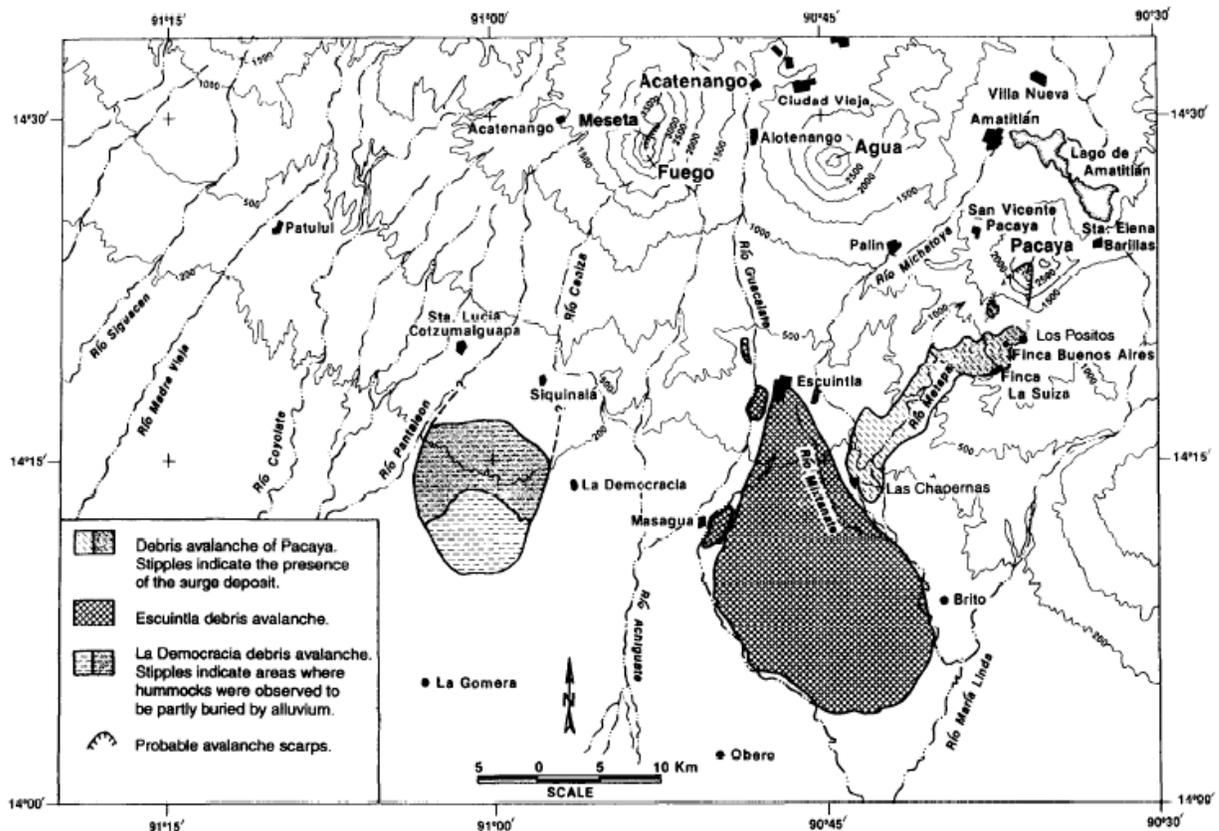


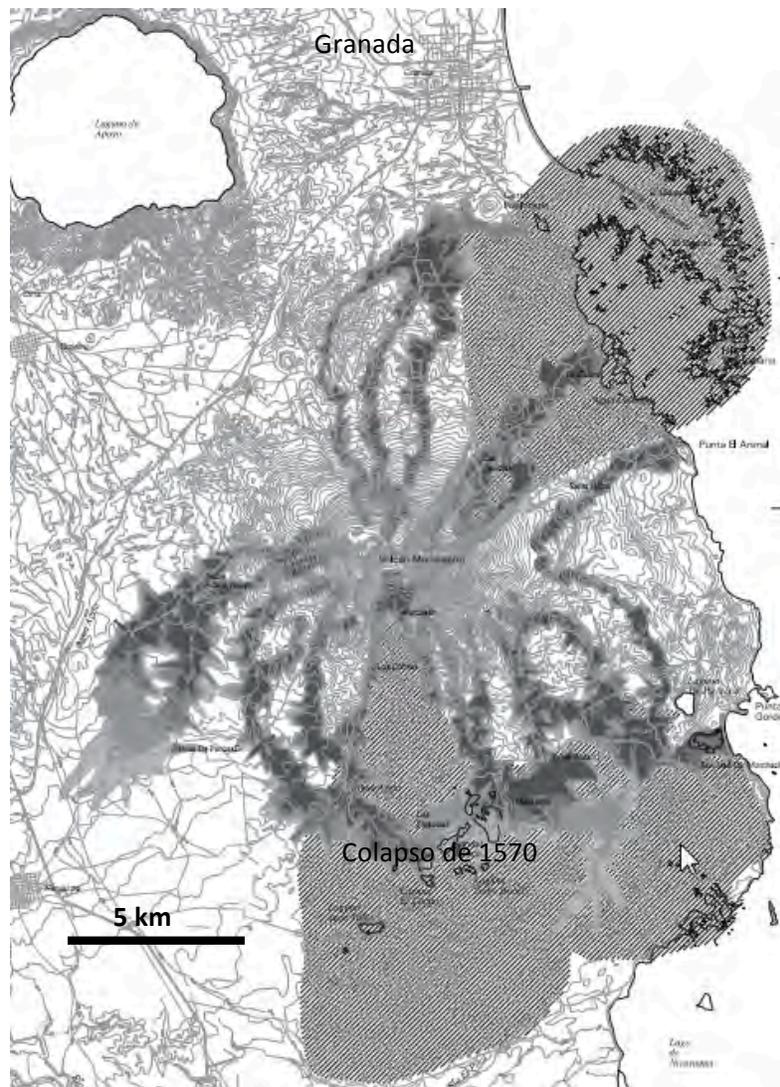
Fig. 3. Map of the central Guatemalan highlands and Pacific coastal plain showing the extent of debris avalanche and laterally directed, pyroclastic surge deposits.

### Figura 1. Flujos y avalanchas del Volcán Pacaya.

Tomado de Vallance et al. 1995



### 3. Volcán Mombacho, Nicaragua



**Figura 3. Colapsos y lahares en el Volcán Mombacho.**

Tomado de Vallance et al (2001)

El colapso al Sur y Sureste del volcán es históricamente documentado. Ocurrió en 1570 y aniquilo un pueblo ubicado al Sur del volcán y mató a todos los 400 habitantes. Entró en el Lago de Nicaragua. Volcán Mombacho en 1570 - Oviedo y Valdéz, (1851), Incer (1970, 1988, 1990), Feldman 1993, Siebert et al 2006, ver también Anexo 4.

No se conoce la fecha del colapso al Noreste del Volcán. Se observa que el deslizamiento se acercó bastante a la zona donde ahora se encuentra la ciudad de Granada, entró en el Lago de Nicaragua y formó una península y muchas islas circundantes, las llamadas “Isletas de Granada”.

Ambos eventos causaron probablemente tsunamis en el Lago de Nicaragua.

### 3. Volcán Barú, Panamá

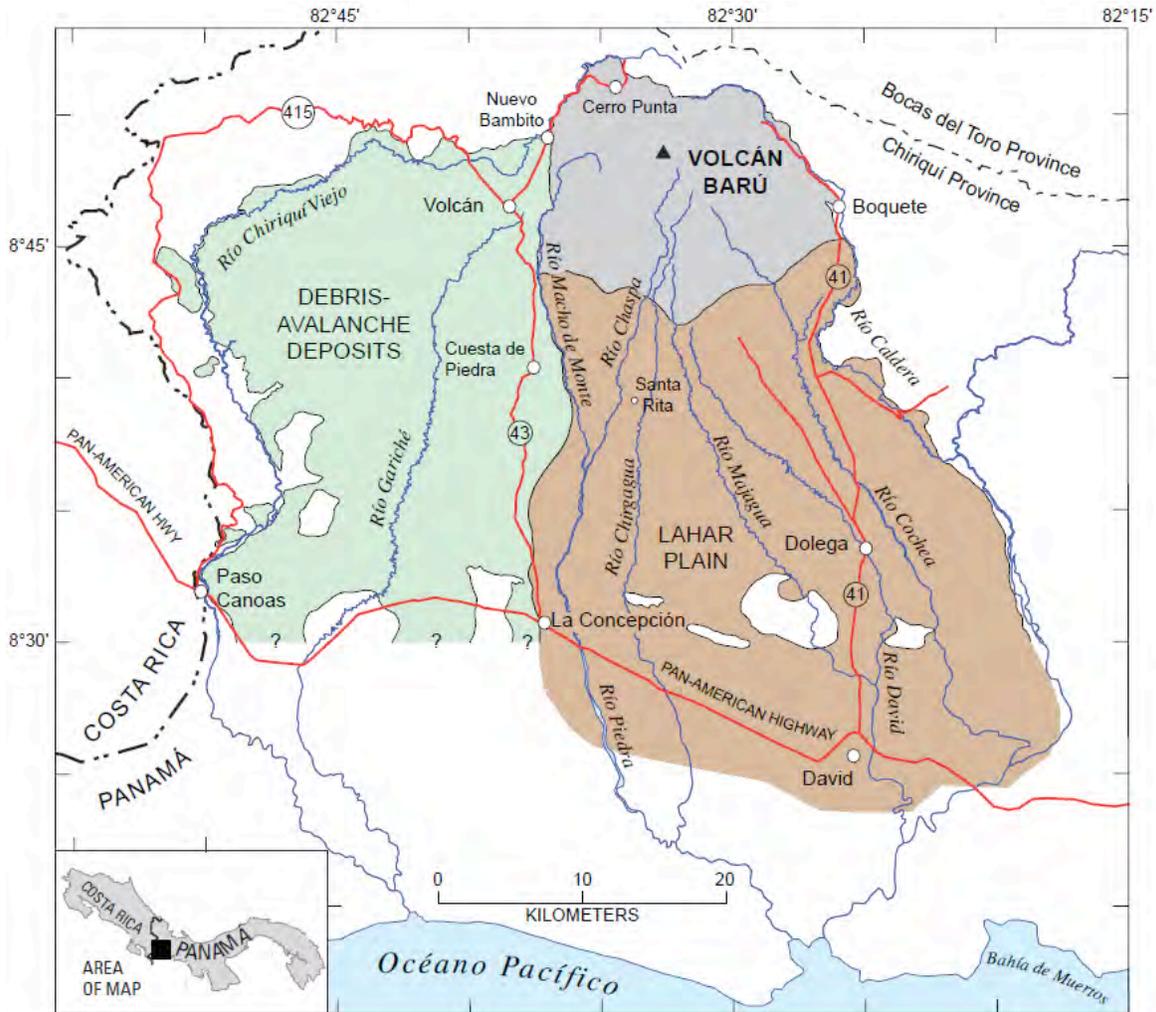


Figure 3. Avalanchas de detritos y lahares del Volcán Barú, Chiriquí, Oeste de Panamá.

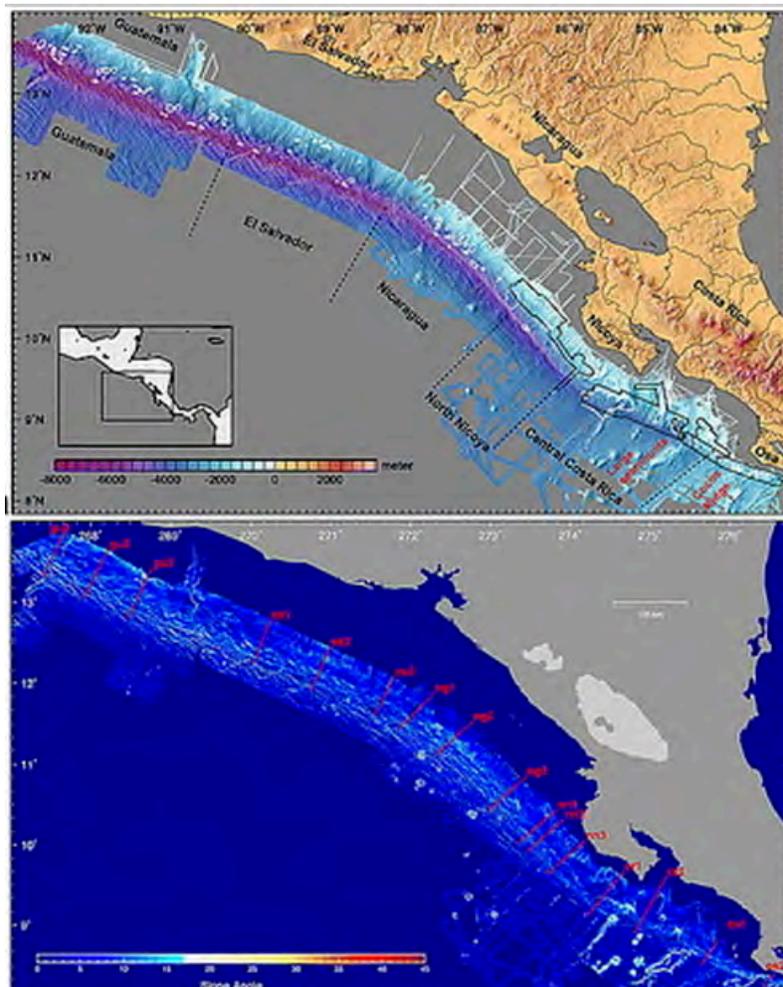
Tomado de Sherrod et al, 2007

En el Volcán Barú han ocurrido muy grandes avalanchas y lahares que alcanzaron la zona donde hoy se encuentra la ciudad de David a unos 25 km del volcán. Posiblemente llegaron hasta la costa del Océano Pacífico

### 4. Avalanchas submarinas

En el Océano Pacífico de Centroamérica ocurrieron gigantescos deslizamientos submarinos indicios de los cuales se detectaron en los últimos años por medio de estudios oceanográficos en la fosa centroamericana. Estas avalanchas de los sedimentos depositados por la actividad volcánica pueden causar grandes tsunamis con efectos desastrosos para Centroamérica. Harders et al, (2011)

presentaron el primer estudio exhaustivo de los procesos deslizamientos en una zona de subducción, donde los procesos tectónicos están dominadas por la erosión de subducción. Utilizaron de batimetría multihaz realizada con barcos de investigación a lo largo de aproximadamente 1300 km de la Fosa Mesoamericana en la zona de subducción de América Central. Encontraron abundante evidencia de deslizamientos de gran escala, en su mayoría previamente desconocidos. Las características se clasifican en varios tipos de falla de pendiente. Se creó un inventario de 147 estructuras de deslizamientos. Estas avalanchas submarinas pueden causar tsunamis y el trabajo es de gran importancia para la evaluación de la amenaza por tsunami en Centroamérica. Frente a Costa Rica ocurrieron las mayores avalanchas submarinas.



**Figura 4. Ubicación de Deslizamientos submarinos frente a la Costa del Pacífico de América Central**

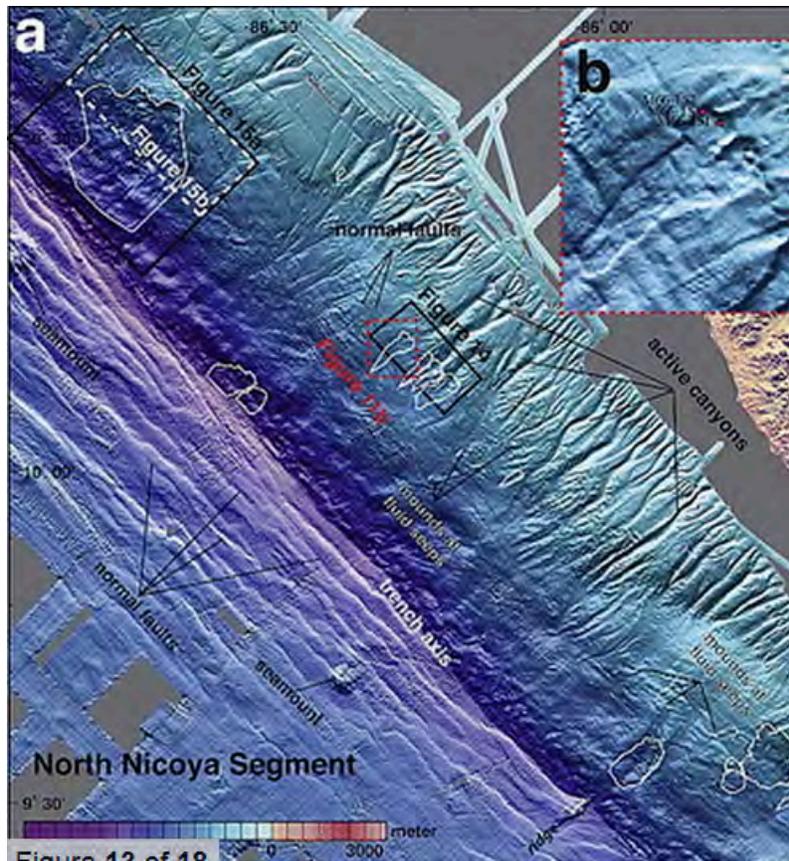


Figura 5. Avalanchas submarinas frente a Costa Rica

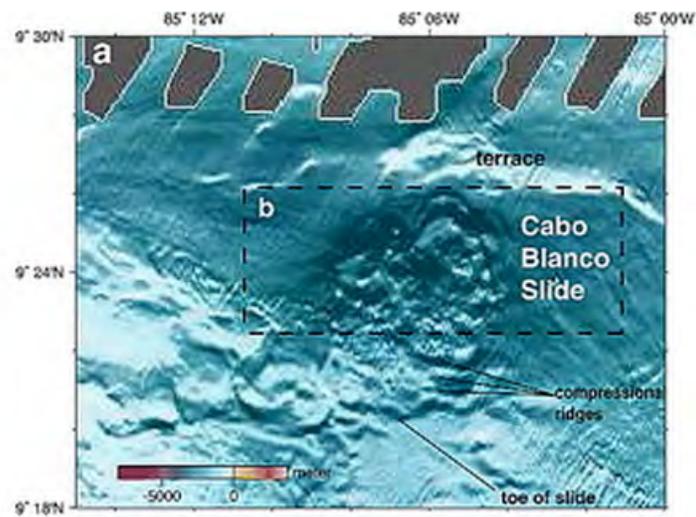


Figura 6. Sitio de deslizamiento submarino “Cabo Blanco” frente a Costa Rica. Longitud y ancho son de aproximadamente 10 km.

## Anexo 5. Mapas de amenaza por deslizamiento en Centroamérica

Se presentan mapas de amenaza por deslizamiento elaborados por el proyecto CAPRA para Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica. En Panamá, el proyecto CAPRA todavía no ha trabajado.

Los mapas en mayor resolución se pueden ver en [http://www.ecapra.org/capra\\_wiki/es\\_wiki/](http://www.ecapra.org/capra_wiki/es_wiki/)

### 1. Guatemala

Se calcularon los mapas de amenaza por deslizamiento para Guatemala mediante los dos métodos mencionados anteriormente. El cálculo con el método de Mora-Vahrson se realizó para 2 condiciones de humedad del suelo (completamente saturado y completamente seco), y un escenario sísmico, correspondiente a un sismo de magnitud **Mw** 6.8 (calculado con el programa [CRISIS 2007](#), **Ordaz et al 2007**). El cálculo con el método de falla traslacional se realizó para las mismas 2 condiciones de humedad y amenaza sísmica.

| Análisis de amenaza por deslizamiento realizados |                  |                       |                     |                                    |
|--|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|
| Nº   | Tipo de análisis | Escenarios de humedad | Escenarios de sismo | Nº de escenarios de deslizamiento. |
| 1  | Mora Vahrson     | 2                     | 1                   | 2                                  |
| 2  | Falla Plana      | 2                     | -                   | 2                                  |
|  |                  | 2                     | 1                   | 2                                  |

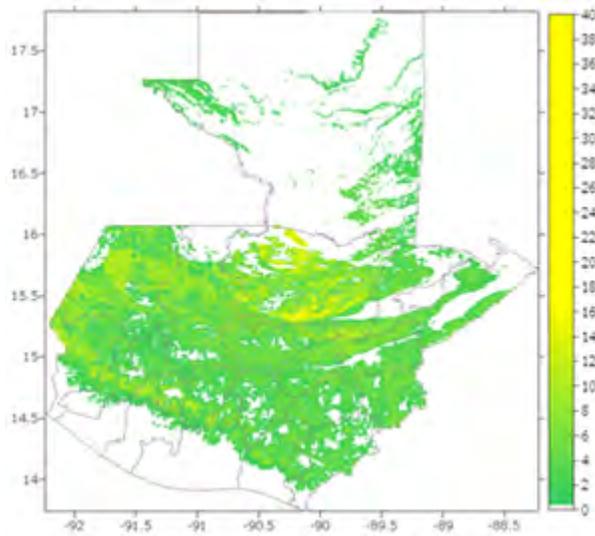
El parámetro de intensidad empleado es el *factor de inseguridad*, el cual corresponde al inverso del *factor de seguridad*. A mayor *factor de inseguridad*, mayor será la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por deslizamiento. Los cálculos se realizaron empleando el programa **ERN-Deslizamiento** (ERN 2009). Los mapas presentados a continuación se dibujan teniendo en cuenta las siguientes escalas:

- *Escala método Mora – Vahrson*: La clasificación de la amenaza por este método se divide en varias clases que se describen en la siguiente escala de colores, que va desde amenaza insignificante hasta muy alta.

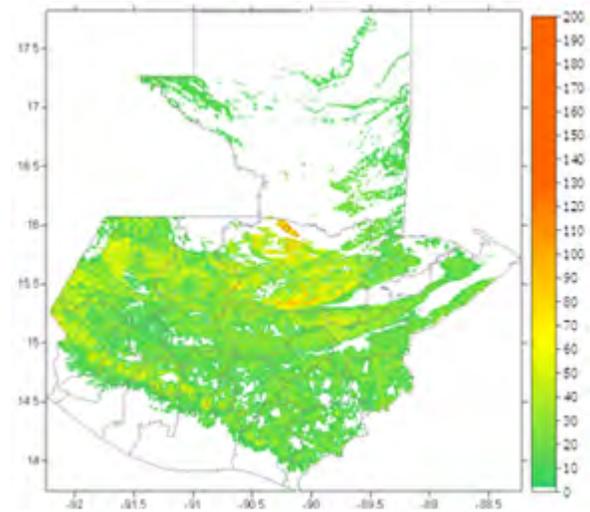
| I              | II     | III      | IV      | V        | VI       |
|----------------|--------|----------|---------|----------|----------|
| Insignificante | Bajo   | Moderado | Medio   | Alto     | Muy Alto |
| <6             | Jul-32 | 33-162   | 163-512 | 513-1250 | 513-1250 |
|                |        |          |         |          | >1250    |

- *Escala método de falla traslacional*: la escala gráfica de estos mapas se da en función del *factor de inseguridad*, de la manera mostrada a continuación.

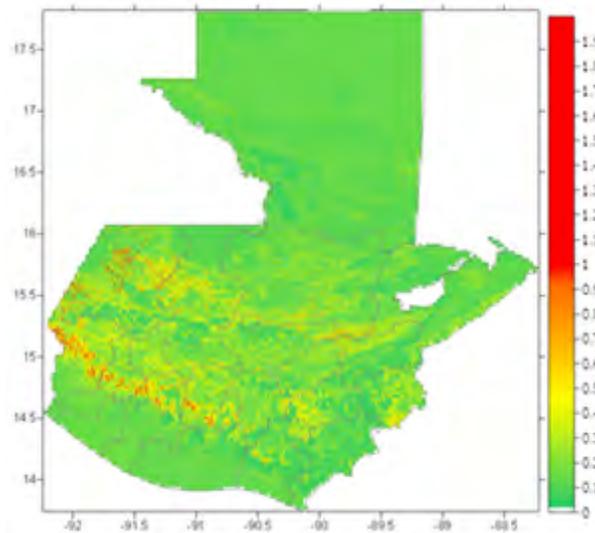
|          |      |          |      |          |
|----------|------|----------|------|----------|
| 0        | 0.1  | 0.5      | 0.83 | >1.11    |
| Muy Bajo | Bajo | Moderado | Alto | Muy Alto |



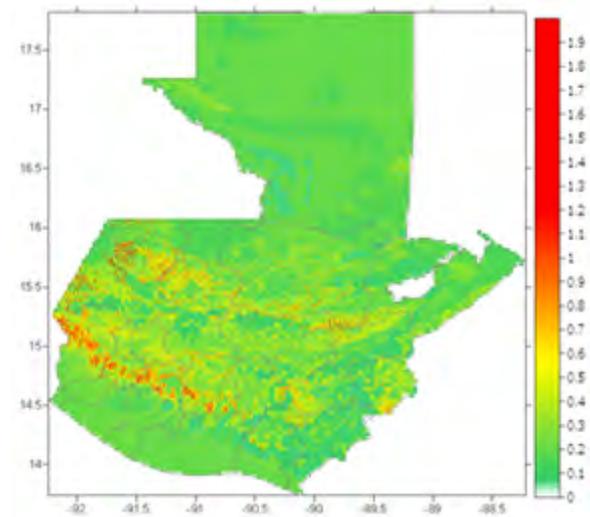
Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson.



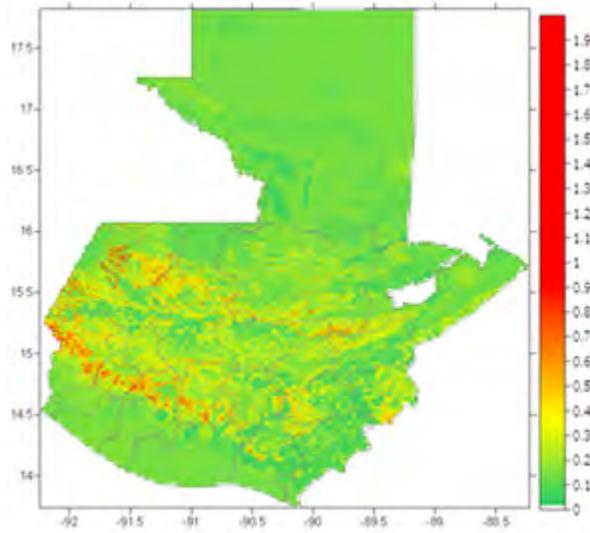
Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones húmedas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson.



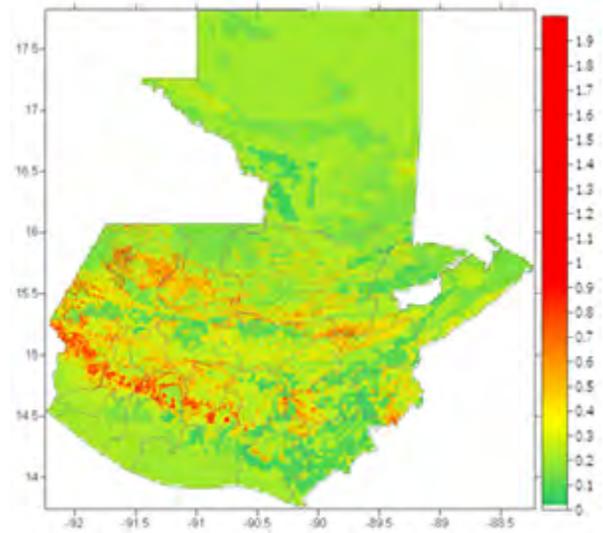
Mapa de amenaza por deslizamiento en condición seca sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional.



Mapa de amenaza por deslizamiento en condición saturada sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional.



**Mapa de amenaza por deslizamiento en condición seca con sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional.**



**Mapa de amenaza por deslizamiento en condición saturada con sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional.**

## 2. El Salvador

Se calcularon los mapas de amenaza por deslizamiento para El Salvador mediante los dos métodos mencionados anteriormente. El cálculo con el método de Mora-Varhson se realizó para 2 condiciones de humedad del suelo (completamente saturado y completamente seco), y un escenario sísmico, correspondiente a un sismo de magnitud **Mw 7.3** (calculado con el programa CRISIS 2007, **Ordaz et al 2007**). El cálculo con el método de falla traslacional se realizó para las mismas 2 condiciones de humedad y amenaza sísmica.

| Análisis de amenaza por deslizamiento realizados |                  |                       |                     |                                    |
|--|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|
| Nº   | Tipo de análisis | Escenarios de humedad | Escenarios de sismo | Nº de escenarios de deslizamiento. |
| 1  | Mora<br>Vahrson  | 2                     | 1                   | 2                                  |
| 2  | Falla Plana      | 2                     | -                   | 2                                  |
|  |                  | 2                     | 1                   | 2                                  |

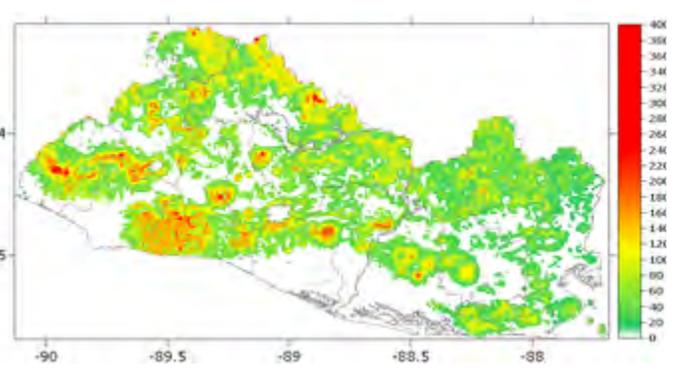
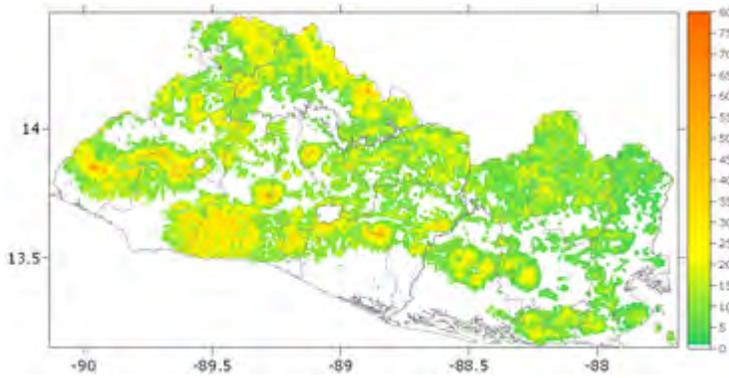
El parámetro de intensidad empleado es el *factor de inseguridad*, el cual corresponde al inverso del *factor de seguridad*. A mayor *factor de inseguridad*, mayor será la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por deslizamiento. Los cálculos se realizaron empleando el programa **ERN-Deslizamiento (ERN 2009)**. Los mapas presentados a continuación se dibujan teniendo en cuenta las siguientes escalas:

- *Escala método Mora – Vahrson*: La clasificación de la amenaza por este método se divide en varias clases que se describen en la siguiente escala de colores, que va desde amenaza insignificante hasta muy alta.

| I              | II     | III      | IV      | V        | VI       |
|----------------|--------|----------|---------|----------|----------|
| Insignificante | Bajo   | Moderado | Medio   | Alto     | Muy Alto |
| <6             | Jul-32 | 33-162   | 163-512 | 513-1250 | >1250    |

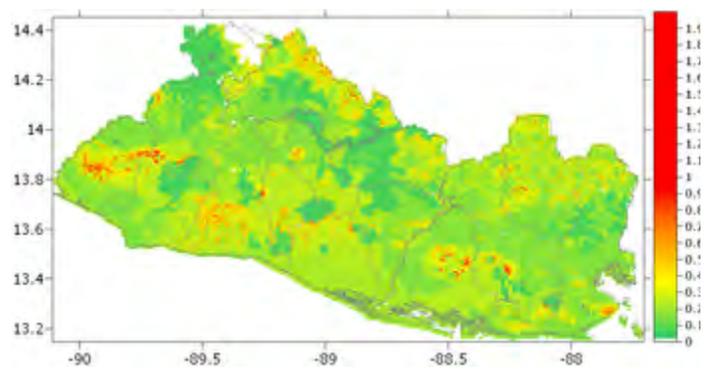
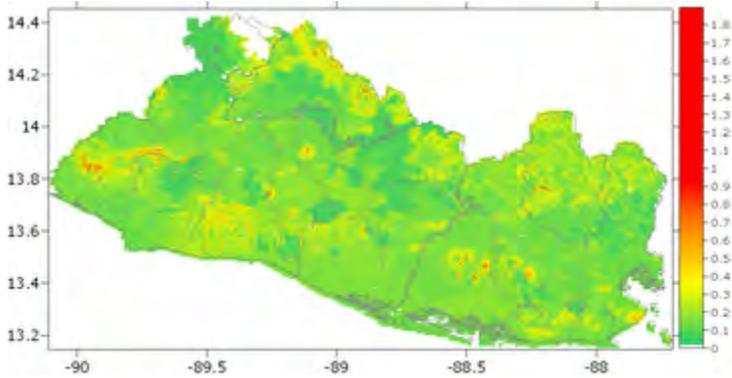
- *Escala método de falla traslacional*: la escala gráfica de estos mapas se da en función del *factor de inseguridad*, de la manera mostrada a continuación.

|          |      |          |      |          |
|----------|------|----------|------|----------|
| 0        | 0.1  | 0.5      | 0.83 | >1.11    |
| Muy Bajo | Bajo | Moderado | Alto | Muy Alto |



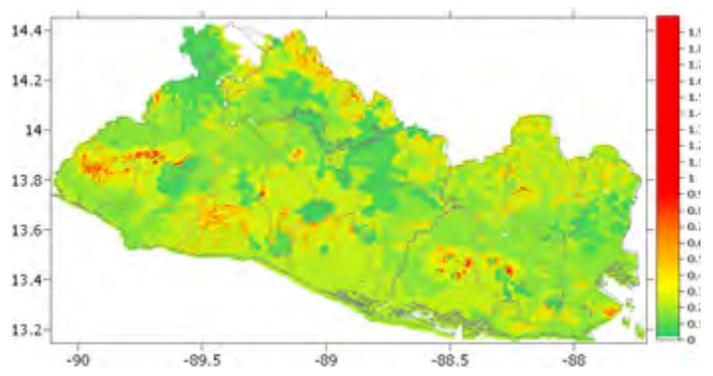
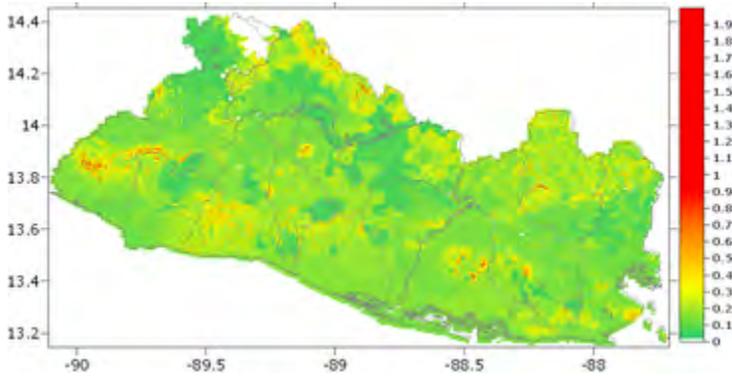
Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson.

Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones húmedas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson.



Mapa de amenaza por deslizamiento en condición seca sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional.

Mapa de amenaza por deslizamiento en condición saturada sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional.



Mapa de amenaza por deslizamiento en condición seca con sismo. Calculado con el método de falla traslacional.

Mapa de amenaza por deslizamiento en condición saturada con sismo. Calculado con el método de falla traslacional.

### 3. Honduras

Se calcularon los mapas de amenaza por deslizamiento para Honduras mediante los dos métodos mencionados anteriormente. El cálculo con el método de Mora-Varhson se realizó para 2 condiciones de humedad del suelo (completamente saturado y completamente seco), y un escenario sísmico, correspondiente a un sismo de magnitud **Mw** 6.8 (calculado con el programa [CRISIS 2007](#), **Ordaz et al 2007**). El cálculo con el método de falla traslacional se realizó para las mismas 2 condiciones de humedad y amenaza sísmica.

**Análisis de amenaza por deslizamiento realizados**

| Nº | Tipo de análisis | Escenarios de humedad | Escenarios de sismo | Nº de escenarios de deslizamiento. |
|----|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1  | Mora Vahrson     | 2                     | 1                   | 2                                  |
| 2  | Falla Plana      | 2                     | -                   | 2                                  |
|    |                  | 2                     | 1                   | 2                                  |

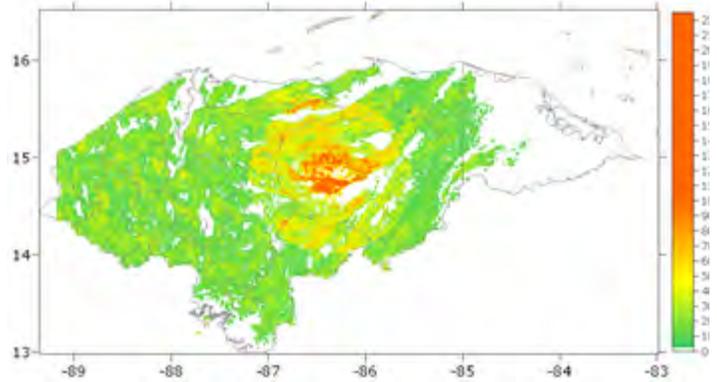
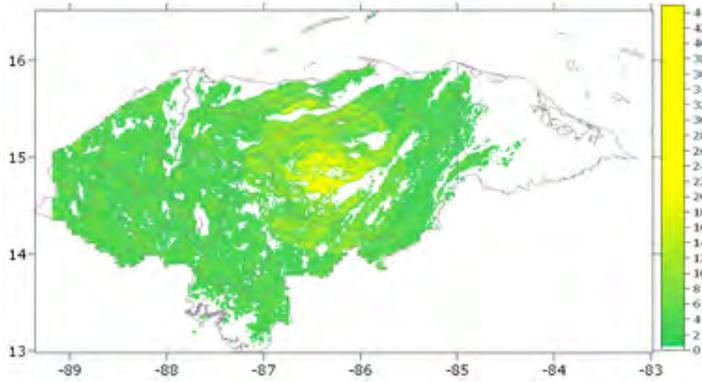
El parámetro de intensidad empleado es el factor de inseguridad, el cual corresponde al inverso del factor de seguridad. A mayor factor de inseguridad, mayor será la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por deslizamiento. Los cálculos se realizaron empleando el programa **ERN-Deslizamiento (ERN 2009)**. Los mapas presentados a continuación se dibujan teniendo en cuenta las siguientes escalas:

- *Escala método Mora – Vahrson:* La clasificación de la amenaza por este método se divide en varias clases que se describen en la siguiente escala de colores, que va desde amenaza insignificante hasta muy alta.

| I              | II   | III      | IV      | V        | VI       |
|----------------|------|----------|---------|----------|----------|
| Insignificante | Bajo | Moderado | Medio   | Alto     | Muy Alto |
| <6             | 7-32 | 33-162   | 163-512 | 513-1250 | 513-1250 |
|                |      |          |         |          | >1250    |

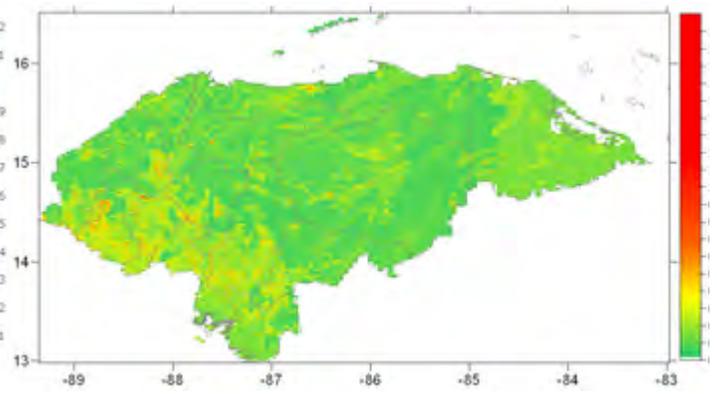
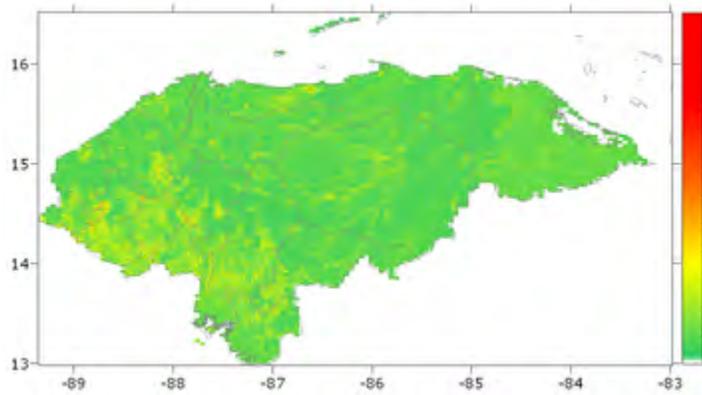
- *Escala método de falla traslacional:* la escala gráfica de estos mapas se da en función del factor de inseguridad, de la manera mostrada a continuación.

|          |      |          |      |          |
|----------|------|----------|------|----------|
| 0        | 0.1  | 0.5      | 0.83 | >1.11    |
| Muy Bajo | Bajo | Moderado | Alto | Muy Alto |



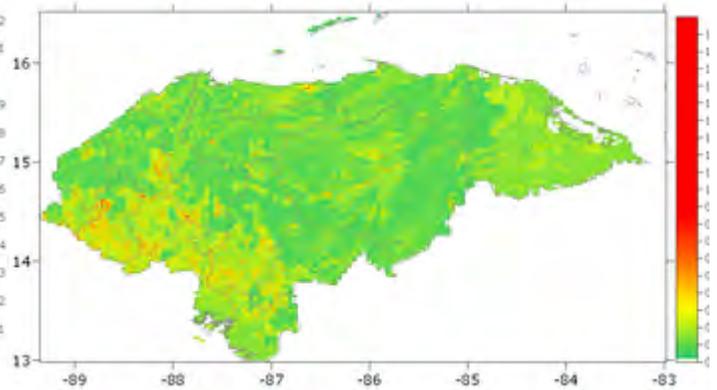
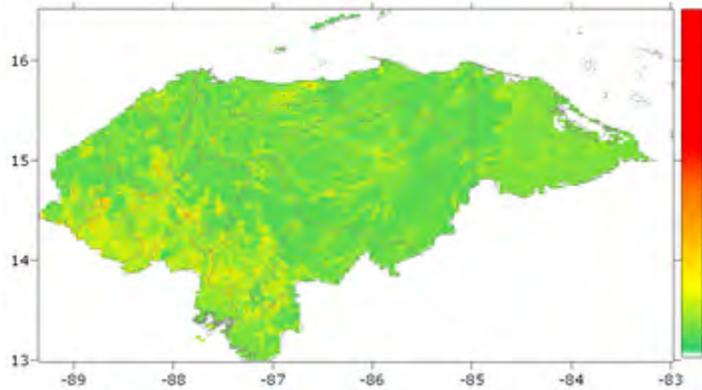
Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas con sismo.  
Calculado con el método de Mora-Varhson.

Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones húmedas con sismo.  
Calculado con el método de Mora-Varhson.



Mapa de amenaza por deslizamiento en condición seca sin sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional.

Mapa de amenaza por deslizamiento en condición saturada sin sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional.



Mapa de amenaza por deslizamiento en condición seca con sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional.

Mapa de amenaza por deslizamiento en condición saturada con sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional.

## 4. Nicaragua

Se calcularon los mapas de amenaza por deslizamiento para Nicaragua mediante los dos métodos mencionados anteriormente. El cálculo con el método de Mora-Varhson se realizó para 2 condiciones de humedad del suelo (completamente saturado y completamente seco), y un escenario sísmico, correspondiente a un terremoto de magnitud 6.9 ocurriendo en la zona norte del pacífico nicaragüense (calculado con el programa [CRISIS 2007](#), Ordaz et al 2007). El cálculo con el método de falla traslacional se realizó para las mismas 2 condiciones de humedad, sin sismo.

Análisis de amenaza por deslizamiento realizados

| Nº | Tipo de análisis | Escenarios de humedad | Escenarios de sismo | Nº de escenarios de deslizamiento. |
|----|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1  | Mora Vahrson     | 2                     | 1                   | 2                                  |
| 2  | Falla Plana      | 2                     | 0                   | 2                                  |

El parámetro de intensidad empleado es el *factor de inseguridad*, el cual corresponde al inverso del factor de seguridad. A mayor factor de inseguridad, mayor será la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por deslizamiento. Los cálculos se realizaron empleando el programa [ERN-Deslizamiento](#) (ERN 2009).

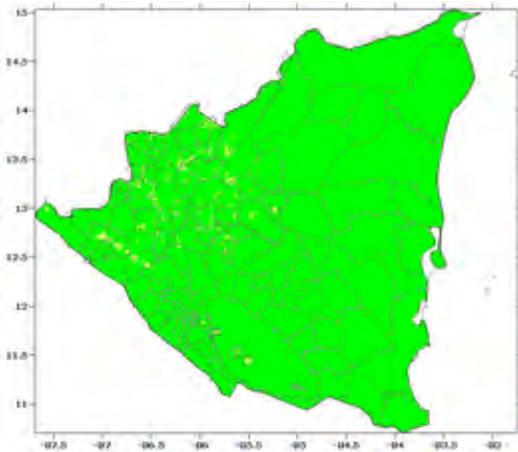
Los mapas presentados a continuación se dibujan teniendo en cuenta las siguientes escalas:

*Escala método Mora – Vahrson:* La clasificación de la amenaza por este método se divide en varias clases que se describen en la siguiente escala de colores, que va desde amenaza insignificante hasta muy alta.

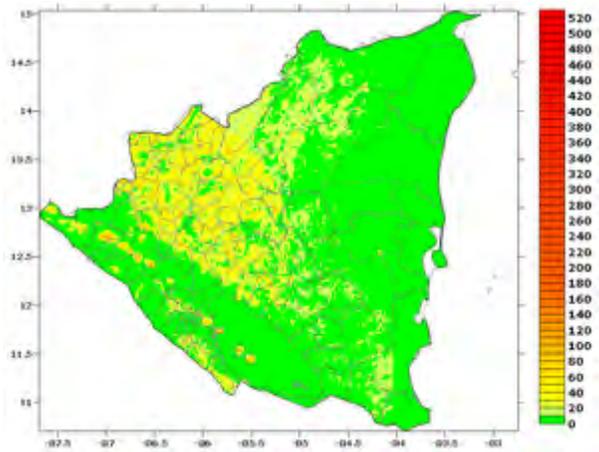
| I              | II   | III      | IV      | V        | VI       |
|----------------|------|----------|---------|----------|----------|
| Insignificante | Bajo | Moderado | Medio   | Alto     | Muy Alto |
| <6             | 7-32 | 33-162   | 163-512 | 513-1250 | >1250    |

*Escala método de falla traslacional:* la escala gráfica de estos mapas se da en función del factor de inseguridad, de la manera mostrada a continuación.

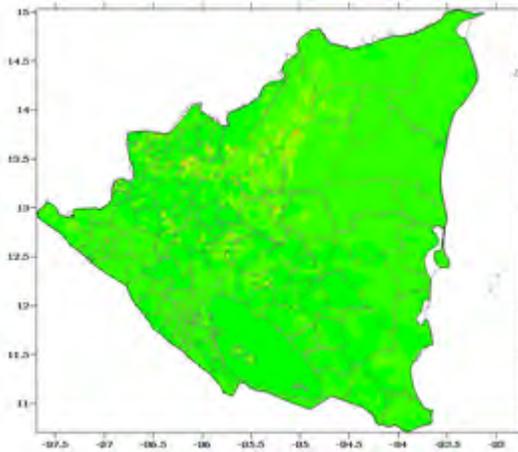
|          |      |          |      |          |
|----------|------|----------|------|----------|
| 0        | 0.1  | 0.5      | 0.83 | >1.11    |
| Muy Bajo | Bajo | Moderado | Alto | Muy Alto |



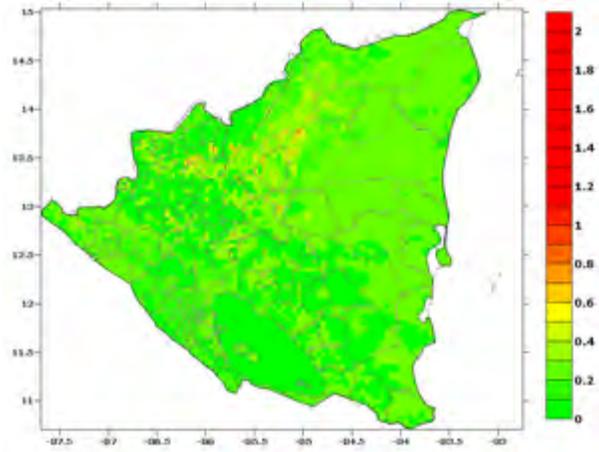
Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas con sismo.  
Calculado con el método de Mora-Varhson



Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones húmedas con sismo.  
Calculado con el método de Mora-Varhson



Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas sin sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional



Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones saturadas sin sismo.  
Calculado con el método de falla traslacional

## 5. Costa Rica

Se calcularon los mapas de amenaza por deslizamiento para Costa Rica mediante los dos métodos mencionados anteriormente. El cálculo con el método de Mora-Vahrson se realizó para 2 condiciones de humedad del suelo (completamente saturado y completamente seco), y un escenario sísmico, correspondiente con el [terremoto de cinchona](#) de Enero de 2009 (calculado con el programa [CRISIS 2007](#), Ordaz et al 2007). El cálculo con el método de falla traslacional se realizó para las mismas 2 condiciones de humedad, sin sismo. Los análisis realizados se listan en la tabla siguiente.

### Análisis de amenaza por deslizamiento realizados

| Nº | Tipo de análisis | Escenarios de humedad | Escenarios de sismo | Nº de escenarios de deslizamiento. |
|----|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1  | Mora Vahrson     | 2                     | 1                   | 2                                  |
| 2  | Falla Plana      | 2                     | 0                   | 2                                  |

El parámetro de intensidad empleado es el factor de inseguridad, el cual corresponde al inverso del factor de seguridad. A mayor *factor de inseguridad*, mayor será la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por deslizamiento. Los cálculos se realizaron empleando el programa [ERN-Deslizamiento](#) (ERN 2009).

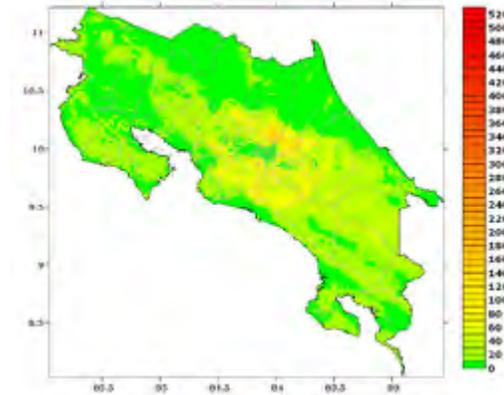
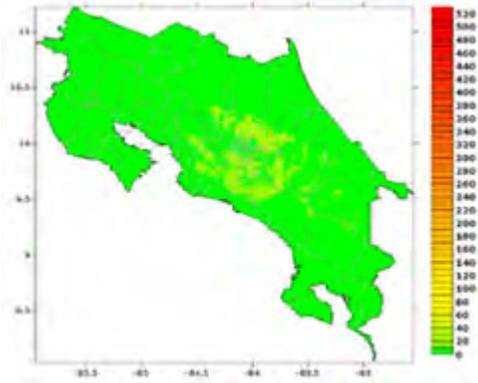
Los mapas presentados a continuación se dibujan teniendo en cuenta las siguientes escalas:

*Escala método Mora – Vahrson:* La clasificación de la amenaza por este método se divide en varias clases que se describen en la siguiente escala de colores, que va desde amenaza insignificante hasta muy alta.

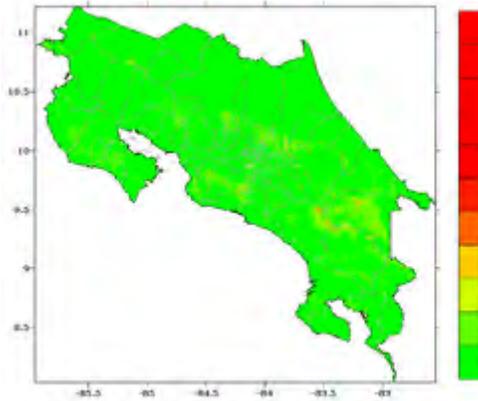
| I              | II   | III      | IV      | V        | VI       |
|----------------|------|----------|---------|----------|----------|
| Insignificante | Bajo | Moderado | Medio   | Alto     | Muy Alto |
| <6             | 7-32 | 33-162   | 163-512 | 513-1250 | >1250    |

*Escala método de falla traslacional:* la escala gráfica de estos mapas se da en función del factor de inseguridad, de la manera mostrada a continuación.

|          |      |          |      |          |
|----------|------|----------|------|----------|
| 0        | 0.1  | 0.5      | 0.83 | >1.11    |
| Muy Bajo | Bajo | Moderado | Alto | Muy Alto |



Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas con sismo. Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones húmedas con sismo. Calculado con el método de Mora-Varhson

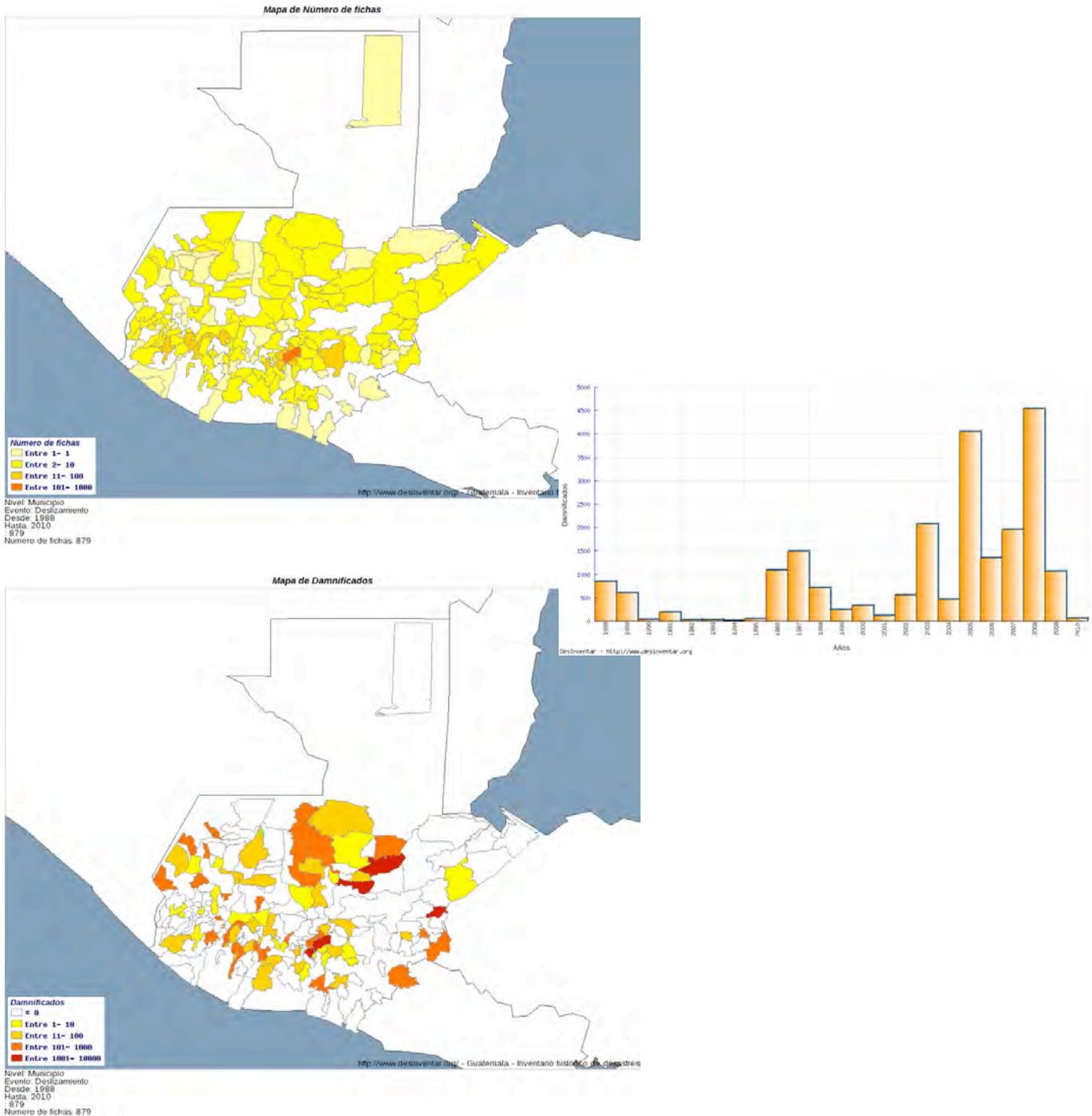


Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones secas sin sismo. Mapa de amenaza por deslizamiento en condiciones saturadas sin sismo. Calculado con el método de falla traslacional

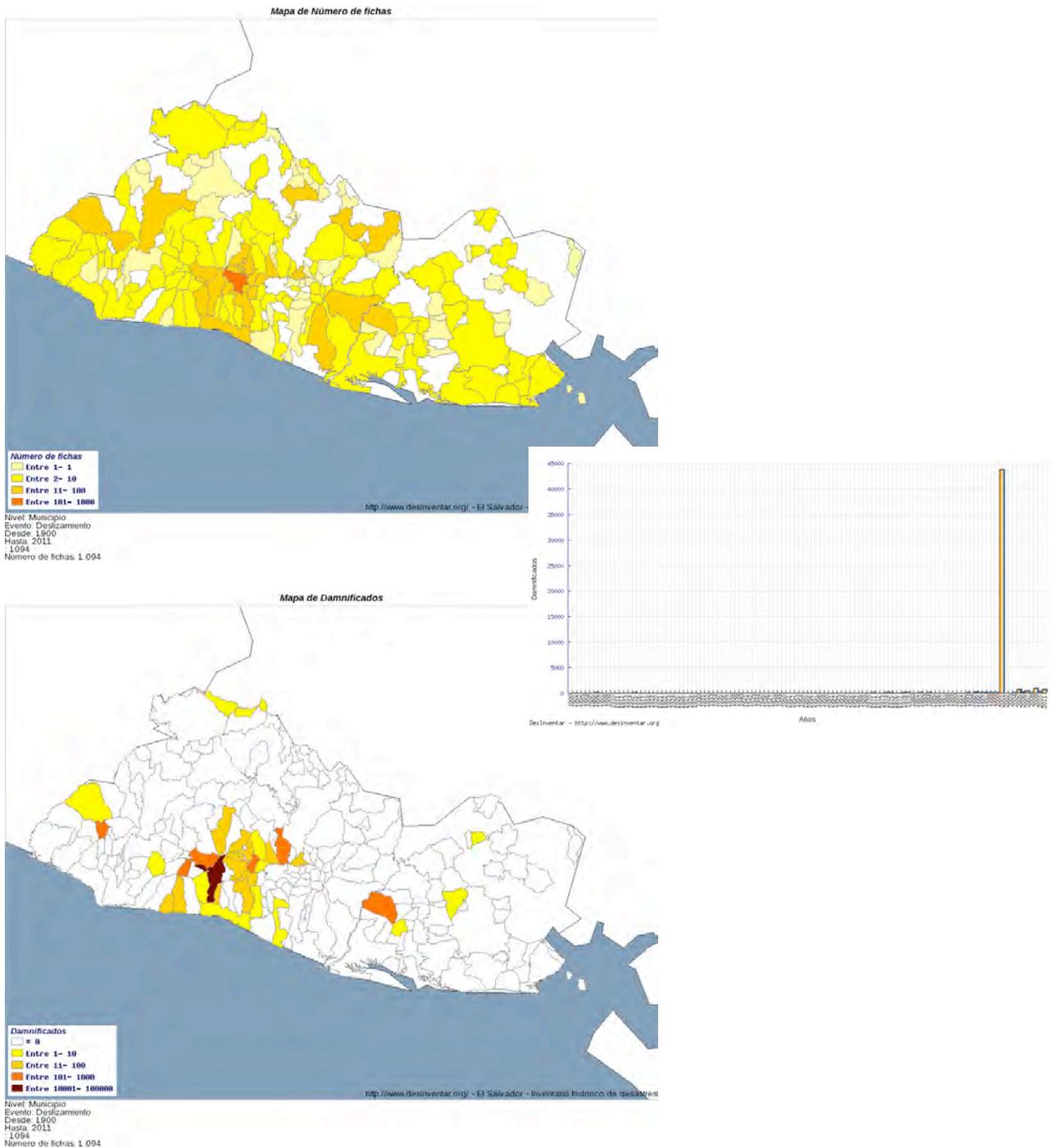
## Anexo 6. Mapas de ocurrencia de deslizamientos en Centroamérica

Los mapas de número de deslizamientos por municipio se elaboraron para Guatemala, El Salvador Honduras, Costa Rica y Panamá con la base en <http://www.desenredando.org/>, para Nicaragua se usaron mapas y estadísticas tomadas de Dévoli et al (2007, 2007a)

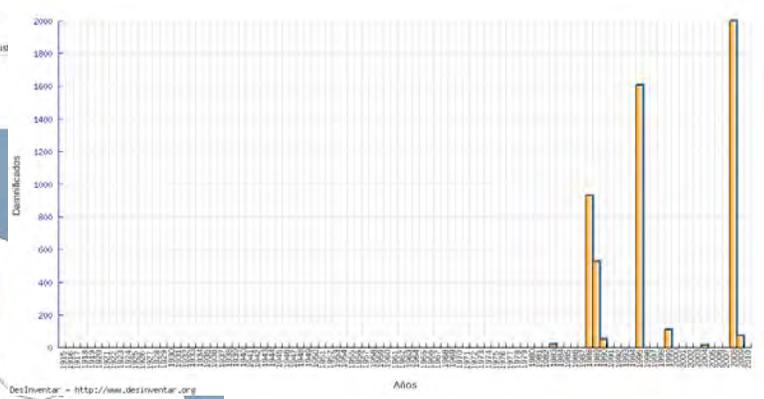
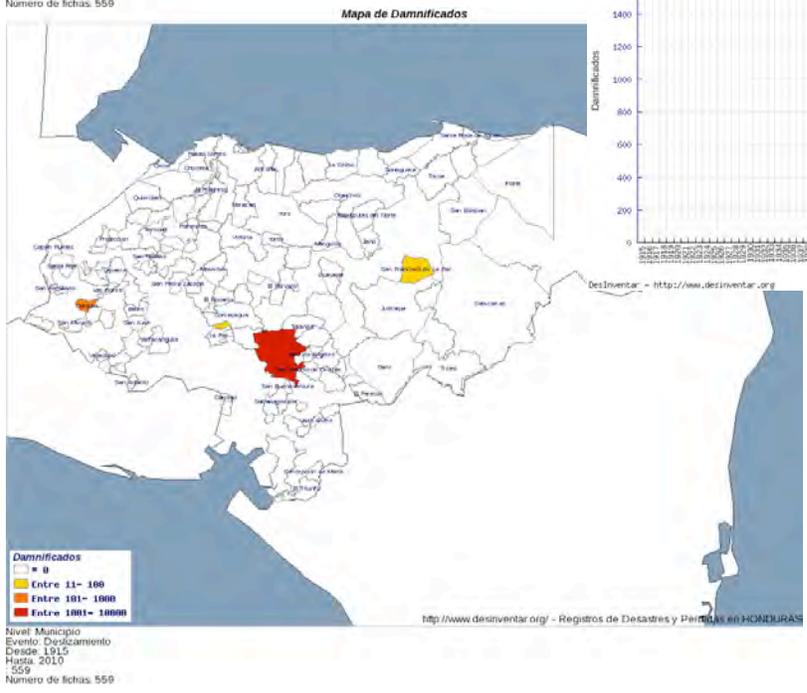
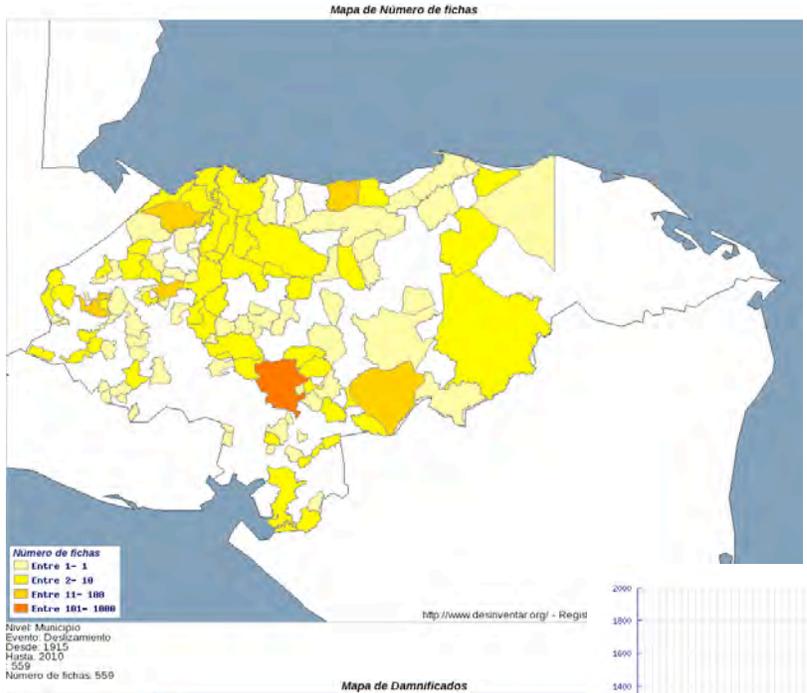
### 1. Guatemala



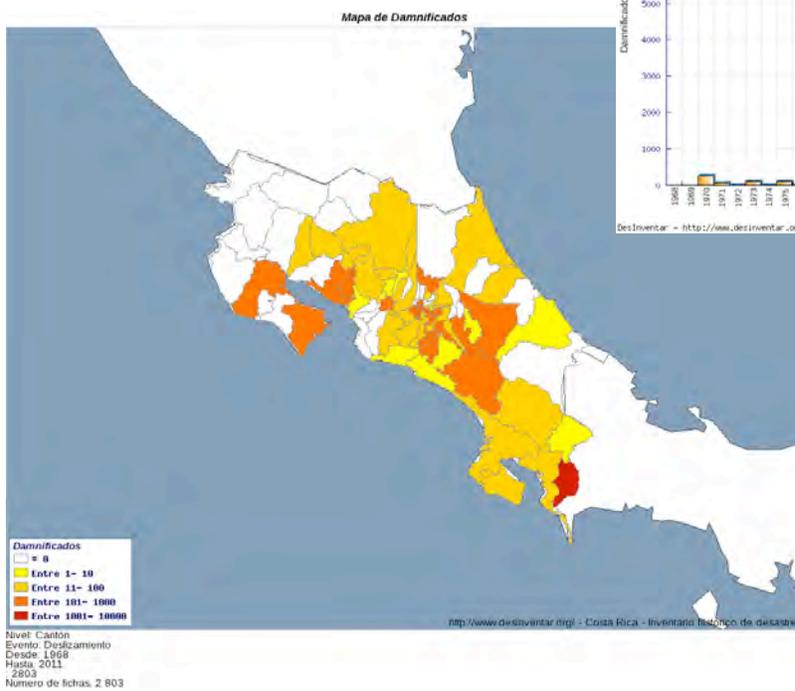
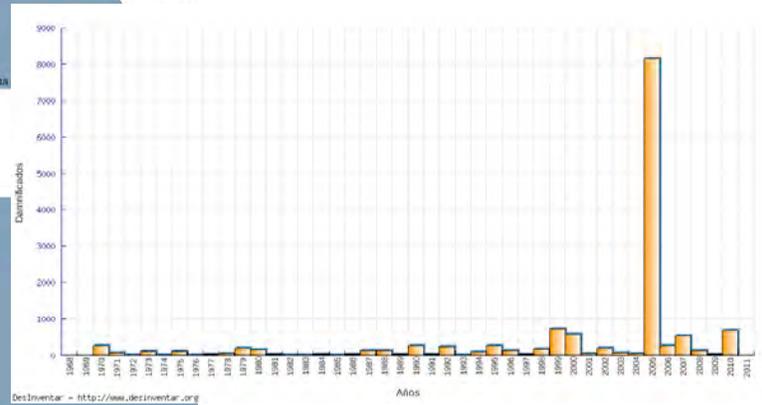
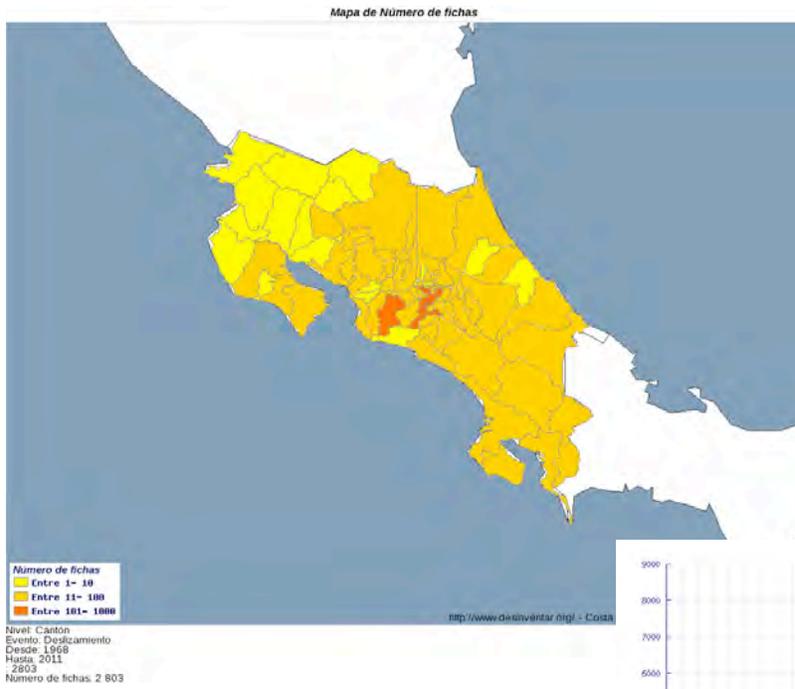
## 2. El Salvador



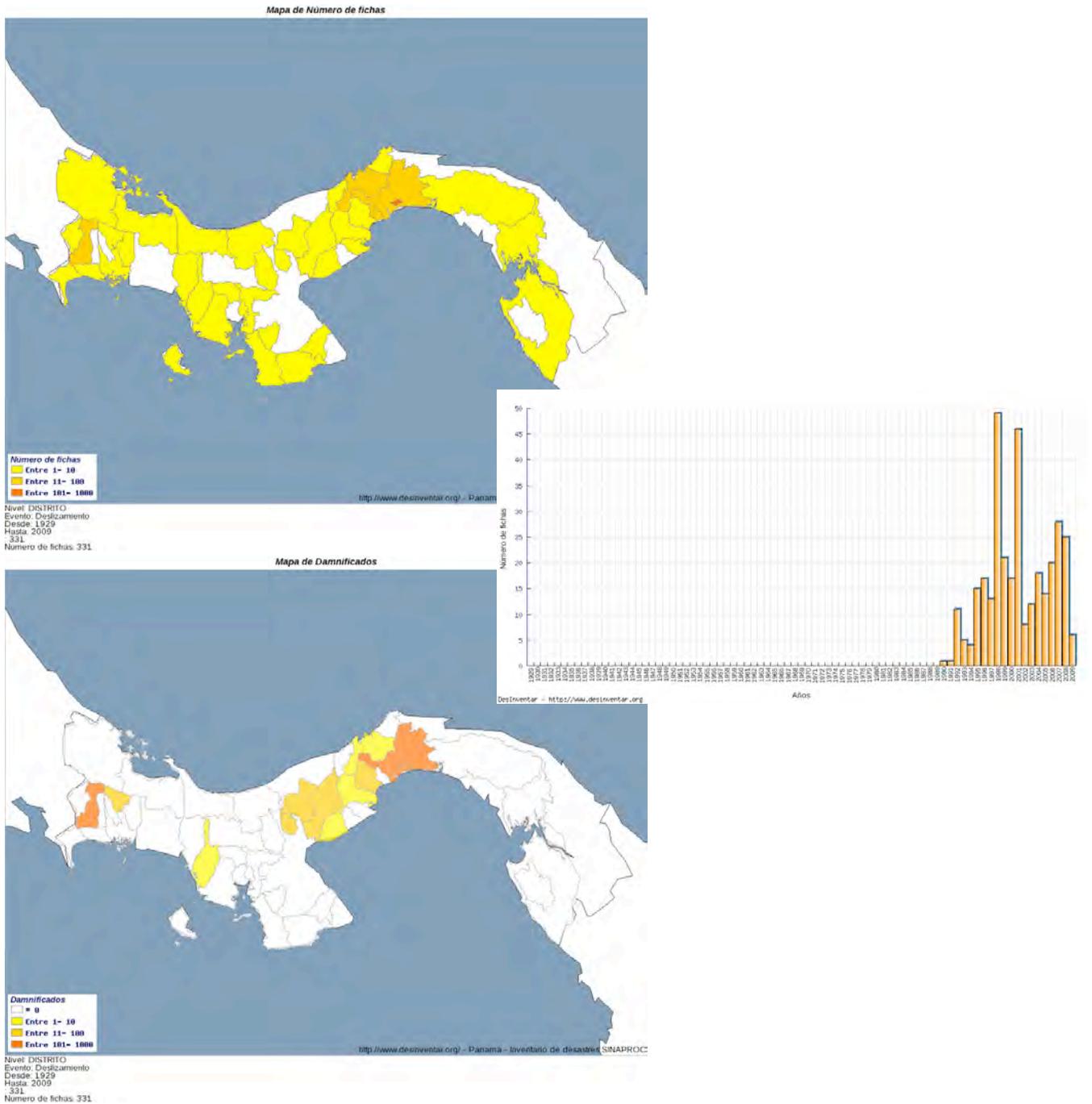
### 3. Honduras



## 4. Costa Rica

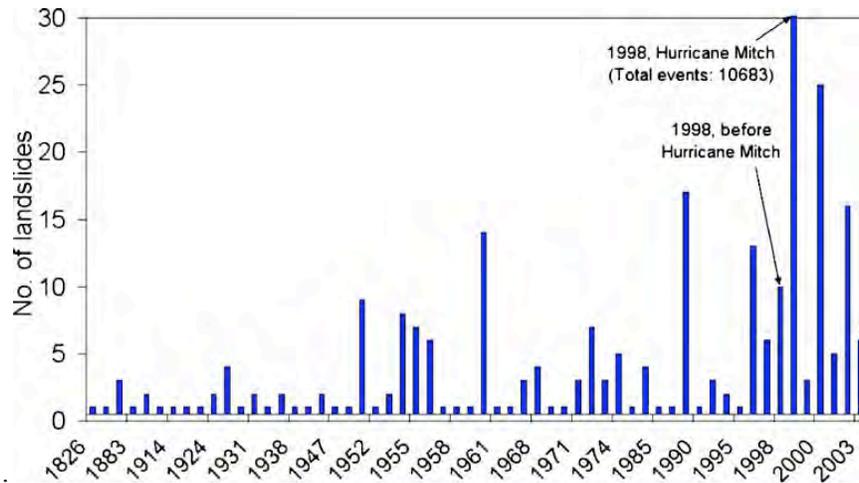


## 5. Panamá

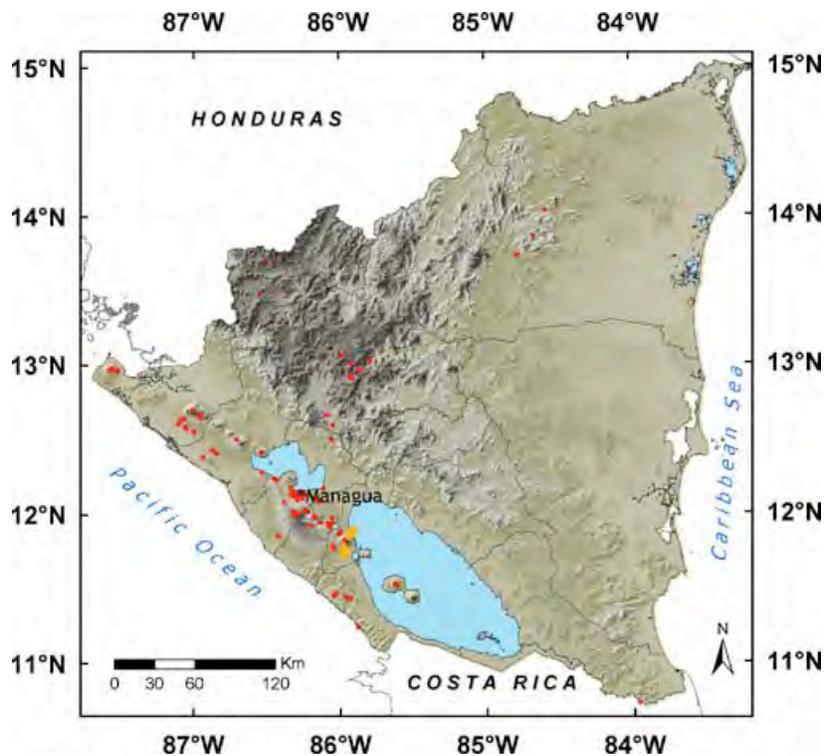


## 6. Nicaragua

Para Nicaragua se dispone de estudios detallados sobre la ocurrencia y características de deslizamientos. Los siguientes gráficos se tomaron de de Dévoli et al. (2007), y Dévoli et al. (2007<sup>a</sup>)



Número de deslizamientos versus tiempo



### Ubicación de Deslizamientos históricos

Geographical distribution of sites affected by recorded landslides. Red dots indicate the locations of landslides for which detailed spatial information was not available. Orange polygons represent deposit or both deposit and scarp of historical landslides

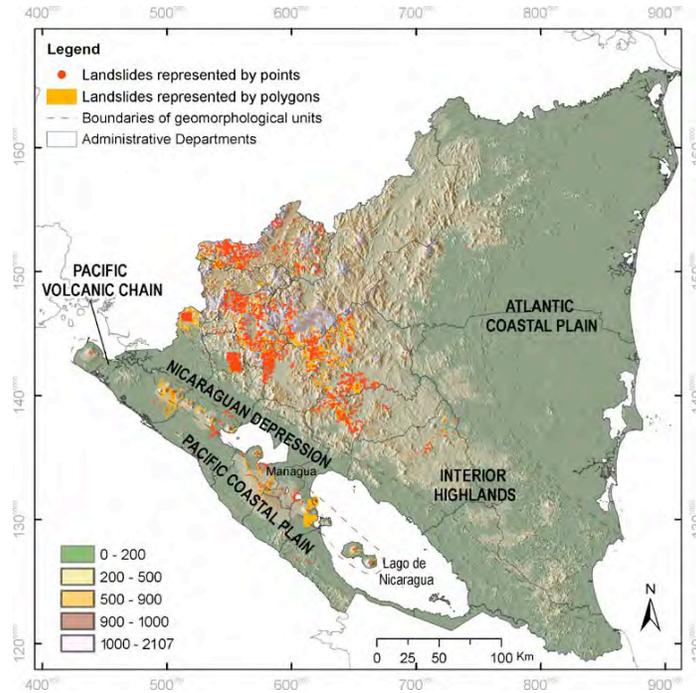
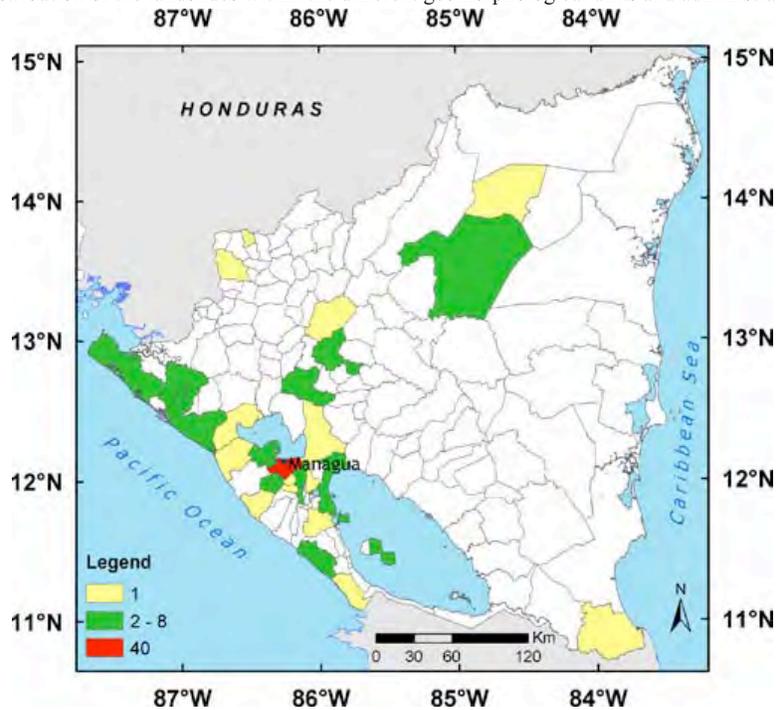


Fig. 5 Spatial distribution of the landslides within the different geomorphological units and administrative departments



### Afectación de municipios por deslizamientos

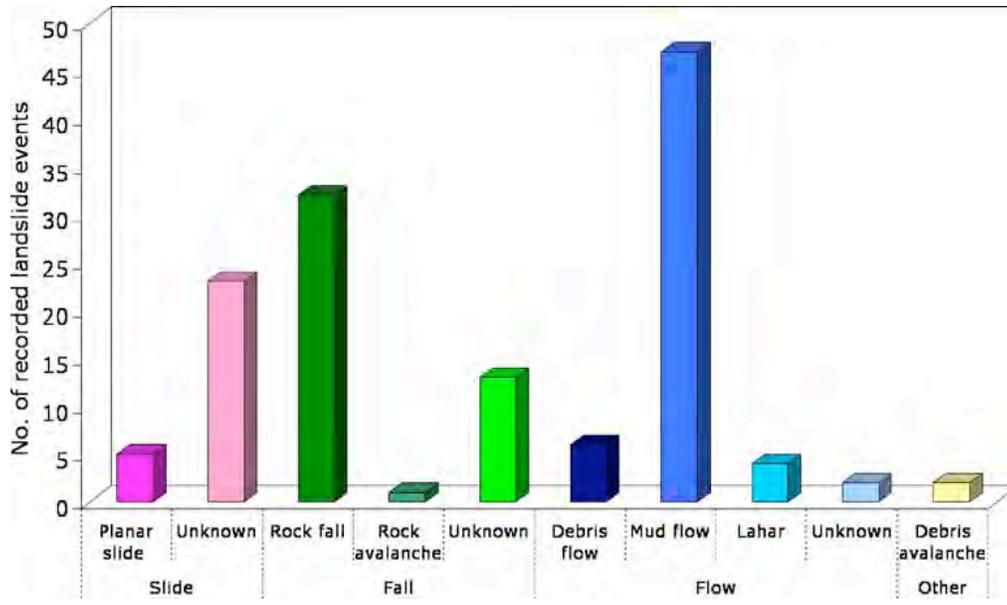


Fig. 5 Types of movement of recorded historical landslides

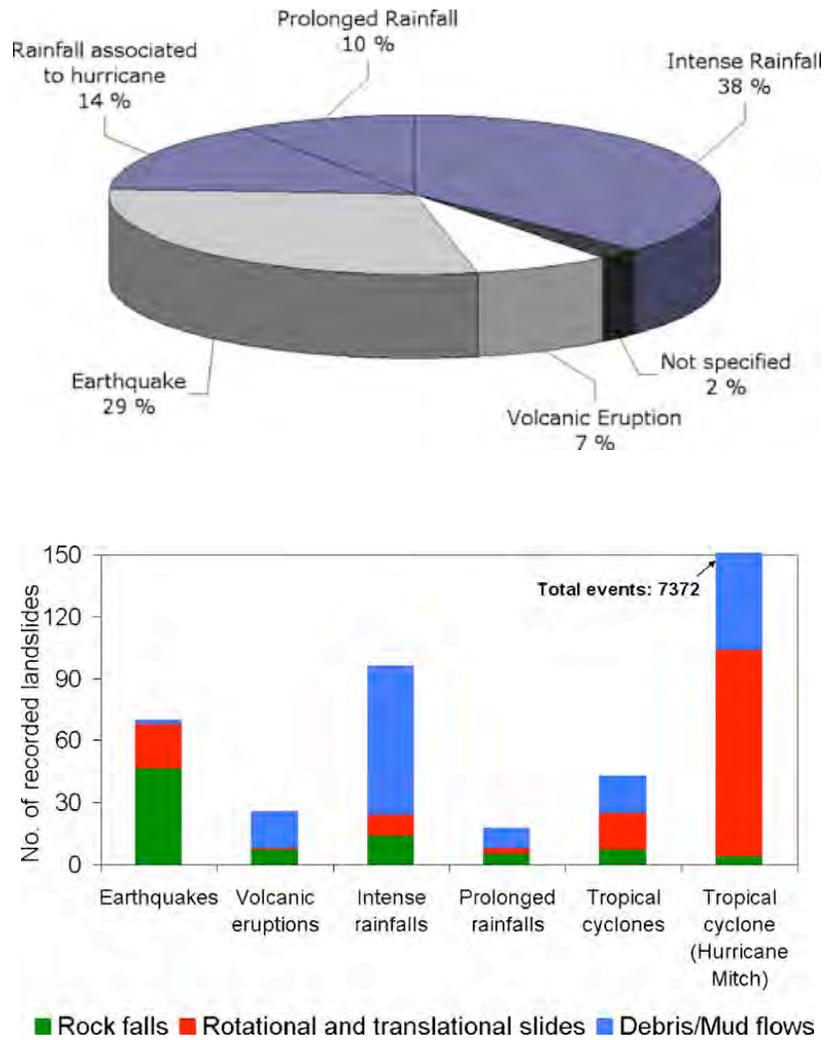
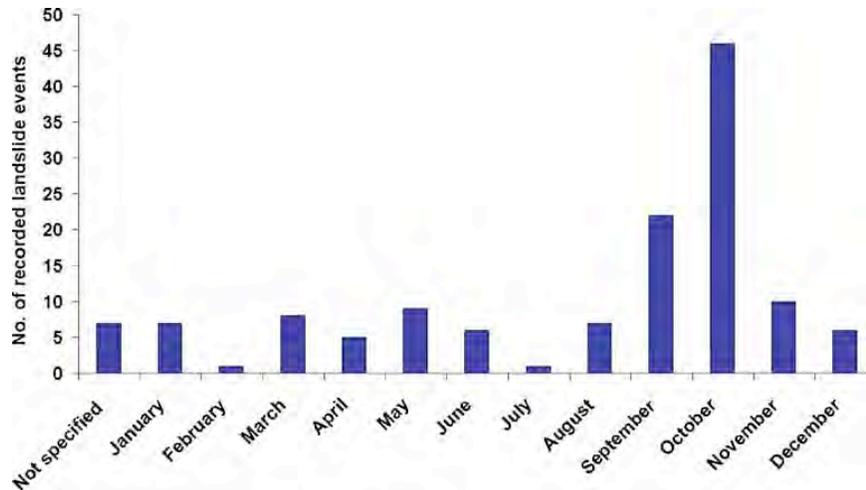
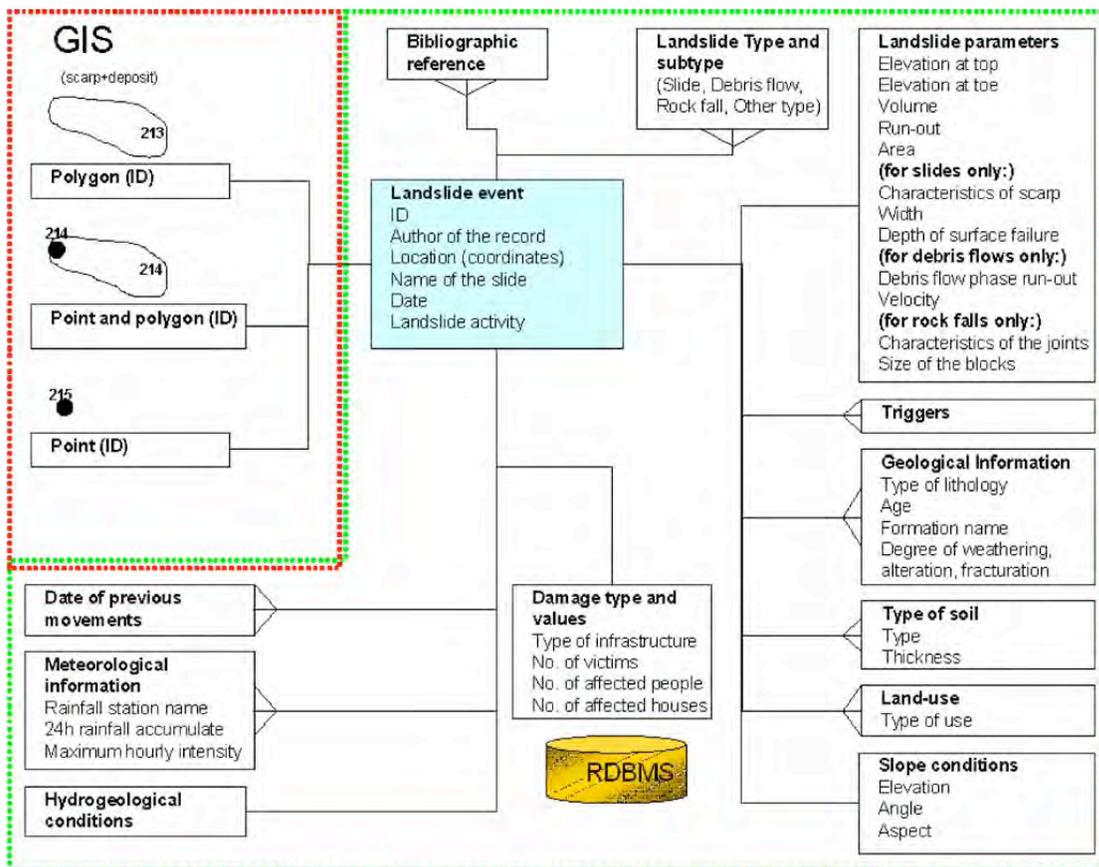


Fig. 8 Graphic showing the main triggering mechanisms distinguished by landslide type. Rainfall trigger landslides are divided into those triggered by intense and prolonged rainfall associated with tropical cyclones (fifth and sixth column) and those triggered by intense or prolonged rainfalls related to other synoptic systems (third and fourth column)



Número de deslizamientos por mes del año



Estructura simplificada de la base de datos de deslizamientos en INETER, Nicaragua

## **Anexo 7.a Experiencia con SATD en Guatemala**

### **1. Nivel Nacional**

Las siguientes instituciones conforman el sistema nacional de la alerta de deslizamientos:

CONRED - Institución de Protección Civil centralizada

INSIVUMEH – Institución geo-científica centralizada

Diversas Universidades

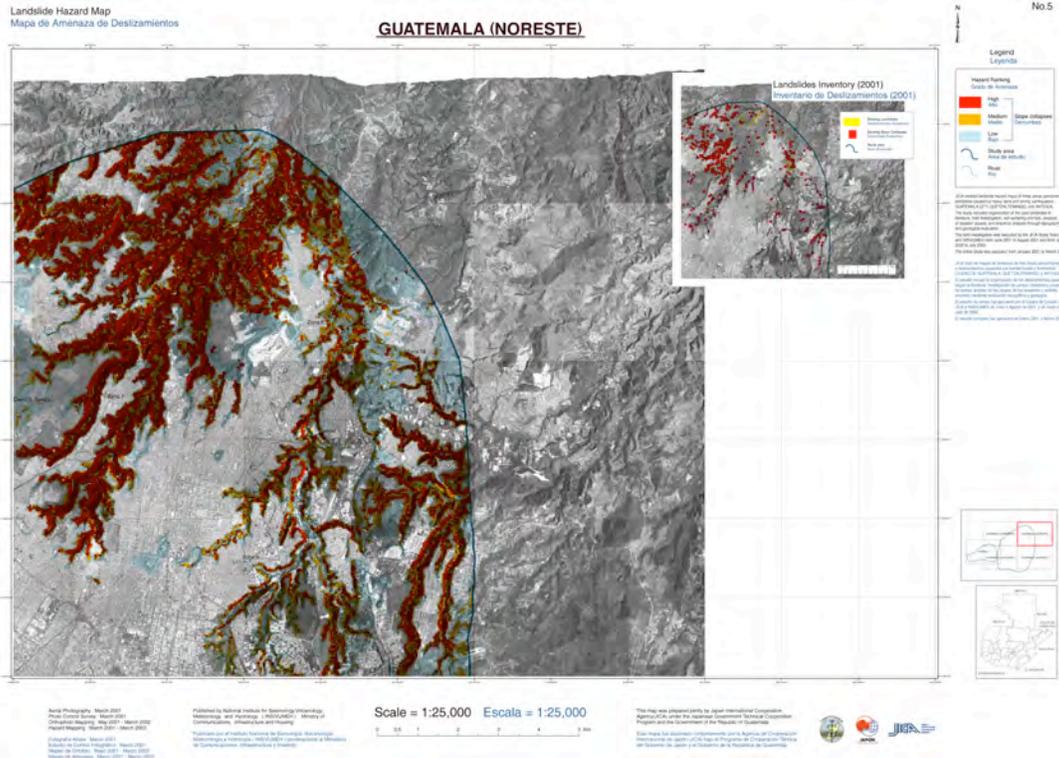
Diversas ONG que trabajan en prevención de desastres.

#### **INSIVUMEH**

El Instituto Sismológico, Vulcanológico, Meteorológico e Hidrológico (INSIVUMEH/Ciudad de Guatemala; compuesto por cerca de 60 personas) que pertenece al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, es responsable de los estudios científicos y el monitoreo de los fenómenos naturales peligrosos. Hasta ahora, solamente algunos datos han sido publicados en la Web. En la [pagina de INSIVUMH SOBRE EL “PROGRAMA DE METEOROLOGIA”](#)

[http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/programa\\_meteorologia.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/programa_meteorologia.htm) , se explica: “La actividad de meteorología tiene a su cargo todo lo relacionado con el desarrollo de procesos y fenómenos atmosféricos y su incidencia en el territorio nacional. Desde 1976 a la fecha, esta actividad centró su accionar en proporcionar servicios meteorológicos y climatológicos a la NAVEGACION AEREA, **AL SECTOR DE ATENCION A LOS DESASTRES**, A LA AGRICULTURA, A LA PLANIFICACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DEL PAIS, AL DISEÑO Y PLANIFICACION DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA NACIONAL, A DIVERSOS PROYECTOS DE INTERES NACIONAL Y AL SECTOR PUBLICO Y PRIVADO EN GENERAL.” Es decir no se menciona específicamente la alerta de deslizamientos.

En la institución hay dos especialistas en deslizamientos que tienen la especialidad de geólogo. Para muchas zonas hay mapas de amenaza de deslizamientos elaborados con ayuda de instituciones extranjeras y un mapa de susceptibilidad de deslizamientos a nivel nacional. Los datos y mapas se manejan con un sistema de Información Geográfica de Georriesgos. Se considera que actualmente no disponen de un sistema de alerta de deslizamientos en sí, solamente se actúa cuando: 1) El deslizamiento ya sucedió. 2) La comunidades identifican condiciones para que ocurra como Grietas, Hundimientos, Inclinación de vegetación. U otras condiciones. Expresan que, para el futuro, se requiere de: 1) Estaciones monitoreo de aludes y deslizamientos (a. Estaciones pluviométricas, b. Sísmicas de baja frecuencia. c. Tensómetros. d. Sistemas complejos de movimientos de masas de suelo); 2. Medidas de Capacitación. Consta que INSIVUMEH no dispone de equipos especiales para medir o monitorear deslizamientos.



**Figura 1. Ejemplo de Mapa de amenaza de deslizamientos elaborado con apoyo de JICA (Japón)**

## CONRED

CONRED tiene una amplia red de comunicación por radio con las comunidades bajo riesgos y participa en los procedimientos de monitoreo, y aporta observaciones de campo desde todas las partes del país. CONRED desarrolla instrumentos baratos para el monitoreo de nivel de ríos y la detección de lahares (laharímetros). Los diseños son abiertos y ya se ofrecieron a instituciones y SAT de otros países, como por ejemplo al SAT en Matagalpa, Nicaragua (ver anexo 7d)



**Foto 1. Caja niveles de río, que da los tres tipos de alerta. Fuente: CONRED**



**Foto 2. Sensor de nivel de río. Fuente: CONRED**

Se cita de Baca et al. (2010) de donde se tomaron también las fotos 1-3: “Con la Secretaría Ejecutiva de CONRED, se tuvo la oportunidad de intercambiar con el jefe del departamento del SAT de esta institución, el Ing. Jairo Arreaga, brindando insumos sobre como ellos trabajan, que instrumentos utilizan y como se organizan. Para la medición del nivel de río, el Ing. Arreaga, presentó un sensor de nivel de río artesanal elaborado por el propio CONRED, lo que favorece la reposición si en algún caso estos son dañados por alguna inundación o algún evento inesperado; estos sensores se dividen en tres tipos de alerta: amarillo, anaranjado y rojo, donde el nivel de alerta roja se dispara a través de una sirena de bicicleta, alertando al poblador vigilante en caso de que éste se encuentre dormido. La SE-CONRED ha trabajado con éste tipo de sistema en Costa Rica, Honduras, Salvador, solamente Nicaragua no había conocido esta experiencia. Guatemala es considerada el primer lugar en aplicación de los Sistemas de Alerta Temprana –SAT-, a nivel centroamericano y actualmente mantiene el monitoreo de 10 ríos considerados los más caudalosos del país. La visita realizada a Guatemala por dos técnicos del proyecto, fue publicada en un boletín que CONRED elabora, mencionando el objetivo de la visita y las actividades realizadas por los visitantes en dicha institución.

Un punto muy importante de esta visita realizada a la SE-CONRED, fue la idea que los técnicos del proyecto adquirieron en incluir en el SAT de Matagalpa los sensores de nivel de río artesanal, donde también de ésta forma se involucra a los pobladores de las microcuencas en las lecturas del nivel del río y no solo en los datos de precipitación como es el caso de los pluviómetros.”



**Foto 3. Visita de dos miembros del proyecto de Matagalpa a CONRED.**

## 2. SATD Comunitarios

La siguiente lista contiene los datos de los SATD comunitarios en Guatemala.

| N o | Latitud | Longitud | Organización | Tipo          | otros fenómenos    | Institución | Ubicación            | situación                    |
|-----|---------|----------|--------------|---------------|--------------------|-------------|----------------------|------------------------------|
| 1   | 14.76   | -91.55   | central      | lahar         | volcán             | INSIVUMEH   | V. Santa María       | El SAT original no funciona. |
| 2   | 15.42   | -89.82   | comunal      | Deslizamiento |                    | Alcaldía    | Senahú, Alta Verapaz | funciona                     |
| 3   | 14.47   | -90.88   | central      | lahar         | volcán, inundación | CONRED      | V. Fuego             | funciona                     |
| 4   | 14.39   | -90.60   | central      | lahar         | volcán, inundación | CONRED      | V. Pacaya            | funciona                     |
| 5   |         |          |              |               |                    |             | Nuevo Amanecer       | No funciona                  |

### 2.1 SAT en los volcanes

El SATD del Volcán Santa María fue establecido al comienzo de los años 90 e inclusive fue visitado por los participantes de la reunión del Volcán de la década, que se celebró en 1993 en Quetzaltenango. En este entonces INSIVUMEH mantuvo puestos de observación a lo largo del cauce principal y emitió alertas cuando se detectó un lahar fuerte. Actualmente, este SAT ya no funciona de esta manera aunque el tema de deslizamientos está incluido en la alerta de fenómenos volcánicos de este volcán.

La alerta de fenómenos volcánicos en los volcanes Fuego y Pacaya incluye también el tema de deslizamientos o lahares pero no hay un procedimiento específico.

### 2.2 SAT de Nuevo Amanecer

**XYZ** (2011) menciona un nuevo SAT de deslizamientos en Nuevo Amanecer financiado por OXFAM / Municipalidad de Guatemala y Villa Nueva (DIPECHO V), se cita:

#### *“4.20. SAT ASENTAMIENTO NUEVO AMANECER*

*Este sistema según se ha indagado, fue implementado por OXFAM y la alianza ESFRA e ISMUGUA durante el tiempo que duró el DIPECHO V y fortalecido con el DIPECHO VI, y el mismo fue trabajado en conjunto con la Municipalidad de Guatemala, y costaba de 4 estaciones meteorológicas de variables dependientes e independientes, mismas que se compraron con fondos del proyecto, administradas por la Municipalidad. Al momento de hacer la visita al lugar, se pudo constatar que el sistema ya no funcionaba y al hacer las consultas al respecto se nos indicó que cuando el proyecto terminó la Municipalidad ya no adjudicó fondos para el pago anual de la transmisión de datos y esto obligó a la empresa que prestaba el servicio a retirar el mismo, quedando el sistema incompleto, y fuera de circulación por lo cual se asume que el mismo ha dejado de funcionar quedando solo las estaciones pero sin mantenimiento ni operación alguna, dando como terminado el SAT.”*

### **2.3 SAT de Senahú, Alto Verapaz**

Senahú es un municipio en el departamento de Alta Verapaz. La extensión aproximada de este municipio es de 336 km<sup>2</sup>, con una población de 28,550 habitantes (Censo 1981). El siguiente se presenta el plan de respuesta y alerta temprana de este Municipio que se considera un buen ejemplo para un SAT de deslizamientos. Están definidos las amenazas, las zonas bajo riesgo, los umbrales, las responsabilidades, el plan de alerta y las acciones a tomar. En rojo oscuro se resaltan las partes más importantes del plan.

**XYZ** menciona este SATD en el texto pero no lo incluye en su lista de SAT en Guatemala.

El siguiente texto fue tomado de Conred-Comred (2009) Plan Municipal de Respuesta Emergencias y/o Desastres, Municipio de Senahú, Alta Verapaz, Agosto 2009.

#### Contenido

#### **PRESENTACIÓN**

##### **I BREVE HISTORIA DE SAN ANTONIO SENAHÚ**

**II CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO SENAHÚ.** Localización Geográfica (6) Límites y colindancias: (6) Clima (7) Fisiografía (7) Hidrografía (7) Extensión Territorial (8) Población (8)

**III BASE LEGAL DE LAS COORDINADORAS DE REDUCCIÓN DE DESASTRES.** Constitución Política (10) Decreto Ley 109 – 96 CONRED (10) Decreto Ley 12-2002 Código Municipal (11)

**IV PROPÓSITO DEL PLAN MUNICIPAL.** Fin principal del Plan Municipal (12) Objetivo del Plan Municipal (12) Objetivo General (12) Objetivos Específicos (12)

**V IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS EN EL MUNICIPIO** Antecedentes de los Principales Desastres en el Municipio de San Antonio Senahú, Alta Verapaz (13)

**VI COMUNIDADES EN RIESGO ANTE DESLAVES E INUNDACIONES.** Nombre de las Comunidades en Riesgo ante Deslaves y Deslizamientos (15) Nombre de Comunidades en Riesgo ante inundaciones (15)

**VII ORGANIGRAMA DE LA COORDINADORA MUNICIPAL DE REDUCCIÓN DE DESASTRES –COMRED- SENAHÚ, ALTA VERAPAZ**

**VIII ROLES Y FUNCIONES DE INTEGRANTES DE LA COMRED.** Del Alcalde Municipal (17) Grupo Toma de Decisiones (17) Del Coordinador (a) del Plan de Respuesta a Emergencia / Desastre (17) Unidad de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (18) Unidad de Logística (18) Unidad de Información (18) Comisión de Divulgación (19) Sistema de Enlaces Institucionales (19) Comisión de Evacuación (19) Comisión de Búsqueda y Rescate (20) Comisión de Manejo de Albergues (20) Comisión de Atención Primaria en Salud (20) Comisión de Ayuda Humanitaria (20) Comisión de Agua y Saneamiento (20) Comisión de Vías de Acceso (21) Comisión de Seguridad (21) Comisión de Secretaria (21)

**IX (21) INTEGRANTES Y COLABORADORES DE COMISIONES DE LA COMRED.** Comisión de Evacuación (22) Comisión de Búsqueda y Rescate (23) Comisión de Manejo de Albergues (23) Comisión de Atención Primaria en Salud (23) Comisión de Ayuda Humanitaria (24) Comisión de Agua y Saneamiento (24) Comisión de Vías de Acceso (24) Comisión de Seguridad (25) Comisión de Secretaria de la COMRED (25)

**X CRITERIOS DE ACTIVACION DEL PLAN Y ALERTAS LOCALES**

**XI SISTEMAS DE ALERTA, INTERPRETACIÓN E IMPLICACIONES DE ACTUACIÓN.** ALERTA VERDE (26) ALERTA AMARILLA (27) ALERTA NARANJA (28) ALERTA ROJA (29)

**XII SOCIOS ESTRATÉGICOS DE LA COMRED DEL MUNICIPIO DE SENAHÚ.** Nombre de los Coordinadores de la COLRED de Comunidades en alto riesgo del Municipio de Senahú, Alta Verapaz

**XIII RECURSOS DISPONIBLES Y REQUERIDOS DE LA COMRED PARA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS / DESASTRES.** Recursos materiales disponibles para la atención de emergencias (32)

Equipo donado por COOPI a COMRED de Senahú: Búsqueda Rescate y Evacuación, Identificación, Oficina de Gestión de Riesgo, Albergues y Manejo de Ayuda. Recursos materiales requeridos por la COMRED para atención de personas en Albergues (34) Recursos Humanos requeridos por la COMRED (34) Albergues Temporales (35)

#### **XIV POSIBLES EFECTOS DE LAS AMENAZAS EN SECTORES O ÁREAS VULNERABLES DEL MUNICIPIO DE SENAHÚ**

##### **XV ANEXOS**

ANEXO 1 Integrantes de Coordinadoras Locales –COLRED- (36) Comunidad Sequilá I (36) Barrio El Calvario (37) Comunidad Las Delicias (38) Comunidad Sequilá II (39) Comunidad Seamay (40) Comunidad Las Gallinas (41)

ANEXO 2. Nombre de aldeas, caseríos y fincas del municipio de Senahú, Alta Verapaz (42)

ANEXO 3. Organización Nacional de la CONRED basado en la Ley y Reglamento 109-96 (44)

ANEXO 4 Terminología sobre ciclones tropicales en la región Norte y Centroamérica así como el Norte de Sudamérica (45)

## **CAPÍTULO V**

### **1. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS EN EL MUNICIPIO**

En la actualización del Plan de Respuesta a Emergencias / Desastres del Municipio de Senahú, realizada en esta ocasión los y las participantes reafirmaron las amenazas potenciales y recurrentes que asociada a la vulnerabilidad de la población han provocado desastres. Las amenazas presentes en el municipio son las siguientes:

- a) Deslaves
- b) Inundaciones

### **2. ANTECEDENTES DE LOS PRINCIPALES DESASTRES EN EL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO SENAHU, ALTA VERAPAZ**

El municipio de San Antonio Senahú, Alta Verapaz ha sido afectado por deslizamientos desde 1976 (según versión hablada de los habitantes del Barrio El Calvario). En ese año, durante el mes de mayo –según versiones de vecinos- el deslizamiento ocurrió en los alrededores de la capilla de El Calvario, donde fallecieron 6 personas, como consecuencia de las lluvias que azotaron la cabecera municipal y las vulnerabilidades de las familias y población ubicadas en áreas de alto riesgo. .

En el año 2000, el 30 de mayo en el mismo lugar se dieron simultáneamente alrededor de 9 deslizamientos que provocaron la muerte de 13 personas (7 personas del Barrio Las Gallinas y 8 en el Barrio El Calvario) y la destrucción de varias viviendas. Como consecuencia de este desastre se realizó un proceso de reconstrucción que llevó a construir alrededor de 200 viviendas en el lugar conocido como “Colonia 30 de mayo”. Donde se esperaba que las familias que habitan los sectores del Barrio El Calvario, Sequilá I y las Gallinas se trasladaran permanentemente. Cosa que no se dio, por circunstancias que se desconocen a fondo.

La tragedia se repitió el 15 de junio de 2005 como resultado de presencia de población vulnerable ubicada en áreas expuestas a la amenaza por deslizamientos en montañas de los alrededores de Senahú, generó un flujo de lodo en la quebrada que desemboca en lo que fue el Calvario. La situación se agudizó en esa ocasión dejando como efecto del fenómeno 22 personas fallecidas (13 fallecidos en el Barrio El Calvario y 9 en el Barrio Las Gallinas) entre hombres, mujeres y niños.

De acuerdo al estudio realizado por la SE-CONRED<sup>1</sup> e información recopilada, la sucesión de eventos fue la siguiente.

**Lluvia → Deslizamientos → Flujo de Lodo → Inundación**

*Nota W.S.: Aquí el texto original contiene una serie de mapas)*

## CAPÍTULO VI

### COMUNIDADES EN RIESGO ANTE DESLAVES E INUNDACIONES

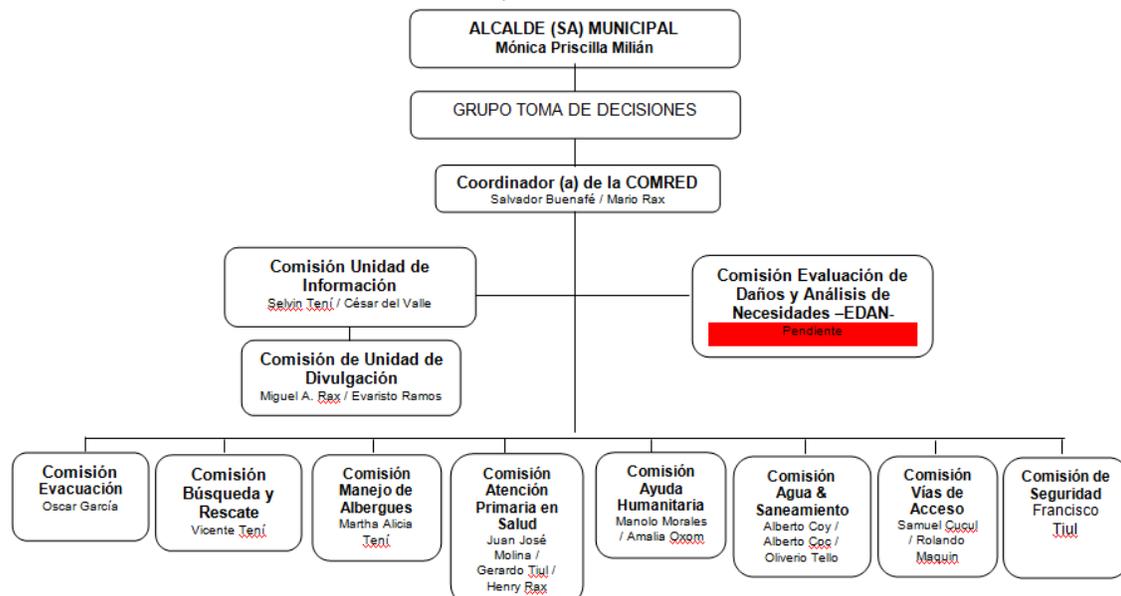
#### 1. NOMBRE DE COMUNIDADES EN RIESGO ANTE DESLAVES Y DESLIZAMIENTOS

| COMUNIDAD            | DISTANCIA HACIA LA CABECERA MUNICIPAL (KMS) | CANTIDAD DE FAMILIAS EN RIESGO | POBLACIÓN ESTIMADA (Basada en 6 integrantes promedio por familia) |
|----------------------|---|--------------------------------|---|
| La Esperanza Chireaj | 20 Km                                       | 05                             | 30  |
| Tierra Nueva         | 01 Km                                       | 05                             | 30  |
| Actelá Centro        | 48 Km                                       | 250                            | 1250  |
| Sequilá I            | 01 Km                                       | 10                             | 60  |

*(Nota W.S.: Se omite el resto de la lista).*

## CAPÍTULO VII

### ORGANIGRAMA DE LA COORDINADORA MUNICIPAL DE REDUCCIÓN DE DESASTRES –COMRED- SENAHÚ, ALTA VERAPAZ



Fuente: organigrama estructurado, analizado, revisado y consensuado por integrantes de la COMRED, en ejercicio realizado en taller para la elaboración de plan de respuesta a emergencias / desastres. Basado en experiencias de a emergencias en Senahú, Alta Verapaz. Julio 16 de 2009.

<sup>1</sup> Evaluación rápida efectuada del evento por personal técnico de la SE-CONRED. Ing. Rafael Anleu e Ing. Gustavo Barrios

## CAPÍTULO VIII

### ROLES Y FUNCIONES DE INTEGRANTES DE LA COMRED

#### 1. DEL ALCALDE MUNICIPAL

La figura del Alcalde, es la figura política que por competencia jurisdiccional le corresponde cumplir en el Plan Municipal de Respuesta a Emergencias / Desastres. Entre sus funciones están:

- a) Preside la COMRED
- b) Coordina la activación y desactivación parcial o total de la COMRED
- c) Convoca, coordina y dirige al grupo al grupo de Toma de Decisiones
- d) Controla todas las actividades del Centro de Operaciones de Emergencias –COE- en coordinación con el Coordinador (a) del Plan de Respuesta a Emergencias / desastres
- e) Asigna tareas específicas
- f) **Autoriza la Declaratoria de Alertas**
- g) Solicita apoyo a niveles paralelos o superiores
- h) Autoriza la divulgación de información oficial del evento
- i) Queda a su criterio el nombramiento de una persona para que le asesore, durante un evento en algún determinado tema.

#### 2. COMISIÓN DE EVACUACIÓN

- a) Activa el sistema de alarma
- b) Supervisa el buen funcionamiento del sistema de alarma
- c) Evacua a poblaciones amenazadas en coordinación con otros integrantes de comisiones y organizaciones comunitarias organizadas
- d) Traslada a poblaciones amenazadas y afectadas por un fenómeno
- e) Coordina con otras comisiones que le sean asignadas relacionadas al puesto y al contexto de la emergencia / desastre

## CAPÍTULO X

### CRITERIOS DE ACTIVACION DEL PLAN Y ALERTAS LOCALES

1. **LECTURA DE PLUVIÓMETROS INSTALADOS EN LA CABECERA MUNICIPAL:** 3 ½ a 4 pulgadas de precipitación pluvial en un periodo de tiempo de hora y media a dos horas, es un indicador de que la población deberá ser evacuada de las áreas de riesgo. De acuerdo a la cantidad de días y frecuencia de la precipitación se determinará la disminución de los periodos de tiempo para la alarma a la población.<sup>2</sup>
2. **OBSERVACIONES DIRECTAS:** la observación del paso de lodo y restos de árboles en las corrientes de lluvia serán consideradas elementos de alarma a la población expuesta a deslaves. Este criterio se basa en las experiencias previas de los vecinos ante deslaves.<sup>3</sup>
3. **POR ESTACIONALIDAD:** la alarma es activada por ocurrencias de fenómenos en determinadas estaciones climáticas (eje. Consecuencias del invierno, verano)

---

<sup>2</sup> Este criterio fue determinado con los y las participantes en los talleres realizados para la actualización de este plan municipal de respuesta a emergencias.

<sup>3</sup> Este criterio basado en la observación es resultado de las experiencias ante desastres sucedidos en la cabecera municipal, particularmente en donde se tiene recurrencia de los deslaves.

4. **POR OCURRENCIA SUBITA:** la alarma se activa sin previo aviso por la ocurrencia de fenómenos (eje. Terremoto)

## **CAPÍTULO XI**

### **SISTEMAS DE ALERTA, INTERPRETACIÓN E IMPLICACIONES DE ACTUACIÓN**

Alerta Naranja:

Interpretación

- Cuando exista notificación de que un fenómeno afectó varias localidades en un municipio y estas no tienen capacidad local para responder y exista necesidad de solicitar apoyo de un nivel paralelo o superior. Cuando el impacto del fenómeno es inminente.
- Cuando se tenga un registro de 3 ½ a 4 pulgadas de precipitación pluvial en un periodo de tiempo de hora y media a dos horas, será un indicador de que la población deberá ser evacuada de las áreas de riesgo.
- Cuando los niveles de lluvia sean intensos localmente e incrementen la cantidad de lodo y ramas arrastradas por las corrientes de agua en las calles en áreas vulnerables de la cabecera municipal.

Implicaciones:

**El Alcalde Municipal como Presidente de la COMRED y el Coordinador del Plan**, convocan, coordinan, dirigen y controlan al **Grupo de Toma de Decisiones y activa el COE**. Además, realiza lo siguiente:

- a) Autorizan la divulgación de información oficial del evento.
  - b) Asignan tareas específicas.
  - c) Supervisan y apoyan el efectivo desempeño del personal y los funcionarios enlace en la aplicación de todos los procedimientos establecidos.
  - d) Mantienen comunicación permanente con la Coordinadora Departamental para la Reducción de Desastres por medio de la Unidad de Información.
  - e) Solicitan apoyo a niveles paralelos o superiores
  - f) Nombran a su criterio a una persona para que le asesore durante un evento en algún determinado tema.
  - g) Otras que surjan de acuerdo a las situaciones que se presenten dadas las circunstancias en el contexto de las emergencias / desastres.
- **La Comisión de Evacuación**, activa el sistema de alarma. Procede a evacuar de forma total a las personas ubicadas en áreas de alto riesgo y las moviliza hacia los refugios temporales. Evacúa a poblaciones amenazadas en coordinación con otros integrantes de comisiones y organizaciones comunitarias organizadas. Traslada a poblaciones amenazadas y afectadas por un fenómeno.

## **Anexo 7b. Experiencias con SATD en El Salvador**

### **1. Sistema nacional**

El sistema nacional de El Salvador se basa principalmente en

- 1) La componente científica del Observatorio Ambiental (antes SNET) del Ministerio del Ambiente MARN, que reúne meteorología, hidrología y geología, geofísica, sismología, vulcanología, mapeo de riesgos.
- 2) La institución estatal de Protección Civil
- 3) Aportes por Universidades, empresas privadas o estatales
- 4) Aportes por ONG, cooperación internacional

El Observatorio Ambiental (antes SNET) del Ministerio del Ambiente MARN; compuesto por cerca de 80 personas, autoridad directa del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) desarrolla y mantiene una red sísmica, el sistema de monitoreo de volcanes, las redes de estaciones meteorológicas e hidrométricas, y realiza observaciones de campo y estudios científicos. La institución es también responsable de alerta de tsunamis. La mayoría de las estaciones son telemétricas y se mantiene el intercambio internacional de datos. Los conjuntos de datos resultantes se manejan con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los resultados son publicados de manera oportuna en el sitio Web del instituto. Además, los SIG contienen una gran cantidad de información de proyectos y datos obtenidos de los estudios realizados en El Salvador recientemente.

El Observatorio Ambiental tiene un grupo muy reducido de especialistas de 2 personas que trabajan sobre deslizamientos. No disponen de equipos especiales para hacer mediciones in situ.

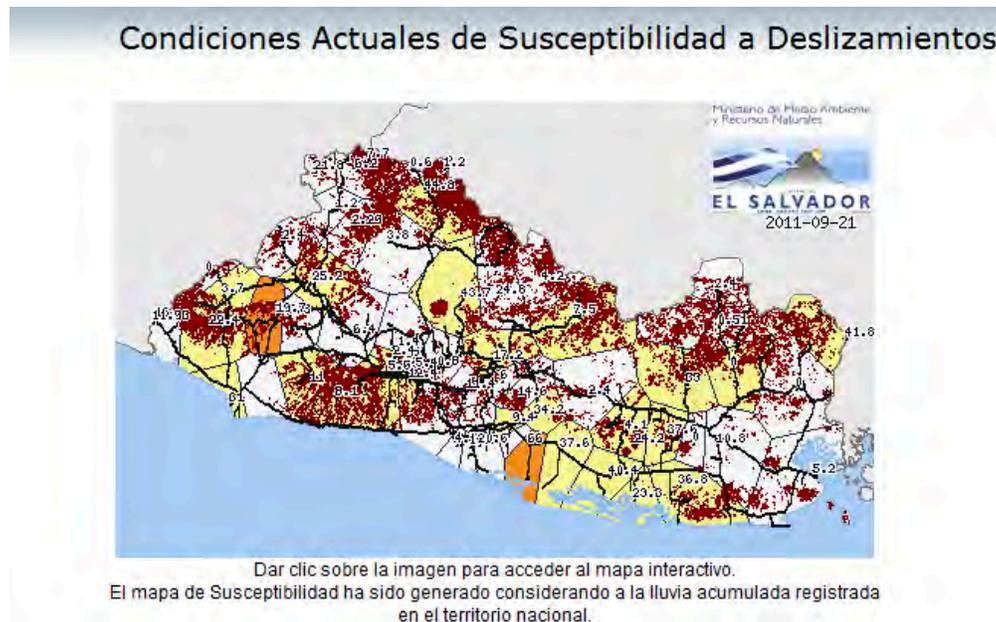
#### **1.1 Esfuerzos anteriores**

En el informe del proyecto RECLAIMM (2008) se reporta: *“No fue hasta el año 2001 a raíz de los terremotos que afectaron a El Salvador que el tema de la Alerta Temprana empezó a tener protagonismo. En la Dirección General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (DGSNET) se hicieron las primeras investigaciones desde el año 2002. El primer sistema (centralizado. W.S.) de alerta temprana estaba basado en la duración de la lluvia, es decir, si una lluvia tenía una duración de más de 24 horas entonces se activaba un nivel de alerta y así sucesivamente. Fue hasta el año 2005, en el taller realizado en Costa Rica por el programa RECLAIMM, que se exponen algunos conceptos de Sistemas de Alerta Temprana por Deslizamientos y se presenta el caso de la Oficina de Ingeniería Geotécnica (GEO) de Hong Kong. A partir de allí se realizan una serie de acciones en la DGSNET encaminadas a establecer un Sistema de Alerta Nacional por Deslizamientos basado en la acumulación de lluvia, el cual se ha mantenido funcionando hasta la fecha.”*

El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET ha desarrollado, desde 2002, un sistema nacional de monitoreo y alerta temprana de deslizamientos basado en datos de su red meteorológica. Se calcula la susceptibilidad de deslizamiento considerando la las zonas con alta pendiente y la distribución de las precipitaciones acumuladas en 24 horas y la historia de la precipitación en los últimos días y semanas.

Este sistema se mantiene desde algunos años y se ha usado para dar alertas a algunas zonas donde el algoritmo señaló alta posibilidad de deslizamientos. No obstante, se presentaron los siguientes

problemas: La red meteorológica no es suficientemente densa, las interpolaciones entre los sitios de las estaciones no presentan una buena estimación de las lluvias a la situación real para lugares lejos de las estaciones.



**Figura 1. Mapa de susceptibilidad que se publica a diario en el sitio Web del SNET**

Además, la lluvia acumulada en 24 horas no funciona bien para los fenómenos rápidos cuando se forman campos de lluvia dentro de pocas horas y causan deslizamientos (p.ej. caso del desastre del 7 de noviembre de 2009). También el contacto con Protección Civil y autoridades locales no fue suficientemente estrecho.

## 1.2 Volcán San Vicente Norte y Volcán San Miguel

A partir de 2002, SNET y comunidades locales realizaron con apoyo de COSUDE, NGI, USGS mapeo de amenazas por deslizamientos y la instalación de SATD locales en la zona al Norte del Volcán San Vicente. Incluían capacitación de la población, alerta comunitaria y monitoreo instrumental.

También para el Volcán San Miguel se propuso instalar sistemas de alerta temprana, ver **PLAN DE EMERGENCIA LOCAL CANTÓN EL NIÑO, 2002**, [http://www.ceprode.org.sv/textoceprode/pdf/doc1659/doc1659\\_contenido.pdf](http://www.ceprode.org.sv/textoceprode/pdf/doc1659/doc1659_contenido.pdf).

## 1.3 Nuevo sistema nacional

A partir de 2010 se está desarrollando un sistema mejorado, que se describe en el siguiente capítulo.

(Información de MSc Manuel Diaz, MARN-SNET, y OXFAM)

Las zonas con mayor peligro de deslizamientos son la Cordillera Volcánica del Norte, La Cordillera Volcánica Cuaternaria y la Cordillera Costera.



Figura 1. Zonas de Deslizamientos

El Sistema de Alerta Temprana por Deslizamientos a Nivel Nacional basado en el monitoreo de lluvias para hacer una evaluación de la susceptibilidad sigue funcionando y los resultados se publican todos los días en: <http://mapas.snet.gob.sv/geologia/deslizamientos2010.php>



Figura 1. Red meteorológica del MARN

La red meteorológica dispone de un total de 71 estaciones. Además hay 70 observadores en el país con pluviómetros sencillos que reportan diariamente.

Desde 2010, están operando 6 radares de lluvia (de bajo costo). Los mapas de lluvias producidos con los radares se ven en : <http://www.snet.gob.sv/googlemaps/radares/radaresSV.php>.

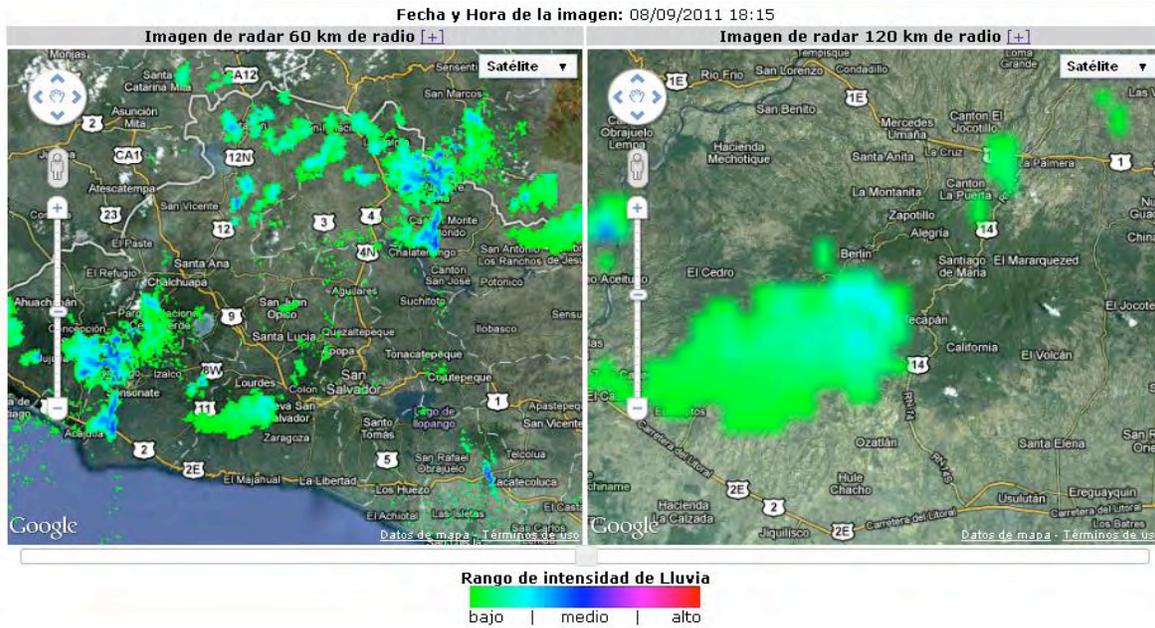


Figura 2. Mapa de radares meteorológicos publicado en tiempo real en el sitio Web del MARN

En la estación lluviosa hay personal las 24 horas-365 días dando seguimiento a las lluvias. Se realizan reuniones diarias (Clínica Meteorológica) en la cual se presenta y revisa el pronóstico meteorológico.



Foto 1. Reunión meteorológica diaria en el SNET

Hay 5 zonas prioritarias: Cerro de Apaneca (al occidente), San Salvador (El Picacho), volcán de San Vicente (ladera norte), Cerro Pelón (Berlin) y en volcán de Conchagua (ladera norte). En estos lugares estamos instalando estaciones pluviométricas con transmisión satelital para medir las lluvias. El umbral de transmisión se ha calibrado para que en caso de lluvia moderada envíe datos cada 5 minutos.

Entonces, cuando se detectan lluvias fuertes en los lugares prioritarios se llama inmediatamente a Protección Civil. Ellos a su vez han mejorado sus delegados departamentales y municipales y se encargan de monitorear dichas zonas. Si existen zonas de susceptibilidad alta y el pronóstico meteorológico indica que seguirá lloviendo, entonces se emite un boletín de alerta. Los boletines son enviados a Protección civil, Ministerios e instituciones importantes, medios de comunicación e internet. En 2010 se emitieron 41 boletines de alerta.

**Informes Especiales**

**Susceptibilidad para generar deslizamientos de tierra**

**Boletín 22**

2010-08-30 12:00:00

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales informa que debido a los acumulados de lluvia del fin de semana recién pasado se ha incrementado la probabilidad de producirse deslizamientos de tierra en las siguientes zonas:

- Concepción de Oriente, en el departamento de La Unión.
- Zona del Puente Cuscallán, con énfasis en los caseríos de San Lorenzo, San Francisco Chamoco y El Rebelde.
- Los Naranjos, en el departamento de Sonsonate.
- Volcán de Santa Ana, con énfasis en el cantón Planes de la Laguna, en la orilla poniente del lago de Coatepeque.
- Delicias de Concepción, San Francisco Gotera y Perquín, en el departamento de Morazán.
- Norte del Departamento de San Miguel, en las poblaciones de Sesori, Ciudad Barrios, San Luis La Reina y Carolina.

Asimismo, se recomienda poner atención en los siguientes lugares ya que las lluvias previstas para este día, podrían incrementar la humedad del suelo:

- La Palma, San Ignacio y Las Pilas, en el departamento de Chalatenango.
- Volcán de Conchagua, en las poblaciones de Conchagua y los cantones Yologual y Conchagua.

Los pronósticos meteorológicos indican que para este día se esperan tormentas con actividad eléctrica, chubascos y lluvias de aisladas a dispersas y de moderada intensidad sobre el territorio con énfasis en la franja centro y norte del país.

Por lo tanto, se recomienda a las personas que habiten cerca de quebradas y en laderas de fuerte pendiente o que conduzcan por las carreteras cercanas a las zonas antes descritas estar alertas a la posibilidad de producirse deslizamientos de tierra. Además de estar pendiente de las recomendaciones que emita la Dirección General de Protección Civil.

Este informe estará vigente hasta el próximo miércoles 1 de septiembre. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, continuará el monitoreo de las condiciones meteorológicas y emitirá nueva información de acuerdo a las condiciones de humedad en el suelo.

Para mayor información comunicarse a:  
Gerencia de Comunicaciones  
Tels.: (503) 2233 9524, (503) 2233 9525, (503) 2233 9502, (503) 2233 6281  
Fax (503) 2233 9523, (503) 2233 9429, comunicacionessnet@snet.gob.sv  
www.mam.gob.sv www.snet.gob.sv

**Zonas en rojo**

**Zonas en naranja**

**Figura 3. Ejemplo de Informe Especial con alertas por deslizamientos**

MARN-SNET está también en contacto con las municipalidades y se ha identificado observadores locales a quienes también se informa en caso de lluvias intensas. De este modo, la información les llega por dos vías. A los observadores locales se les proporcionó charlas de capacitación.

Se considera que esto es solamente un comienzo y todavía falta mucho por trabajar. Se cree que el fortalecimiento de las comunidades es muy importante y clave para la disminución del riesgo por deslizamientos. No solo se trata de tener la instrumentación más sofisticada sino también de que las comunidades conozcan y entiendan los riesgos a que están expuestos.

## 2. Sistemas Comunitarios

Se encontró material sobre los siguientes SATD comunitarios en El Salvador:

**Tabla 1. SAT comunitarios en El Salvador**

| Nº | Latitud | Longitud | Organización                     | Tipo    | otros fenómenos | Institución    | Ubicación                     | Situación          |
|----|---------|----------|----------------------------------|---------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------|
| 1  | 13.60   | -88.84   | Comunitario, apoyo de ONG y SNET | Lahar   |                 | MARN           | Guadalupe, Volcán San Vicente | Abandonado en 2001 |
| 2  | 13.75   | -89.26   | mixto                            | lahar   |                 | MARN           | Picacho                       | En desarrollo      |
| 3  | 13.66   | -89.19   | mixto                            | general |                 | OPAMSS         | OPAMSS                        | En desarrollo      |
| 4  | 14.39   | -89.38   | comunal                          | desliza |                 | Alcaldía       | Trifinio                      | funciona           |
| 5  | 13.90   | -89.93   | comunal                          | desliza |                 | Alcaldía       | Tacuba                        | funciona           |
| 6  | 13.60   | -88.84   | central                          | Lahar   | Volcán          | MARN           | Volcán San Vicente Norte      | En desarrollo      |
| 7  | 13.43   | -88.27   | central                          | Lahar   | Volcán          | MARN           | Volcán San Miguel             | En desarrollo      |
| 8  |         |          | Mixto                            | Lahar   |                 | Alcaldía, MARN | Berlin                        | funciona           |
| 9  |         |          | mixto                            | Lahar   |                 | Alcaldía, MARN | Conchagua                     | funciona           |

En el informe de Tejada (2011) sobre SAT en El Salvador se mencionan adicionalmente los siguientes SATD en diseño : El Congo-Coatepeque, Juayúa- Apaneca, Nonualcos, Cojutepeque.

Aunque no es mencionado específicamente como un SATD existe un monitoreo de la situación en Santa Tecla y alrededores, sitio del desastroso deslizamiento desencadenado por el terremoto de magnitud 7.6 en enero de 2001.

### 2.1 Guadalupe, Volcán San Vicente Norte

Al inicio de los años 2000 se realizaron capacitaciones sobre la amenaza de lahares en los pueblos ubicados en la zona Norte del Volcán San Vicente. Esta zona es la más amenazada por lahares en El Salvador, ver cap. 3.b. Para la pequeña ciudad Guadalupe situada al Oeste de la zona se logró instalar en 2000 un SAT muy tecnificado con ayuda de una ONG francesa. El sistema consistió de sensores ubicados en la parte alta del volcán en el cauce por el cual se bajan los lahares que amenazan el pueblo. Las señales se transmitieron con telemetría a un centro de monitoreo. Hubo sirenas que se encendieron automáticamente cuando los sensores detectaron un lahar. El costo del sistema fue de algunos 200,000 dólares. Desafortunadamente la comunidad y la institución científica centralizada (SNET) no lograron adueñarse apropiadamente del sistema, y después de terminar el proyecto de instalación no se dio un mantenimiento adecuado. Ocurrieron fallas verdaderas o supuestas (p.ej. las sirenas sonaron como señal que las baterías se habían descargadas). En vez de dar mantenimiento se apagó o desmanteló el sistema.

En el informe de Francia et al. (2003) sobre “ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES

Y PROPUESTA DE PLAN MUNICIPAL DE REDUCCION DEL RIESGO” del proyecto COSUDE ya se menciona que el SAT no está funcionando desde 2001.

Pero, todavía en el informe de la consulta nacional para la elaboración del Taller de Consulta nacional V Plan de Acción de DIPECHO (noviembre de 2007), Departamento de San Vicente, se menciona la existencia de SATD en Guadalupe y Verapaz:

**”2.1 Sistemas de Alerta Temprana**

*Al igual que en otros departamentos con amenazas importantes se considero que la vigilancia permanente a través de sistemas de alerta temprana constituye un elemento de trascendental para fines de los preparativos.*

*Dentro del proceso de la investigación y con los datos obtenidos en el taller de consulta fue posible identificar información de la existencia de sistemas de alerta temprana según se reflejan en la tabla siguiente.*

| <b>MUNICIPIO</b> | <b>Sistemas de alerta temprana (SAT)</b>   | <b>Ubicación</b> |
|------------------|--|------------------|
| <i>Guadalupe</i> | <i>Nivel de preparativos altos, ya que <u>existe un sistema de alerta temprana para deslizamientos y derrumbes con alta tecnología</u></i> | <i>Sin datos</i> |
| <i>Verapaz</i>   | <i><u>Nivel de preparativos medios, ya que existe un SAT pero se requiere analizar si aun funciona adecuadamente</u></i>                   | <i>Sin datos</i> |

Pero más abajo dice:

*“A lo largo de la quebrada “El derrumbo” en el municipio de Guadalupe se han construido siete (7) diques de retención de sólidos y se ha instalado un Sistema de Alerta Temprana, sin embargo de acuerdo a lo expuesto por el alcalde municipal de Guadalupe, el Sistema no se encuentra operando por la falta de sensores.”*

En el capítulo “2.1.1 EN CUANTO A LA VULNERABILIDAD: EN TÉRMINOS DE PREPARATIVOS”, se caracteriza:

**A. Sistemas de Alerta Temprana**

*Pese a los niveles de amenaza (Ver tabla) solo se encontraron dos registros acerca de sistemas de alerta temprana uno para deslizamientos y dos para inundaciones, esto obviamente hace que la detección temprana de amenazas sea improbable contribuyendo a que el apareamiento de un evento adverso sea de consecuencias fatales.”*

En el capítulo “5.1 RECOMENDACIONES” dice

**C. Sistemas de Alerta Temprana**

*Organizar sistemas de alerta temprana con enfoque microregional integrando municipios que comparten amenazas comunes a fin de sumar y optimizar los procesos en la detección temprana de amenazas y sumar esfuerzos en la respuesta conjunta.”*

Obviamente esta recomendación es demasiado general. Reconociendo que dos SATD una vez instalados ya no funcionan se debía recomendar con urgencia que las comunidades y las instituciones centrales (SNET y Protección Civil) tomen cartas y restablezcan los sistemas.

El 7 y 8 de noviembre de 2009 ocurrieron fuertes lahares en la zona de Verapaz y Guadalupe. Especialmente Verapaz fue fuertemente afectado. En total murieron aproximadamente 100 personas en esta zona.

## 2.2 SATD del Noreste del AMSS (Área Metropolitana de San Salvador)

Después de la experiencia del desastre del 7 y 8 de noviembre de 2009, el SNET iba a establecer o restablecer SAT locales en sitios como San Vicente Norte o Picacho, San Salvador no obstante la posición actual es que estos como otros sitios se integrarán en un sistema mixto que combina los esfuerzos centralizados del SNET y elementos comunitarios.

El funcionamiento de este sistema se explica en el siguiente material para el SATD de la zona Noreste del AMSS fue proporcionado por Oficial Humanitaria Centroamerica Oxfam Solidaridad, San Salvador, El Salvador, C.A.:

### **“FICHA TECNICA PARA LA IDENTIFICACION E IMPLEMENTACION DE NUEVOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT) EN EL SALVADOR**

Desarrollado por Oxfam Solidaridad - PROCOMES

#### **1- Contexto, Localización y Justificación del SAT**

##### **1.1 Descripción del contexto en el que se pretende instalar el SAT**

La franja noreste del Área Metropolitana de San Salvador con sus municipios Apopa, Ciudad Delgado, Tonacatepeque y San Martín abarca a 25% de la población del AMSS (387,609 habitantes) en un terreno multiamenaza, que cuenta con las siguientes condiciones:

- Forma parte de la cadena volcánica joven del país, la cual presenta pendientes fuertes y depósitos volcánicos intercalados aleatoriamente consistiendo mayoritariamente en rocas, cenizas y piroclásticos, volviendo el terreno propenso a deslaves y erosión.
- Las unidades territoriales que componen el área, la caldera de Ilopango y las cuencas del río Cañas y Acelhuate<sup>1</sup> representan para las comunidades aledañas también amenazas de inundación que aumenta exponencialmente en invierno, con impacto para las cuencas bajas que cruzan el centro de la capital.
- Ubicado sobre la caldera volcánica de Ilopango y un complejo sistema de fallas locales y a la subducción de placas tectónicas en Centroamérica, el terreno abarca un alto riesgo sísmico, que a su vez potencia la probabilidad de movimientos de laderas.

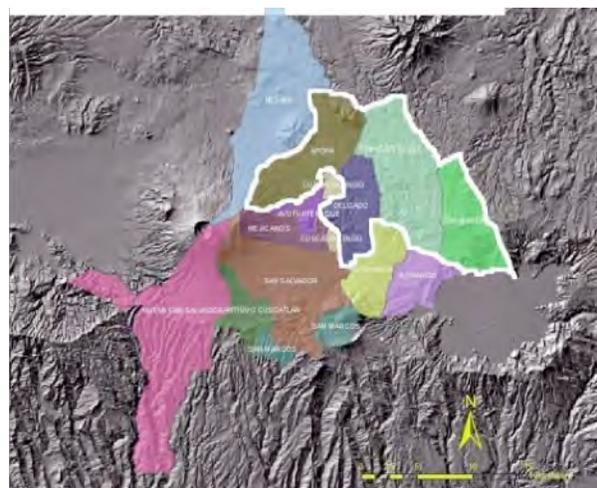


Figura 3 Zona de influencia del SAT OPAMSS

<sup>1</sup> Geólogos del Mundo « Estudio de amenazas en el área metropolitana de San Salvador », IPGARAMSS 2008

- *Las alturas del terreno están potencialmente expuestas a fuertes vientos.*
- *Sumadas a los procesos sociales de transformación, como botaderos de basura a cielo abierto, y tuberías que desembocan en la quebrada, la ubicación de las viviendas en o cerca de quebradas, provocando una modificación de los cauces naturales de los ríos, propician condiciones de riesgo altas con posibilidades de ocurrencia de desastres.*

*Las múltiples amenazas se cruzan con una alta vulnerabilidad socioeconómica de la población: alta densidad poblacional, altos niveles de violencia, bajos niveles de ingresos y educación, así como precaria calidad de construcción de viviendas.*

*Frente a esta combinación de amenazas y vulnerabilidades, los niveles de preparación, planificación y conciencia de los municipios y comunidades son bajos o incipientes (ver documento país).*

*Encarado a un creciente deterioro ambiental y un aumento de ocurrencia de desastres, este escenario puede provocar cada año más pérdidas. Para contrarrestar esta tendencia es importante generar conciencia y fortalecer las capacidades locales de primera respuesta en áreas organizativas, de conocimiento y equipamiento, de monitoreo y alerta, y articular los esfuerzos locales con el sistema nacional de protección civil.*

### **1.2 ¿Dónde se instalará el SAT?**

*El SAT de inundaciones y deslizamientos se instalará en la franja noreste del Área Metropolitana de San Salvador, con un sistema de monitoreo en los municipios de Apopa, Ciudad Delgado, Tonacatepeque y San Martín. El terreno está trazado por tres subcuencas. El río Acelhuate cuenta con una estación telemétrica en el Mercado Belloso del Distrito 5 de San Salvador. El río Tomayate fluye paralelo al Acelhuate hasta reunirse con él entre Apopa y Guazapa. Algunos km más abajo se reúne también el río Cañas. Se colocará otra estación telemétrica en la subcuenca del Río Cañas.*

### **1.3 ¿A quién beneficiará el SAT?**

*Los municipios Apopa, Ciudad Delgado, Tonacatepeque y San Martín abarcan a 25% de la población del AMSS (387,609 habitantes). Se trabajará en procesos organizativos, formativos y de equipamiento con los cuatro municipios y aproximadamente 25 comunidades en alto riesgo (aproximadamente 37.500 personas).*

*La identificación exacta de las comunidades y sus censos quedan pendientes.*

*Los datos obtenidos en la cuenca alta de los tres ríos pueden servir también a los municipios de Guazapa, Aguilares y Colima, quienes se encuentran en la cuenca baja.*

## **2- Descripción Técnica del SAT**

### **2.1 ¿Cómo funcionará el SAT?**

- **Conocimiento de los riesgos**

*La zona de intervención ha sido parcialmente estudiada por Geólogos del Mundo (estudios y mapas de amenaza por movimiento de laderas e inundaciones de la Caldera de Ilopango, Río Cañas, Acelhuate). Se actualizarán y complementarán los datos existentes en un estudio multiamenaza de la zona, identificando las zonas de inundación, las zonas de deslizamiento, información descriptiva de los municipios, un análisis geológico e hidrometeorológico, análisis de puntos críticos de deslizamiento y elaboración de mapas.*

*Un segundo componente de la consultoría será el diseño del SAT, incluyendo la propuesta de ubicación de las estaciones de monitoreo y la estimación de umbrales de alerta.*

*Los TdR del estudio se compartirán con el SNET para su aprobación.*

- **Monitoreo y servicio de la alerta**

*Las estaciones telemétricas ubicadas en las cuencas del Acelhuate (desde DIPECHO V) y del Río Cañas (a colocar en DIPECHO VII) transmiten información sobre la precipitación en tiempo real al centro de monitoreo del SNET. Los pluviómetros tipo Hellmann que estarán ubicados en las comunidades de alto riesgo. Su información será tomada diariamente por los monitores locales y*

transmitido al centro de monitoreo municipal, de donde mínimo semanalmente se envía el consolidado al SNET.

El Centro de Monitoreo Municipal enviara informes al SNET, y al sobrepasar los umbrales determinadas para alertas (según el estudio a realizar previamente), informara directamente las comisiones municipales y comunales de Protección Civil para tomar respectivas medidas (activación de comisiones, monitoreo intensivo de cuencas y taludes, evacuación, etc.). Los centros de monitoreo locales deben, con la información que recolectan y genera, poder tomar decisiones propias durante un evento extremo.

- **Difusión y comunicación de la alerta**

El SNET y Protección Civil así como las Comisiones Comunales y Municipales estarán informados de manera oportuna por el centro de monitoreo municipal. Queda pendiente aprobar un sistema de alerta local y sus protocolos de comunicación por las instituciones rectoras, para que no haya retrasos en la transmisión de las alertas y su emisión a través de equipos (Megáfonos, sirenas) en las comunidades en riesgo. El equipo de alerta será complementada por las visitas casa por casa de las Comisiones Comunales, ya que durante lluvias torrenciales los equipos de sonido tienen sus limitaciones.

- **Capacidad de respuesta**

Los municipios en cuestión contarán con una Comisión Municipal de Protección Civil capacitada y equipada, y las comunidades más críticas contarán con sus Comisiones Comunales de Protección Civil. Se elaborarán/actualizarán Planes Comunales y Municipales de Protección Civil, que identifican las responsabilidades de cada quien antes, durante y después de la emergencia, así como la infraestructura p.e. de albergues disponibles.

Se llevará una campaña comunitaria educativa sobre el funcionamiento del SAT, que abarca no solo a las comisiones, sino a la población en general.

### **2.3 ¿Cómo se vincula el SAT a con otros SATs, instrumentos de medición existentes y redes nacionales?**

El SAT permite monitorear las principales cuencas del Área Metropolitana de San Salvador, que abarca a un tercio de la población del país. Integra la ya existente estación telemétrica del río Acelhuate (donado por Oxfam y la Comisión Europea en el marco del V. Plan de acción de DIPECHO), así como la red de monitores multiamenaza de la Microrregión Melida Anaya Montes y el Distrito 6 de San Salvador (formados y equipados en el marco del VI. Plan de acción de DIPECHO), en un sistema de monitoreo más amplio, que abarca las cuencas adyacentes.

El alto grado de densidad poblacional en las zonas de alto riesgo si bien requiere obras vinculadas a inversiones extensas para mitigar la alta amenaza a deslaves e inundaciones, mínimamente obliga a tener un SAT para prevenir pérdidas humanas.

### **2.5 ¿Cómo se integra el SAT dentro de una estrategia de proyecto/programa más amplia?**

Formara parte de los primeros ejercicios prácticos de implementación de SAT de deslizamientos según el modelo de criterios mínimos recientemente aprobados por el SNET. Su sistematización y divulgación promoverá su aplicación en otras partes del país y serán fortalecidos con el Programa Nacional de Reducción de Riesgos, actualmente en implementación por el MARN-DGSNET. Se retomaran también los avances de SAT de inundaciones.

El SAT estará íntimamente vinculado con el fortalecimiento de capacidades locales en preparación para desastres, tanto el nivel comunitario como al nivel municipal, ya que la organización y capacitación son parte integral del SAT.

Alimentara la campaña global de “Municipios Resilientes” promovido por el EIRD y retomado por 4 afiliados de Oxfam en Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua).

### **3- Viabilidad Técnico-Financiera y Sostenibilidad**

#### **3.1 ¿Por qué se han elegido los equipos y tecnología descritos arriba?**

Los equipos y tecnología (estación telemétrica, pluviómetros Hellman) corresponden a los requerimientos de la ente rectora (el SNET), y han sido aprobados por varias experiencias del programa DIPECHO.

(Nota. No se da una verdadera explicación sobre las razones de la elección de este equipo. W.S.)

#### **3.2 ¿Cual es la inversión/coste total del SAT? (Equipos, Asistencia Técnica, gastos operativos, infraestructura de soporte) (Calculos preliminares)**

|  |                   |
|--|-------------------|
| Instrumentos de medición (1 estación telemétrica y 12 pluviómetros Hellman) y monitoreo (4 centros de monitoreo municipales) | <b>25,000 USD</b> |
| Equipos de Tele-comunicación (15 radiotelefonos) y centros de monitoreo  | <b>28,575 USD</b> |
| Costes operativos y de instalación (personal técnico)  | <b>5,000 USD</b>  |
| asesoría técnica   | <b>14,000 USD</b> |
| Capacitación (diseño de plan de capacitación, material didáctico, capacitación monitores)                                    | <b>5,530 USD</b>  |
| <b>Total</b>   | <b>78,105 USD</b> |

#### **3.3 ¿Quién administrará/gestionará el SAT? (Compromisos, Roles y responsabilidades en el funcionamiento y mantenimiento de equipos, etc.)**

Antes de iniciar el proyecto se firman cartas de mutuo acuerdo con las alcaldías y el SNET sobre los componentes compartidos como la implementación de los SAT, identificando el papel y las responsabilidades de cada uno. Luego se firmaran convenios con las alcaldías y el SNET, se capacitara a las personas encargadas del monitoreo y comunicación, y finalmente las actas de donación del equipamiento serán vinculados con el compromiso de seguimiento. Se propone donación y seguimiento del equipo telemétrico al SNET. La frecuencia de los radioteléfonos estará cubierta para dos años.

Los datos de las estaciones telemétricas se transmiten directamente al SNET (Hidrología-Geología), y los centros de monitoreo municipales, ubicados en los COEs municipales y atendidos (idealmente) por el delegado municipal de la DGPC.

Los monitores comunales/locales enviaran a través de radioteléfonos los datos obtenidos en los pluviómetros a los centros de monitoreo municipales, y el conglomerado será enviado al SNET (en caso que fuese necesario, el SNET se puede comunicar directamente con los monitores locales a través de los radio- teléfonos).

#### **3.4 ¿Cuál es el plan y calendario de implementación/instalación del SAT?**

En coordinación con el SNET, la Cruz Roja y AOS se prepara la realización de un estudio previo que determina la localización del equipamiento y estimación de los umbrales para el monitoreo. Paralelamente se inicia la capacitación de monitores locales, y el equipamiento con radioteléfonos, para que al inicio de la siguiente temporada de lluvia se ponga en marcha el SAT. Luego el equipo técnico junto con las autoridades dará seguimiento a la red de monitores. (ver anexo calendario)

### 3.5 ¿Cuales son los principales Factores Externos y supuestos en relación con el SAT?

El factor más importante es el compromiso de las comunidades y municipios de capacitarse, darle el cuidado y mantenimiento al equipo, y pasar idóneamente la información según los protocolos establecidos. Para asegurar este supuesto se realizan visitas de sensibilización y firman cartas de compromiso al inicio del proyecto.

Un factor que puede perjudicar parte del equipamiento es la violencia, robo y destrucción del mismo. Se trata de prevenir a través de campañas de sensibilización en las comunidades sobre la importancia del SAT para la seguridad de sus familias.

## 4- Avales sociales y técnicos

### 4.1 ¿Qué actores/ instituciones han sido consultados durante la fase de identificación del SAT?

| Nivel     | Quien(es)                 | ¿Cómo?  | ¿Existe aval escrito? | ¿Quién firma este aval? |
|-----------|---------------------------|---|-----------------------|-------------------------|
| Local     | Comunidades, Líderes, etc | reuniones   | Pendiente             |                         |
| Municipal | Alcaldía                  | Reunión   | si                    | Alcaldes                |
| Nacional  | SNET                      | Reunión   | si                    | Directora               |
|           | Protección civil          | Reuniones, listados de priorización zonas vulnerables | si                    | Director                |

## 2.2 SAT DE TACUBA

Tacuba es un municipio del departamento de Ahuachapán, ubicado al sur de la ciudad de Ahuachapan, con una altura de 1.500 s.n.m. Cuenta con una población de 5000 habitantes. Lo siguiente se tomó de MARLAH II / GTZ-Plan Trifinio ( 2007 ) Guía para la gestión local de riesgo por DESLIZAMIENTOS, Guatemala-El Salvador:

El proceso de gestión de riesgo en Tacuba se desarrolló de la siguiente manera:

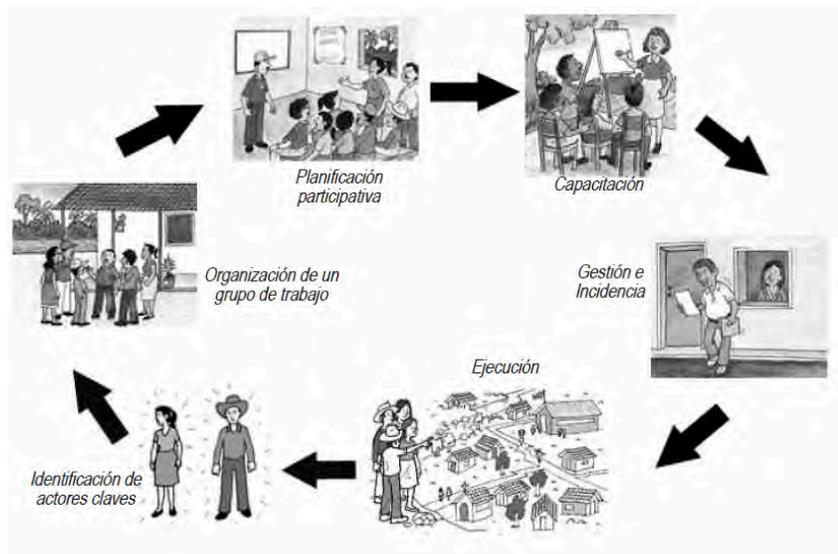


Figura 4. Gestión de riesgo en Tacuba

*La Red Comunitaria, como instancia responsable de la implementación del proceso, hizo un proceso de consulta e invitó a participar a los diferentes actores claves del municipio para incorporarse en las acciones. Entre ellos, las instituciones gubernamentales, ONGs, organizaciones comunitarias, municipalidad, iglesias entre otros.*

*A partir de procesos de discusión y análisis de las problemáticas sobre los deslizamientos en el municipio es que se conforma el Grupo de Gestión Local de Riesgo, en donde se definen los roles y funciones de cada uno de los actores involucrados en la implementación del proceso.*

*Este grupo elabora el plan de gestión local de riesgo municipal y se presenta con la propuesta al Concejo Municipal, para que sea sometido a consideración e incorporado en el Plan de Desarrollo que la Alcaldía debe elaborar. En este proceso se establecen las relaciones de cooperación y coordinación interinstitucional que se requieren para cumplir con las acciones planificadas.*

*El Grupo de Gestión Local de Riesgo y la Red de comunidades organizadas se capacita en forma continuada en los enfoques conceptuales y en procesos técnicos, vinculados al conocimiento de los deslizamientos y además se promueven acciones de sensibilización a grupos más amplios de la población, para que se apropien y manejen los detalles de un sistema participativo de monitoreo de la amenaza de deslizamientos.*

*Este proceso de capacitación incorpora un componente fuerte en la apropiación de los actores sobre los componentes técnicos del tema de los deslizamientos, vinculado con el conocimiento popular que permite hacer recomendaciones técnicas de manera participativa con los especialistas en deslizamientos que acompañaron las investigaciones y estudios.*

*Los geólogos trabajaron de manera directa con las comunidades para el levantamiento de las informaciones de campo y traslado de los resultados, para garantizar que estas personas sean las responsables del seguimiento.*

*A partir de los resultados y recomendaciones del estudio geológico que se hizo en el municipio, se definió la instalación de un sistema de monitoreo del desplazamiento de terrenos en laderas, vinculado a una red pluviométrica y comunicación por radio, cuando es posible.*

*El sistema de alerta para el manejo de los deslizamientos en Tacuba es un proceso de gestión local de riesgo, que involucra la participación organizada de diferentes actores y promueve la concientización de la población en torno al manejo apropiado de la amenaza de los deslizamientos.*

*Desde su instalación en el 2001, el sistema funciona liderado por el grupo de gestión local de riesgo, asesorado por el Sistema Nacional de Estudios Territoriales-SNET, en las ramas de meteorología y geología. Los actores locales, junto con las comunidades, son los responsables de la sostenibilidad en el funcionamiento de los equipos. Las instituciones acompañantes más relevantes son la Policía Nacional Civil, Unidad de Salud y el Destacamento Militar #7 de Ahuachapán.*

### **SAT del Trifinio**

El Trifinio es la zona donde convergen las fronteras de Guatemala, El Salvador y Honduras. Existen planes de desarrollo comunes para esta zona.

Con apoyo de la GTZ se está desarrollando un SATD en la parte salvadoreña del Trifinio (El Salvador, Guatemala, Honduras) que se basa en las experiencias obtenidas en Tacuba. Ver MARLAH II / GTZ-Plan Trifinio ( 2007 ).

### **2.3 Posible SAT para el Picacho (San Salvador)**

Informe del SNET sobre el posible SATD en el Picacho:

#### ***INFORME TÉCNICO SOBRE EL DESLIZAMIENTO EN LA PARTE ALTA DE EL PICACHO, VOLCÁN DE SAN SALVADOR Y ACCIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA***

##### **1. INTRODUCCION**

*El presente Informe Técnico presenta las características, antecedentes, aspectos técnicos y descripción del deslizamiento ocurrido el 19 de octubre de 2008, en la parte alta de El Picacho (figura 1). Para la elaboración del presente se realizaron varias inspecciones en el lugar, un sobrevuelo a fin de apreciar la extensión del deslizamiento, estimación de volumen, identificación de área expuesta, cartografía, entre otros aspectos.*

*Posteriormente se desarrollaron reuniones con distintas Carteras de Estado para evaluar e identificar las acciones y obras que cada una de éstas podría desarrollar con el propósito de prevenir y mitigar daños por esta amenaza. Las reuniones fueron realizadas con la participación de los Ministerios de Obras Públicas (MOP), Agricultura y Ganadería (MAG), Gobernación (MIGOB), de éste último se designó a la Dirección General de Protección Civil y Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) a través de la Dirección General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales.*

##### **2. CARACTERÍSTICAS DE EL PICACHO**

*El Picacho se ubica a 1960 msnm, de topografía quebrada, laderas de fuerte pendiente, quebradas profundas que descienden hacia el oriente, siendo la principal la conocida como Las Lajas con 3.5 kilómetros de longitud, la cual atraviesa varias colonias del sector Nor-poniente de San Salvador.*

##### **3. LOS DESLAVES O FLUJOS DE ESCOMBROS**

*Las laderas en zonas volcánicas pueden volverse inestables durante periodos lluviosos, generando un tipo de deslizamientos denominado deslaves, flujos de escombros, lahares o aluviones. Los deslaves son mezclas de suelos, rocas, restos de árboles y agua que ocurren durante periodos muy lluviosos que saturan e incrementa el peso de los suelos, que al darse una ruptura genera el movimiento del suelo y roca por las quebradas hasta depositarse en las zonas planas.*

##### ***Antecedentes de deslaves en El Picacho***

*El 19 de Septiembre de 1982 después de varios días de lluvia consecutiva (conocido como temporal), se produjo lo que ahora se conoce como: El deslizamiento del 82 en El Picacho. El deslizamiento se localizó entre las cotas 1650 y 1900 msnm. Este deslizamiento se transformó en un deslave que se desplazo por la quebrada Las Lajas. En ese entonces, se estimó que el volumen del deslave osciló entre 200 a 300 mil metros cúbicos de materiales térreos y la distancia recorrida fue de aproximadamente unos 3.5 kilómetros.*

*1 Estudio Geológico-Tectónico de San Salvador y sus alrededores inmediatos, con mayor énfasis en Montebello Poniente y lugares circunvecinos. Guillermo Reyes Guillén y Carlos E. Aguilar. Comisión de Estudio de Zonas Habitacionales. San Salvador, Noviembre de 1982*

*Según estimaciones del Estudio Geológico-Tectónico de San Salvador y sus alrededores inmediatos, con mayor énfasis en Montebello Poniente y lugares circunvecinos. Guillermo Reyes Guillén y Carlos E. Aguilar. Comisión de Estudio de Zonas Habitacionales. San Salvador, Noviembre de 1982, este evento afectó a 2 mil 880 personas, 500 de ellas fallecieron y 2 mil 380 resultaron damnificadas, 65 viviendas afectadas en el Reparto Montebello Poniente, Colonia Lorena, Colonia San Mauricio, Residencial Montebello, Colonia San Ramón y la Colonia Santa Margarita.*

#### **4. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO**

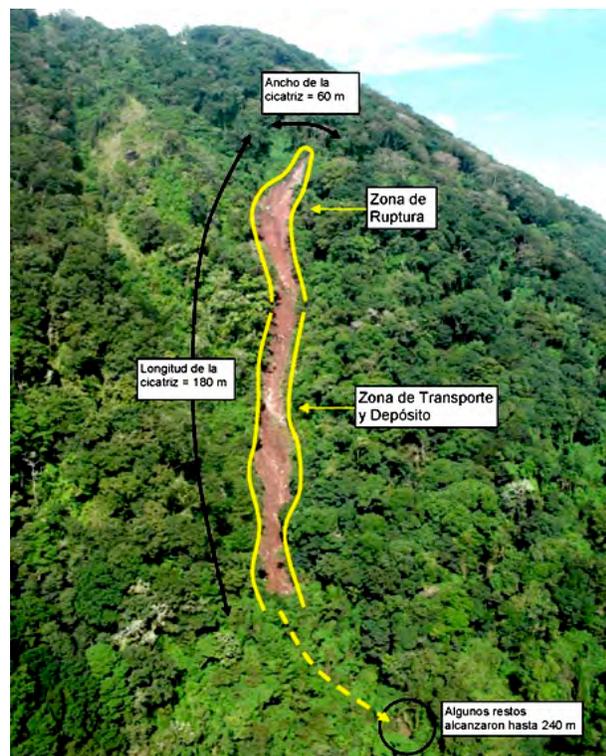
##### **Las lluvias del mes de octubre 2008**

*Una situación de lluvias continuas y cielos completamente nublados ocurrió en el país del 16 al 19 de octubre de 2008. Los registros de las estaciones meteorológicas cercanas al volcán de San Salvador, del 15 al 20 de octubre, muestran la siguiente información:*

- *Los máximos de lluvia se registraron entre las 7 de la mañana del sábado 18 y las 7 de la mañana del domingo 19 de octubre de 2008.*
- *La estación Procafé, ubicada en Santa Tecla, registró un máximo de 121 mm en 24 horas.*
- *El promedio de lluvia registrada en las estaciones Procafé, SNET y Boquerón fue de 95.6 mm.*
- *La estación Boquerón registró el mayor acumulado de lluvia con 210.8 mm en 5 días.*

*Para establecer la probable hora y fecha del deslave, se revisó la lluvia (cada 10 minutos) de la estación ubicada en El Boquerón correspondiente al período del sábado 18 al domingo 19 de octubre. La lluvia más intensa se registró entre las 00:20 am y la 01:50 am del domingo 19 de octubre con un máximo de 28 milímetros de lluvia, por lo cual se infiere que el deslave ocurrió el 19 de octubre entre las 00:20 am y la 01:50 am.*

*Los datos de lluvia de 37 años analizados indican que: a) el acumulado anual de 2008 (al 31 de octubre) fue de 2,143 milímetros, siendo el segundo año más lluvioso después del 2005 y b) el promedio mensual de octubre de 2008 fue de 375 milímetros, siendo el tercer octubre más lluvioso del período, después del 2005 y 1998.*



**Figura 5. Trayectoria de Lahar en el Picacho**

### ***El deslizamiento en El Picacho del 19 de octubre de 2008***

- 1. El deslizamiento de tierra en la parte alta de El Picacho (ladera oriental) se dio a una altitud de 1750 msnm y el detonante fue la lluvia. De acuerdo a la ocurrencia, profundidad y material depositado es clasificado como un deslave o flujo de escombros.*
- 2. La cicatriz del deslizamiento es de 180 m de largo y un máximo de 30 m de ancho, con un área estimada de 5400 metros cuadrados (figura 1).*
- 3. La cicatriz del deslave presenta una zona de ruptura, una de tránsito y de depósito: la zona de ruptura (donde ocurrió la falla) es de aproximadamente 30 m de ancho, 60 m de largo y 1.5 m de profundidad y con pendiente de 50 grados (figura 2). La zona de depósito se estima con un volumen de 3,240 metros cúbicos.*
- 4. En la zona de ruptura existe un afloramiento rocoso fracturado de unos 2 metros de espesor, lo cual facilitó la infiltración de agua, presión y el fallamiento posterior (figura 3).*
- 5. El material se encausó a lo largo de la quebrada Las Lajas en una longitud de 120 metros, aunque en algunas fotografías muestran restos del deslave a 240 metros.*
- 6. La poca distancia recorrida por el deslave se debe a varios factores tales como: al poco volumen, la presencia de saltos o caídas en la quebrada y a la pendiente que produjo la pérdida de energía de la masa.*
- 7. El deslave arrastró suelo, rocas y restos de árboles que contenían mucha humedad, ya que los restos de suelo presentaban consistencia lodosa.*

### **5. INFORMACIÓN TÉCNICA Y SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA**

*La Dirección General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales realizó las inspecciones técnicas requeridas al ocurrir el deslizamiento en octubre de 2008 y la elaboración del respectivo informe.*

*La información técnica fue presentada a los ministros de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Obras Públicas, Agricultura y Ganadería y de Gobernación. El resultado fue una comisión integrada por personal técnico de los ministerios antes mencionados quienes plantearon una propuesta de obras de mitigación. Paralelamente, la Dirección General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales elaboró y gestionó un proyecto que presento en un taller para la cooperación Italiana, específicamente al Instituto Italo-latinoamericano (IILA) el cual consiste en la instalación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en la zona del Picacho.*

*El SAT consiste en la instalación de equipos en la parte alta y media de El Picacho que permita emitir una señal de alerta cuando ocurra un deslizamiento. Esta señal sería transmitida directamente hasta las comunidades. El SAT debe ir acompañado de un proceso de organización de la comunidad.*

*El proyecto fue gestionado con el Instituto Italo Latinoamericano (IILA) y fue aprobado en marzo de 2009. Se informó oficialmente de la aprobación el 24 de abril del presente año, Desde esta fecha se han desarrollado dos reuniones con representantes del IILA con el objetivo de enriquecer aún más la propuesta del proyecto.*

Además, se han coordinado reuniones informativas con representantes de organizaciones no gubernamentales que desarrollan trabajo en la zona de influencia del proyecto y la Alcaldía Municipal de Mejicanos. Estas reuniones informativas han permitido explicar el proyecto a desarrollar con el IILA y aunar esfuerzos en el desarrollo del mismo. Se ha planificado que el Sistema de Alerta Temprana se instale en el mes de julio del presente.

A partir de enero de 2009 fue activada la Comisión Municipal de Protección Civil, espacio de organización y participación entre diferentes instituciones gubernamentales, no gubernamentales y coordinado por la municipalidad de Mejicanos que ha permitido contar con los aportes de diferentes áreas a la gestión de riesgo de desastre.

Como parte de las funciones del SNET en facilitar la información relacionada a eventos geológicos, se participa cada semana en este espacio de coordinación y se ha facilitado, a la Alcaldía, toda la información técnica sobre el Caso de El Picacho como insumo para elaborar El Plan de Contingencia de Mejicanos.



**Foto 1. Lahar en el Picacho**

Así mismo, estas acciones institucionales se han combinado con talleres desarrollados en las comunidades como: La Gloria, San Ramón y San Roque, a fin de que estén informadas de los riesgos existentes.

También, se han realizado reuniones planificadas por Protección Civil con líderes locales en el Centro Escolar San Ramón con el Comité Coordinador Inter-comunitario de Mejicanos, cuyo propósito es conocer el avance de las acciones que la Dirección General de Protección Civil realiza sobre este caso. Las instituciones participantes fueron: Protección Civil, la Procuraduría para la Defensa de los Derechos Humanos, Policía Nacional Civil, Unidad Ecológica Salvadoreña, Alcaldía Municipal de Mejicanos y un aproximado de 60 representantes comunitarios.

Actualmente, conscientes de que un SAT no es suficiente para reducir el peligro en la zona, se continúan realizando esfuerzos en el sentido de elaborar nuevos perfiles de proyectos en áreas como: Educación Ambiental, Organización comunitaria, Comunicación, Rutas de evacuación y Pequeñas obras de mitigación, las cuales serán gestionadas por esta institución ante diversas instituciones, con el objetivo de complementar y potenciar, el trabajo del Sistema de Alerta Temprana que ya está en ejecución.

## **Anexo 7c. Experiencia de SATD en Honduras**

### **1. SATD Nacional**

Participan principalmente tres instituciones:

- 1) Coordinadora Permanente de Contingencias (COPECO)
- 2) Servicio Meteorológico Nacional de Honduras (SMN) <http://www.smn.gob.hn/web/>
- 3) Secretaría de Recursos Naturales y el Ambiente (SERNA) Dirección General de Recursos Hídricos <http://www.serna.gob.hn/DGRH.htm>

COPECO, constituye el organismo responsable de coordinar todos los esfuerzos de los sectores públicos y privados para planificar, organizar, dirigir, ejecutar y controlar las acciones orientadas tanto a prevenir, mitigar, preparar y alertar; así como a brindar ayuda a los sectores de la población amenazada y afectada por problemas provocados por fenómenos naturales o agentes de otro orden, los que de acuerdo con la magnitud sean calificados como emergencias o desastres.

En Honduras no hay una institución geocientífica centralizada. El Instituto de Geociencias de la Universidad de Honduras trabaja en la formación de profesionales para la prevención de desastres. En enero de 2010, la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) fundó el Instituto de Geociencias de Honduras (IGH) con el propósito de hacer investigaciones y promover una efectiva gestión académica en el campo.

COPECO realiza o encarga evaluaciones geológicas a solicitud de la población o de instituciones para los sitios donde se manifiestan indicios de deslizamientos. Es una buena práctica que publican los informes e su sitio Web, <http://copeco.gob.hn/n/taxonomy/term/7> donde se encuentran los archivos PDF de las aproximadamente 100 evaluaciones desde noviembre de 2010. En caso de deslizamientos se nota que hacen solamente evaluaciones geológicas pero no mediciones de cualquier índole para obtener más información sobre la verdadera amenaza. COPECO maneja también una red meteorológica y hidrométrica satelital para la alerta temprana de inundaciones que hasta cierta grado sirve para la alerta de deslizamientos

SMN maneja la red meteorológica nacional Una pagina de alerta temprana del SMN se encuentra en <http://www.smn.gob.hn/ka-map/> . SERNA maneja la red hidrológica nacional.

En COPECO central en Tegucigalpa se vigila la situación meteorológica del país con los datos de SMN y SERNA. Además siguen la información de las agencias internacionales relevantes, especialmente del Centro de Huracanes de la NOAA. Revisan las imágenes de satélite. En caso de peligro de precipitación fuerte en cierta zona emiten comunicados adicionalmente a las publicaciones de SMN. Se comunican con su red de radios VHF/UHF con los sitios críticos

Una institución de interés es el Centro de Estudios Ambientales de Honduras (CEAH), que actúa como ente facilitador del proceso, realizando consultorías para la elaboración de planes de respuesta en el cual se han desarrollado diversas jornadas de capacitación, reorganización, y acompañamiento tanto de los comités de emergencia locales como municipales. Respaldado por COPECO, el CEAH ha realizado consultorías financiadas por USAID y Banco Mundial para establecer “Planes de

Prevención y Respuesta Municipal” en un gran número de municipios de Honduras. Estos planes incluyen componentes alerta temprana. Más abajo se da más información sobre esta iniciativa.

## 2. SATD Comunitarios

Se encontró información sobre los siguientes SATD en Honduras:

**Tabla 1. SATD comunitarios en Honduras**

| N<br>o | Latitud | Longitud | Organización | Tipo    | otros fenómenos | Institución      | Ubicación                        | situación      |
|--------|---------|----------|--------------|---------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|
| 1      | 14.09   | -87.21   | comunal      | desliza |                 | Alcaldía         | Tegucigalpa                      | En desarrollo  |
| 2      | 14.39   | -89.16   | comunal      | desliza |                 | Copeco, Alcaldía | San Marcos de Ocotepeque         | funciona       |
| 3      | 14.30   | -86.58   | comunal      | desliza |                 | Copeco, Alcaldía | Ríos Frío y Salitroso, Comayagua | funciona       |
| 4      | 14.40   | -89.16   | comunal      | desliza |                 | Copeco, Alcaldía | Marchala, Antigua Ocotepeque     | no funciona    |
| 5      | 14.78   | -88.59   | comunal      | desliza |                 | Copeco, Alcaldía | Lepaera                          | en preparación |
| 6      | 14.91   | -87.10   | comunal      | desliza |                 | Alcaldía         | Marale                           | funciona       |

### 2.1 SATD para la ciudad de Tegucigalpa

Tegucigalpa, capital de Honduras tiene un alto nivel de amenaza por deslizamientos, por su topografía y geología. Por la alta densidad de población esto se traduce en alto riesgo. Durante el Huracán Mitch, 1998 ocurrieron varios deslizamientos en la ciudad, el mayor es el de Berrinche.

La amenaza de deslizamientos fue investigada y mapeada por varios proyectos siendo el mayor el realizado con JICA.

En Berrinche, después del Mitch se instalaron equipos para monitorear la actividad del deslizamiento y la amenaza para los habitantes.

Actualmente, la Alcaldía de Tegucigalpa está desarrollando un proyecto bajo el marco del Proyecto DIPECHO VII para establecer un SATD para las zonas de la ciudad amenazadas por deslizamientos. Se está instalando estaciones pluviométricas y inclinómetros con telemetría y un centro de procesamiento y alerta.

Lo siguiente fue tomado de

<http://riesgosydesarrollo.org.hn/?cat=1084&title=Proyecto%20DIPECHO%20VII&lang=es>

El proyecto ***“Reduciendo Riesgos por Deslizamientos y Sismos en Tegucigalpa”*** tiene como objetivo Reducir el riesgo a desastres en los barrios y colonias más vulnerables de Tegucigalpa y

*fortalecer las capacidades de respuesta de las estructuras existentes a nivel local, municipal y nacional.*

*El proyecto inició el 01 de octubre de 2010 y finaliza en diciembre de 2011 con un monto total de USD 925.866.67 financiado bajo el VII Plan de Acción del Programa de Preparativos para Desastres de la Comisión Europea (DIPECHO) y fondos propios del PNUD (19%).*

*Los resultados y productos más importantes del proyecto son:*

### **Resultado 1**

*Estructuras organizativas locales y municipales con capacidades técnicas, recursos y herramientas disponibles para el monitoreo y manejo de emergencias por sismos y deslizamientos en Tegucigalpa.*

- o 15 barrios cuentan con Comités de Emergencia Locales CODELES organizados, capacitados y equipados para responder ante emergencias.*
- o 15 planes comunitarios de gestión de riesgos elaborados bajo una metodología participativa. (Ver guía y formato del plan en la sección de herramientas dentro del centro de conocimientos)*
- o Mapas comunitarios de riesgo para deslizamientos, caídas de roca e inundaciones elaborados con participación comunitaria e información secundaria de estudios técnicos realizados en las zonas de intervención. (Ver mapas en la sección de mapas del centro del conocimiento)*
- o Un Sistema de Alerta Temprana para deslizamientos que incluye una red de monitoreo de umbrales de lluvia acumulada, coordinación interinstitucional, plataforma de mensajitos SMS para difusión de alertas y acciones operativas en coordinación con los Comités de Emergencia Locales.***
- o Estudio de micro-zonificación sísmica en una zona piloto de Comayagüela que incluye mapeo de amenaza sísmica y evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones.*
- o Comité de Emergencia Municipal fortalecido y capacitado en Sistemas de Alerta Temprana, Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades, Planificación de la Ayuda Humanitaria y Manejo de Centros de Operaciones de Emergencia.*
- o Plan de emergencia municipal actualizado y validado incorporando los escenarios de movimientos de ladera y sismos.*

### **Resultado 2**

*Fortalecidas las capacidades institucionales a nivel nacional para el monitoreo, análisis y manejo de emergencias por sismos y deslizamientos.*

- o Más de 50 personas de instituciones gubernamentales, académicas, gremiales, ONGs y técnicos de instituciones privadas capacitados en técnicas de evaluación de riesgo en entornos urbanos con énfasis en vulnerabilidad sísmica y movimientos de ladera.*
- o Red de estaciones meteorológicas de Tegucigalpa fortalecidas a través de equipo para el Servicio Meteorológico Nacional y Universidad Nacional Autónoma de Honduras.***
- o 12 planes de respuesta a desastres para la red de establecimientos públicos de salud que incluyen los Hospitales Escuela, San Felipe y el Instituto Nacional Cardiopulmonar.*
- o Protocolos de actuación y planes a nivel institucional con énfasis en escenarios de desastres por sismos y movimientos de ladera.*

### Resultado 3

Fortalecidas las capacidades del sector educativo en Tegucigalpa, realizadas acciones conjuntas de sensibilización y sistematizadas herramientas sobre riesgo urbano.

- o Más de 200 maestros capacitados en preparativos para desastres y 19 planes de seguridad escolar elaborados y validados con la comunidad estudiantil de 19 centros educativos.
- o Desarrollado un encuentro regional en Tegucigalpa sobre gestión de riesgos y adaptación al cambio climático en entornos urbanos con representantes de organizaciones regionales, socios DIPECHO en Centroamérica y panelistas expertos internacionales.
- o Apoyo a COPECO en la elaboración de la versión popular de la Ley de SINAGER en coordinación con los socios DIPECHO en Honduras. (Ver documento en la sección de herramientas en el centro de conocimiento).
- o Apoyo a COPECO en la celebración del Día Internacional de la Reducción de Desastres que se conmemora cada 13 de octubre.

### Resultado 4

Pequeñas obras de mitigación y de infraestructura de emergencia son ejecutadas para fines demostrativos en los barrios más vulnerables a sismos y deslizamientos en Tegucigalpa, incluyendo a las instalaciones críticas de la Red de Salud y Educación.

- o 12 establecimientos de salud y 19 centros educativos evaluados y reforzados bajo el concepto de “Instalaciones Más Seguras antes Sismos y Deslizamientos” utilizando herramientas de diagnóstico rápido. (Ver formularios y guías utilizadas en la sección de herramientas del centro de conocimientos)
- o Obras de mitigación demostrativas para estabilización de taludes y pequeñas obras de drenaje y mejoramiento de rutas de evacuación implementadas con participación comunitaria en apoyo a los planes de emergencia de los barrios más vulnerables a sismos y deslizamientos en Tegucigalpa.

Los barrios que están siendo beneficiados son los siguientes:

| No. | Nombre Barrio            | Población total |
|-----|--------------------------|-----------------|
| 1   | Reparto por Arriba       | 3,648           |
| 2   | Nueva Santa Rosa         | 1,989           |
| 3   | Guillen                  | 3,952           |
| 4   | Altos de la Cabaña       | 758             |
| 5   | El Edén y Altos del Eden | 893             |
| 6   | Campo Cielo              | 1,048           |
| 7   | Fuerzas Unidas           | 3,514           |
| 8   | Nueva Providencia        | 508             |
| 9   | La Obrera                | 1,260           |
| 10  | José Arturo Duarte       | 3,066           |
| 11  | 14 de Enero              | 478             |
| 12  | Jose Angel Ulloa         | 5,624           |
| 13  | Cantarero Lopez          | 3,444           |
| 14  | Nueva Danlí              | 2,519           |
|     |                          | <b>32,701</b>   |

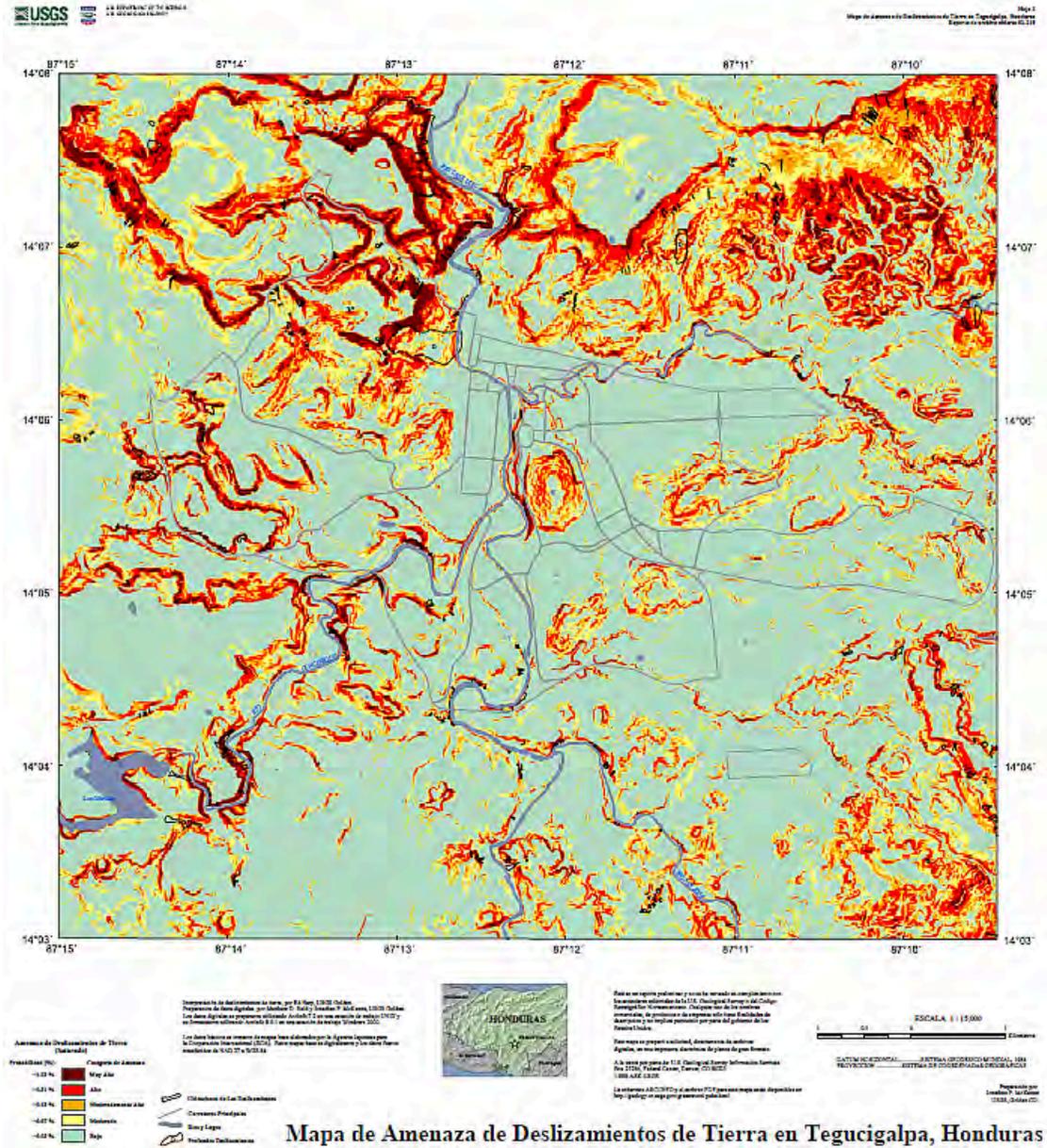


Figura . Mapa de deslizamientos en Tegucigalpa, elaborado por el USGS, ver <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-219/Sprob.pdf>

## 2.2 SATD de Ocotepeque

Lo siguiente se tomó de “CEAH (2007) Sistema de monitoreo y alerta temprana (SAT) comunitaria a deslizamientos en los municipios de San Francisco del Valle, San Marcos de Ocotepeque y Mercedes, Departamento de Ocotepeque, Subcuenca del Río Higuito, presentado a COPECO Programa Multifase de Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Hidrográficas Prioritarias, Informe Final, Diciembre de 2007”

### LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



Para la difusión del SAT, se contempla la puesta en práctica de un sistema de difusión de que consiste básicamente en tres pasos:

1. Aviso
2. Alerta
3. Alarma

El **Aviso** se da por parte de los representantes de la Comisión de Monitoreo y Pronóstico quienes al haber recibido los datos recolectados de la lectura de los pluviómetros y los medidores hidrográficos, comunican a estos y a la población en general el nivel del riesgo a la ocurrencia de un deslizamiento, solicitando el monitoreo de las lluvias por toda la población y el movimiento del suelo, quienes deberán avisar cualquier cambio y/o movimiento del terreno a la comisión.

La **Alerta** consiste en comunicar a los grupos voluntarios que tomen todas las consideraciones para la ocurrencia del deslizamiento y/o avalancha, como la preparación de los albergues, recolección de víveres, recolección de alimentos, entre otras.

La **Alarma**, esta es dada por el Alcalde Municipal o el presidente del Comité de Emergencia Municipal y en su defecto la persona designada para dicha actividad, esta se realiza de diversas maneras como ser: tocando la campana de la iglesia, a través de un megáfono, entre otras. Con esta alarma se dará la orden de evacuar a la población en riesgo y conducirla a los albergues.

#### **7.4 Derrumbes y Deslizamientos**

*En esta fase del estudio se investigó con mayor profundidad los derrumbes y deslizamientos ocurridos en la sub cuenca del Río Higuito, sobretodo en el Municipio de San Francisco del Valle y Mercedes.*

*Como resultado se observó que la mayoría de estos fenómenos ocurren en La Mina, identificándose un total de siete deslizamientos de grandes proporciones, localizados en los nacimientos y las laderas de la Quebrada de La Mina en donde la roca predominante es la arenisca y los conglomerados de cuarzo de grano grueso de la Formación Tepemechin.*

*En las Vegas del Río Chiquito se localizan tres derrumbes y un hundimiento y en el Municipio de Mercedes existen también un total de tres derrumbes y un hundimiento.*

### **11. MONITOREO DE AVALANCHAS**

#### **11.1 Descripción**

*Se colocaron seis pines de concreto, a ambos márgenes del río, tres en el margen derecho y los otros tres en el margen izquierdo, con una separación de cincuenta (50) metros.*

*Los primeros dos pines se encuentran a unos 50m del pie del derrumbe del peñón.*

*Los pines tienen dibujadas escalas verticales cada diez (10) centímetros, y se encuentra rotulados con números grandes cada 50 centímetros. Además, expone una escala de colores de acuerdo al tipo de alerta que este presentando en el momento de la lectura, el color verde desde el nivel cero hasta una altura de 75cm, el nivel amarillo o naranja desde 75cm a 150cm y el nivel rojo desde 150 cm en adelante.*



***Pines que deben ser observados por los responsables de monitoreo***

## **12. INSTALACION DE LIMNIMTERO**

### **12.1 Descripción**

*Para el funcionamiento del sistema de alerta se colocaron dos limnímetros sobre el cauce del río La Puerta y Río Chiquito a fin de que puedan ser monitoreados, en caso de que hubiera un represamiento agua arriba en los sitio identificados como zonas de derrumbe y se contará con la información proveniente de los observadores comunitarios de los pluviómetros.*

*Los lectores de escala realizaran las lecturas de los cambios ocurridos en el nivel del río, si este nivel no sigue aumentando y ellos reciben información de que aguas arriba continua lloviendo inmediatamente deberán comunicar esta situación al comité de emergencia local, ya que esto podría ser una señal de represamiento aguas arriba de la micro cuenca.*

*El limnómetro consiste básicamente en una escala vertical, señalizada cada diez (10) centímetros, y se encuentra rotulado con números grandes cada 50 centímetros. El nivel más alto del limnómetro oscila entre 200cm a 250cm que es la elevación máxima esperada en época de lluvias, de acuerdo a los antecedentes e información que brindaron los habitantes de la zona.*



*Limnímetros del sistema*

## ***El funcionamiento del sistema se describe en lo siguiente***

### ***13.3 Descripción del proceso***

#### ***Toma e Interpretación de Datos.***

*La primera fase del proceso consiste en la toma de datos de lluvia recogidos de los pluviómetros ubicados en los puntos antes mencionados. Existen tres pluviómetros localizados uno en la Mina, Otro en las Cuevas ambos en el Municipio de San Francisco del Valle; el otro en Las Vegas del Río Chiquito el Municipio de Mercedes.*

*Para cada Pluviómetro existe un responsable de la toma de datos. El lector de cada pluviómetro tomara los datos de campo. Luego los transmitirá a la Unidad Ambiental Correspondiente. El Jefe de la UMA interpretará y comparará los datos con los parámetros establecidos en el estudio hidrológico referente al establecimiento de umbrales capaces de disparar el deslizamiento. Existirá un encargado específico que monitoreara las avalanchas al pie de los deslizamientos, con esta información esta persona será capaz de informar a la UMA sobre el estado de alerta actual en el punto de represamiento, para notificar el momento en que el represamiento podría representar una emergencia.*

*Otra persona se encargará de observar el cambio de elevación reflejado en los limnímetros que se ubicaran en la zona baja de la microcuenca. El objetivo específico será identificar el momento en que el nivel de agua disminuya al parámetro establecido que indique que aguas arriba se está formando el represamiento.*

#### ***Transmisión de la información***

*En primera instancia la comunicación permanente existirá entre los lectores de los pluviómetros quienes contarán con el equipo de radio instalado en las cercanías. La persona encargada del monitoreo de avalancha participara en conjunto con el lector del pluviómetro de la zona alta, al cual le transmitirá su propia interpretación de los datos recogidos.*

*La persona encarga de la lectura del limnómetro se mantendrá en contacto con el lector de pluviómetro de la zona baja. El personal de la zona alta, pluviómetro y monitoreo de avalanchas, comunicará la interpretación de sus datos al personal de la zona baja, pluviómetro y limnómetro y viceversa. En este punto los dos equipos interpretarán la información en conjunto y tomarán la decisión de comunicarse con el CODEM de la municipalidad correspondiente, basados en los parámetros establecidos para cada componente en especial.*

*Entonces se procede a hacer el comunicado a la municipalidad involucrada para que tome una decisión y aporte una solución para determinada situación.*

#### ***Análisis de la información***

*Después de capacitados en la toma de datos del pluviómetro, estos serán capaces de realizar las lecturas diarias del pluviómetro y de operar estos datos para determinar la cantidad de lluvia acumulada.*

*Los encargados de la lectura de los pluviómetros podrán analizar su información basados en el siguiente dato:*

|                        |                                       |                           |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>Alerta Verde</b>    | - Más de 238 mm en 4 días             | - Más de 77 mm en el día  |
| <b>Alerta Amarilla</b> | - Más de 308 mm en 6 días             | - Más de 103 mm en el día |
| <b>Alerta Roja</b>     | - Más de 365 mm en 7 días en adelante | - Más de 129 mm en el día |

*El monitoreo de avalanchas se analizará en base al volumen capaz de entorpecer la eficiencia hidráulica de la sección de la quebrada es decir los metros cúbicos que sean capaces de producir el represamiento en ese punto.*

*En otras palabras el voluntario encargado del monitoreo de los pines para avalanchas podrá determinar por simple inspección el estado de alerta en el que se esté produciendo.*

*En este punto el voluntario se encargara de transmitir la información al encargado de la radio.*

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| <b>Alerta Verde</b>    | - De 0 a 75cm           |
| <b>Alerta Amarilla</b> | - De 75 cm a 150 cm     |
| <b>Alerta Roja</b>     | - De 150 cm en adelante |

*Es importante aclarar que el éxito del sistema de alerta temprana, consiste en el monitoreo, con respecto a los pines es simplemente observar el color por el cual se encuentra el material arrastrado hasta ese punto. De allí razonar con la ayuda o referencia que ofrecen los pines, si este material está obstaculizando total o parcialmente la sección de la quebrada.*

*Los pines instalados suman un total de seis, dos por sección, con una longitud de 50m de sección a sección. El propósito de esto es monitorear no solo un punto donde se pueda presentar el represamiento sino tres a la vez, dado que el movimiento del derrumbe es errático por lo que su comportamiento puede empujar el material a cualquiera de las tres secciones a monitorear. Aunado a esto existen otros derrumbes pequeños pero activos que se encuentran en la zona de monitoreo que en el futuro representarían una amenaza mayor, recordemos también que el lugar de estudio se encuentra en una franja sísmica a nivel centroamericano que registra históricamente un total de 374 movimientos, el más alto de hecho. Entonces prevemos la posibilidad de que el represamiento se forme en otro punto cercano.*

*El limnómetro es un instrumento que básicamente funcionara en época de lluvia o invierno, es por ello que el monitoreo del mismo se debe intensificar en esta época del año.*

*El voluntario de monitorear el limnómetro observara que el nivel del río aumenta en época de lluvia, obviamente cuando el encargado observe que el nivel del agua del río no aumenta, presentándose en ese momento una tormenta o lluvias continuas, es un indicativo de que el agua está siendo obstaculizada en algún punto de la parte alta hacia la baja.*

*Por lo tanto al presentarse esta situación, tiene que proceder a comunicarse con el encargado de la radio de ese punto e intercambiar esta información con los comisionados en la parte alta de la cuenca. Juntos podrán analizar e interpretar qué situación se esté presentando.*

*En la municipalidad seguramente el encargado de la UMA será el enlace de estos dos equipos, el dispondrá de todos estos parámetros mencionados y una vez que estos se comuniquen con él, este verificara y validara que la información a sido procesada correctamente.*

*En ese momento el encargado de la UMA, de ser meritoria la información, procederá a comunicarse con la corporación municipal para que se tome una decisión que ayude a solventar la problemática.*

### **Toma de decisiones**

*La municipalidad involucrada deberá de proceder de forma veloz y acertada en cuanto a la toma de decisiones que ayuden a solventar la problemática.*

*La magnitud de la solución será directamente proporcional con el tamaño del fenómeno.*

*En general en un SAT comunitario se plantea el siguiente esquema.*

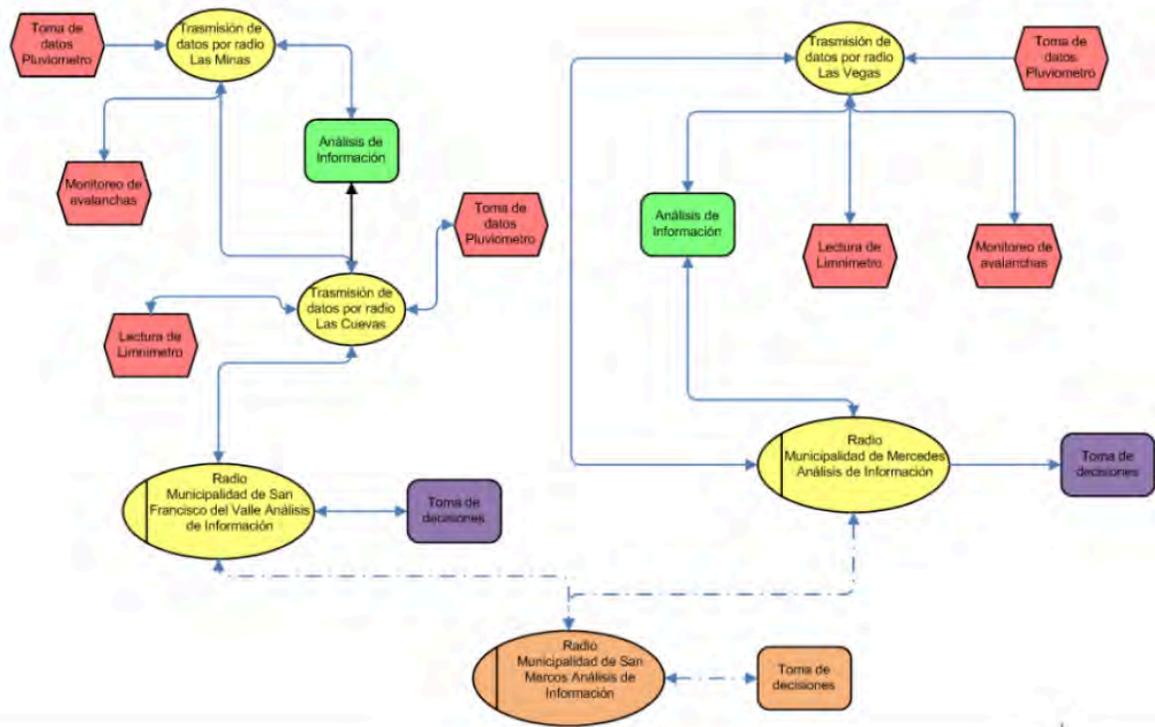
- 1. Revisión de los datos de campo**
- 2. Análisis de la Información.**
  - Estudio de los datos actuales
  - Estudio de la información histórica
- 3. Interpretación de los datos y comparación con el modelo de SAT.**
  - Revisión de los datos de las alertas
- 4. Suministro de Información al COE Municipal**
- 5. Declaración de las alertas según los datos obtenidos.**

*Observaciones W.S.: Se observa que hay deslizamientos de diferentes tipos y el método de alerta no parece diferenciar entre ellos. Los umbrales no se basan a un análisis de eventos de deslizamientos ocurridos sino una estadística de lluvias, especialmente precipitaciones máximas. Solo se usan datos de precipitaciones acumuladas por día. No consideran lluvias extremas de corta duración*

*El sistema de monitoreo integra a muchas personas y las mediciones son rústicas. Es cuestionable si los pines instalados en los cauces para la determinación del flujo de detritos sobrevivan por mucho tiempo.*

## FLUJOGRAMA SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA

jueves, 18 de octubre de 2007



Esquema del sistema según CEAH2009

[http://ordenamientoterritorial.hn/images/ceah/sat\\_hiquito.pdf](http://ordenamientoterritorial.hn/images/ceah/sat_hiquito.pdf)



*Situación de poblado bajo amenaza de flujo. CEAH2009*  
[http://ordenamientoterritorial.hn/images/ceah/sat\\_hiquito.pdf](http://ordenamientoterritorial.hn/images/ceah/sat_hiquito.pdf)

## 2.3 SAT de La Masica

Es un SAT diseñado dentro del Plan de prevención y respuesta del municipio y incluye principalmente las inundaciones pero también los deslizamientos y otros fenómenos.

El siguiente texto que explica los procedimientos del monitoreo y alerta, es un extracto del reporte “CODEM-Masica (2006) Plan de Prevención y Respuesta, Municipio de La Masica, Cuenca Río Cuero, Elaborado por CODEM, Financiado por USAID/HONDURAS, Gestionado y Facilitado por Proyecto Manejo Integrado de Recursos Ambientales USAID/MIRA, La Masica, 2006”:

### 5.2. Declaratoria de Alerta y Alarma/Sistema de Alerta Temprana (SAT)

*Las declaratorias de alertas se utilizan para fenómenos de evolución lenta, que pueden ser monitoreados por aparatos técnicos de medición como los de tipo hidrometeorológicos, los cuales traen como consecuencia las inundaciones y deslizamientos.*

#### **SAT La Masica**

*El Municipio de La Masica SAT para inundaciones de los municipios de la MAMUCA (Mancomunidad de los Municipios del Centro de Atlántida). Este SAT comenzó su implementación con COPECO y el apoyo de OEA-ECHO (Organización de los Estados Americanos – European Commission's Humanitarian), en el año 1995. Dicho sistema consistió en una red de 5 radios que comunicaban sitios de monitoreo en la cuenca alta y la cuenca media con las alcaldías de los municipios Arizona y La Masica, también diseñaron pluviómetros contruidos a mano.*

*Posteriormente, en el año 1999 la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) fortaleció el sistema ampliando la cobertura a otras comunidades inundables (parte baja de la cuenca – zonas de respuesta) en los 5 municipios (El Porvenir, San Francisco, La Masica, Esparta y Arizona), así como incorporando nuevas estaciones en la cuenca alta, mediante la dotación e instalación de radios adicionales y sustituyendo los pluviómetros hechos a mano por pluviómetros comerciales de plástico.*

*Para la planificación del Programa Intermunicipal de Sistemas de Alerta Temprana (PRIMSAT) se ha diseñado una metodología de comunicación entre los voluntarios responsables del proceso de pronósticos de inundaciones (CODEM-CODEL-EQUIPO SAT de los cinco municipios de la MAMUCA), ante una situación de emergencia que deberá ser advertida para tomar las acciones de una evacuación a zonas más seguras. El municipio de La Masica cuenta con un SAT para la cuenca del Río Cuero y comparte información hidrológica con los municipios de San Francisco y Esparta por medio de los SATs para las cuencas del Río Santiago y Río San Juan. La información obtenida por las estaciones de monitoreo ubicadas en la cuenca del Río San Juan (Los Laureles, Cerro Azul, El Oro y San Juan Pueblo de La Masica) es compartida con el municipio de Esparta y la información proporcionada por la estación de monitoreo ubicada en El Naranjal (Cuenca del Río Santiago) es compartida con el municipio de San Francisco.*

El SAT funciona a través de los siguientes componentes:

- **Monitoreo:** En estas estaciones se miden las lluvias y los niveles del río mediante instrumentos de medición y los reportan al CODEM/COE, cuentan con radio comunicador base. En el Cuadro No.6, se pueden observar las estaciones que cuentan con pluviómetro (medidores) y escalas hidrométricas (Niveles de crecida del río marcados con pintura). La estación de monitoreo es manejada por un miembro líder de la comunidad. La Masica cuenta con 11 estaciones de monitoreo, de las cuales 4 pertenecen al SAT del Río San Juan, 6 al SAT del Río Cuero y 1 al SAT del Río Santiago (Cuadro No. 7).

- **Análisis y Pronósticos:** Aquí trabaja el CODEM/COE, reciben las lecturas de los pluviómetros y niveles de escala del río de las estaciones de monitoreo, a partir de esta información pronostican las inundaciones. Esta estación se ubica en la oficina del COE, que a la vez funciona como Programa Municipal de Alerta Temprana.

- **Respuesta:** Son las comunidades las que realizan las labores de respuesta ante un pronóstico de inundación en base a los Planes de Prevención y Respuesta Municipal/Local, mediante el CODEL o CODEM según sea el caso, cuentan con radio comunicador base y algunas estaciones cuentan con megáfonos para activar alarmas. La Masica cuenta con 6 estaciones de respuesta, de las cuales 4 pertenecen al SAT del Río Cuero y 2 al SAT del Río San Juan.

**Cuadro No. 6 Ubicación de escalas hidrométricas y pluviómetros en La Masica**

| No. | ESTACIÓN DE MONITOREO  | CUENCA       | PLUVIÓMETRO | ESCALAS HIDROMÉTRICAS |
|-----|------------------------|--------------|-------------|-----------------------|
| 1   | El Recreo              | Río Cuero    | X           |                       |
| 2   | San Marco:             | Río Cuero    | X           | X                     |
| 3   | Santa Fé               | Río Cuero    | X           | X                     |
| 4   | Li Cumbre              | Río Cuero    | X           | X                     |
| 3   | Fuente La Mauca        | Río Cuero    |             | X                     |
| 6   | Fuente San Juan Fueblo | Río San Juan |             | X                     |
| 7   | Los Laureles           | Río San Juan | X           |                       |
| 5   | El Manchón             | Río Cuero    | X           |                       |
| 9   | Quebrada Galana        | Río Cuero    | X           |                       |

**Cuadro No. 7 Estaciones del Sistema de Alerta Temprana de La Masica**

| No. | ALDEA                | CUENCA       | ANÁLISIS Y PRONÓSTICOS | MONITOREO | RESPUESTA |
|-----|----------------------|--------------|------------------------|-----------|-----------|
| 1   | La Masica (Cabecera) | Río Cuero    | X                      |           |           |
| 2   | El Recreo            | Río Cuero    |                        | X         |           |
| 3   | El Naranjal          | Río Santiago |                        | X         |           |
| 4   | El Oro               | Río San Juan |                        | X         |           |
| 5   | La Cumbre            | Río Cuero    |                        | X         |           |
| 6   | San Juan Benque      | Río San Juan |                        |           | X         |
| 7   | Tarrito s            | Río San Juan |                        |           | X         |
| 8   | San Marcos           | Río Cuero    |                        | X         |           |
| 9   | Santa Fe             | Río Cuero    |                        | X         |           |

|    |                 |              |  |   |   |
|----|-----------------|--------------|--|---|---|
| 10 | Quebrada Galana | Río Cuero    |  | X |   |
| 11 | El Manchón      | Río Cuero    |  | X |   |
| 12 | Los Laureles    | Río San Juan |  | X |   |
| 13 | Pozo Zarco      | Río Cuero    |  |   | X |
| 14 | Trípoli         | Río Cuero    |  |   | X |
| 15 | Tierra Firme    | Río Cuero    |  |   | X |
| 16 | San Juan Pueblo | Río San Juan |  | X |   |
| 17 | Cerro Azul      | Río San Juan |  | X |   |
| 18 | Boca Cerrada    | Río Cuero    |  |   | X |

Los fenómenos se monitorean y basados en la información recopilada se decide la declaratoria de estado de alerta, el responsable de decretar el estado de Alerta a nivel del municipio, será la autoridad máxima del CODEM alcalde, o en su defecto quien él asigne, en coordinación con COPECO, de acuerdo a lo establecido en el Plan de Funcionamiento del COE.

A continuación se describen cada uno de los estados de alerta bajo los estándares establecidos por COPECO. También se dan a conocer de algunas las acciones de respuesta a seguir en cada una de ellas.

El mecanismo o medios a utilizar para dar a conocer los diferentes tipos de alertas en el municipio será el **sonido de sirena de un megáfono**, el cual estará ubicado en el COE/PROMSAT. A nivel general para todo el municipio se utilizarán los **medios de comunicación local** (radios locales), **radios comunicadores base** y los **medios telefónicos**, a través de los cuales se divulgarán los boletines informativos a toda la población. El encargado de accionar los mecanismos de alarma es el responsable de operar el COE (Nery Sánchez) u otra persona que el delegue en el momento.

**Estado de Alerta Verde:** Se declara cuando las expectativas de un fenómeno permiten prever la ocurrencia de un evento de carácter peligroso para la población, que por su evolución, implica situaciones inminentes de amenaza, que obliga a tomar ciertas medidas de prevención y monitoreo por la probable o cercana ocurrencia de un evento adverso.

Condiciones a tomar en cuenta:

- Partiendo de la información proporcionada por las estaciones de monitoreo del SAT y de los boletines emitidos por COPECO, se realizará el análisis técnico de pronósticos sobre condiciones que puedan generar riesgo.
- Se mantendrá contacto permanente con la regional 1 de COPECO y con las instituciones de apoyo, para dar seguimiento a la evolución del evento.
- Se mantendrá informada a toda la población del municipio, sobre la situación y la evolución del fenómeno.

**Estado de Alerta Amarillo:** Estado declarado cuando la tendencia ascendente del desarrollo del evento implica situaciones inminentes de riesgo y situaciones severas de emergencias.

Condiciones a tomar en cuenta:

- Se debe mantener informada a la población sobre la ocurrencia del peligro y se mantendrá la vigilancia del evento generador.
- Se mantendrán las coordinaciones interinstitucionales para aprovechar al máximo los recursos disponibles para la atención de los afectados.
- El COE mantendrá monitoreo constante en las zonas afectadas e informara sobre la situación imperante a la regional 1 de COPECO y a la población.

**Estado de Alerta Roja:** Cuando el fenómeno impacta una zona determinada presentando efectos adversos, a las personas, los bienes, las líneas vitales o al medio ambiente, produciendo una situación de desastre.

Condiciones a tomar en cuenta:

- Se procederá a realizar **el análisis de los datos recabados** por la comisión EDAN en el COE municipal, además **se informara a la regional 1 de COPECO** y a las Instituciones y Organizaciones de apoyo sobre la situación y las necesidades más urgentes de solventar.
  - Se mantendrá un **registro continuo de las diferentes acciones realizadas por cada una de las comisiones del CODEM** y de las organizaciones de apoyo.
- Las acciones descritas anteriormente son para eventos de evolución lenta, como las depresiones tropicales, tormentas tropicales, huracanes, entre otros que causan inundaciones y deslizamientos. **En el caso de eventos de aparición súbita todos los procedimientos descritos en los tres estados se ejecutan de manera simultánea** dentro de estos pueden ser Inundaciones, Deslizamientos y Terremotos.

Según COPECO, hay adicionalmente los siguientes SATD en Honduras:

#### **2.4 otros SAT existentes**

##### **El SAT del los Ríos Frio y Salitroso en el Municipio de Comayagua**

Incluye la componente de deslizamientos.

##### **SAT del río Marchala, en el municipio de Antigua Ocotepeque**

##### **SAT de Lepaera,**

En preparación. Se han determinado umbrales de lluvia pero actualmente no hay nada funcionando.

##### **SAT de Marale**

Se desarrolla con apoyo del PNUD e incluye la componente de Deslizamientos.

[http://www.undp.un.hn/GR\\_MaraleyYorito.htm](http://www.undp.un.hn/GR_MaraleyYorito.htm)

#### **2.8 SATD incipientes**

“Planes de Prevención y Respuesta Municipal” fueron establecidas por un gran número de municipios apoyados por el CEAH y bajo supervisión de COPECO, ver lista abajo. Estos planes incluyen componentes alerta temprana y son similares como descrito en cap. 2.3 SAT de La Masica, pero la componente de SAT todavía no es tan definida. Se piensa que estos planes pueden derivan en al menos algunos de estos deslizamientos en el desarrollo de SATD.

### Lista de municipios con Plan de Prevención y Respuesta Municipal

| #  | Municipio                          |
|----|------------------------------------|
| 1  | Aguanqueterique                    |
| 2  | Alubarén                           |
| 3  | Arizona                            |
| 4  | Catamas                            |
| 5  | Choluteca                          |
| 6  | Concepción del Sur                 |
| 7  | Curarén                            |
| 8  | Danlí                              |
| 9  | El Corpus                          |
| 10 | El Negrito                         |
| 11 | El Porvenir, depto. de Atlántida   |
| 12 | El Progreso                        |
| 13 | Esparta                            |
| 14 | Guinope                            |
| 15 | La Ceiba                           |
| 16 | La Masica                          |
| 17 | La Venta                           |
| 18 | Las Vegas                          |
| 19 | Lepartamento, F.M.                 |
| 20 | Marcovia                           |
| 21 | Morocelí                           |
| 22 | Namasigüe                          |
| 23 | Nueva Armenia                      |
| 24 | Ojojona                            |
| 25 | Reitoca                            |
| 26 | Sabanagrande                       |
| 27 | San Antonio de Oriente             |
| 28 | San Buenaventura                   |
| 29 | San Francisco, depto. de Atlántida |
| 30 | San José de Choluteca              |
| 31 | San José de Comayagua              |
| 32 | San Miguelito                      |
| 33 | San Pedro Zacapa                   |
| 34 | Santa Ana                          |
| 35 | Santa Ana Yusguare                 |
| 36 | Santa Barbara                      |
| 37 | Santa Cruz de Yojoa                |
| 38 | Santa Maria del Real               |
| 39 | Siguatepeque                       |
| 40 | Taulabe                            |
| 41 | Tela                               |
| 42 | Teupasenti                         |
| 43 | Yuscarán                           |

## **Anexo 7d. Experiencia de SATD en Nicaragua**

### **1. Sistema nacional**

El sistema nacional de Nicaragua se basa principalmente en:

- 1) La componente científica del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, que reúne meteorología, hidrología y geología, geofísica, sismología, vulcanología, mapeo de riesgos
- 2) El Sistema Nacional de Prevención SINAPRED
- 3) Defensa Civil del Ejército de Nicaragua
- 4) Las comunidades
- 5) Aportes por ONG, cooperación internacional
- 6) Aportes por Universidades, empresas privadas o estatales

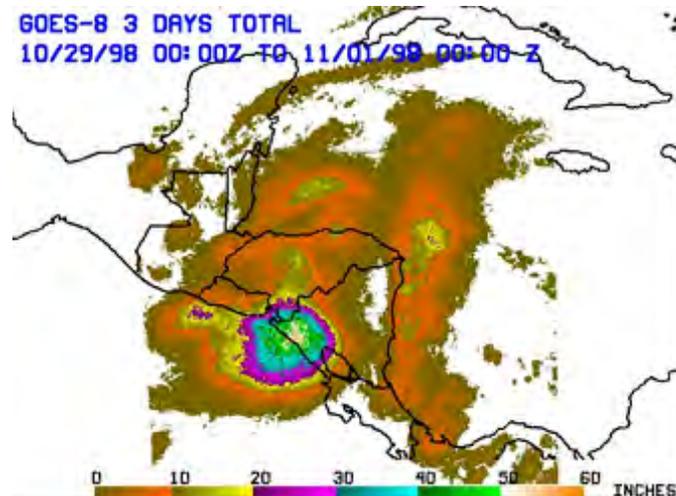
El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER/Managua; compuesto por cerca de 300 personas) es una institución descentralizada subordinada a la presidencia y es, con mucho, la institución geocientífica más grande de Centroamérica. El INETER realiza el monitoreo sísmico, volcánico, meteorológico e hidrológico a través de las numerosas estaciones de campo (la mayoría son telemétricas) y el monitoreo relevante a deslizamientos y tsunamis. Es la institución responsable de proporcionar la información oportuna para la alerta temprana y mantiene el intercambio internacional de datos. El Departamento de Cartografía del INETER tiene la función del Instituto Cartográfico en otros países. La institución maneja el SIG de Geo-Riesgos y la información del monitoreo es publicada, casi en tiempo real, en el página Web de la institución. El SIG contiene una gran cantidad de datos generados o compilados mediante docenas de proyectos recientemente ejecutados en Nicaragua sobre amenazas naturales, vulnerabilidad y riesgos. Al problema de los deslizamientos se dedica la Dirección de Geología Aplicada.

**1.1 Esfuerzos tempranos:** Hasta los años 1990, la conciencia sobre la amenaza de deslizamientos, por lo general, fue muy baja en Nicaragua. Pero, INETER y Defensa Civil en el contexto de un proyecto con CEPREDENAC se esforzaron a partir de mediados de los años 1990 de realizar alerta de deslizamientos, específicamente en la cadena volcánica para los flujos/lahares. Se obtuvieron algunos resultados como la definición de umbrales de desencadenamiento en 80 mm de lluvia por día. Se definieron sitios de alto riesgo en la Isla de Ometepe y se organizó la prevención local. Inclusive en la Isla de Ometepe (Lago de Nicaragua) se llegó a realizar evacuaciones de la población de sitios que según el umbral iban a ser afectados por lahares. No obstante estas medidas a largo plazo no fueron exitosas porque resultaron muchas falsas alarmas.

Por lo general se puede decir que antes del Huracán Mitch la amenaza por deslizamientos fue muy subestimada y hubo poca pericia en el país sobre este fenómeno.

**1.2 Huracán Mitch:** Durante el Huracán Mitch (octubre de 1998), Meteorología del INETER publicó cada 6 horas las advertencias regulares para los casos de huracanes. Estos mensajes mencionaron también la posibilidad de deslizamientos. Pero, las advertencias no fueron concretas y no reflejaron el verdadero nivel de peligro por las lluvias que posiblemente no fue identificado en el momento por el propio INETER. El lenguaje de los mensajes fue más bien tranquilizante. La red meteorológica no fue muy densa y posiblemente hubo problemas de comunicación con las pocas

estaciones que trabajaban 24x7. También, el centro del huracán con los fuertes vientos y precipitaciones se ubicó al Norte de Honduras a unos 500 km de distancia de las zonas más pobladas de Nicaragua. Probablemente, se subestimó el posible impacto de las lluvias en occidente de Nicaragua a causa de masas del aire húmedo que el huracán halló desde el Océano Pacífico hacia el Noreste. No existían todavía mapas de lluvia en tiempo real que podían dar una impresión sobre la extrema lluvia que ocurrió del 28 al 30 de octubre 1998 sobre la zona de Chinandega, ver figura II.1.



**Figura 1. Densidad de lluvia sobre Centroamérica**  
29 oct al 01 nov 1998. Según Ferraro et al (2009).

**1.3 Mapeo de sitios bajo riesgo, 1999-** : Después del huracán Mitch, INETER, con apoyo de instituciones nacionales e internacionales, estableció una Unidad de Deslizamientos (después Dirección de Geología Aplicada) y desarrolló un gran programa de mapeo de deslizamientos en el país. Un objetivo fue la determinación de lugares donde se deben instalar SAT de deslizamientos. Un gran rol jugó la cooperación con la cooperación suiza (COSUDE) el USGS, el Instituto Geotécnico de Noruega (NGI), el Servicio Geológico Checo, el Instituto Federal de Geociencias (BGR, Alemania) y otras instituciones.

**1.4 SATD piloto en los volcanes, 1999-** : A raíz del desastre del Volcán Casita y por la consideración que en los volcanes los deslizamientos/lahares son muy recurrentes INETER comenzó, en 1999, a trabajar con el Instituto Noruego de Geotécnica (NGI) en un sistema piloto de alerta de deslizamientos para los volcanes de Nicaragua. Se instalaron estaciones meteorológicas telemétricas en los volcanes San Cristóbal, Casita, y Concepción y n Mombacho. En la central de monitoreo y alerta se instaló una computadora con un software que calculó en tiempo real la precipitación acumulada. Se observó durante 2 años la ocurrencia de lahares en los volcanes monitoreados y se desarrolló una fórmula de umbral. El sistema de software dio alarma a base de esta fórmula. Con estaciones sísmicas se pudo observar la ocurrencia de lahares inclusive estimar su velocidad en la trayectoria entre dos estaciones. Se observó en los volcanes San Cristóbal y Concepción que el registro sísmico sirve para confirmar la ocurrencia de los lahares. Por otro lado se encontró que una estación pluviométrica no es suficiente para la alerta en un volcán. Ocurrieron lahares que no correspondieron al registro de lluvias fuertes. Eso se debe a lluvias locales que afectan solamente una zona del volcán. Por lo tanto se necesitarían varias estaciones por volcán o una estación por zona fuente de los cauces del lahar.

**1.4 SATD de INETER en Dipilto, 2003-** : Durante el Huracán Mitch (1998) ocurrió un deslizamiento de gran escala en el municipio de Dipilto, zona del Cerro El Volcán. Un bloque grande se deslizó dentro de pocos minutos por centenares de metros con todo y inclusive una finca de café. Por suerte no hubo víctimas humanas. En un reconocimiento de un proyecto con COSUDE

se detectó, en 2003, en la zona otro deslizamientos de 200 m de ancho y algunos centenares de metros de largo. Los vecinos de este lugar, la alcaldía de Dipilto, Defensa Civil e INETER temieron que podría resultar catastrófico. El movimiento fue temporalmente de algunos decímetros a metros por día.

El área del deslizamiento no es densamente poblado pero se dirigió hacia algunas casas, en total aproximadamente 200 personas podrían ser afectadas. Se pensó en establecer un SAT local. Al inicio Pobladores locales midieron diario el avance del deslizamiento y lo reportaron a la Alcaldía. Al inicio se usaron medidores de desplazamiento sencillos par tener una idea sobre la velocidad. Se realizaron capacitaciones para la población local. Se seleccionaron sitios para los mojones a ser medidos por una red geodésica compuesta por una red primaria y otra secundaria, y dos sitios de monitoreo del desplazamiento del deposito. (Gregoire, 2003).

Después de algunos meses la velocidad se redujo a pocos milímetros por día. Posteriormente INETER, con ayuda de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), ubicó una red pluviométrica y geotécnica de extensómetros y mojones artesanales para medir su desplazamiento y controlar la aparición de grietas, midiendo su orientación, longitud, profundidad y ancho entre septiembre de 2003 y septiembre de 2004, para un total de 6 mediciones con GPS diferencial (Gómez, 2005).

Los datos de mediciones mensuales del desplazamiento se registran a partir del control geodésico de mediciones de los puntos de control superficial, al igual que las mediciones diarias de la pluviosidad en tres pluviómetros y pluviógrafos manuales instalados en puntos seleccionados alrededor del deslizamiento y fincas privadas para monitorear la intensidad y cantidad de lluvia caída acumulada y determinar valores umbrales y su influencia en la masa deslizada o deposito. El proceso de medición y levantamiento de datos funcionó durante algún tiempo mientras duró el proyecto por la señora Rosa López habitante de la Finca El Volcán.

Entre otras conclusiones de este trabajo su autora reconoce cinco sectores que componen el deslizamiento, siendo el más activo el llamado compartimiento No. 5, con un volumen de 236,615 m<sup>3</sup> orientado al Noroeste y desplazado 12 cms. Otra medida de desplazamiento máximo horizontal es 22 cms, en su parte central, que indica una movilidad de 1.84 cms/mes. La realización de mediciones con GPS resultó demasiado cara, porque para cada medición se tuvo que movilizar una brigada de Geodesia de INETER, por varios días, a la zona de El Volcán que se ubica lejos de Managua. Al final, se abandonaron las mediciones con GPS.



## 1.5 SATD central actual, del INETER

El SATD central del INETER se basa en la Dirección de Geología Aplicada (3 especialistas, geólogos) que es parte en la Dirección General de Geofísica que reúne también las Direcciones de Sismología, Vulcanología y la unidad de SIG de Geo-Riesgos. Coopera estrechamente con estos grupos y con las Direcciones Generales de Meteorología, Recursos Hídricos, Geodesia/ Cartografía y Ordenamiento Territorial. Tiene a disposición una gran base de datos de Deslizamientos y la capacidad del SIG de Georiesgos en Nicaragua.

## 2. Sistemas mixtos – comunitarios con soporte central

Existen los siguientes sistemas:

| Tabla . SATD en Nicaragua |       |         |         |         |                 |                 |                       |           |
|---------------------------|-------|---------|---------|---------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------|
| #                         | Lat.  | Long.   | Org.    | Tipo    | Otros fenómenos | Institución     | Lugar                 | Situación |
| 1                         | 12.70 | - 87.00 | central | lahar   | volcán          | INETER          | V. San Cristóbal      | funciona  |
| 2                         | 11.54 | - 85.62 | central | lahar   | volcán          | INETER          | V. Concepción         | funciona  |
| 3                         | 13.76 | - 86.50 | central | desliza |                 | INETER          | El V., Dipilto        | funciona  |
| 4                         | 13.94 | - 86.14 | mixto   | desliza |                 | Alcaldía/INETER | Jalapa                | funciona  |
| 5                         | 13.20 | - 86.63 | comunal | general | inundación      | Alcaldía        | Río Negro             | funciona  |
| 6                         | 13.08 | - 86.40 | comunal | general | inundación      | Alcaldía        | Río Estelí            | funciona  |
| 7                         | 12.92 | - 85.92 | comunal | desliza | inundación      | Alcaldía        | Matagalpa             | funciona  |
| 8                         | 13.55 | - 86.17 | mixto   | general |                 | Alcaldía/INETER | San Juan del Río Coco | funciona  |

### 2.1 SATD en Dipilto

Un nueva etapa comenzó para el SATD de Dipilto con un proyecto de DIPECHO realizada por la ONG española ACSUR e INETER). El concepto fue: Combinar el potencial comunitario con un sistema electrónico para el monitoreo y alerta, con registro local, alarma local y transmisión inalámbrica con Wifi o sistema celular a la Alcaldía de Dipilto y a INETER/Managua. En una casa, ubicada a unos 300 m del deslizamiento, se instaló una base de medición y registró con paneles solares,

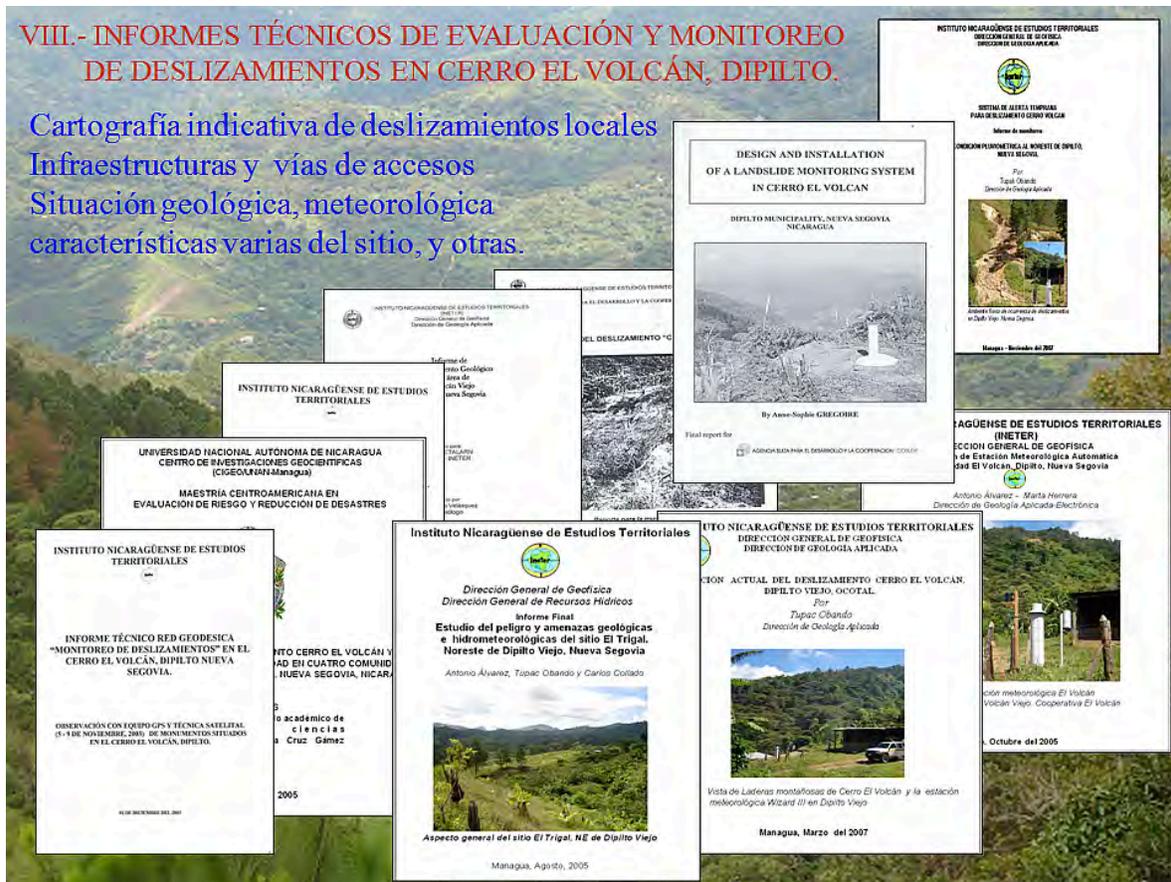


generador eólico, computadora de campo, inversor 12V-110V. Como sensores se instaló un pluviómetro DAVIS, y un sismógrafo digital SARA. Los datos se registraron en la computadora del campo. La medición del movimiento se iba a hacer con un medidor eléctrico sencillo (potenciómetro, la transmisión del sensor a la computadora por cable, la digitalización con una tarjeta de digitalización.

En la Alcaldía de Dipilto se instaló una computadora que iba a servir para recibir los mensajes de alerta. La instalación fue realizada por electrónicos del departamento de sismología porque fueron los únicos con los conocimientos necesarios. El equipo meteorológico y sísmico y la alimentación solar y eólica funcionaron bien y se registraron en la computadora de campo lluvias y sismos.

Pero, no se logró construir el sensor de medición de deslizamiento y tampoco se pudo establecer la comunicación por Wifi o celular. Las razones fueron: Ocupación de los electrónicos con otras tareas, la gran distancia, los técnicos de la Unidad de Deslizamientos no tuvieron buenos conocimientos de los equipos y no hubo buena comunicación entre ellos y los electrónicos.

Pero, se redujo también el interés en la población local, Alcaldía e INETER porque el deslizamiento ya no se movía. Así también se dejó de visitar el SAT regularmente, y también el registro local de lluvias y sismo se abandonó. Actualmente la componente electrónica del SAT no está funcionando. Los geólogos del INETER visitan el lugar en períodos de algunos meses y contacto entre INETER y Alcaldía de Dipilto. No obstante, la amenaza persiste y con una nueva etapa de lluvias intensas el deslizamiento podría reactivarse.



Del análisis de los documentos resulta que los estudios son en primera línea geológicos (Obando T. y Álvarez A., 2007). La revisión de los datos meteorológicos se limita a valores acumulados en 24 horas y no se hizo una correlación con mediciones de desplazamiento. Por eso todavía no se logró determinar un umbral. No existe una línea de acción muy definida en caso de lluvias fuertes y de la reactivación del deslizamiento.

INETER pretende incluir este sitio en su sistema centralizado en desarrollo que se concentra en sitios vulnerables y da alerta a base del sistema de monitoreo satelital de lluvias y de estaciones en los sitios de deslizamientos.

#### a. SAT de Jalapa, 2006- :

En la zona de Jalapa se instaló dentro de un proyecto DIPECHO de ACSUR con INETER un SAT mixto central-comunitario. Se informó y capacitó a la población, se hizo un reconocimiento geológico del área sobre la amenaza de deslizamientos, se instalaron equipos meteorológicos. No se determinaron umbrales de desencadenamiento. (INETER, 2007)

INETER pretende incluir este sitio en su sistema centralizado en desarrollo.

#### **b. SAT de San José de Río Cocos 2010-**

También en esta zona instaló dentro de un proyecto DIPECHO entre ACSUR e INETER un SAT mixto central-comunitario. Se informó y capacitó a la población, se hizo un reconocimiento geológico del área sobre la amenaza de deslizamientos, se instalaron equipos meteorológicos. No se determinaron umbrales de desencadenamiento. INETER pretende incluir este sitio en su sistema centralizado en desarrollo.

Lo siguiente se tomó del informe de INETER sobre este proyecto, INETER (2010)..

Los antecedentes fueron que *“la ocurrencia de un enjambre sísmico en la tarde del 16 de febrero del 2009, que se prolongó por varios días, y causó alarma y afectaciones en el poblado de San Juan de Río Coco, Madriz, en el norte de Nicaragua, lo que motivó la visita de técnicos del Ineter y del servicio geológico checo-Praga al lugar, en los primeros días del mes de marzo 2009.*

*El objetivo fue reconocer la situación y su seguimiento inmediato en cuanto a la actividad sísmica, grado de afectación en viviendas y deslizamientos; la primera con la instalación temporal de sismómetros portátiles para el registro de sismos y las siguientes con valoración de daños y búsqueda de roturas y movimiento del suelo de las laderas.*

*Esta secuencia de eventos sísmicos en una región con poca o ninguna cobertura sísmica dan la pauta a la ampliación y fortalecimiento del grado de cobertura sísmica de ese territorio, para brindar información a SINAPRED y Defensa Civil que sea considerada en sus planes de preparación, en respuesta a la prevención del peligro o amenaza sísmica y asociados.*

*En este documento se plantean los alcances de la instalación de un sistema instrumental para la vigilancia sísmica y de lluvias fuertes que pudiesen desencadenar deslizamientos en la zona, para conocimiento de los organismos participantes, Comunidad Económica Europea – DIPECHO VII y ACSUR Las Segovias*

*Por otro lado, la ubicación de la zona urbana del San Juan de Río Coco, a lo largo del valle del Río La Palma y por estar rodeado de elevaciones hasta de 900m con laderas de fuerte pendiente y estructuras lineales importantes lo hace susceptible a deslizamientos. También la saturación del suelo por la lluvia y su combinación con la sismicidad puede disparar los deslizamientos e inundaciones. Los sitios identificados como susceptibles a deslizamientos son : Cerro el Majaste, Malacate, Salto El Chorro, alrededores de Monte Cristo, Valle San Lucas, Loma El Cacao, entre otros.*

*Durante el estudio realizado por Ineter en el 2009, se concluye que hay presencia de fallas normales al Este del Cerro el Malacate; que significa la existencia de la deformación tectónica del macizo rocoso. De darse un fenómeno gravitatorio (deslizamiento) podría producir el embalsamiento de valle, con consecuencias para el casco urbano de San Juan del Río Coco. Por tanto este cerro será objeto de vigilancia continua, especialmente ante lluvias, lo que permitirá tener información oportuna para dar aviso a la población ante un posible deslizamiento o “revenido”.*

#### **Objetivo General:**

- *Reducir el grado de exposición ante la amenaza sísmica y deslizamientos de los pobladores del casco urbano de San Juan de Río Coco, mediante la instrumentación para la vigilancia de*

*fenómenos geológicos para fortalecer la capacidad local en planes de preparación y respuesta de la población urbana beneficiarios del proyecto, mediante la coordinación con instituciones nacionales y locales.*

### **Objetivos específicos**

- *Instalar y operar cuatro estaciones sísmicas para la vigilancia ante sismos:*
- *Transmitir datos sísmicos en tiempo real;*
- *Registrar y monitorear datos sísmicos y de lluvia en el casco urbano de San Juan de Río Coco y alrededores próximos a su casco urbano.*
- *Emitir comunicados de aviso ante la posibilidad de eventos sísmicos importantes y deslizamientos durante lluvias y por la acción de eventos sísmicos, ante situaciones de emergencia inminente.*
- *Contribuir a la capacidad de las Alcaldías, SINAPRED y Defensa Civil para el fortalecimiento de sus planes de contingencia, y ordenamiento territorial, específicamente en el municipio de San Juan de Río Coco.*
- *En la zona del proyecto se instalará (1) estación meteorológica telemétrica, en el sector cerro Malacate para mejorar y calibrar la herramienta SAT - lluvias fuertes que se basa en el uso de imagen satelital de la NOAA, donde se puede calcular la cantidad de lluvia acumulada cada hora en el cerro Malacate y alrededor próximo a la estación meteorológica. Esto permitirá alimentar el sistema general de alerta por deslizamientos e inundación en San Juan del Río Coco.*
- *Con estos datos se actualizará el mapa de inventarios de deslizamiento para San Juan de Río Coco, acompañados de visitas de campo para recolecta de información in situ y mapeo a detalle del cerro Malacate. Se realizará una caracterización geológica de el o en los deslizamientos en este macizo rocoso y elaborar un mapa de amenaza. Este mapa de amenaza deberá ser una herramienta para la Alcaldía y pobladores para planificar el uso de territorio. Igualmente conocer las potenciales zonas de afectación que podría alcanzar con una activación de “reventados” en la zona del proyecto.”*

Se observa que este proyecto se concentra mucho en el aspecto sísmico y la parte de deslizamientos no es muy concreta. No se determina el número de personas realmente bajo peligro por deslizamientos y el sistema de alarma en caso de una situación de peligro no está bien definido sino se habla de un “sistema general de alerta”.

### **2.4 SAT de Agro-acción Alemana en las cuencas de Río Negro, Río Estero real, Río Estelí**

Estos SAT atienden a la amenaza por inundaciones pero en sus documentos se menciona también el peligro por derrumbes. La infraestructura de radiocomunicación podría ser usada para alerta de deslizamientos. (Vicuña, 2009)

### **2.5 SAT de la cuenca del río Estelí, 2010-**

Este SAT atienden a la amenaza por inundaciones pero en sus documentos se menciona también el peligro por derrumbes. La infraestructura de radiocomunicación podría ser usada para alerta de deslizamientos. (Vicuña, 2009)

## **2.5 SAT de Matagalpa, 2009- :**

Este SAT es muy interesante porque fue desarrollado por la insistencia de personas interesadas y de las autoridades locales de la ciudad de Matagalpa. Se concentra en la amenaza por correntadas e inundaciones rápidas en el Río Grande de Matagalpa pero incluye también la componente de deslizamientos. Fue desarrollado en un proyecto de DIPECHO con ayuda de la ONG italiana CRID y con aportes del INETER.



**Foto . Actividades en la implementación del SAT en Matagalpa  
Tomado de Baca et al. (2010)**

### **Antecedentes**

Los antecedentes de este SAT son los siguientes: En la noche del 17 de octubre de 2007 ocurrió un desborde desastroso de los ríos que atraviesan la ciudad de Matagalpa. Muchas casas fueron inundadas, varias personas murieron y las pérdidas económicas fueron enormes. La inundación fue sorpresiva para la población porque, este día, las lluvias en la propia ciudad no parecían muy intensas.

Se asume que la desastrosa correntada o inundación repentina (inglés: flash flood) e inundación del 17 de octubre de 2007 en Matagalpa fue causada por una muy intensa lluvia de 2 horas de duración localizada sobre las micro cuencas al Norte de la ciudad la que provocó que desbordaran los ríos que afluyen al Río Matagalpa al Norte de la ciudad. La afectación desastrosa ocurrió también por construir en o demasiado cerca del lecho del río.

No hubo ningún preaviso para la población afectada por la correntada del 17 de octubre, el agua subió tan rápido que algunas personas no pudieron salir de sus casas y se ahogaron.

Las prolongadas precipitaciones de la temporada de lluvias de 2007 causaron también afectaciones por deslizamientos y derrumbes en algunas zonas de Matagalpa. No llegó a dimensiones de desastre pero en algunos sitios casas fueron afectadas inclusive dañadas o destruidas, como en el Barrio Fátima.

En el barrio Fátima se desarrolla un deslizamiento lento que ha destruido o dañado durante los últimos años algunas decenas de casas, ver foto. El deslizamiento tiene una dimensión de unos 200x200 metros y atraviesa la carretera de Managua a Matagalpa. Esta se encuentra en constante reparación. Las casas que se encuentran sobre límites de los diferentes bloques del deslizamiento se destruyen, mientras otras permanecen intactas. El deslizamiento no representa peligro para la vida de las personas pero causas grandes pérdidas económicas para las personas. En la ciudad hay otras zonas con peligros de deslizamientos donde centenares de personas podrían ser afectados por derrumbes y deslizamientos.



**Foto .Deslizamiento en el Barrio Fátima, Matagalpa**

La Dirección General de Geofísica del INETER realizó una evaluación inmediata del desastre de la correntada del 17 de octubre y de los deslizamientos. Como resultado de este trabajo se propuso (Strauch et al., 2007) para toda Matagalpa la instalación de un sistema de monitoreo y alerta temprana de deslizamientos para las zonas más propensas para este fenómeno. Este consistiría de estaciones pluviométricas telemétricas, sensores de humedad del suelo, distanciómetros y otros sensores y un sistema de alerta temprana contra inundaciones del Río Grande y sus afluyentes.

Hubo otras propuestas que enfocaron hacia un SATY comunitario con tecnología muy sencilla. Al final se seleccionó un diseño que combina un tecnología de bajo costo para sensores de precipitaciones y altura de ríos con la interacción con la población. Aparte de los medidores de lluvias electrónicas hay también pluviómetros sencillos. Hay indicadores del nivel del río que se construyeron dentro del propio proyecto copiando experiencias de CONRED en Guatemala, pero también hay reglas sencillas de medición que las personas pueden leer directamente. La alerta se hace por Teléfono celular con voz y SMS y con bocinas.



Hasta el momento se logró realizar en 2010 la parte del SAT de las correntadas rápidas pero todavía no se llegó a implementar la parte de los deslizamientos, ver CRIC (2010). No obstante según explicaciones recientes de los responsables del SAT, se estará desarrollando esta componente también (Eduardo Escobar , 2011, comunicación personal).

### Diseño del sistema

El siguiente texto se extrajo de Baca et al. (2010); fotos tomadas de W.Strauch, 22 julio 2011:

*El diseño final del Sistema de Alerta en Matagalpa se plantea de la siguiente manera:*

*El Sistema de Alerta Temprana se compone de un **sistema mixto (estaciones automáticas y organización comunitaria).***

*En cada microcuenca (Molá, Molino Norte y San Francisco) se ha instalado una estación pluviométrica telemétrica con el propósito de llevar un registro de la precipitación caída en las microcuencas (en Molá en la comunidad Llano Grande, en Molino Norte en Selva Negra y en San Francisco en La Cuesta); así mismo una estación hidrométrica-telemétrica en la UNAN; todo esto como parte del sistema de alerta automático.*



*De igual manera, la instalación de sensores de nivel de río artesanal en dos de las Microcuenca, acompañados de radios de comunicación, ubicados en: 2 en Molino Norte (donde Los Martínez y Presa AMAT), 1 en San Francisco (Quinta Coco) y 1 en el barrio Pancasán, ya en la ciudad. La ubicación de los pluviómetros en las microcuencas, se distribuyen: 2 en Molá, 4 en Molino Norte y 5 en San Francisco, constando con dos pluviómetros ya instalados en la Itza y finca Bethel, que también suministran la información levantada por ellos. Esto como parte del sistema de alerta comunitario. De los 11 pluviómetros instalados en las 3 microcuencas, 5 de ellos tendrán radios de comunicación (Llano Grande en la Microcuenca Molá, Los Vázquez y Los López en Molino Norte y Finca Bethel y Cueva El Tigre en San Francisco).*

*De igual forma, la instalación de 18 reglas limnimétricas con cota geodésica, distribuidas en Quinta Coco (Microcuenca San Francisco), Presa AMAT (Microcuenca Molino Norte), 28 de Agosto, UNAN, puente de Rodolfo López.*

*Las estaciones telemétricas enviarán la información en tiempo real a un centro de registro instalado en la Alcaldía Municipal de la ciudad de Matagalpa, esto cada 5 minutos en tiempos de lluvia.*



*El centro de registro almacenará y procesará la información enviada por redes de telefonía (GPRS) y por radios de comunicación.*

*Si el nivel pronosticado sobrepasa el umbral contenido en las tablas resultado del Estudio hidrológico e hidráulico, se enviará mensajes a un grupo de personas previamente seleccionadas (Alcalde, Vice-alcaldesa, Secretario Ejecutivo, COE, Bomberos, Cruz Roja, Defensa Civil, COMUPRED), a través de internet y mensajes SMS y habrá un lapso de 5 minutos para que el sistema encienda las sirenas, en estos minutos el operador se encarga de chequear la información entrante, antes del encendido de las alarmas audibles y visibles por un conmutador a través de internet, dando aviso a la población que se encuentra en riesgo de inundación; si por alguna razón algunas de las alarmas o todos no se encienden por el sistema; el encargado del centro de registro puede hacerlo manualmente encendiendo el botón o enviando desde su celular un mensaje al sistema, para que este active la alarmas.*

*Pero eso no era todo, una vez obtenido el diseño final del SAT, se requería del diseño de una herramienta para la parte automática que recibiera la información, almacenara, analizara y diera el pronóstico en caso de que se llegase a los umbrales pronosticados. Para ello fueron necesarios los resultados del Estudio Hidrológico e Hidráulico y comprender los aspectos más importantes a analizar, dentro de ellos:*



*la condición de humedad de suelo, definiendo cuando éste es suelo seco, semi-saturado y saturado; así mismo obteniendo la precipitación media de los datos de lluvia de las tres estaciones pluviométricas, ubicada cada una de las microcuencas, con la finalidad de poder revisar los datos de umbrales de lluvia que pueden ocasionar desborde del río en la ciudad, el tiempo de duración del evento; otro factor importante es el tiempo de concentración, que indica además del tiempo que tarda una gota de lluvia en llegar desde la parte más alta de la microcuenca a unirse con el Río de Matagalpa, el tiempo que tiene que transcurrir para que un evento termine y empiece a considerarse otro.*

*El diseño de la herramienta para el análisis de los datos automáticos fue consultada también con los autores del Estudio Hidrológico e Hidráulico, (Alessandro Petroni y Federico Preti) ya que es a partir de éste que empieza a hacerse el montaje de todo el análisis de los datos automáticos; así mismo del coordinador local del proyecto quien junto con el técnico encargado del SAT fueron armando por partes un diseño completo que se ajustara mejor a las condiciones topográficas de Matagalpa.*

### ***Análisis e interpretación de la experiencia***

*A lo largo de la reconstrucción del proceso del diseño del Sistema de Alerta Temprana, han surgido una serie de preguntas que se ponen de manifiesto en esta interpretación, con el propósito de analizar y ver desde otra perspectiva lo sucedido en todo el proceso.*

*El proyecto a lo largo del proceso, buscó el apoyo de instituciones rectoras como INETER, para que aportaran ideas y sugerencias a ser incluidas en el diseño; además es importante tener presente que esta institución puede ayudar notablemente en el pronóstico que se requiere una vez llevado a cabo la instalación del diseño; de igual forma en la recopilación de datos, ya que INETER cuenta con una estación hidrométrica a la salida de la ciudad de Matagalpa y se están haciendo gestiones para la ubicación de una estación pluviométrica en la microcuenca Molino Norte.*



*Así mismo, en el diseño del SAT, se consideraron otras experiencias llevadas a cabo fuera del país; sin embargo en todo momento se mantuvo la visión del contexto de la ciudad, las características propias de la zona. Dentro de estas experiencias consideradas se encuentra la SE-CONRED, que mantuvo un intercambio por e-mail muy participativo, donde para ellos lo más importante en los SAT es tomar en cuenta no solo la parte técnica; sino la parte social a través del diagnóstico, la sensibilización, organización y capacitación. El apoyo brindado se debió también a la experiencia que esta institución tenía sobre los SAT, mostrando que a nivel de SAT, a Nicaragua todavía le hace falta experimentar e ir aprendiendo de los aciertos y desaciertos que se puedan generar.*

*Los intercambios con la SE-CONRED, OXFAM y Agro Acción Alemana, ayudó mucho en ir armando la telaraña que conllevaba el diseño del SAT, principalmente en la organización comunitaria, donde la idea de pluviómetros y sensores de nivel de río artesanal, acompañado de radios de comunicación fue en parte discutida después de estos encuentros, valga saber que en todo este proceso se trato de retomar lo bueno y principalmente adaptarlo a las condiciones en que se encuentra Matagalpa.*

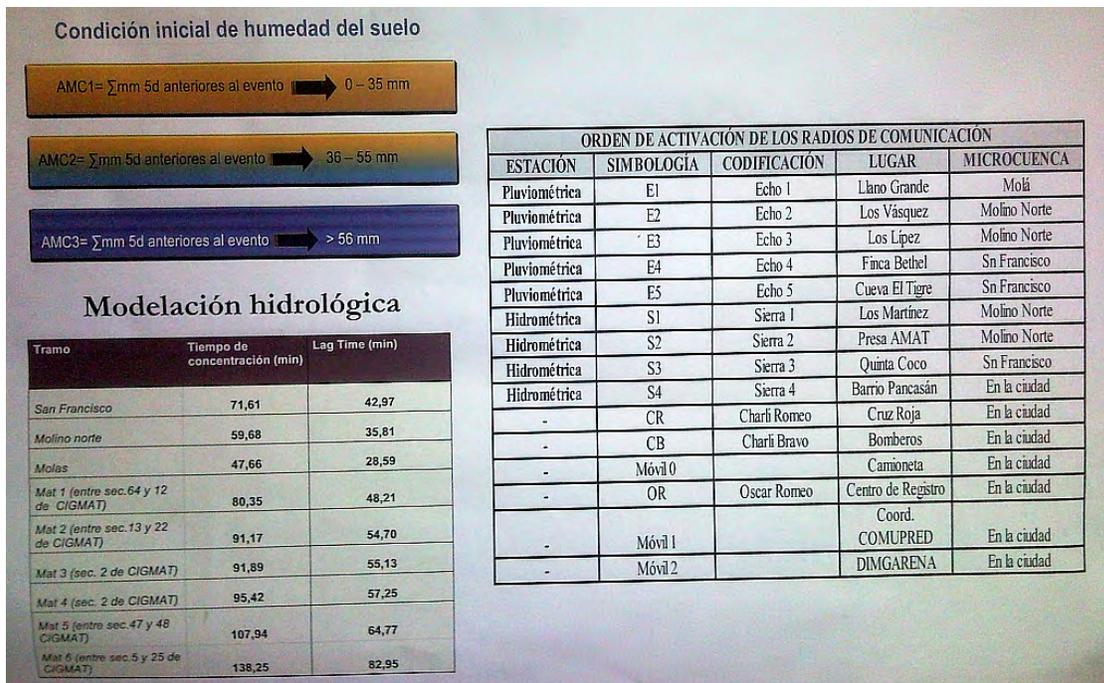
*Se recalca también, la participación que los actores locales pudieron haber tenido en algunos procesos investigativos; por ejemplo el Estudio Hidrológico e Hidráulico, con la finalidad de apropiarse de la metodología y de la experiencia, para poder posteriormente ellos mismos hacer las actualizaciones, modificaciones y calibraciones necesarias en el sistema. Para la elaboración del Estudio Hidrológico e Hidráulico, hay varios métodos sugeridos (hidrológico a hidráulico, o viceversa), sin embargo, sea cual sea el método realizado, siempre se llega a los resultados esperados.*

*Por otro lado, a pesar de que es fundamental la participación de todos en este tipo de procesos, se vuelve algo dificultoso la variedad de tantas opiniones, principalmente en el logro de un solo*

criterio, en el proceso de ponerse de acuerdo y en ubicar responsabilidades; algo un poco difícil de sobrellevar, pero no imposible.

El tiempo con que se contó para definir y desarrollar el diseño del SAT, fue una limitante, sobre todo por la falta de información suficientemente confiable, la poca experiencia en el contexto nacional y centroamericano en este tipo de herramienta para tomar decisiones sobre el mejor escenario del SAT. Sin embargo, el tiempo es también el principal factor que permitirá averiguar el funcionamiento del Sistema, a través de su calibración y sobre todo de su sostenibilidad como un compromiso de todos los actores involucrados en el manejo y manutención del sistema.

El empeño e interés que el gobierno municipal tuvo en el desarrollo del SAT, así como en su funcionalidad, tuvo un valor significativo para que todo el proceso se cumpliera a cabalidad, dando un valor grande a la autonomía que tiene los gobiernos municipales de implementar acciones propias en aras de mejorar su municipio. Ahora bien, la mayoría de los SAT implementados en el país tiene un estrecho vínculo con INETER en el envío de información (vía satélite), análisis y pronóstico, llegando primero a ellos la información y luego a la población afectada; en este sentido la información del SAT de Matagalpa llega primero a la municipalidad y posteriormente llegará a INETER.



En la búsqueda de desarrollar un SAT adecuado y que respondiera a las características de la zona, se llegó a plantear un SAT mixto, donde la parte automática diera una respuesta más rápida al proceso por el Tc corto y la parte comunitaria apoyara en este proceso, donde se fuera creando en ellos una cultura de prevención de desastres. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que no existe un diseño tal y único, que el SAT no es una solución, es una acción contingente de preparación para la mitigación, que la participación en la definición del proceso del SAT es fundamental para su efectividad.

*Como se mencionaba en el párrafo anterior, el SAT no es la solución para garantizar lugares seguros, es necesario que se encamine fuertemente en un ordenamiento del territorio, donde la población en riesgo sea trasladada a sitios más seguros, cuidando su calidad de vida; pero para ello se requiere de inversiones grandes donde la municipalidad todavía no puede dar respuesta, por eso la búsqueda de otros medios que ayuden a concientizar a la población y disminuir los asentamientos en zonas inseguras.*

*El montaje del diseño no fue fácil, principalmente porque para definir si se dejaba un pluviómetro, un sensor, un radio, una estación telemétrica; se requería del apoyo de la población dueña de las propiedades; esto trajo consigo una serie de cambios, de un lugar a otro, no en la esencia del diseño, pero sí en la ubicación final de cada una de las piezas del rompecabezas, que tenían que ser ubicadas cumpliendo una serie de requisitos que no desmontara el objetivo final del diseño.*

### *Conclusiones*

*1.El diseño del Sistema de Alerta Temprana fue un trabajo arduo, donde se requirió de mucha investigación, consultas, involucramiento de muchas personas e instituciones.*

*2.Discontinuidad de muchas de las instituciones invitadas a los foros técnicos, lo que limitó la reflexión e intercambio de conocimientos.*

*3.Es necesario un estudio previo para el sistema de alerta temprana, donde se definan umbrales de lluvia para el pronóstico y para la alerta.*

*4.La participación de las instituciones locales y nacionales es fundamental para consolidar el proceso, acortar tiempos, principalmente cuando se trata de proyectos con tiempos de ejecución cortos.*

*5.El voluntariado que los productores de las microcuencas realizan, es fundamental para el sistema de alerta.*

*6.Cada una de las instituciones involucradas tienen que tener claras y definidas cuáles son sus responsabilidades en el marco de su competencia.*

*7.El destinar una partida presupuestaria por parte de la Alcaldía de Matagalpa es necesaria para dar mantenimiento al sistema y reemplazar algún instrumento que pueda dañarse con el tiempo.*

*8.La coordinación permanente con instituciones competentes, entre ellas INETER con su dirección de recursos hídricos y meteorología es necesaria para poder llegar a complementar un pronóstico más certero.*

*9. La calibración del SAT es un proceso necesario para el funcionamiento, así como el seguimiento a cualquier modificación que se presente en las microcuencas con el*



*fin de definir nuevamente los umbrales de lluvia que permiten dar las alarmas.*

*10. Todavía queda un desafío grande de la eficiencia del sistema, de las instituciones, de los organismos involucrados; donde con el tiempo tendrá que ser ajustado y serán los actores locales, junto con otras instituciones de apoyo los que tendrán que realizar este trabajo.*

*En esta sistematización se identificó solo la parte del diseño del SAT, faltando la reconstrucción y lecciones aprendidas de la instalación del sistema, que también fue algo complicado en la búsqueda a que proveedor comprar, que tipo de instrumento, la instalación in situ y sobre todo ver lo del funcionamiento del sistema.*

**En lo siguiente se presenta la propuesta ooriginal del SAT para Matagalpa que después fue mejorada por el trabajo**

**Sistema de alerta temprana de deslizamientos, correntadas e inundaciones para la ciudad de Matagalpa**

W.Strauch, INETER, 20080123

**1. Antecedentes**

En la noche del 17 de octubre de 2007 ocurrió un desborde desastroso de los ríos que atraviesan la ciudad de Matagalpa. Muchas casas fueron inundadas, varias personas murieron y las pérdidas económicas fueron enormes. La inundación fue sorpresiva para la población porque, este día, las lluvias en la propia ciudad no parecían muy intensas.

Se asume que la desastrosa correntada (inglés: flash flood) e inundación del 17 de octubre de 2007 en Matagalpa fue causada por una muy intensa lluvia de 2 horas de duración localizada sobre las micro cuencas al Norte de la ciudad la que provocó que desbordaran los ríos que afluyen al Río Matagalpa al Norte de la ciudad. La afectación desastrosa ocurrió por construir en o demasiado cerca del lecho del río.

El peligro de inundaciones fuertes en Matagalpa ya fue investigado anteriormente a través de estudios que incluyeron simulaciones numéricas (UNOSAT, CIGMAT). No obstante, estos resultados como otros de estudios de amenazas naturales son muy poco conocidos por la población y los tomadores de decisión en el municipio.

No hubo ningún preaviso para la población afectada por la correntada del 17 de octubre, el agua subió tan rápido que algunas personas no pudieron salir de sus casas y se ahogaron.

Las prolongadas precipitaciones de la temprana de lluvias de 2007 causaron también afectaciones por deslizamientos y derrumbes en algunas zonas de Matagalpa. No llegó a dimensiones de desastre pero en algunos sitios casas fueron afectadas inclusive dañadas o destruidas, como en el Barrio Fátima.

INETER realizó una evaluación inmediata del desastre de la correntada del 17 de octubre y de los deslizamientos (Strauch et al. 2007). Como resultado de este trabajo se propuso para toda Matagalpa la instalación de un sistema de monitoreo y alerta temprana de deslizamientos para las zonas más propensas para este fenómeno. Este consistiría de estaciones pluviométricas telemétricas, sensores de humedad del suelo, distanciómetros y otros sensores. También, se propuso la instalación para Matagalpa de un sistema de alerta temprana contra inundaciones del Río Grande y sus afluyentes, con 1) al menos una estación pluviométrica telemétrica en cada una de las micro cuencas; 2) menos una estación hidrométrica telemétrica en cada uno de los afluyentes del Río de Matagalpa; además 3) de varias estaciones hidrométricas en el propio Río Matagalpa. Se propuso una central de monitoreo y alerta temprana que recibe la información, la procesa y evalúa para dar alerta temprana. Para la alarma se necesitaría la instalación de una o varias sirenas potentes.

El presente proyecto retoma las proposiciones hechas por INETER y propone la instalación de un sistema integral de alerta temprana de deslizamientos y de correntadas rápidas para la ciudad de Matagalpa.

## **2. Objetivos**

### **Generales**

Prevención o Mitigación de desastres para la población de Matagalpa.

### **Específicos**

1. Sistema de Alerta temprana ante deslizamientos, funcionando
2. Alerta temprana ante correntadas e inundaciones, funcionando
3. Población de Matagalpa informada sobre causas de los desastres y medidas de prevención

## **3. Base científica-técnica**

### **Deslizamientos**

La posibilidad de la ocurrencia de deslizamientos depende de varios factores como la pendiente en el sitio, la geología, condiciones del suelo. Como factor desencadenante pueden actuar lluvias muy intensas o prolongadas o sismos fuertes.

No es posible, predecir con exactitud la ocurrencia de deslizamientos pero se puede determinar cualitativamente el momento cuando la posibilidad de la ocurrencia de deslizamientos en una determinada zona suba drásticamente.

En caso de un sismo fuerte es posible dar una estimación de las zonas que más probablemente pueden haber sufrido deslizamientos o que podrían haberse desestabilizado y presentan peligro en caso de nuevos sismos o fuertes lluvias.

### **Correntadas e inundaciones**

La causa de correntadas e inundaciones son fuertes o prolongadas lluvias sobre la cuenca del arrollo o río. Es posible predecir con alta exactitud el momento de la ocurrencia de las correntadas y la dimensión de las inundaciones - conociendo numéricamente la topografía de la cuenca y los parámetros del cauce del río y haciendo continuamente mediciones de la precipitación sobre todo el área de la cuenca. Ciencia y tecnología permiten automatizar este proceso y dar un aviso minutos u horas antes de que el fenómeno afecte a la población.

### **3. Zona de monitoreo y alerta temprana**

Zona de monitoreo – zona de la ciudad de Matagalpa y de las microcuencas que aportan al río Matagalpa en la mera ciudad

Área de influencia – las micro cuencas que aportan al Río Matagalpa en la mera ciudad

Sitios de predicción – sitios a los largo de los arroyos en las micro cuencas y a lo largo del río de Matagalpa en la mera ciudad (posiblemente también río más abajo) para los cuales se determinan predicciones del nivel del río

#### **4. Diseño general del sistema de alerta**

##### **Principios fundamentales**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b><i>Eficiencia</i></b>    | El sistema trabajará de forma automática.  |
| <b><i>Confiabilidad</i></b> | El sistema será supervisado en tiempo real por profesionales locales encargados por la Alcaldía de Matagalpa asistidos por especialistas del INETER. Del El sistema tendrá redundancia en sus componentes más importantes.   |
| <b><i>Rapidez</i></b>       | La información sobre la lluvia y la predicción de inundaciones estarán presente dentro de minutos en vez de horas como es actualmente en el caso de la red meteorológica e hidrográfica del INETER   |
| <b><i>Exactitud</i></b>     | Se pronosticará el nivel del Río de Matagalpa con una exactitud de 10 centímetros (?) cada 5 minutos con 5, 10, 20, 30 minutos de anticipación.<br>Una predicción de deslizamientos no es posible. Se dará un aviso sobre el aumento de la posibilidad de la ocurrencia de deslizamientos en los sitios bajo riesgo. |
| <b><i>Alta calidad</i></b>  | Los mensajes de alerta serán una combinación de texto entendible, figuras y mapas a colores, enviados por INTERNET y accesibles en un sitio Web.   |
| <b><i>Transparencia</i></b> | Por el INTERNET - el público tendrá la posibilidad de conocer en cualquier momento los datos generados por el sistema, los mensajes de información y alerta generados y el estado de su funcionamiento.  |
| <b><i>Bajo costo</i></b>    | El costo de las estaciones meteorológicas, hidrométricas y sísmicas es de solamente 20 % del costo de las estaciones digitales que INETER convencionalmente usa en su red de monitoreo. No se usa comunicación satelital sino equipos de comunicación inalámbrica de bajo costo.                                     |

##### **Componentes técnicas**

1. Sistema de monitoreo y medición local en Matagalpa y micro cuencas que aportan al Río Matagalpa; con estaciones meteorológicas, hidrométricas, sísmicas, humedad del suelo, movimientos locales, cámaras Web
2. Centro de registro y procesamiento automático en Matagalpa
3. Respaldo de este centro en INETER, Managua.
4. Aprovechamiento del Sistema de monitoreo satelital de precipitaciones, de la red meteorológica Nacional y del sistema de alerta de deslizamiento a nivel nacional, del INETER
5. Sistema de comunicación digital inalámbrica, WLAN, en Matagalpa y las micro cuencas
6. Sistema de alarma en Matagalpa con sirenas y mensajes por INTERNET, controladas por INTERNET

Las componentes humanas:

Combinación INETER- Sistema nacional y Municipio de Matagalpa-Sistema local

### **Funcionamiento del Sistema**

#### *Alerta de deslizamientos:*

En los sitios bajo mayor riesgo de deslizamientos estaciones meteorológicas monitorearán continuamente la precipitación. Si el valor acumulado sobrepasa un determinado nivel – el sistema emite una alarma para la zona vigilada. El umbral depende de la historia anterior de las precipitaciones, es decir con el suelo ya saturado por precipitaciones anteriores una lluvia menos intensa puede ser peligrosa y se dispara el sistema. Una alarma se emite también si el sistema de alerta nacional del INETER predice una alta probabilidad de intensas lluvias para la zona vigilada.

#### *Alerta de correntadas e inundaciones:*

En cada micro cuenca que aporta al río Matagalpa se instalarán dos estaciones meteorológicas que registran continuamente. Las mediciones que se hacen cada 5 minutos se transmitirán por medio de radios de comunicación digital al centro de registro y procesamiento en Matagalpa. El servidor de información graba la información y realiza continuamente un análisis. Para una serie de sitios en el Río Matagalpa se computa cada 5 minutos una predicción del nivel del río con 5, 10, 20 y 30 minutos de anticipación al tiempo real. Si el nivel pronosticado sobrepasa un determinado umbral el sistema da alarma para el sitio correspondiente. En este caso el sistema envía por INTERNET y celular (SMS) mensajes de alerta a una lista de destinatarios que puede variar según sitio. El sistema entra en una fase especial de espera antes de encender las sirenas. Esta fase dilata algunos minutos. En esta fase un operador puede cancelar el encendido de las sirenas. El operador puede chequear información adicional como los datos de las estaciones hidrométricas y las imágenes de las cámaras Web de los arroyos que afluyen al Río Matagalpa. Si el operador no cancela la alarma las sirenas serán encendidas con switches por medio del INTERNET o la red inalámbrica propiamente instalada por el proyecto. Un operador puede manejar el sistema remotamente vía INTERNET, por ejemplo desde la casa o desde INETER.

**5. Detalles e costos del sistema:** ver Excel anexo.

### **6. Referencias**

Strauch, W., et al. (2007) Reconocimiento de correntadas rápidas, inundación desastrosa y deslizamientos en Matagalpa y alrededores - ocurridos, el 17 de octubre de 2007, a causa de intensas lluvias.

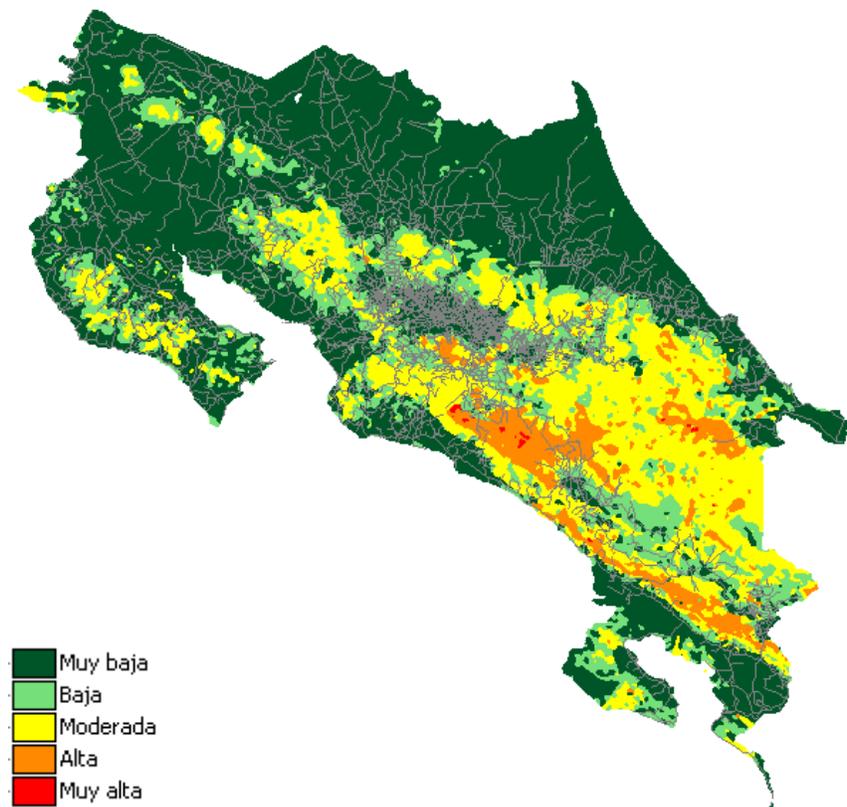
## **Anexo 7e Experiencia con SATD en Costa Rica**

### **1. Nacional**

El sistema nacional está conformado por

- La Comisión Nacional de Emergencia (CNE)
- El Instituto meteorológico nacional (IMN)
- Instituto Costarricense de Energía (ICE)
- Instituciones universitarias como y Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR) OVSICORI, Universidad Nacional (UNA)

La Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR), desde décadas, realiza la investigación sobre el fenómeno de los deslizamientos y ha trabajado activamente en el establecimiento de Sistemas de alerta temprana. La Comisión Nacional de Emergencia (CNE) supervisa actualmente las actividades en este campo.



**Figura 1: Mapa inicial de susceptibilidad de deslizamientos para Costa Rica.**

Metodología “Mora-Vahrson”. Trabajo inter institucional: UCR, CNE, Municipalidad de San José, ICE, Instituto Meteorológico Nacional. Proyecto Reclaimm/CEPREDENAC—NGI NORUEGA

## 2. SATD Comunitarios

Se encontró en el Internet información sobre los siguientes SATD en Costa Rica:

**Tabla 1. SAT comunitarios en Costa Rica**

| # | Latitud | Longitud | Tipo    | Fenómeno               | Instalado | Lugar     |
|---|---------|----------|---------|------------------------|-----------|-----------|
| 1 | 9.80    | -83.85   | comunal | deslizamientos         | Cruz Roja | Orosí     |
| 2 | 9.93    | -84.18   | comunal | deslizamientos, flujos | CNE, UCR  | Santa Ana |

No obstante, la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) *“En el país se ha trabajado con una metodología que se le ha denominado “Sistemas de Alerta Temprana (SAT)”, pero propiamente con lo que se cuenta son sistemas de vigilancia, monitoreo y alerta para la población, en el país no hay verdaderos SATD funcionando. Aún así no debemos olvidar el valioso aporte que los recursos instalados a lo largo y ancho del territorio nacional nos han aportado para la prevención y atención de las situaciones de riesgo a los cuales se exponen las comunidades. “ (V. Fallas, CNE, en la reunión de UNESCO sobre SATD en San Salvador, 6 y 7 de diciembre, 2011)*

En los siguientes lugares la problemática de la alerta de deslizamientos está incluida: Tapezco, Juco, Tablazo, Potrerillos, Chitaría, Paraíso, El Burío.ver abajo cap. 2.3)

En lo siguiente se presenta material sobre los sistemas que se encontró en el INTERNET.

### 2.1 SATD en Orosí

El siguiente texto se tomó de CRCR (2003)

#### **Sistema de alerta temprana de deslizamientos de tierras en Costa Rica**

##### *Antecedentes*

*Tres días de torrenciales lluvias tropicales a fines de agosto del 2002 hicieron crecer los ríos de Costa Rica hasta un punto explosivo. Los deslizamientos de tierras que afectaron a las comunidades de Orosi de Cartago provocaron al menos 7 muertes, destruyeron 17 casas y dañaron acueductos, líneas telefónicas y tendidos eléctricos. Hubo que evacuar a cientos de personas. La Cruz Roja Costarricense desplegó 120 personas en la operación de búsqueda y salvamento, que se volvió extremadamente peligrosa debido al constante y reiterado deslizamiento de tierras en la zona afectada.*

Como consecuencia del desastre, la Federación Internacional, apoyada por la Delegación Regional en América Central, obtuvo financiación del Gobierno británico para implantar un sistema de alerta temprana en caso de nuevos deslizamientos de tierras. El objetivo general era “promover el desarrollo de procesos comunitarios de organización y planificación para la identificación de riesgos y recursos, a fin de prepararse para las situaciones de emergencia e intervenir adecuadamente”.



**Foto . Semanas de lluvias torrenciales fuera de temporada provocaron graves inundaciones y desprendimientos de tierras.**

### **La intervención**

La Cruz Roja Costarricense inició un programa de formación comunitaria en preparación para desastres y prevención de situaciones de desastre, primeros auxilios comunitarios y apoyo psicológico. La idea del sistema de alerta temprana fue propuesta a la comunidad, dejando sentado que era la propia comunidad quien iba a operar el sistema y hacerse cargo de él. Se distribuyó material de construcción para estructuras de soporte, como muros de retención, y para reparar los caños de agua potable dañados por los deslizamientos de tierras.

Entretanto, las autoridades locales crearon un **comité de emergencia** para coordinar las intervenciones en respuesta al desastre y las actividades de rehabilitación. Este comité organizó reuniones de coordinación y supervisó las actividades en las comunidades afectadas. Se instalaron **equipos de radio en cuatro centros**: en el comité local de emergencia de Orosi, en una base cercana de la Cruz Roja, en la oficina del Instituto Meteorológico Nacional y en la oficina de la autoridad de agua potable del Río Macho. Se instaló una **sirena de alerta** en lo alto de la torre de comunicaciones del Instituto de Electricidad de Costa Rica.

*Asimismo, se coordinaron actividades con instituciones locales como la Iglesia Católica, el Instituto de Electricidad de Costa Rica, la Asociación de Desarrollo Comunitario, la Cámara de Turismo y con escuelas regionales privadas y estatales, a fin de difundir información sobre las medidas de reducción del riesgo que se habían adoptado. Los comités de la Cruz Roja de la región se hicieron cargo de la supervisión y del seguimiento durante la implementación del sistema de alerta temprana. Se les confió esta responsabilidad por su inmejorable acceso a las comunidades afectadas y a las instituciones a cargo del sistema de alerta temprana.*

*El anhelo de las comunidades por participar en las sesiones de capacitación fue muy positivo. Asistieron muchas jefas de hogar, hombres y niños. Se hizo circular entre los maestros de las escuelas locales material para promover la toma de conciencia sobre los desastres. Se inició un proceso de formación en las comunidades que sigue funcionando. A continuación se reseñan los resultados obtenidos hasta la fecha.*

### **Impactos positivos**

- *Se impartió formación en preparación para desastres a 200 personas, en primeros auxilios comunitarios a 100 personas y 30 miembros de la comunidad fueron capacitados como operadores de radio.*
- *Nueve meses después del desastre, se produjo un nuevo desprendimiento de tierras de las mismas características del ocurrido en agosto del 2002. Se apreció claramente un cambio en la capacidad de reacción de las comunidades, en la celeridad para seguir las orientaciones del personal de la Cruz Roja y de otras instituciones en el lugar, y una mayor unidad y deseo de trabajar como un solo equipo. La coordinación institucional fue mucho más eficaz, dado que todos los participantes en la sala de control se conocían entre sí, lo que ayudaba a la toma de decisiones.*
- *A un año del comienzo de la intervención, la comunidad muestra una mayor unidad y deseo de trabajar por el desarrollo integral de la región.*
- *El proyecto llevó a un cambio en la intervención de la Sociedad Nacional en casos de emergencia, en la cual el socorro tradicional se transforma en actividades de mitigación, como parte de la fase de rehabilitación.*
- *Las actividades de supervisión durante la implementación del sistema de alerta temprana permitieron a las filiales locales de la Cruz Roja estrechar relaciones con las comunidades beneficiarias.*
- *Este proyecto logró conferir un mayor apoyo y credibilidad a las políticas institucionales sobre prevención*

## **2.2 SATD de Santa Ana, Cerro Tapezco**

Este SAT fue desarrollado en cooperación entre CNE, ICE, UCR y la comunidad de Santa Ana. Un análisis de la situación de la comunidad se encuentra en CNE (2000). En lo siguiente se pone un texto tomado del RECLAIMM (2008) que explica la problemática este SAT.

### **“Algunos Aspectos Sobre Proyectos en Costa Rica de SAT: Caso TAPEZCO, SANTA ANA**

### **2.2.1 Antecedentes del Proyecto**

*En octubre de 1998, a raíz de las consecuencias del paso del Huracán Mitch en la región Centroamericana, la CNE elaboró un perfil de propuesta para desarrollar un plan de gestión comunal de riesgo en las comunidades de Salitral, Matinilla, Santa Ana que permitiera la reducción de la vulnerabilidad de la población frente a los deslizamientos del Cerro Tapezco y lugares circunvecinos, uno de los mayores movimientos de masas activos en Costa Rica.*

*Como resultado de las fuertes lluvias, se forma un proceso de inestabilidad constante y se producen deslizamientos considerables en el Cerro Tapezco que ponen en peligro inminente a 450 familias, compuestas aproximadamente por 3,000 personas. Estudios preliminares de “situación de riesgo inminente” realizados por la Comisión, con la colaboración de expertos reconocidos en movimientos de masas, hacen prever el deslizamiento próximo de al menos uno de los seis bloques en los cuales los expertos han dividido al Cerro Tapezco.*

*Desde hace varios años, se ha manifestado la inquietud de los expertos, de la Comisión Nacional de Emergencias, de la Comunidad y de la Municipalidad de Santa Ana, por definir el grado de riesgo que representa el deslizamiento del Alto Tapezco, y la posibilidad de solucionar o reducir este riesgo. Los estudios de los especialistas concluyen en dos soluciones complementarias, a saber: el establecimiento de un sistema de alerta temprana y, paralelamente, la construcción de obras civiles (diques, galerías y drenajes). El primero integra la instrumentación del sistema telemétrico, la organización interinstitucional y la participación comunal. La segunda solución comprende el diseño, la elaboración de los planos constructivos y la supervisión de la obra según criterios técnicos ingenieriles modernos.*

*El valle por donde fluye el Río Uruca, se ha visto, desde hace tiempo, afectado por avenidas de materiales, producto de los derrumbes que ocurren en la sección superior del Cerro Tapezco. Estudios comparativos de la evolución del fenómeno desde 1990 muestran el rápido incremento de la zona inestable y los efectos producidos por los Huracanes Gilbert, Joan, Mitch, además de las lluvias intensas de carácter local.*

*El deslizamiento del Alto Tapezco involucra la inestabilidad de una masa de grandes proporciones prácticamente imposible de estabilizar en su totalidad; el volumen de terreno desestabilizado es de 12.9 millones de metros cúbicos. Aunque es poco probable que todo ese material presente un movimiento súbito y simultáneo, la posibilidad de desprendimiento de bloques menores es inminente. Los desprendimientos generalmente son de dos tipos: flujos de lodo y escombros y deslizamiento de las partes altas, que generan un efecto de empuje desestabilizador sobre las partes bajas provocando desprendimientos en los bloques del frente con posibilidad de ser canalizados por las quebradas Peter y Tapezco. La actividad sísmica acaecida entre 1990 y 1991 ha generado también cambios importantes en el Cerro, aumentando su inestabilidad.*

*En Junio del 2000 es aprobado, en el marco de CEPREDENAC, el desarrollo de un proyecto orientado a la instalación de un Sistema de Alerta Temprana ante riesgo del Deslizamiento Tapezco con fondos de la cooperación SUECA, a través del ASDI.*

*Estas gestiones fueron inicialmente encabezadas por la Lic. Lorena Alpizar, experta en planificación de proyectos y el Ing. Daniel Zeledón, quienes tuvieron bajo su responsabilidad la elaboración y presupuesto del proyecto ante las autoridades de la CNE y finalmente ante CEPREDENAC.*

*Los meses de julio, agosto y septiembre estuvieron orientados al desarrollo en la identificación de actores estratégicos y en la promoción de los alcances del proyecto en las comunidades de Matinilla, Salitral y Santa Ana. Dentro de este aspecto es importante destacar la participación del*

Instituto Costarricense de Electricidad, Universidad de Costa Rica y del Comité Local de Prevención y Atención de Emergencias de Santa Ana.

### **8.6.5.2 Actividades Desarrolladas**

Las actividades básicas del proyecto han girado en torno a dos áreas estratégicas: Área de trabajo comunal y Área de Coordinación Institucional.

Por otro lado, Ing. Daniel Zeledón, asesor CNE ha procurado la realización y puesta a punto del Convenio ICE-CNE en lo referente a la instalación de los puestos y la derivación, administración de señal del satélite y de los programas propiedad del ICE para el disparo de alertas utilizando cantidad y concentración de lluvia. Asimismo, en lo referente al control geodésico que el ICE deberá realizar en el área del deslizamiento de una manera sistemática y periódica en conjunto con el Comité Local de Santa Ana.

En este frente también destaca también el esfuerzo que realiza el **Comité Local Prevención y Emergencias de Santa Ana**, al respecto destacar el interés manifiesto por la oficial Mónica Jara que ha participado en la conducción del comité tanto en la fase previa del proyecto como en su desarrollo.

#### **2.2.2 Otros Aspectos a Considerar en el Componente Comunal SAT Tapezco**

Como parte del diagnóstico realizado en noviembre del 2000, el componente comunal del proyecto determinó la necesidad de hacer un trabajo por sectores y en pequeños grupos. Estos sectores identificados son: las familias como célula del proceso de generación de sociedad; las escuelas, como elementos de generación de individuos y eje del efecto multiplicador de la información y de experiencias en gestión de desastres; y las organizaciones comunales como factores de participación ciudadana en el desarrollo local y entes de equilibrio del poder local.

Además, como elementos de aporte al CLE y la CNE se trabajará en la creación de un Plan de Evacuación concertado, la habilitación de un punto de reunión para la escuela de Salitral (construcción del mismo) y el diseño, formulación y ejecución de una campaña de divulgación de información para lograr la estandarización de información en la comunidad.

#### **2.2.3 Las Actividades de Sensibilización y Divulgación Grupal: Talleres Familiares**

Partiendo de estos datos, tenemos 24 talleres realizados y 17 por realizar, lo cual nos generaría un total de 41 talleres familiares al final del proceso.

#### **2.2.4 Resultados Esperados**

- Mantenimiento del grupo de facilitadores e integración al trabajo de promoción del CLE.
- Realización de al menos 17 talleres familiares
- Insumos para la elaboración del Plan de Evacuación
- Familias con elementos de discusión sobre la Gestión del Riesgo.
- Efecto multiplicador con la experiencia de trabajo con la comunidad y deseo de la comunidad para que se trabaje con ellos.
- Zonas de alto riesgo con familias preparadas e informadas
- Familias de las zonas más vulnerables con planes de emergencia.”

## 2.3 Información complementaria sobre SATD

Tomada de: Campos Zumbado , J.A. (2011) Inventario y Caracterización de SAT - Informe de Costa Rica - Proyecto Fortalecimiento de Capacidades en los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, en América Central, desde una perspectiva de Multiamenaza, VII PLANDE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC, septiembre de 2011

“Tabla 19 Áreas Geográficas de seguimiento por deslizamientos activos. CNE

| # | Deslizamiento   | Cantón       | Distrito    | Coordenadas              | Área(Ha)              | Km <sup>2</sup> | Micro-cuenca hidrográfica |
|---|-----------------|--------------|-------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | Tapezco         | Santa Ana    | Salitral    | 9°53'49'2N-84°09'5W      | 25.90                 | 0.2             | Río Uruca/Tiribi          |
| 2 | Chitaría        | Santa Ana    | Salitral    | 9°53'22.3N-84° 11'07.6W  | 9.5                   | 0.1             | Río Uruca/Tiribi          |
| 3 | Bu río          | Aserri       |             | 9°52'46.8N-84° 09'35.4W  | 22.2                  | 0.2             | Suarez/Cañas              |
| 4 | Tablazo         | Desamparados | San Miguel  | 9°50'07.5"N-             | 7.8                   | 0.1             | Reyes/Guatuso             |
| 5 | Ortiga-Potreros | Acosta       | Acosta      | 9°47'47.6"N-84° 09'21.6W | 122                   | 1.2             | Candelaria/Parrita        |
| 6 | Pacacua         | Mora         | Mora        | 9°54'22.7N 84"13"17.7W   | Menor de una hectárea | ND              | Pacacua/ Tiribi           |
| 7 | La Cascabela    | Alajuelita   | San Felipe  | 207.700N 524.400 W       | Menor de una hectárea | ND              | Chinchilla/Tiribi         |
| 8 | Agres-Lajas     | Escazú       | San Antonio | Cauces                   | ND                    | ND              | Agres/San Rafael          |

### 4.2.9 Potrerillos, Deslizamiento

#### 4.2.9.1 Información General

- **Responsable de su ejecución:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)
- **Persona contacto:** Víctor Fallas Chinchilla.
- **Dirección electrónica:** [vfallas@cne.go.cr](mailto:vfallas@cne.go.cr)
- **Número de teléfonos:** Oficina: 2210-2765, Celular: 8895-9153.

- **Ubicación Geográfica:** Provincia: San José, Cantón: Acosta, Distrito: San Ignacio de Acosta
- **Comunidades beneficiadas:** La Ortiga y Potrerillos

#### 4.2.9.2 Información Técnica

Área 122 Hectáreas, 1.2 Km<sup>2</sup>

La CNE en junio del 2011 en conjunto con organismos científicos-técnicos y las municipalidades, puso en marcha un plan de estrecha vigilancia a ocho deslizamientos ubicados en los cerros del Área Metropolitana (Ver Tabla 19 Áreas Geográficas de seguimiento por deslizamientos activos. CNE) dicho plan contempla tres componentes: Vigilancia permanente de campo por aire y tierra con acompañamiento de alcaldes y comunidades, diseño y puesta en marcha de sistemas de alerta temprana que contempla capacitación e instrumentalización y la identificación de las familias en condiciones de riesgo para la coordinación de las instituciones responsables de su movilización. Este plan se encuentra en operación a la fecha del cierre del presente informe.

Para mayor información ingresar a la página web:

[http://www.cne.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19](http://www.cne.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19)

donde se puede observar un video con información más detallada por parte del Geólogo Julio Madrigal de la CNE. La condición existente en dicho deslizamiento se puede observar en el informe de situación PLAN DE VIGILANCIA, COORDINACION Y CONTROL, SEGUIMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS ACTIVOS DE MAYOR TAMANO AL SUR DEL VALLE CENTRAL, (PLAN VICCOSDA), DPM-INF-0438 -2011 del 1 de junio del 2011 donde se expresa los avances del plan. Ver Anexo 16 Informe de avance del Plan de Vigilancia Deslizamientos.

**Instrumentación:** La CNE identifica un radio en Acosta (Base 67 de la Cruz Roja Costarricense en Acosta) que conforma el PDRIC para el monitoreo y alarma.

•**Pronósticos:** No se cuenta con mapa de riesgo. No se cuenta con detalles que permitan desarrollar esta labor.

**Identificación y comunicación de la alerta:** En este caso, la CNE emite las alertas respectivas en función de la información brindada por el IMN. Ejemplo de un Aviso del IMN se muestra en la Imagen 9 Aviso del IMN a la CNE y público en general.

•**Respuesta ante la emergencia:** Se cuenta con cuatro comités comunales para el manejo de la respuesta a emergencias que están sustentados en el Comité Municipal de Acosta, liderado por Nelson Castro coordinadora del comité. El apoyo del nivel nacional a la respuesta local está respaldado y apoyada por el oficial de enlace responsable de la región que brinda las facilidades de alimentación y abrigo a los pobladores por medio de bodegas municipales de suministros o compras a comercios locales para cubrir las necesidades de la población que requiera ser trasladada a los albergues que en general son los salones comunales, escuelas y iglesias.

## 4.2.10 Tablazo, Deslizamiento

### 4.2.10.1 Información General

- **Responsable de su ejecución:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)
- **Persona contacto:** Víctor Fallas Chinchilla.
- **Dirección electrónica:** [vfallas@cne.go.cr](mailto:vfallas@cne.go.cr)
- **Número de teléfonos:** Oficina: 2210-2765, Celular: 8895-9153.
- **Ubicación Geográfica:** Provincia: San José, Cantón: Desamparados, Distrito: San Miguel. Micro-cuenca Reyes/Guatuso., (Ver Tabla 19 Áreas Geográficas de seguimiento por deslizamientos activos. CNE)
- **Comunidades beneficiadas:** El Tablazo

### 4.2.10.2 Información Técnica

Área 7.8 Hectáreas, 0.1 Km<sup>2</sup>

Para mayor información ingresar a la página web

[http://www.cne.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19](http://www.cne.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19) donde se puede observar un video con información más detallada, brindada por parte del Geólogo Julio Madrigal de la CNE. La condición existente en dicho deslizamiento se puede observar en el informe de situación PLAN DE VIGILANCIA, COORDINACION Y CONTROL, SEGUIMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS ACTIVOS DE MAYOR TAMANO AL SUR DEL VALLE CENTRAL, (PLAN VICCOSA), DPM-INF-0438 - 2011, del 1º de junio del 2011, donde se expresan los avances del plan. Ver Anexo 16 Informe de avance del Plan de Vigilancia Deslizamientos.

- **Instrumentación:** La CNE identifica la ubicación de un radio de comunicación en Desamparados (Base 75 de la Cruz Roja Costarricense) que conforma el PDRIC para el monitoreo y alarma.
- **Pronósticos:** No se cuenta con mapa de riesgo. No se cuenta con detalles que permitan desarrollar esta labor.
- **Identificación y comunicación de la alerta:** En este caso la CNE emitirá las alertas respectivas en función de la información emitida por el IMN.
- **Respuesta ante la emergencia:** Se cuenta con cinco comités comunales para el manejo de la respuesta a emergencias, los cuales están sustentados en el Comité Municipal de Desamparados, liderado por Edgardo Jara, coordinadora del comité. (Ver Tabla 20 Comité Municipal y Comunales de Emergencias de Desamparados) El apoyo del nivel nacional a la respuesta local está respaldado y apoyado por el oficial de enlace responsable de la región, el cual brinda las facilidades de alimentación y abrigo a los pobladores por medio de bodegas municipales de suministros o compras a comercios locales para cubrir las necesidades de la población que requiera ser trasladada a los albergues ante una emergencia. En general esos albergues son los salones comunales, escuelas e iglesias de la comunidad.

**Tabla 20 Comité Municipal y Comunales de Emergencias de Desamparados**

| <b>NOMBRE DEL</b>                        | <b>NOMBRE DEL</b>         | <b>TELÉFONO</b>                 | <b>COMUNIDAD</b>      |
|--|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| <b>Comité Municipal de Emergencia de</b> | <b>Edgardo Jara Rojas</b> | <b>2259-2158/<br/>8340-5039</b> | <b>Desamparados</b>   |
| <b>Comité Comunal de:</b>                |                           |                                 |                       |
| Patarra                                  | N/D                       | N/D                             | Patarra               |
| San Rafael Arriba de                     | N/D                       | N/D                             | San Rafael Arriba de  |
| Damas de Desamparados                    | N/D                       | N/D                             | Damas de Desamparados |
| Los Guido                                | N/D                       | N/D                             | Los Guido             |
| Frailes                                  | N/D                       | N/D                             | Frailes               |

#### **4.2.11 Burío, Deslizamiento**

##### **4.2.11.1 Información General**

- **Responsable de su ejecución:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)

**Persona contacto:** Víctor Fallas Chinchilla.

**Dirección electrónica:** [vfallas@cne.go.cr](mailto:vfallas@cne.go.cr)

**Número de teléfonos:** Oficina: 2210-2765, Celular: 8895-9153.

**Ubicación Geográfica:** Provincia: San José, Cantón: Aserri

**Comunidades beneficiadas:** Las Mercedes y Salitrillo

##### **4.2.11.2 Información Técnica**

Área 22.2 Hectáreas, 0.2 Km<sup>2</sup>

Para mayor información ingresar a la página web

[http://www.cne.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19](http://www.cne.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19), donde se puede observar un video con información más detallada, brindada por parte del Geólogo Julio Madrigal de la CNE. La condición existente en dicho deslizamiento se puede observar en el informe de situación PLAN DE VIGILANCIA, COORDINACION Y CONTROL, SEGUIMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS ACTIVOS DE MAYOR TAMANO AL SUR DEL VALLE CENTRAL, (PLAN VICCOSA), DPM-INF-0438 -2011, del 1º de junio del 2011, donde se expresan los avances del plan. Ver Anexo 16 Informe de avance del Plan de Vigilancia Deslizamientos.

- **Instrumentación:** La CNE identifica la ubicación de cuatro radio de comunicación en la zona de deslizamiento, los cuales conforman el PDRIC para el monitoreo y alarma. Uno de ellos, el que se encuentra en Base 23 de la Cruz Roja Costarricense en Aserri, es el punto donde se da la activación de la alarma. Ver Tabla 21 Radios del PDRIC Burío.

**Tabla 21 Radios del PDRIC Burío**

|         | UBICACIÓN   |             | COMUNIDAD DONDE ESTÁ UBICADO |
|---------|-------------|-------------|------------------------------|
|         | LATITUD     | LONGITUD    |                              |
| Radio 1 | 09°50'15" N | 84°06'51" O | Alto Burío                   |
| Radio 2 | 09°50'52" N | 84°06'58" O | Puesto Lourdes               |
| Radio 3 | 09°51'07" N | 84°05'58" O | Bajo Lourdes                 |
| Radio 4 | 09°51'49" N | 84°05'36" O | Aserri (Base 23)             |

- **Pronósticos:** No se cuenta con mapa de riesgo. No se cuenta con detalles que permitan desarrollar esta labor.
- **Identificación y comunicación de la alerta:** De igual manera en este caso la CNE emite las alertas respectivas en función de la información emitida por el IMN.
- **Respuesta ante la emergencia:** Se cuenta con tres comités comunales para el manejo de la respuesta ante emergencias, los cuales están sustentados en el Comité Municipal de Aserri, liderado por Rebeca Soto, coordinadora del comité. (Ver Tabla 22 Comité Municipal y Comunales de Emergencias de Aserri) El apoyo del nivel nacional a la respuesta local, está respaldado y apoyado por el oficial de enlace responsable de la región, el cual brinda las facilidades de alimentación y abrigo a los pobladores por medio de bodegas municipales de suministros o compras a comercios locales, con el fin de cubrir las necesidades de la población que requiere ser trasladada a los albergues. En general estos albergues son los salones comunales, escuelas e

**Tabla 22 Comité Municipal y Comunales de Emergencias de Aserri**

| NOMBRE DEL                                       | NOMBRE DEL              | TELÉFONO                        | COMUNIDAD     |
|--|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| <b>Comité Municipal de Emergencias de Aserri</b> | <b>Rebeca Soto Arce</b> | <b>2230-3078/<br/>8823-7310</b> | <b>Aserri</b> |
| <b>Comité Comunal de:</b>                        |                         |                                 |               |
| Los Mangos                                       | N/D                     | N/D                             | Los Mangos    |
| Rastrujales                                      | N/D                     | N/D                             | Rastrujales   |
| La Uruca   | N/D                     | N/D                             | La Uruca      |

## 4.2.12 Jucó, Deslizamiento

### 4.2.12.1 Información General

- **Responsable de su ejecución:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)

**Persona contacto:** Víctor Fallas Chinchilla.

**Dirección electrónica:** [vfallas@cne.go.cr](mailto:vfallas@cne.go.cr)

**Número de teléfonos:** Oficina: 2210-2765, Celular: 8895-9153.

**Ubicación Geográfica:** Provincia: Cartago, Cantón: Paraíso, Distrito: Orosi

**Comunidades beneficiadas:** Jucó

### 4.2.12.2 Información Técnica

Para mayor información ingresar a la página web

[http://www.cne.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19](http://www.cne.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19), donde se puede observar un video con información más detallada, brindada por parte del Geólogo Julio Madrigal de la CNE. La condición existente en dicho deslizamiento se puede observar en el informe de situación PLAN DE VIGILANCIA, COORDINACION Y CONTROL, SEGUIMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS ACTIVOS DE MAYOR TAMANO AL SUR DEL VALLE CENTRAL, (PLAN VICCOSA), DPM-INF-0438 -2011, del 1º de junio del 2011, donde se expresan los avances del plan. Ver Anexo 16 Informe de avance del Plan de Vigilancia Deslizamientos.

- **Instrumentación:** La CNE identifica la ubicación de cinco radios de comunicación en la zona del deslizamiento, los que conforma el PDRIC para el monitoreo y alarma. Uno de ellos ubicado en Base 48 de la Cruz Roja Costarricense en Orosi, desde donde la alerta es emitida. (Ver Tabla 23 Radios del PDRIC en Jucó)

- **Pronósticos:** No se cuenta con mapa de riesgo. No se cuenta con detalles que permitan desarrollar esta labor.

**PROYECTO FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES EN LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA, SAT, EN AMÉRICA CENTRAL, DESDE UNA PERSPECTIVA DE MULTIAMENAZA**

## VII PLAN DE ACCIÓN DIPECHO/ECHO UNESCO-CEPREDENAC

**Tabla 23 Radios del PDRIC en Jucó**

|         | UBICACIÓN   |             | COMUNIDAD DONDE ESTÁ UBICADO |
|---------|-------------|-------------|------------------------------|
|         | LATITUD     | LONGITUD    |                              |
| Radio 1 | N/D         | N/D         | El Sitio                     |
| Radio 2 | 09°47'20" N | 83°51'24" O | Jucó                         |
| Radio 3 | 09°46'35" N | 83°51'14" O | Jucó Iglesia                 |
| Radio 4 | N/D         | N/D         | La Anita                     |
| Radio 5 | 09°47'50" N | 83°51'13" O | Orosi (Base 48)              |

- **Identificación y comunicación de la alerta:** En este caso, al igual que en los anteriores, la CNE emitirá las alertas respectivas en función de la información emitida por el IMN.

- **Respuesta ante la emergencia:** Se cuenta con tres comités comunales para el manejo de la respuesta a emergencias, los cuales que están sustentados en el Comité Municipal de Paraíso, liderado por Fabricio Guzmán, coordinadora del comité. (Ver Tabla 24 Comité Municipal y Comunales de Emergencias de Paraíso) El apoyo del nivel nacional a la respuesta local está respaldado y apoyado por el oficial de enlace responsable de la región, el cual brinda las facilidades de alimentación y abrigo a los pobladores por medio de bodegas municipales de suministros o compras a comercios locales, con el fin de cubrir las necesidades de la población que requiera ser trasladada a los albergues. En general estos albergues son los salones comunales, escuelas e iglesias de las comunidades.

**Tabla 24 Comité Municipal y Comunales de Emergencias de Paraíso**

| NOMBRE DEL                                 | NOMBRE DEL              | TELÉFONO                | COMUNIDAD |
|--|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Comité Municipal de Emergencias de Paraíso | Fabricio Guzmán Astorga | 2574-7811/<br>8816-9964 | Paraíso   |
| Comité Comunal de:                         |                         |                         |           |
| Cachí                                      | N/D                     | N/D                     | Cachí     |
| Orosi                                      | N/D                     | N/D                     | Orosi     |
| Río Macho                                  | N/D                     | N/D                     | Río Macho |

#### 4.2.13 Chitaría, Deslizamiento

##### 4.2.13.1 Información General

- **Responsable de su ejecución:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)
- **Persona contacto:** Víctor Fallas Chinchilla.
- **Dirección electrónica:** [vfallas@cne.go.cr](mailto:vfallas@cne.go.cr)
- **Número de teléfonos:** Oficina: 2210-2765, Celular: 8895-9153.
- **Ubicación Geográfica:** Provincia: San José, Cantón: Santa Ana, Distrito: Salitral
- **Comunidades beneficiadas:** Montoya

##### 4.2.13.2 Información Técnica

Área 9.5 Hectáreas, 0.1 Km<sup>2</sup>

Para mayor información ingresar a la página web

[http://www.cne.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19](http://www.cne.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19), donde se puede observar un video con información más detallada, brindada por parte del Geólogo Julio Madrigal de la CNE. La condición existente en dicho deslizamiento se puede observar en el informe de situación PLAN DE VIGILANCIA, COORDINACION Y CONTROL, SEGUIMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS ACTIVOS DE MAYOR TAMANO AL SUR DEL VALLE CENTRAL, (PLAN VICCOSA), DPM-INF-0438 -2011, de 1º de junio del 2011, donde se expresan los avances del plan. Ver Anexo 16 Informe de avance del Plan de Vigilancia Deslizamientos.

- **Instrumentación:** La CNE identifica la ubicación de tres radios de comunicación en la zona de deslizamiento, los cuales conforma el PDRIC para el monitoreo y alarma. Uno de ellos ubicado en Base 80 de la Cruz Roja Costarricense en Santa Ana, es el que emite la alerta. Ver Tabla 25 Radios del PDRIC en Chitaría.

**Tabla 25 Radios del PDRIC en Chitaría**

|         | UBICACIÓN   |             | COMUNIDAD DONDE ESTÁ UBICADO |
|---------|-------------|-------------|------------------------------|
|         | LATITUD     | LONGITUD    |                              |
| Radio 1 | 09°56'01" N | 84°11'18" O | Santa Ana (Base 80)          |
| Radio 2 | 09°54'16" N | 84°10'51" O | Los Montoya                  |
| Radio 3 | 09°53'46" N | 84°10'25" O | La Cruzada                   |

- **Pronósticos:** No se cuenta con mapa de riesgo. No se cuenta con detalles que permitan desarrollar esta labor.
- **Identificación y comunicación de la alerta:** De igual manera la CNE es la que emite las alertas respectivas en función de la información brindada por el IMN.
- **Respuesta ante la emergencia:** Se cuenta con un comité comunal en Salitral para el manejo de la respuesta a emergencias, el cual está sustentado en el Comité Municipal de Santa Ana, liderado por Sergio Jiménez, coordinadora del comité. El apoyo del nivel nacional a la respuesta local está respaldado y apoyado por el oficial de enlace responsable de la región, el cual brinda las facilidades de alimentación y abrigo a los pobladores por medio de bodegas municipales de suministros o compras a comercios locales, con el fin de cubrir las necesidades de la población que requiera ser trasladada a los albergues. En general estos albergues son los salones comunales, escuelas e iglesias de las comunidades.

#### 4.2.14 Tapezco, Deslizamiento

##### 4.2.14.1 Información General

- **Responsable de su ejecución:** Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)
- **Persona contacto:** Víctor Fallas Chinchilla.
- **Dirección electrónica:** [vfallas@cne.go.cr](mailto:vfallas@cne.go.cr)
- **Número de teléfonos:** Oficina: 2210-2765, Celular: 8895-9153.
- **Ubicación Geográfica:** Provincia: Provincia: San José, Cantón: Santa Ana, Distrito: Salitral, Uruca y Santa Ana. El Cerro Tapezco se encuentra localizado en la zona especial de protección forestal “Cerros de Escazú”, definida según Decreto Ejecutivo, y corresponde a la sección norte de los cerros que dan origen al nombre del área protegida. Administrativamente, se encuentra entre los cantones de Escazú y Santa Ana, aproximadamente en el punto con coordenadas nacionales (Lambert Norte) E-519000, N-209000.
- **Comunidades beneficiadas:** Salitral, Matinilla, Pozos, Santa Ana, San Rafael y PasoMachete.

##### 4.2.14.2 Información Técnica

El inicio del problema de la amenaza por deslizamientos en el Cerro Tapezco, ha sido ubicado en el tiempo según testimonio de vecinos del lugar, entre los años de 1913 (CNE 2002) y 1923 (CNE 2002), con manifestaciones en los años de las décadas del 50, 70 y 90 sin que se contara en sus inicios con una

explicación científica comprobada, eso se señala en el TRABAJO FINAL: “EL DESLIZAMIENTO DEL CERRO TAPEZCO”, Maestría Centroamericana En Geografía, Curso Gestión del Riesgo, Noviembre De 2003. (Ver Anexo 17 El Deslizamiento Del Cerro Tapezco)

El deslizamiento del Cerro Tapezco, está constituido por un volumen de terreno desestabilizado de aproximadamente 12.9 millones de metros cúbicos, que puede desprenderse en pequeños bloques, bajo la modalidad de flujos de lodo y/o desprendimiento de las partes altas, generando un efecto de empuje sobre las partes bajas y movilizándolo anualmente alrededor de 400 metros cúbicos de material hacia el río Uruca (CNE 2002).

Realmente la amenaza no la constituye el deslizamiento en sí mismo, sino la posibilidad de represamiento del río Uruca como consecuencia del material desplazado, el cual podría alcanzar los 1.9 millones de metros cúbicos (CNE 2002). Esto podría generar eventualmente una avalancha de piedras, lodo, árboles y agua, principalmente sobre los cauces de las quebradas Peter y Tapezco, en las márgenes del río Uruca y la calle Salitral-Santa Ana (antiguo cauce), con efectos similares a los sufridos en la ciudad de Cartago en 1963, donde por motivo de las erupciones de ceniza del volcán Irazú se bloqueó el cauce del río Reventazón (Ureña 1983). En la Imagen 10 Ubicación del sitio de vista de campo 04/10/2003 se puede ubicar el deslizamiento Tapezco.

Desde el año 2000 se vienen desarrollando estudios del presente deslizamiento, uno de ellos es el de Diagnóstico Situacional de las comunidades aledañas al Cerro, Proyecto Sistema de Alerta Temprana en el Cerro Tapezco del 2000, el que se encuentra en la página web <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc402/doc402.htm> y que señala una serie de recomendaciones enmarcadas a la constitución del SAT.

Este deslizamiento es parte del Plan de Vigilancia de Deslizamientos de la CNE que se menciona anteriormente, para mayor información ingresar a la página web

[http://www.cne.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19](http://www.cne.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=433:07-06-2011-estrecha-vigilancia-a-deslizamientos&catid=70:noticias-pasadas&Itemid=19)

donde se puede observar un video con información más detallada, brindado por parte del Geólogo Julio Madrigal de la CNE. La condición existente en dicho deslizamiento se puede observar en el informe de situación PLAN DE VIGILANCIA, COORDINACION Y CONTROL, SEGUIMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS ACTIVOS DE MAYOR TAMANO AL SUR DEL VALLE CENTRAL, (PLAN VICCOSA), DPM-INF-0438 -2011, del 1º de junio del 2011, donde se expresan los avances del plan. Ver Anexo 16 Informe de avance del Plan de Vigilancia Deslizamientos.

- **Instrumentación:** La CNE identifica la ubicación de tres radios de comunicación en la zona del deslizamiento, uno de ellos ubicado en Base 80 de la Cruz Roja Costarricense en Santa Ana, los cuales conforman el PDRIC para el monitoreo y alarma. También cuentan con una sirena en Salitral y una estación meteorológica en tiempo real en el Cerro Tapezco perteneciente a Weather Underground Rapid Fire, estación internacional en convenio con la Municipalidad de Santa Ana.
- **Pronósticos:** No se cuenta con mapa de riesgo.
- **Identificación y comunicación de la alerta:** Del mismo modo, la CNE emite las alertas respectivas en función de la información brindada por el IMN.

- **Respuesta ante la emergencia:** Se cuenta con un comité comunal en Salitral para el manejo de la respuesta a emergencias, el cual está sustentado en el Comité Municipal de Santa Ana, liderado por Sergio Jiménez, coordinadora del comité. El apoyo del nivel nacional a la respuesta local está respaldado y apoyado por el oficial de enlace responsable de la región, el cual brinda las facilidades de alimentación y abrigo a los pobladores por medio de bodegas municipales de suministros o compras a comercios locales, con el fin de cubrir las necesidades de la población que requiera ser trasladada a los albergues. En general estos albergues son los salones comunales, escuelas e iglesias de las comunidades.

En la siguiente dirección web <http://www.elpais.cr/articulos.php?id=49798>, se puede ver comentarios sobre los diferentes aportes y las dificultades expuestas por la CNE y miembros del cantón de Santa Ana, sobre el sistema SAT que se ha querido implementar en el lugar con respecto al Cerro Tapezco y al cierre del presente informe no se logró obtener información concreta sobre lo que se tiene planificado.

**Tabla 26 Radios del PDRIC del Tapezco**

|         | UBICACIÓN   |             | COMUNIDAD DONDE ESTÁ UBICADO |
|---------|-------------|-------------|------------------------------|
|         | LATITUD     | LONGITUD    |                              |
| Radio 1 | 09°53'29" N | 84°09'51" O | Alto Tapezco                 |
| Radio 2 | 09°53'21" N | 84°10'18" O | Matinilla                    |
| Radio 3 | 09°56'01" N | 84°11'18" O | Santa Ana (Base 80)          |

## Anexo 7f Experiencia con SATD en Panamá

### 1. SATD Nacional

El sistema nacional consiste de las siguientes instituciones:

- Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC)
- Empresa de Transmisión Eléctrica Panameña (ETESA) Gerencia de Hidrometeorología
- Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá (UPA)

Un gran rol juega la Administración del Canal de Panamá que mantiene un propio sistema de alerta de deslizamientos (Ver anexo 8).

El Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá (UPA) trabaja en la identificación de las amenazas.

El Observatorio Sismológico del Occidente de Panamá desarrolla equipos y sistemas para el monitoreo sísmico, hidro-meteorológico y también para monitoreo y alerta de deslizamientos.

La alerta temprana realiza el SINAPROC con sus oficinas centrales en la Ciudad de Panamá, sus oficinas en las cabeceras departamentales y oficinas o personas de contacto en las municipalidades con mayor peligro.

### 2. SATD Comunitarios o locales

Tabla 1. SATD comunitarios o locales en Panamá

| Nº | Latitud | Longitud | Organización | Tipo    | otros fenómenos | Institución          | Ubicación       | situación      |
|----|---------|----------|--------------|---------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------|
| 27 | 8.81    | -82.54   | comunal      | lahar   | inundación      | OSOP                 | V. Barú         | en preparación |
| 28 | 9.07    | -79.50   | comunal      | desliza | inundación      | SINAPROC<br>Alcaldía | San Miguelito   | funciona       |
| 29 | 9.05    | -79.65   | empresa      | desliza |                 | ACP                  | Canal de Panamá | funciona       |

## 2.2 Proyecto de SATD promovido por SINAPROC en El Miguelito

Lo siguiente reporte periodístico se tomó de <http://www.elsiglo.com/mensual/2011/05/23/contenido/369421.asp>

### *Proyecto de alerta por deslizamientos*

*Betzaida Flores [bflores@elsiglo.com](mailto:bflores@elsiglo.com)*

#### ***El Instituto de Geociencias y ETESA planifican estrategias, junto al municipio, para evitar víctimas por desastres naturales***

*Desde 1997 se han registrado 207 deslizamientos en el distrito, de acuerdo con esa cifra, un promedio de 15 a 16 derrumbes se reportan cada año. En el 2004, un derrumbe por lluvias causó la muerte de tres niños en Roberto Durán. Un informe de incidencias registrado por el Sistema de Información Geográfica del Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc), señala que este distrito es el más propenso a deslizamientos de tierra en comparación con los demás. El Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá realiza una investigación de posibles causas y soluciones de estos eventos en caso de deslizamientos.*



**Foto . Deslizamiento en la zona de San Miguelito**

*En 2009, el consultor ambientalista, Eberto Anguizola, inició el proyecto piloto denominado 'Sistema de Alerta Temprana para áreas críticas de deslizamientos en San Miguelito', basándose en el informe de incidencias del Sinaproc, el cual desde hace 14 años apunta que el mayor riesgo de deslizamientos lo llevan sus pobladores. La Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) también aportó en la investigación. El proyecto inició en el corregimiento Belisario Porras en esa fecha, debido a que más de 70% de los casos de derrumbes se registran allí. Comunidades como: El Valle, Los Andes N° 2, Nuevo Veranillo, Mano de Piedra, La Turín, entre otros, han sido afectados en los últimos años (Ver tabla).*

#### ***Pluviómetro mide lluvias***

*Los estudios sobre alerta temprana se ejecutan desde la Junta Comunal de Belisario Porras, en donde se colocó -desde el 2009- un pluviómetro que mide la precipitación de agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie en 24 horas y que cuantifica la lluvia en litros por metro cuadrado. Así, el aparato indicará cuántos litros de agua caen en un metro cuadrado y conocer cuándo un área podría estar en riesgo de deslizamiento, explicó Anguizola. El consultor ambiental indicó que el proyecto piloto aún no ha finalizado, sin embargo, le hace falta mayor equipamiento como otros pluviómetros para cubrir más sectores.*

*La capacitación a los moradores sobre las evacuaciones en caso de emergencia y un proyecto de manejo de aguas por parte del Ministerio de Obras Públicas, también son necesarios, apuntó. El experto no descartó la posibilidad que en cuanto finalicen los análisis se tenga que reubicar algunas casas que se hallan en peligro de ser afectadas. Entre las recomendaciones dadas por Anguizola y de las más señaladas por el Instituto de Geociencias y el Sinaproc es evitar construcciones y viviendas en laderas propensas a problemas de inestabilidad de suelos o en cerros. El director del Sinaproc, Arturo Alvarado, consideró que una de las medidas de prevención más efectiva es la de evitar edificaciones sin planificación y en lugares de suelo frágil. 'Los sectores críticos están siendo vigilados', aseguró Alvarado.*

*Funcionarios del municipio, la entidad responsable de emitir los permisos de construcción de casas y otras edificaciones, también se encuentran ejecutando un censo en los lugares propensos a deslizamientos para emitir recomendaciones de mejoras y reforzamiento de las estructuras en riesgo.*

### **2.3 Proyecto de OSOP y Senacyt en el volcán Barú**

La escasez de instrumentos para el monitoreo y alerta temprana de deslizamientos es uno de los problemas para la implementación de SATD en la región. En Panamá se ha comenzado de resolver este problema.

El Observatorio Sísmico del Occidente de Panamá (OSOP, [www.osop.com.pa](http://www.osop.com.pa)) desarrolla y vende equipos y software para el monitoreo sísmico, volcánico, de tsunami y coopera con instituciones científicas y de protección civil en Panamá y la región. La empresa quiere extender su experiencia hacia el campo de las inundaciones y deslizamientos. Con este fin y para aportar a la prevención y mitigación de desastres ejecuta desde agosto de 2011 un proyecto para desarrollar, durante 3 años, un Sistema de alerta de inundaciones en la zona del Volcán Barú. Aunque el proyecto se concentra en el tema de las inundaciones repentinas se incluirán también los lahares y deslizamientos. El volcán Barú es la segunda zona más propensa para la ocurrencia de deslizamientos en Panamá, después de San Miguelito. Una parte importante del proyecto es el desarrollo y la prueba de instrumentos y métodos para el monitoreo y la alerta temprana. Entre los instrumentos se piensa en pluviómetros, hidrómetros, laharímetros.



**Foto . Acción de Rescate en el Hotel Bambino, Volcán Barú**

Entre los instrumentos se piensa en pluviómetros, hidrómetros, laharímetros.

También se investigará el uso de sismómetros para la detección de correntadas rápidas y lahares. Se menciona que la parte de los deslizamientos está reforzada en otro proyecto en la zona del Volcán Barú y Occidente de Panamá que OSOP ejecutará con Senacyt a partir de 2012.

Los instrumentos desarrollados exitosamente entrarán en producción y se ofrecerán en combinación con componentes de telemetría, registro y procesamiento automático y alerta a las instituciones interesadas en Panamá, Centroamérica y otras regiones.

Lo siguiente se tomó del documento del proyecto “Sistema de Detección de Cambios en Niveles de Afluentes de Ríos y Envío de Alertas Automatizadas” financiado por SENACYT y ejecutado por OSOP.

### **1. Metodología**

*Se analizarán los parámetros óptimos de los equipos a desarrollarse comunicándose con especialistas en toda Centroamérica y revisando la literatura. Por un lado se quiere llegar a mantener bajo los costos de los equipos, por otro lado se deben garantizar los parámetros necesarios. A base de esto se definen los sensores y las tecnologías adecuadas para el desarrollo de las tarjetas electrónicas que interactuarán con los diferentes sensores. El software se desarrollará a base del sistema Earthworm que ha demostrado ser lo suficientemente flexible para servir no solamente para aplicaciones sismológicas sino también para vulcanológicas y ambientales (Earthworm, 2010).*

*Los pluviómetros, medidores de humedad, medidores de nivel de líquido, y demás sensores previstos para el proyecto no tienen ninguna especificación especial. Tienen salidas analógicas comunes, sin embargo se les hará una adaptación por medio de digitalizadores y conexiones a buses multiplexores seriales para conectar diversos sensores diferentes al mismo canal. Las tarjetas propuestas precisamente hacen estas funciones e interactúan con la computadora embebida para el envío de la información a través de sistemas de radio hasta la base central la cual hará el resto del proceso.*

*En el ensamblaje, calibración y evaluación de los equipos para las estaciones de medición del campo se utilizan las capacidades de los laboratorios del OSOP y el personal existente.*

*Para la instalación de las 15 estaciones en el campo se analizarán las sub cuencas a vigilarse y se contratará a un hidrólogo para analizar los sitios óptimos para alerta temprana. Por otro lado se considera la facilidad de acceso y seguridad contra robo y vandalismo. Además se deben hacer pruebas de comunicación para garantizar los equipos en campo. Para instalar el sistema de telemetría que transporta los datos a la central de datos en el OSOP, En Volcán, se aprovechará de la amplia experiencia del OSOP en esta materia. Se usará WLAN o el sistema celular.*



**Foto . Técnico del OSOP instala pluviómetro en el techo de la Oficina de SINAPROC de Cerro Punta, Volcán Barú**

*Se comunicará con meteorología de ETESA sobre el acceso a la información obtenida del CAFFG y se gestionará información del CAFFG con el CRRH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos). Se compararán los datos de las estaciones locales en tiempo real con el Hydroestimator y el CAFFG, para proceder a la validación de estos métodos para la zona Occidental de Panamá. Se tendrá también los contactos con NESDIS/NOAA necesarias si se quiere adaptar el Hydroestimator al sistema local. Con apoyo del hidrólogo contratado se determinarán y validarán los métodos para los umbrales de desencadenamiento, y se definirán los posibles estados de alerta por medio del sistema. Para preparar desarrollo, ensamblaje y evaluación del dispositivo que enviará las alertas, se hace previamente una discusión con Protección Civil y autoridades locales para definir los protocolos de alerta y garantizar que el sistema automático cumple con ellos.*

*Se pone el sistema en función y se pone en práctica una rutina de recolección y comparación de datos medidos en campo para verificar todo el sistema. Se espera que el sistema funcione durante al menos dos temporadas de lluvias. Se pone a prueba la exactitud del análisis de los datos del HydroEstimator y CAFFG. Se analizará el funcionamiento de todos los componentes del sistema y cuando se detecta mal funcionamiento se procede a analizar las causas y se rediseña la parte correspondiente.*

*Durante todo el proyecto se documenta el trabajo y se elaboran informes técnicos mensuales. Al final del proyecto se elabora un informe final a base del cual se elaboran publicaciones en revistas científicas. Durante el proyecto se informa en la página Web del OSOP y en congresos científicos a la comunidad científica-técnica y al público en general sobre el progreso del proyecto.*

*Los diseños en software y sistemas operativos a utilizar serán OPEN SOURCE, a fin de facilitar el debido uso de licencia. Los desarrollos en hardware utilizarán tecnología de la familia de microprocesadores ARM, adecuando la circuitería pertinente a las aplicaciones de monitoreo que se desean captar. Para aquellas herramientas de automatización complementarias necesarias para el desarrollo, se adquirirá la licencia pertinente según el uso planeado. Igualmente, se mantendrá un **monitoreo tecnológico** a fin de evitar el uso indebido de nueva tecnología no considerada en principio para el desarrollo de la aplicación.*

## **1.1. ETAPA I: Duración 6 meses**

### **Objetivos específicos**

- 1. Diseñar equipos de bajo costo para la medición, telemetría y procesamiento automático de fenómenos hidrometeorológicos.*

### **Actividades a desarrollar**

1. *Diseño y construcción de tarjetas electrónicas para los sensores.*  
*Las tarjetas deben soportar múltiples sensores, como lo son: nivel de agua, deslizamiento de tierra, temperatura, humedad relativa, entre otros.*
2. *Desarrollo del software para las tarjetas y el sistema de análisis.*  
*Desarrollo y adaptación de la parte de software que interactúa entre los equipos de medición y el sistema de análisis por Earthworm (sistema de intercambio y procesamiento de datos), el cual es un estándar en el campo de procesamiento de datos sísmológicos (Earthworm, 2010).*
3. *Desarrollo de estudios de vigilancia tecnológica.*  
*Esté estudio estará enfocado en tecnologías que nos permitan aplicar técnicas actualizadas para el desarrollo de las tarjetas electrónicas.*

### **Productos esperados**

1. *Prototipos de tarjetas electrónicas para los sensores diseñadas y construidas.*
2. *Prototipos de software para las tarjetas y el sistema de análisis completados.*
3. *Reporte de vigilancia tecnológica sobre técnicas aplicadas en el desarrollo de las tarjetas electrónicas.*

## **1.2. ETAPA II: Duración 6 meses**

### **Objetivos específicos**

1. *Construir, calibrar y evaluar los equipos a utilizar en el proyecto para medición en campo, incluyendo el sistema de adquisición y envío de datos, además del manejo de alertas.*
2. *Gestionar la obtención de los mapas de precipitación estimada en tiempo real en base de datos satelitales (Hydroestimator –NOAA/NESDIS) y de alertas del CAFFG (Central America Flash Flood Forecasting Guide) como información adicional al monitoreo con las estaciones de monitoreo locales instaladas por el proyecto. Esta información será utilizada para la comprobación y validación de los resultados obtenidos con nuestro producto final, a modo de comparar cuál de ellos está más cercano a la medición correcta.*

### **Actividades a desarrollar**

1. *Ensamblaje, calibración y evaluación de equipos para medición en campo.*  
*Para este apartado se utilizarán microcomputadoras comerciales y tarjetas electrónicas desarrolladas en el OSOP.*
2. *Diseño, ensamblaje y evaluación del dispositivo que enviará las alertas.*  
*Se busca crear un dispositivo y software para enviar los mensajes de alerta a través de sistema celular, internet y vía radio a las instituciones pertinentes y la población local.*
3. *Obtención de la información de los parámetros de alerta del CAFFG a través del Comité Regional de Recursos Hidráulicos.*

*Esta información permitirá la evaluación de esta autoridad Centroamericana de los métodos a utilizar en la detección de niveles de alerta en nuestro sistema.*

4. *Divulgación de los resultados para Panamá y Centroamérica de los avances del proyecto mediante páginas web y publicaciones en prensa.*

*Para la divulgación en páginas web se utilizarán los mapas de precipitación estimada en tiempo real por medio de aplicaciones instaladas en nuestros servidores y del acceso remoto y/o local de las bases de datos que contienen información proveniente de instituciones especializadas en hidrometeorología.*

5. *Desarrollo de estudios de vigilancia tecnológica.*  
*Esté estudio buscará garantizar que los procedimientos de alertas que se vayan a implementar cumplan con todas las normativas internacionales relacionadas a sistemas similares.*
6. *Obtención de los datos del programa Hydroestimator administrados por el Departamento de Hidrometeorología de ETESA.*

*El equipo investigador negociará con el Departamento de Hidrometeorología de ETESA para obtener los accesos necesarios para el uso de los datos del Hydroestimator.*

### ***Productos esperados***

1. *Ensamblaje, calibración y evaluación de los equipos para realizar medición en campo.*
2. *Definido el protocolo para el acceso y uso de la base de datos Hydroestimator y del CAFFG.*
3. *Diseñado y operativo del dispositivo que enviará las alertas al sistema prototipo.*
4. *Memoria del segundo año sobre publicaciones relacionadas al proyecto en web y prensa.*

### ***1.3. ETAPA III: Duración 12 meses***

#### ***Objetivos específicos***

1. *Disponer a nivel experimental de un sistema automático del monitoreo de precipitación y altura de río en Occidente de Panamá, usando los equipos desarrollados previamente por el proyecto.*
2. *Conocer la validación de los datos del HydroEstimator y del CAFFG en comparación con las mediciones de las estaciones instaladas por el proyecto.*

#### ***Actividades a desarrollar***

1. *Instalación y prueba de comunicación de las estaciones en campo.*  
*Se prevé instalar 15 dispositivos de medición de lluvias y de nivel de río en sitios identificados por medio de distribuciones de zonas históricamente afectadas por los fenómenos relacionados a la variación crítica del nivel de agua en los ríos occidentales.*
2. *Comparación de los datos de las estaciones con los históricos del Hydro-estimator y el CAFFG.*

*A través del desarrollo de un software de intercomparación, se evaluarán los datos obtenidos de las estaciones prototipos con los históricos que maneja el Hydroestimator y CAFFG, con el fin de validarlos. Se contará con la cooperación de COSUDE/CEPREDENAC.*

3. *Divulgación de los resultados en Panamá y Centroamérica.  
Se divulgarán los avances del proyecto mediante páginas web, publicaciones en prensa, participación en congresos y charlas.*
4. *Desarrollo de estudios de vigilancia tecnológica.  
Esté estudio estará enfocado en las técnicas de instalaciones de estaciones pluviales y sensores de nivel de líquido.*
5. *Confección de breve informe de avance técnico del primer semestre de la etapa III del proyecto.  
Este informe incluye los avances técnicos del proyecto en su primer semestre de ejecución.*

#### ***Productos esperados***

1. *15 estaciones de campo instaladas, aptas para la medición de lluvias y de nivel de río en sitios identificados.*
2. *Software de intercomparación entre los datos de las estaciones con los históricos del Hydroestimator y el CAFFG.*
3. *Resultados preliminares de la validación entre los datos obtenidos de las estaciones prototipos con los históricos que maneja Hydroestimator y CAFFG.*
4. *Memoria de año dos (2) sobre publicaciones relacionadas al proyecto en web, prensa, congresos y charlas informativas.*
5. *Informe de avance técnico del primer semestre de la etapa III avalado por SENACYT.*
6. *Estudio de vigilancia tecnológica sobre las técnicas de instalaciones de estaciones pluviales y sensores de nivel de líquido.*

#### **1.4. ETAPA IV: Duración 6 meses**

##### ***Objetivos específicos***

1. *Disponer de equipos de bajo costo para la medición, telemetría y procesamiento automático de fenómenos hidrometeorológicos, dentro de un sistema estándar para el monitoreo y alerta temprana que incluye datos sísmicos, volcánicos y de otros fenómenos.*
2. *Disponer de mapas de precipitación estimada en tiempo real en base de datos satelitales (Hydroestimator –NOAA/NESDIS) y de alertas del CAFFG (Central America Flash Flood Forecasting Guide) como información adicional al monitoreo con las estaciones de monitoreo locales instaladas por el proyecto.*
3. *Tener una línea de producción de los equipos de bajo costo desarrollados por el proyecto para su comercialización a los usuarios regionales.*

### **Actividades a desarrollar**

1. *Comparación de los datos de las estaciones con los históricos del Hydro-estimator y el CAFFG.*  
*Se continuará con la metodología de intercomparación de los datos arrojados por las estaciones prototipos y los históricos, a fin de realizar la validación necesaria que permita obtener el mejor modelo operativo para el equipo y el sistema predictivo de alerta.*
2. *Divulgación de los resultados en Panamá y Centroamérica.*  
*Se continuará la divulgación de los avances del proyecto en páginas web, publicaciones en prensa, participación en congresos, charlas y se someterá al menos dos (2) borradores de artículos científicos a revistas de alto calibre.*
3. *Organización de una línea de producción para los equipos desarrollados en el proyecto.*  
*Esta línea de producción buscará el seguir trabajando en las mejoras continuas del equipamiento y también poderse ofrecer productos tecnológicos a otras instituciones o proyectos donde puedan ser utilizados.*
4. *Realización de un estudio económico que determine los beneficios económicos del paquete tecnológico.*  
*Se determinará mediante un estudio financiero si el paquete tecnológico desarrollado cumple con las condicionantes de bajo costo, en función de soluciones similares en el mercado.*
5. *Desarrollo de estudios de vigilancia tecnológica.*  
*Esté estudios se enfocará para mejorar el modelo de intercomparación de los sistemas en campo y los obtenidos por tomas satelitales.*

### **Productos esperados**

1. *Datos del Hydroestimator y del CAFFG validados en comparación con las mediciones de las estaciones instaladas.*
  2. *Modelo de predicción pluvial ajustado y listo para enlazarse con el prototipo del sistema de alerta.*
  3. *Finalizado y ajustado el prototipo de equipo de medición en campo, para iniciar su producción.*
  4. *Organizada la línea de producción de los equipos desarrollados.*
  5. *Memoria de año tres (3) sobre publicaciones relacionadas al proyecto en web, prensa, congresos y charlas informativas.*
  6. *Dos (2) borradores de artículos científicos sometidos a consideración de revistas de alto calibre.*
  7. *Estudio económico que certifique los beneficios económicos del paquete tecnológico.*
7. **Estrategia de divulgación de los resultados del proyecto entre los beneficiarios y a la comunidad científica.**

*Por la importancia de la información se considera enviar las alertas solo a las entidades de seguridad públicas, autoridades locales y grupos de alerta civil en las comunidades que actúen*

*directamente en las zonas de riesgo. Publicar los detalles de la realización del proyecto en una revista científica de renombre. Brindar informes semestrales con los datos recolectados a SENACYT y otras entidades interesadas, además de una versión resumida para todo público.*

*En modo puntal las actividades programadas de divulgación serían:*

- 1. Se publicará una página Web con la descripción del sistema y los datos de medición en tiempo real para todo público. Incluirá otra información relevante como comportamiento adecuado en caso de lluvias fuertes e inundaciones rápidas.*
- 2. Se brindarán informes de avances trimestrales con los datos recolectados y resultados obtenidos a Protección Civil, autoridades locales y otras entidades interesadas.*
- 3. Durante el proyecto se aprovechará de congresos geocientíficos o hidrometeorológicos para discutir con la comunidad científica-técnica el avance del proyecto.*
- 4. Se realizarán enlaces con medios de prensa en Panamá y Centroamérica con el fin que se generen notas de prensa sobre el avance del proyecto.*
- 5. Al final del proyecto, se publicarán los detalles de la realización del proyecto a través de publicaciones científicas en revistas científicas.*

#### **2.4 Actividad en SAT de ETESA**

La Empresa de Transmisión Eléctrica maneja en Panamá la red meteorológica e Hidrométrica, por medio de la Gerencia de Hidrometeorología. En lo siguiente presentamos el contenido de su página Web sobre el tema de los SAT:

*En las "Funciones de la Gerencia de Hidrometeorología" entre muchas otras tareas solamente se menciona*

*"Instalar sistema de alerta temprana en cuencas hidrográficas propensas a inundaciones en coordinación con el Sistema Nacional de Protección Civil, para contribuir a las alertas para inundaciones y a la mitigación de los daños y pérdidas de vida y bienes."*

No se mencionan la alerta de deslizamientos, y tampoco en la página específica de ETESA sobre los SAT ( [http://www.hidromet.com.pa/que\\_sat.php](http://www.hidromet.com.pa/que_sat.php) ) donde detallan:

##### ***"¿QUÉ ES UN SAT?"***

*SAT es un Sistema de Alerta Temprana el cual tiene como su principal objetivo, dar apoyo a la comunidad por medio de la difusión de la información hidrometeorológica de carácter significativo, previo a posibles amenazas; objetivo con el cual se busca conseguir mejorar la preparación, mitigar y reducir el impacto de los desastres naturales sobre las poblaciones más vulnerables a las amenazas en la región.*

### **Fundamentos**

- Antecedentes recurrentes de inundaciones
- Hay una población beneficiaria del sistema de alerta
- Potencial desarrollo urbanístico

### **¿En qué consiste el SAT?**

- Instalación de pluviómetros digitales con transmisión telemétrica, dentro de la cuenca.
- Estación hidrológica Telemétrica
- Reglas graduadas para registro de niveles del río en las áreas pobladas vulnerables a inundaciones

### **Equipo Disciplinario**

- Personal de la oficina de Análisis, Vigilancia y Pronóstico meteorológico de ETESA
- Meteorólogos e Hidrólogos Analistas de ETESA, operadores del sistema.
- Centro de Operaciones de Emergencia, COE, de SINAPROC
- Cuerpo de voluntarios de SINAPROC

### **Operación del Sistema SAT**

1. Personal de Vigilancia meteorológica observa la formación del mal tiempo, y se monitorea su evolución. Comunicación permanente con el COE de SINAPROC
2. Personal de análisis meteorológico e hidrológico le dan seguimiento a los registros de las estaciones telemétricas
3. Se elabora un pronóstico especial de probabilidad de ocurrencia de inundaciones. Destino SINAPROC
4. Se activa el protocolo de alerta (SINAPROC). Continúa la vigilancia meteorológica e hidrológica
5. El Centro de Operaciones de Emergencia de SINAPROC actúa
6. Preparación de informes y lecciones aprendidas. Mejoramiento del SAT

### **Ecuación Básica para la Viabilidad Hidrológica del SAT**

$$T_c > T_a = t_1 + t_2 + t_3$$

$T_c$  = tiempo de concentración de la cuenca

$T_a$  = tiempo total requerido para dar la alerta

$t_1$  = tiempo para registrar y transmitir los datos

$t_2$  = tiempo para realizar la evaluación y cálculos

$t_3$  = tiempo requerido de reacción

### **Herramientas**

- Imágenes satelitales del sistema RAMSDIS (hidroestimador de agua precipitable)
- Despliegue de imágenes del radar meteorológico Doppler de la ACP a través del software rainbow-5 propiedad de ETESA
- METLAB-II, utiliza modelos globales (GFS) para pronósticos de lluvia y viento.
- CAFFG modelo de guía para crecidas repentinas en Centroamérica.
- Sistema de detección de descargas eléctricas
- Transmisiones de las estaciones meteorológicas e Hidrológicas telemétricas.
- Radios de comunicación SINAPROC-ETESA
- Información horaria de la Autoridad de Aeronáutica Civil (METARES y SPECI)
- Diagrama Termodinámico y datos de radio sondeo de la ACP"

## **Anexo 8. SATD del Canal de Panamá**

El Sistema de monitoreo y alerta de deslizamientos para el Canal de Panamá es muy específico en varios aspectos:

- 1) Es un SAT de una empresa muy grande con suficientes fondos para su desarrollo y mantenimiento.
- 2) Tiene un desarrollo de varias décadas.
- 3) Tiene un nivel técnico y de organización muy alto.
- 4) Es manejado un grupo multidisciplinario de profesionales de alta calificación
- 5) No se dirige en primera línea a salvar vidas humanas sino a proteger la mayor empresa en Panamá y Centroamérica, con un enorme valor para el pueblo de Panamá  
Cada hora de interrupción del tráfico en el canal por un deslizamiento significaría pérdidas millonarias para el país.

En cierta manera este SAT puede aportar experiencia especialmente en cuanto al personal necesario, a la tecnología usada, la organización del SAT, para otros SAT en la región

El siguiente texto fue tomado de DePuy et al. (2008).

### **8.5 El Canal de Panamá**

Los deslizamientos siguen siendo un problema en el Canal de Panamá. En la Figura 32 se muestra una compilación de la actividad de deslizamientos en el Canal desde de 1900 a 2006. Después de la construcción, los derrumbes han continuado ocurriendo porque los factores que contribuyen a estas inestabilidades todavía están presentes. También, se puede observar que hay una relación directa entre los resurgimiento de actividad en deslizamientos con los proyectos de mejoras al Corte Gaillard.

Desde los años 70, cuando se inició el Programa de Control de Derrumbes (SAT del Canal), hay una reducción evidente en los incidentes de derrumbes. Bajo este programa muchos movimientos incipientes fueron detectados y remediados, previniendo, de esta manera, derrumbes mayores.

En el Canal han ocurrido 3.3 derrumbes o eventos por año en promedio de los últimos 108 años. Por otro lado, desde la implementación de un sistema de alerta temprana el promedio se ha reducido a 1.3 eventos por año. Sin embargo, solamente 13 (cuadro 9) derrumbes han interrumpido la normal operación del Canal. Esto representa una probabilidad anual de 0.14 de derrumbes que puedan interrumpir la operación del Cana.

#### **8.5.1 El Programa de Control de Derrumbes (SAT del Canal)**

##### **8.5.1.1 Objetivos**

Debido a la importancia que tiene para el Canal el tránsito seguro y expedito de buques, existe un programa para la reducción del riesgo de deslizamientos a lo largo de las riberas del Canal llamado “El Programa de Control de Derrumbes (LCP)”. Desde su implementación en 1968, los objetivos principales del Programa de Control de Derrumbes son:

- Vigilancia: Uso de instrumentos y técnicas para la detección, predicción inminente de deslizamientos y para comunicar alertas.
- Estabilización Preventiva: Ejecutar acciones preventivas o actuar con suficiente tiempo para evitar los deslizamientos mayores que puedan afectar la operación segura del Canal.

- **Respuesta y Recuperación:** Responder en forma apropiada para minimizar los daños, pérdidas y mantener la operación del Canal.

La estructura organizacional del Programa de Control de Derrumbe se muestra en la Figura 35. En la misma se observa, que la organización incluye varias unidades de la ACP (Autoridad del Canal de Panamá), las cuales deben trabajar con un objetivo común que es el de implementar las medidas vigilancia, control, mantenimiento, y en caso de emergencia, implementar el Protocolo de Respuesta Rápida a derrumbes (ver sección 8.5.1.3).

#### **8.5.1.2 Componentes del Programa**

Todo sistema de alerta temprana efectiva para amenazas geológicas (deslizamientos en nuestro caso) consiste de por los menos cinco componentes: Identificación del Riesgo, Detección, Predicción, Comunicación y Coordinación, y Respuesta Pos-derrumbe. El Programa de Control de Derrumbes del Canal esta desarrollado en base a estos principios.

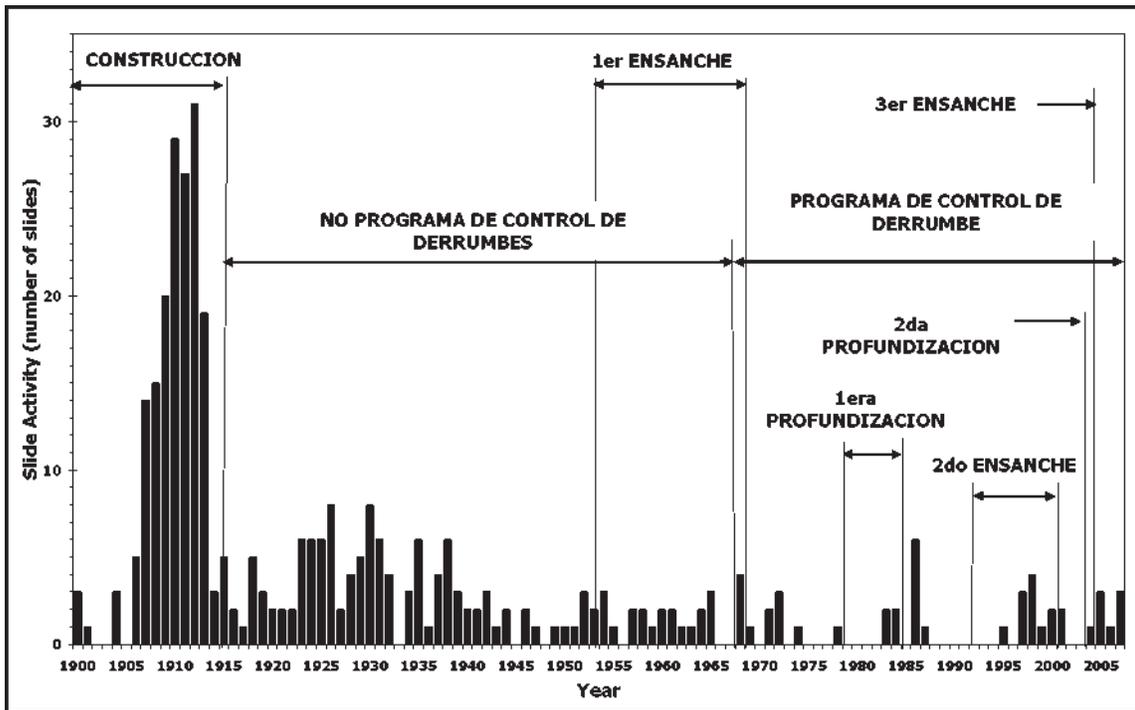


Figura 32 Deslizamientos en el Corte Gaillard

Cuadro 9 Cierres del Canal debido a Derrumbes (Vulnerabilidad)

| Deslizamientos         | Fecha         | Tiempo de Cierre         |
|------------------------|---------------|--------------------------|
| East Culebra           | Oct. 14, 1914 | 6 días                   |
| East Culebra           | Oct. 31, 1914 | 4 días                   |
| East & West Culebra    | Ago. 31, 1915 | 3 días                   |
| East & West Culebra    | Sep. 4, 1915  | 5 días                   |
| East & West Culebra    | Sep. 18, 1915 | 7 meses                  |
| Cucaracha              | Ago. 30, 1916 | 8 días                   |
| East Culebra           | Ene. 10, 1917 | 2 días                   |
| Cucaracha              | Mar. 21, 1920 | 3 días                   |
| East Culebra Extension | Nov. 9, 1931  | 2 días                   |
| 1925 East Culebra      | Oct. 10, 1974 | 3 horas                  |
| Cucaracha              | Oct. 13, 1986 | 12 horas                 |
| North East Culebra     | Jun. 6, 2004  | Afectó solamente una vía |

### **8.5.1.2.1 Identificación del Riesgo**

La identificación del riesgo hace uso de la estimación de la amenaza y de la vulnerabilidad al derrumbe. En el Canal, la amenaza esta claramente estimada por la recurrencia histórica de derrumbes, así como se muestra en las Figuras 33, y 34. Por otro lado, la vulnerabilidad se identifica con el efecto que pudiera tener sobre la navegación de buques en el Canal. La Figura 36 identifica esta vulnerabilidad como la intromisión de material en el cauce. Combinando las Figuras 36 y 37 podemos identificar el riesgo como un índice, así como muestra en la Figura 38. Esta Figura, particularmente, también incluye el efecto sísmico en los taludes del Corte Culebra (o Gaillard).

### **8.5.1.2.2 Detección y Predicción**

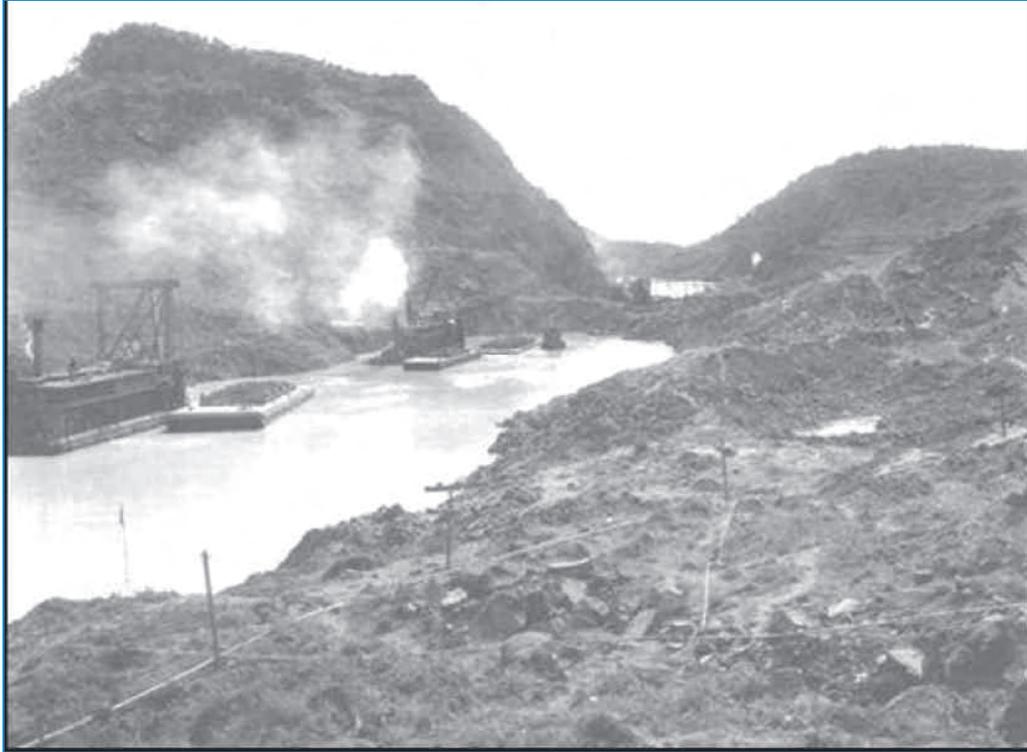
Un vez identificado el riesgo, un componente muy importante de los sistema de alerta es la de poder detectar (por medio de vigilancia) movimientos o reconocer algún tipo de fenómeno que pueda ser considerado como precursor de un derrumbe.

Para este componente, el Programa de Control de Derrumbes del Canal utiliza los siguientes instrumentos:

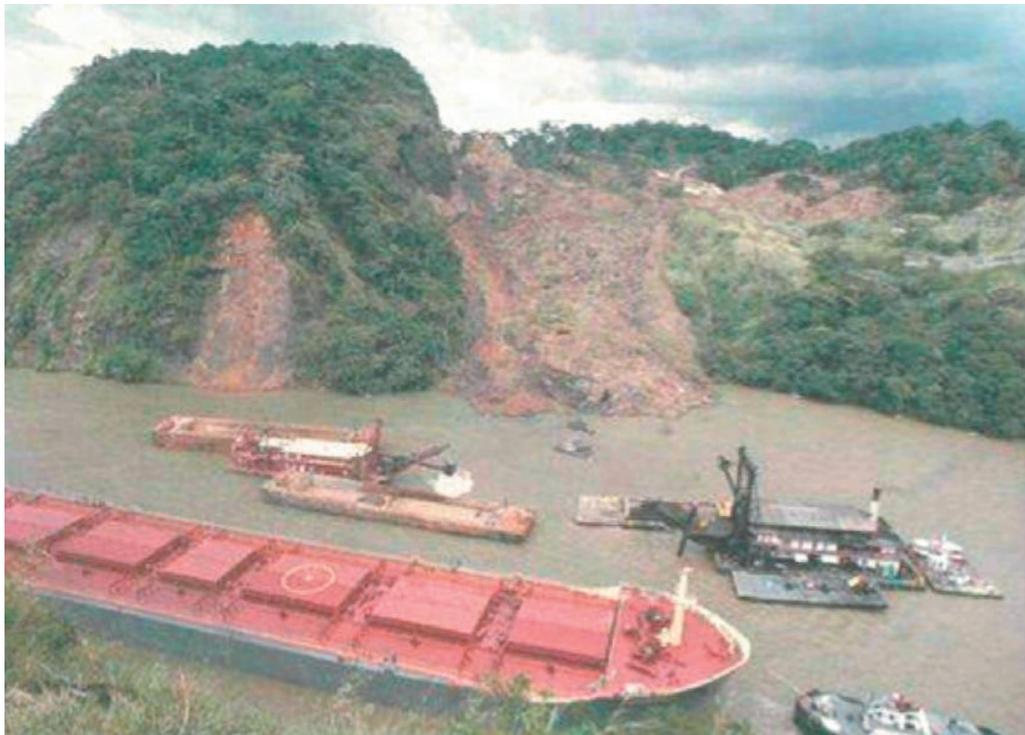
- Inspecciones de Campo e inventario de derrumbes. Esta actividad facilita la identificación de grietas, escorrentía excesiva, caídas de roca, hundimientos, y otros fenómenos relacionados con la inestabilidad de un talud.
- Instrumentación de Control Superficial (EDMs). Su utilización facilita la determinación de los movimientos superficiales, la dirección, magnitud, velocidad y aceleración de los mismos (Figuras 39 y 40).
- Instrumentación Subterránea. Esta facilita la determinación de los movimientos subterráneos (planos de falla) y condiciones geo-hidráulicas de los taludes en vigilancia.
  - Pozos de Observación
  - Tubos Viajeros
  - Piezómetros
  - Piezómetros Multipuntos
- Correlación con Lluvias. Esta mediciones facilita establecer correlaciones y valores umbrales con la ocurrencia de derrumbes.
- Investigación sobre los parámetros de resistencia. Facilita el diseño y la implementación de medidas preventivas o de mitigación.

Otra componente muy importante es tratar predecir, a mediano plazo por medio del reconocimiento de algún tipo de fenómeno que pueda ser considerado como precursor de una falla. El marco de tiempo requerido puede estar entre varios meses a 2 años. Este tiempo es necesario para poder implementar, a tiempo, medidas preventivas, tales como construcción de drenajes superficiales o instalación de drenajes subterráneos, y la implementación de excavaciones de estabilización.

Las predicciones se pueden hacer por medio de las características especiales de los movimientos (velocidad y aceleración) a largo plazo, y a corto plazo por medio de correlaciones y umbrales de lluvias. Por ejemplo, una correlación lineal de los inversos de las velocidades anuales puede ser indicativo de una falla inminente (ver Figura 41).



**Figura 33 Derrumbe de Culebra Este y Oeste en 1915. El Canal permaneció cerrado por 7 meses.**



**Figura 34 El Derrumbe de Cucaracha Este en 1986. El Canal permaneció cerrado por 12 horas.**

Existe una correlación entre los derrumbes y promedio horario móvil de 5 a 10 días. Sin embargo, es difícil establecer límites o umbrales debido a que no hay una clara definición de cual sería el valor de disparo. Solamente se verifica que los deslizamientos coinciden con picos del promedio horario móvil (Figura 42 y cuadro 10).

#### **8.5.1.2.3 Comunicación y Coordinación**

Un sistema de comunicación eficiente es un componente vital para todo Sistema de Alerta Temprana efectivo. Las comunicaciones del SAT (LCP) del Canal, de alertas, observaciones, instrumentación, predicciones y cualquier otra información relacionadas a la estabilidad de los taludes del Canal, es manejada a través del Protocolo de Respuesta Rápida a Derrumbes. Debido a la importancia del Protocolo, este es detallado ampliamente en la sección 8.5.1.3. La Figura 43 indica las condiciones bajo la cual se activa este protocolo.

#### **8.5.1.2.4 Respuesta Pos-Derrumbes**

Otro componente importante es la respuesta después del desastre o derrumbe. No solamente el sistema de alerta debe continuar activo, sino todo el sistema y la operación del Canal deben continuar o deben recuperarse en el menor tiempo posible. Es por eso que el Protocolo de Respuesta Rápida incluye las actividades y responsabilidades de todas las unidades que forman parte de la estructura organizacional de Programa de Control de Derrumbes.

#### **8.5.1.3 Protocolo de Respuesta Rápida**

El protocolo de respuesta es el plan que implementa y establece los procedimientos para la identificación de emergencias de deslizamientos de tierra probables, inminentes o existentes que puedan afectar la operación, la seguridad de las instalaciones, el personal de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), y el tránsito de las embarcaciones a través de cualquier cauce de navegación, especialmente el Corte Gaillard.

##### **8.5.1.3.1 Alcance y Aplicabilidad**

El plan aborda la identificación de las emergencias de deslizamientos de tierra inminente o existente que resulten por eventos de precipitación extrema, excavaciones, dragados, voladuras y terremotos. Adicionalmente, incluye los criterios que se deben usar para la declaración de una condición de Deslizamiento de Tierra Probable, Inminente y/o Existente y define los procedimientos necesarios para el manejo de la emergencia por derrumbe. Este se aplica a las unidades de la ACP involucradas en caso de un evento de deslizamiento de tierra en el Canal de Panamá.

##### **8.5.1.3.2 Definiciones**

###### **8.5.1.3.2.1 Definición de una Pre-Emergencia**

Una condición de “Pre-Emergencia” es aquella en la cual se identifica alguna amenaza inminente a la operación segura del cauce de navegación pero no se prevén de forma inmediata peligros significativos a la vida o a los bienes.

La declaración de una condición de Pre-Emergencia es generalmente un procedimiento interno de la ACP y requiere de la notificación a las partes involucradas en esta etapa inicial; generalmente, no serán necesarias las advertencias para evacuar o suspender las operaciones en el cauce de navegación.

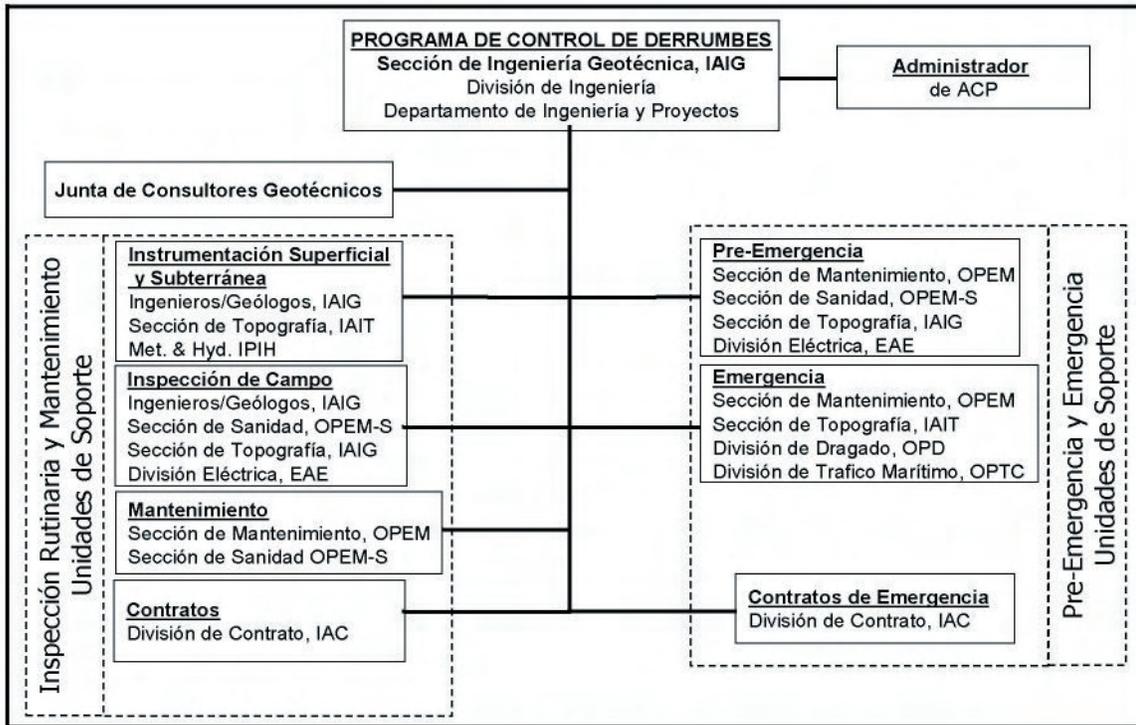


Figura 35 Organización del Programa de Control de Derrumbe

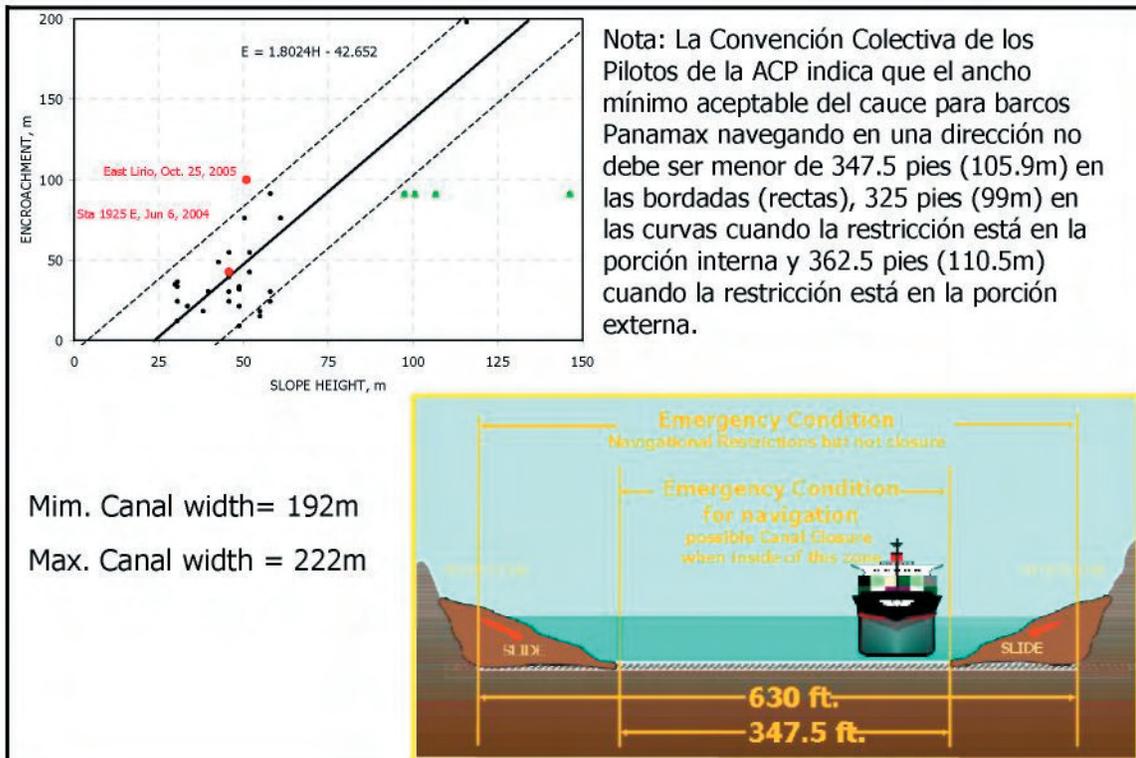


Figura 36 Vulnerabilidad del Canal a la Intrusión de Material en el Cauce de Navegación

Los eventos amenazantes, que exigen una declaración de Pre-Emergencia, se designarán como probables o inminentes, y las notificaciones emitidas para estas condiciones son Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Probable y Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Inminente.

#### **8.5.1.3.2.2 Definición de Emergencia**

Una Condición de “Emergencia” es aquella en la que se han identificado peligros a la vida y/o a los bienes. Las condiciones que justifican la declaración de una Condición de Emergencia pueden ser inminentes o existentes, y pueden incluir el cierre parcial o total del Canal con el fin de excavar o remover escombros del deslizamiento que han entrado al cauce de navegación y ponen en peligro el tránsito de las embarcaciones.

La declaración de una Condición de Emergencia exige que se active de inmediato el Protocolo de Respuesta Rápida a Derrumbes, y la notificación a las unidades necesarias de la ACP con respecto a la situación. La notificación emitida durante esta condición es: Advertencia de Deslizamiento de Tierra Existente.

#### **8.5.1.3.3 Códigos de Advertencia**

##### **8.5.1.3.3.1 Código Azul - Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Probable (PLTW por sus siglas en inglés)**

El PLTW advierte al personal y a las Unidades claves acerca de cualquier amenaza de deslizamiento de tierra probable. El Gerente de la Sección de Geotecnia (IAIG), o su representante designado, imparte esta advertencia. Las partes que deben ser notificadas se muestran en las “Listas de Notificación”. La Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Probable incluye los siguientes pasos:

- (1) Notificación al Gerente de la Sección de Geotecnia (IAIG) y al encargado del Programa de Control de Derrumbes de Tierra (LCP) acerca de la existencia en el campo de grietas superficiales o desprendimiento de rocas. Se requiere de una inspección de campo y redacción de un informe.
- (2) Notificación al Gerente de la Sección de Topografía (IAIT) para examinar y medir los movimientos que ocurren en el sitio. También se debe notificar a la Unidad de Sanidad y Predios (OPEM-S), en caso de que fuera necesario su apoyo, para limpieza y corte de vegetación.
- (3) Notificación al Gerente de la División de Ingeniería (IAI) y al Gerente de Mantenimiento y Obras Civiles (OPEM), siempre que las amenazas de deslizamiento de tierra probable pudieran requerir el uso de equipo de construcción disponible, y personal para la remoción de tierra y rocas para iniciar las medidas preventivas o de remediación.
- (4) Iniciar el análisis preliminar de estabilidad, diseño de excavación y los sitios de disposición apropiados.
- (5) Contactar al oficial de presupuesto (IARS) para la designación de los fondos y cuentas apropiadas para el proyecto.
- (6) De acuerdo a la situación y después de seguir los pasos indicados, el Gerente de la Sección de Geotecnia decidirá si la emergencia continúa o cambia a un grado más crítico.

## Río Chagres

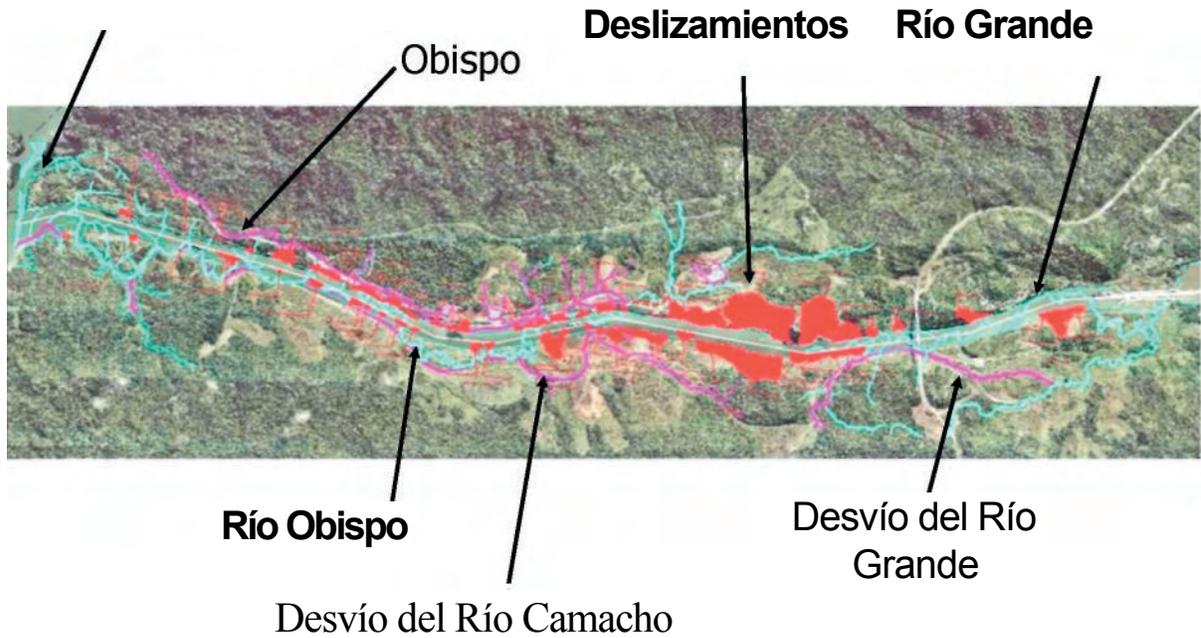


Figura 37 Deslizamientos en el Corte Culebra

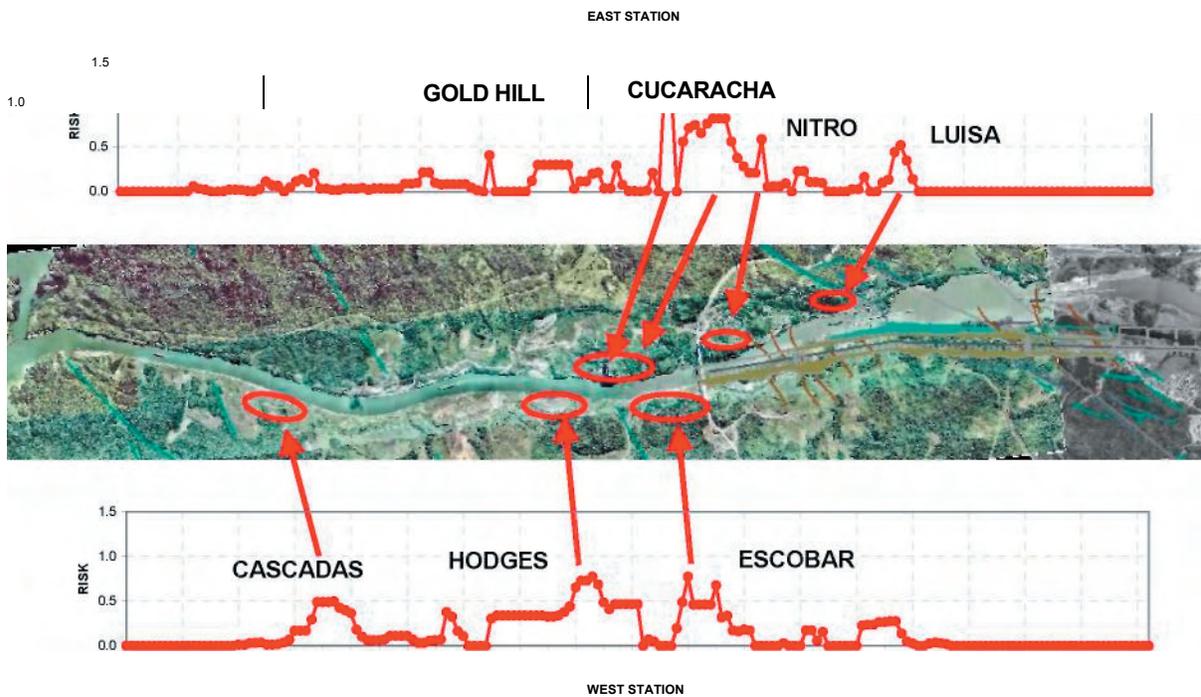


Figura 38 Identificación de Riesgo a Derrumbes en el Corte Gaillard

**8.5.1.3.3.2 Código Amarillo - Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Inminente**  
(ILTW por sus siglas en inglés)

El Gerente de la Sección de Geotecnia (IAIG), o su representante designado, emite el ILTW siempre que se pronostique un Riesgo de Deslizamiento de Tierra y se prevea la necesidad de activar el Protocolo de Control de Respuesta Rápida. La Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Inminente incluye los siguientes pasos:

- (1) Notificación al Gerente de la División de Ingeniería (IAI) sobre la situación. El Gerente de IAI es responsable de informar al Director del Departamento de Ingeniería y Programas (IA) acerca de la situación actual.
- (2) Notificación al Gerente de la Sección de Topografía y Cartografía para examinar y ubicar en un mapa los movimientos registrados en el sitio y bajo el agua.
- (3) Notificación a la Sección de Mantenimiento y Obras Civiles (OPEM) y al Gerente de la División de Dragado (OPD), siempre que las amenazas de deslizamiento de tierra inminente puedan requerir el uso de equipo de construcción y dragado disponible y personal para la remoción de grandes volúmenes de escombros.
- (4) No se debe remover ningún material que haya entrado al Corte Gaillard hasta que sea autorizado por el Gerente de IAIG o sus representantes designados.
- (5) Advertir a las unidades en la “Lista de Notificación” para ejecutar la Advertencia de Deslizamiento de Tierra Inminente.
- (6) Después que se emita la Advertencia de Deslizamiento de Tierra Inminente, el Gerente de IAIG y el encargado del LCP o sus representantes designados, decidirá si la emergencia continúa o cambia a un grado más crítico.

**8.5.1.3.3.3 Código Rojo - Advertencia de Deslizamiento de Tierra Existente (ELW por sus siglas en inglés)**

El Gerente de la Sección de Geotecnia (IAIG), o su representante designado, emite el ELW. Se advertirá Tráfico Marino (OPTC), al Director de IA y al Gerente de IAI acerca de la emergencia. Adicionalmente se deberán ejecutar los siguientes pasos:

- (1) Notificación al Gerente de la Sección de Topografía y Cartografía para realizar mediciones topográficas e hidrográficas. Todas las grietas superficiales deberán localizadas, así como la revisión de todos los registros de la instrumentación existente en el área (inclinómetros, piezómetros y tubos viajeros).
- (2) Asignar al Ingeniero Geotécnico para iniciar el planeamiento y la evaluación del trabajo de remediación de emergencia.
- (3) Notificación al Gerente de la Sección de Mantenimiento y Obras Civiles (OPEM) y al Gerente de la División de Dragado (OPD) cuando se requiera el uso de equipo de construcción y dragado disponible y personal para la ejecución de una medida de remediación de emergencia.
- (4) Advertir a las organizaciones en la Lista de Notificación para ejecutar el procedimiento del Protocolo de Respuesta a Deslizamiento.
- (5) Advertir a las partes acerca de la posibilidad de tener que cerrar parcial o totalmente el cauce de navegación.

Vigilancia

## Medición de Movimientos en Taludes

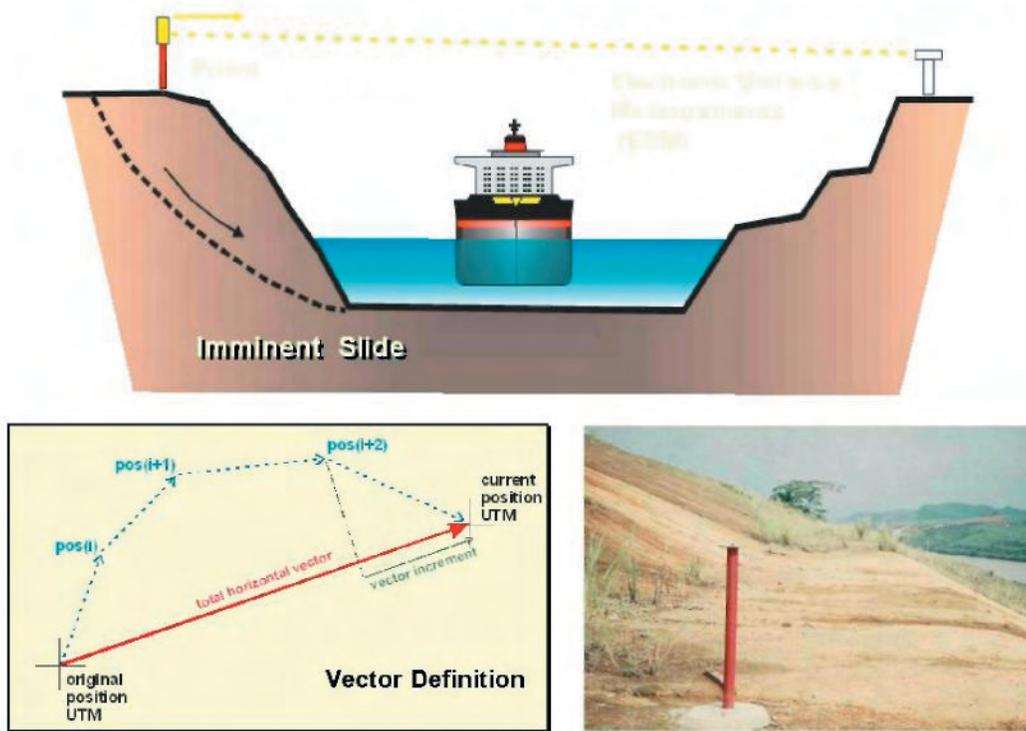


Figura 39 Utilización de puntos de control para detección de movimientos en taludes

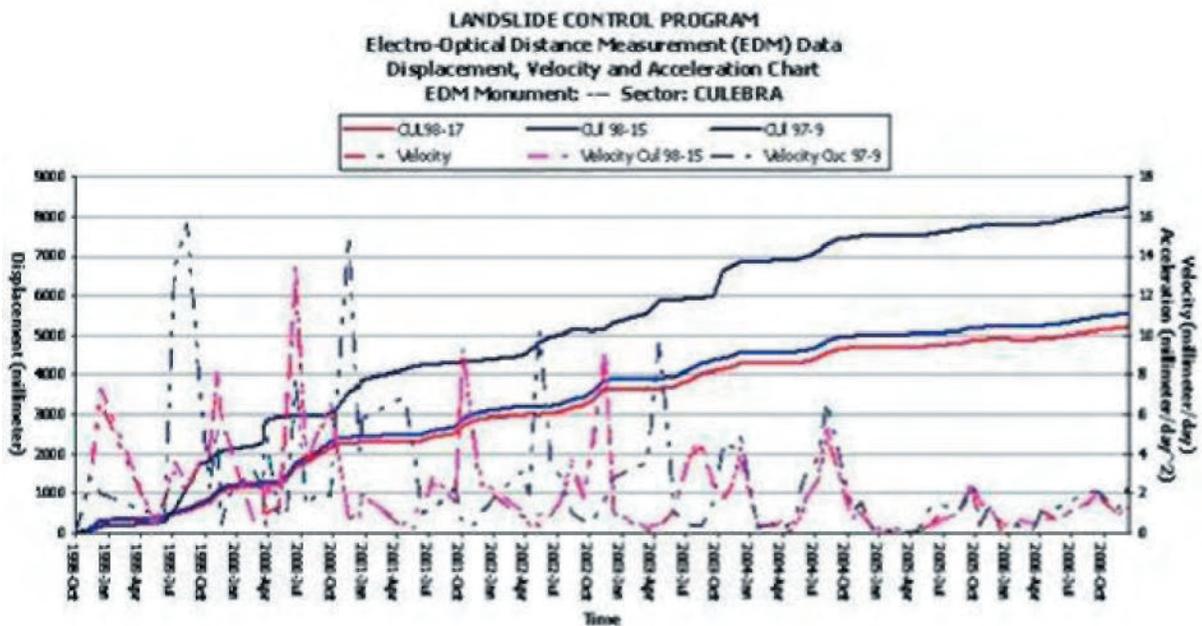


Figura 40 Correlación de Movimientos con la Precipitación

- (6) Después que se emita la Advertencia de Deslizamiento Existente y haya iniciado el Protocolo de Respuesta, el Gerente de IAIG y el encargado del LCP, o sus representantes designados, continuaran vigilando el progreso de los trabajos de emergencia y remediación de la situación.

#### **8.5.1.3.4 Advertencia de Condiciones Atmosféricas Severas**

Se emitirá una Advertencia de Condiciones Atmosféricas Severas siempre que un sistema atmosférico con alta probabilidad de producir una precipitación promedio durante 24 horas de 3.5 pulgadas (89 mm) o más en la cuenca del Canal y se sitúe dentro del radio de 120 millas náuticas (222 Km.) de la costa de Panamá (N-S) o el Canal (E-W). La Sección Meteorológica e Hidrológica es responsable de emitir esta advertencia. Si esta advertencia se emite después que se haya proporcionado cualquiera advertencia de LCP, todas las partes en la “Lista de Notificación” deben ser advertidas acerca de las condiciones atmosféricas que se aproximan.

#### **8.5.1.3.5 Responsabilidad de la Declaración de Condiciones de Pre-emergencia y Emergencia**

El Gerente de la Sección de Geotecnia (IAIG), o sus representantes designados, son responsables de la notificación de condiciones de Deslizamiento de Tierra Probable, Inminente y/o Existente en todos los casos, excepto aquellos casos extremos en los cuales la pérdida de comunicación o la ocurrencia del deslizamiento de tierra evitan la notificación oportuna.

#### **8.5.1.3.6 Condiciones que Justifican la Notificación**

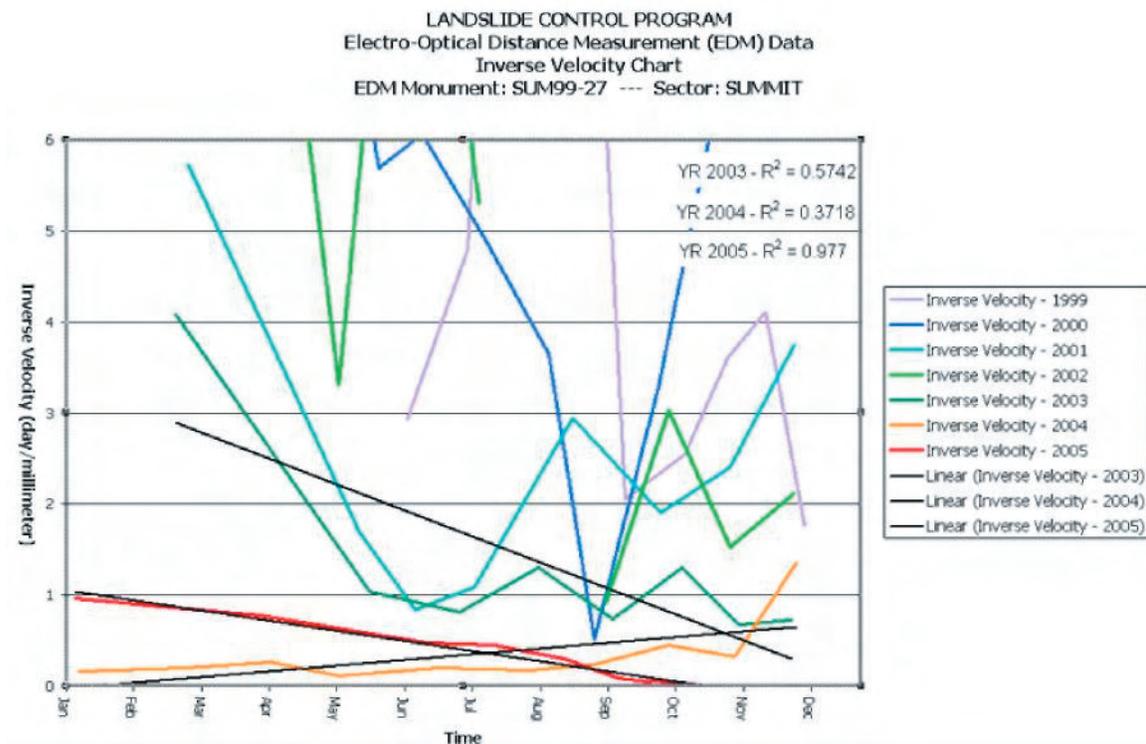
No se pueden especificar todas las situaciones que constituyen una condición de deslizamiento de tierra Probable, Inminente y/o Existente. El personal involucrado debe ejercer buen juicio y cada situación debe ser analizada individualmente sobre la base de los factores pertinentes.

##### **8.5.1.3.6.1 Advertencia de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Probable (Código Azul)**

La declaración de una Amenaza de Deslizamiento de Tierra Probable, generalmente, se justifica por lo siguiente:

- (1) Cuando un grupo de EDMs (puntos de control de movimientos) muestra una orientación consistente y/o movimientos horizontales a lo largo del vector resultante actual tienen un incremento mensual mayor a 30 mm o un valor total acumulado anual mayor a 100 mm. También, cuando se observan más de tres incrementos sucesivos en la aceleración de los movimientos.
- (2) Cuando la observación de la instrumentación de campo (Tubos viajeros, Inclínómetros, piezómetros) indica algún tipo de movimiento subterráneo (o bloqueo).
- (3) Siempre que un sistema atmosférico con alta probabilidad de producir una precipitación promedio durante 24 horas de 3.5 pulgadas (89 mm) o más en la cuenca de Canal y se sitúe dentro de un radio de 120 millas náuticas (222 Km.) de la costa de Panamá (N-S) o el Canal (E-W). También, condiciona una posible declaración de emergencia si la precipitación en el Corte Gaillard cumple las siguientes condiciones:
  - a. Precipitación acumulada en 24 horas mayor de 3.5 pulg. (89mm)
  - b. Precipitación acumulada en 7 días mayor de 8 pulg. (203mm)

## Informe Regional: Sistemas de Alerta Temprana y Monitoreo



**Figura 41 Correlación lineal del inverso las velocidades anuales como índice de posible falla.**

- c. Precipitación acumulada en 30 días mayor de 10 pulg. (254mm)
- (4) Cuando se observan obstrucciones en la instrumentación de campo (Piezómetros Multipuntos, Tubos Viajeros, Drenajes Horizontales, Electro-piezómetros, Piezómetros Casagrande). Estos instrumentos se utilizan para vigilar las presiones de agua subterránea, pero son un indicador secundario de posible movimiento subterráneo.
- (5) Cuando la observación de fisuras o grietas abiertas indican cierto desplazamiento. También, cuando existe cualquier evidencia de infiltración y/o estancamiento del agua.
- (6) Cuando ocurren eventos sísmicos o actividades de dragado y voladura que han inducido fuerzas desestabilización en pendientes y terraplenes de tierra, naturales y/o construidos.

### 8.5.1.3.6.2 Amenaza de Deslizamiento de Tierra Inminente (Código Amarillo)

La declaración de una Condición de Amenaza de Deslizamiento de Tierra Inminente se justifica cuando se cumplen las mismas condiciones que el Código Azul. Pero en este caso el posible deslizamiento está claramente delineado, los movimientos de la masa de tierra son evidentes y no ha entrado material en el cauce de navegación del Canal.

Informe Regional: Sistemas de Alerta Temprana y Monitoreo

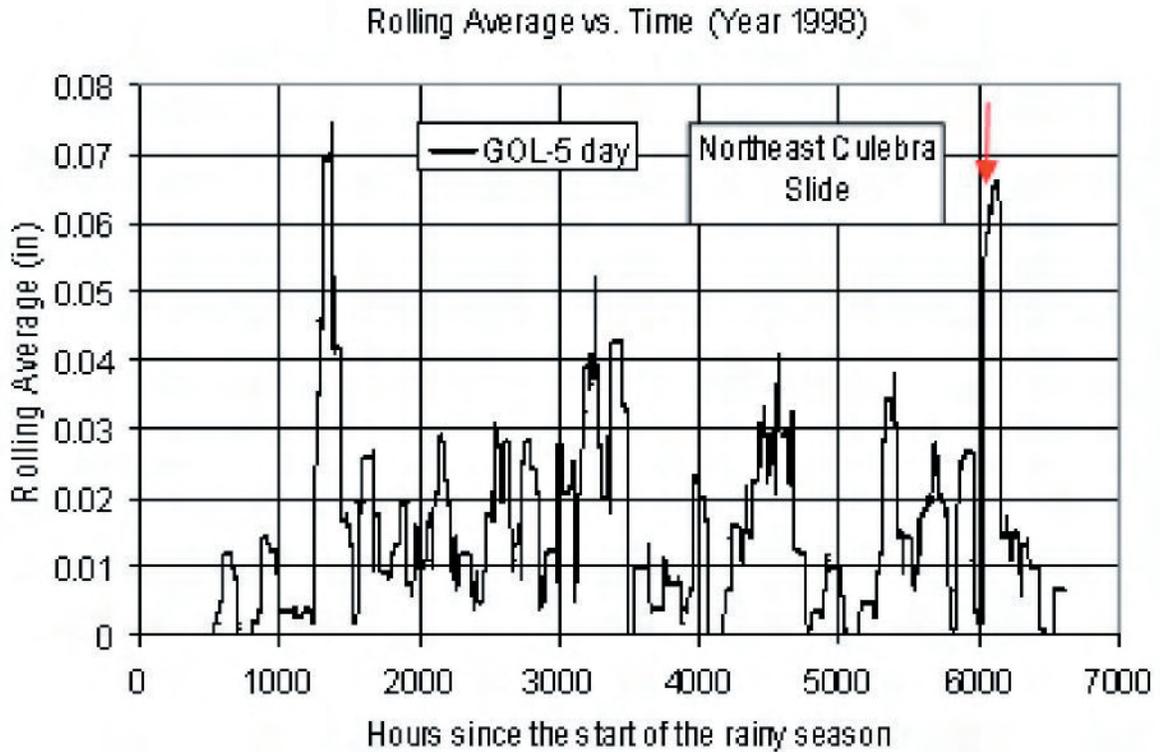


Figura 42 Promedio Horario Móvil (Rolling Average) de 5 días

Cuadro 10 Promedio Horario Móvil (Rolling Average) de varios deslizamientos en el Canal

| Promedio Horario (mm/hora)         |                   |             |        |                                    |             |        |             |
|------------------------------------|-------------------|-------------|--------|------------------------------------|-------------|--------|-------------|
| Derrumbe                           | Fecha             | 5 días      | 6 días | 7 días                             | 3 días      | 9 días | 10 días     |
| Cucaracha                          | October 13, 1936  | <b>1.88</b> | 2.12   | 1.85                               | 1.60        | 1.63   | 1.04        |
| Borinciuen                         | June 1, 1997      | <b>0.64</b> | 0.53   | 0.50                               | 0.43        | 0.38   | <b>0.37</b> |
| Northeast Culebra                  | December 9, 1998  | <b>1.47</b> | 1.22   | 1.07                               | 0.97        | 0.97   | <b>1.09</b> |
| Old Lino (West Empire)             | June 2, 2000      | 0.56        | 0.56   | 0.48                               | 0.43        | 0.46   | <b>0.41</b> |
| Culebra Village                    | May 22, 2000      | 0.66        | 0.61   | 0.53                               | 0.46        | 0.41   | 0.38        |
| South Cucaracha                    | November 27, 2001 | 0.81        | 0.79   | 0.79                               | 0.71        | 0.69   | 0.64        |
| 1925 E Culebra                     | June 5, 2004      | 0.81        | 0.66   | <b>0.58</b>                        | <b>0.51</b> | 0.48   | 0.46        |
| East Lirio Slide                   | October 25, 2005  | 0.49        | 0.41   | <b>0.35</b>                        | <b>0.31</b> | 0.27   | <b>0.26</b> |
| <b>Valores Mínimos</b>             |                   | 0.5         | 0.4    | 0.3                                | 0.3         | 0.3    | 0.3         |
| <b>Derrumbes de gran movilidad</b> |                   |             |        | <b>Derrumbes de poca movilidad</b> |             |        |             |

### 8.5.1.3.6.3 Deslizamiento Existente (Código Rojo)

Código Rojo es declarado cuando los escombros del deslizamiento de tierra, que se han introducido en el cauce de navegación, pasan las líneas de prisma de navegación establecidas, afectando el ancho mínimo sugerido en la Convención Colectiva de Prácticos para Barcos Panamax con cargas de IMO. También, se declara Código Rojo cuando un deslizamiento de tierra, que aunque no haya entrado al cauce de navegación, tenga el potencial de poner en peligro estructuras que afecten las operaciones Canal.

### 8.5.1.3.7 Responsabilidades del Personal y Unidades del Programa de Control de Derrumbes y Protocolo de Respuesta a Emergencia de Derrumbes

Las responsabilidades del personal de las unidades que forman parte del Programa de Control de Derrumbes, se desarrolla en los cuadros 11 y 12.

| <b>Cuadro 11 Cuadro de Responsabilidades del Personal del Programa de Control de Derrumbes de la Sección Geotécnica, IAIG</b> |  |
|---|--|
| Gerente de la Sección Geotécnica  | Es responsable de todos los Procedimientos de Programa de Control de Derrumbes (LCP). Notifica al Gerente de la División de Ingeniería (IAI) y al Director del departamento (IA) acerca del estatus de LCP, las situaciones atmosféricas y los deslizamientos de tierra probables, inminentes o existentes, y recomienda los procedimientos para minimizar los daños potenciales. Es el que tiene la autoridad oficial de declarar una emergencia por derrumbe.  |
| Encargado del Programa de Control de Derrumbes  | El Coordinador del Programa de Control de Derrumbes (LCP) es designado por el Gerente de la Sección Geotécnica para administrar el Programa y tendrá la responsabilidad general inicial de controlar todos los Deslizamientos. El Coordinador de LCP también está encargado de observar cualquier Condición Atmosférica Severa después de cualquier PLTW, ILTW y ELW. El Coordinador del Programa de Control de Deslizamiento de Tierra tiene la responsabilidad de iniciar rápidamente los Procedimientos de Protocolo de Respuesta Rápida a Derrumbes y de notificar a las partes necesarias |
| Ingeniero Geotécnico Designado  | El Ingeniero Geotécnico Designado seguirá las instrucciones proporcionadas por el Coordinador de LCP o el Gerente de la Sección Geotécnica. Si durante las condiciones de Pre-Emergencia y/o Emergencia, no se puede contactar al Gerente de IAIG o al Coordinador del Programa de Control de Derrumbes, la siguiente persona en línea es el Ingeniero Geotécnico Designado. El Ingeniero Geotécnico Designado tiene la responsabilidad de planificar y diseñar las medidas de remediación y compartir las responsabilidades de la ejecución con el Coordinador del LCP.                       |
| Geólogo Designado   | El Geólogo Designado es responsable de recuperar todos los datos Geológicos existentes relacionados con el área del deslizamiento y proporcionar cualquier apoyo técnico que necesita el Coordinador de LCP y/o el Ingeniero Geotécnico Designado. El Geólogo Designado también está encargado de dar seguimiento a todas las pruebas de laboratorio requeridas para los materiales extraídos del área. El Geólogo designado trabajará en conjunto con el Ingeniero Geotécnico Designado para desarrollar una medida de remediación.   |
| Técnico de Laboratorio Designado  | El Técnico de Laboratorio Designado trabajará en conjunto con el Geólogo Designado en la extracción y pruebas de las muestras de roca y suelo tomadas en el área del deslizamiento de tierra. El Ingeniero Geotécnico Designado y/o el Coordinador de LCP proporcionarán instrucciones para el tipo de pruebas requeridas. El Técnico de Laboratorio Designado informará los resultados de las pruebas al Geólogo Designado y al Ingeniero Geotécnico Designado.   |

| <b>Cuadro 12 Cuadro de Responsabilidades de Unidades de Soporte al Programa de Control de Derrumbes</b> |   |
|---|---|
| Sección de Topografía y Cartografía (IAIT)  | La Sección IAIT proporciona todos los datos de campo necesarios solicitados por el Coordinador de LCP o el Ingeniero Geotécnico Designado. Cuando se ha declarado un PLTW, ILTW o ELW, el apoyo requerido por parte del IAIT incluye una inspección de todos los movimientos superficiales, incluyendo localización de grietas superficiales en un mapa; la vigilancia de todos los instrumentos de campo, incluyendo pozos de agua subterránea; y realizar hidrografías continuas, si se requiere. El personal de campo de IPIT también le debe informar al Coordinador de LCP acerca de cualquier anomalía o evidencia de movimientos o grietas superficiales, antes o durante cualquiera de las Condiciones de Advertencia de Deslizamiento de Tierra. |
| Sección de Mantenimiento y Obras Civiles (OPEM)   | La Sección OPEM proporciona todo el apoyo de campo necesario durante cualquier PLTW, ILTW y ELW. El apoyo podrá requerir la excavación de grandes volúmenes de roca y tierra, la reconstrucción del drenaje y la remoción de cualquier estructura que pudiera obstaculizar la excavación después que se hayan obtenido todos los permisos necesarios. OPEM también debe vigilar todo el progreso de la excavación realizada por personal de la ACP y reportar cualquier anomalía o movimientos adicionales de deslizamiento de tierra al Coordinador de LCP o al Ingeniero Geotécnico Designado.  |
| División de Dragado (OPD)   | La División (OPD) proporcionará todo el equipo y personal de dragado necesario para la remoción de cualquier material que se haya introducido en el cauce de navegación. Cualquier condición de deslizamiento de tierra (PLTW, ILTW o ELW) que requiera de dragado debe contar con la aprobación previa del Gerente de la Sección Geotécnica o del Ingeniero Geotécnico designado.  |
| Sección de Sanidad y Predios (OPEM-S)   | La Sección (OPEM) proporcionará cualquier apoyo de campo disponible para la remoción de la vegetación que obstaculice u obstruya el acceso al área del deslizamiento durante cualquiera de las Condiciones de Advertencia. OPEM-S debe seguir todas las instrucciones proporcionadas por el Gerente de IAIG, el Coordinador de LCP o el Ingeniero Geotécnico Designado a esta emergencia. El personal de campo de OPEM-S también le debe informar al Coordinador de LCP acerca de cualquier anomalía y/o evidencia de movimientos o grietas superficiales, antes o durante cualquiera de las Condiciones de Advertencia de Deslizamiento de Tierra.   |
| Sección de Meteorología e Hidrología (EACR)   | Antes o durante cualquier condición de Deslizamiento de Tierra, la Sección (EACR) es responsable de informar al Gerente de la Sección Geotécnica, el Coordinador de LCP o el Ingeniero Geotécnico Designado acerca de cualquier Condición Atmosférica Severa pronosticada que pudiera generar una precipitación promedio acumulada en 24 horas de 3.5 pulgadas o más y situada dentro de un radio de 120 millas náuticas de la costa de Panamá.   |

#### **8.5.1.3.8 Tiempo de Respuesta para la Identificación de una Emergencia**

El tiempo de respuesta es extremadamente importante para el éxito del Protocolo de Respuesta Rápida. Se necesita determinar con precisión el tiempo disponible entre el reconocimiento de un deslizamiento de tierra existente y el despliegue del equipo de excavación y dragado. Las siguientes son aproximaciones basadas en buen juicio y experiencia.

#### **8.5.1.3.8.1 Tiempo Aproximado Transcurrido Entre el Conocimiento de un Deslizamiento de Tierra Existente y el Despliegue de Personal de Campo y Equipo de Excavación.**

- Transcurre aproximadamente de 1 a 3 horas desde el momento en que el gerente de IAIT, Tráfico Marino (OPTC) y la Oficina de Campo de la División de Dragado son notificados o se percatan de una situación de deslizamiento de tierra y se realiza una hidrografía del material deslizado en el cauce de navegación. Este tiempo de respuesta incluye el sondeo y los datos preliminares de la hidrografía tomada en el cauce de navegación.
- Transcurren aproximadamente de 8 a 24 horas desde el momento en que el gerente de OPEM (Sección de Mantenimiento) es notificado o se percata de la situación, y del momento en que se emite la orden de desplegar el equipo bajo condiciones ideales. Si hay necesidad de que el Gerente o el Personal de OPEM viajen a la oficina principal en Corozal Oeste, el tiempo de viaje bajo condiciones normales (sin calles inundadas) toma aproximadamente media hora.

Generalmente, la Sección de Sección de Topografía y Cartografía (IAIT), Oficina de Campo de la División de Dragado o Tráfico Marino (OPTC) son los primeros en ser notificados de cualquier deslizamiento de tierra existente en el Corte Gaillard. Después que la oficina de OPTC se ha percatado de la existencia de un deslizamiento de tierra en el cauce de navegación, se deberá notificar inmediatamente a las partes en la “Lista de Notificación”.

#### **8.5.1.4 Notificaciones y Comunicaciones**

La notificación oportuna a las partes involucradas y un medio efectivo de comunicación son factores claves para la pronta ejecución de l Protocolo de Respuesta Rápida del Programa de Control de Derrumbes con el fin de reducir la pérdida de vidas y bienes de la ACP durante eventos de deslizamiento de tierra.

La experiencia ha demostrado que los procedimientos para diseminar la información son críticos para lograr los objetivos del plan de advertencia y minimizar los daños. La notificación es el vínculo crítico entre el reconocimiento de una emergencia y la ejecución oportuna de la respuesta.

##### **8.5.1.4.1 Alcance y Aplicabilidad**

El Protocolo establece los procedimientos para emitir las notificaciones de emergencias de deslizamiento de tierra inminentes y existentes que pueden afectar la operación y la seguridad del Canal de Panamá. Estos procedimientos se aplican a todas las unidades de la ACP relacionadas con la operación del Canal de Panamá y afectadas por un evento de deslizamiento de tierra.

##### **8.5.1.4.2 Base para la Activación**

El Protocolo se activa inmediatamente después de la declaración de una Condición de Pre-Emergencia o Emergencia.

##### **8.5.1.4.3 Notificaciones La notificación se realiza a las personas en la “Lista de Notificación”.**

##### **8.5.1.4.4 Clasificación de las Condiciones de Emergencia.**

Las Figuras 43 a 46 describen las condiciones o códigos de emergencia. Estas fueron ya descritas en el punto 8.5.1.3.

### **8.5.1.5 Responsabilidades de las Unidades de Soporte al Programa**

Las responsabilidades de las unidades de la ACP afectadas e involucradas en un evento de deslizamiento de tierra probable, inminente o existente deben ser claramente establecidas con anterioridad a cualquier emergencia (ver cuadro 13). Las responsabilidades también son preestablecidas para los diferentes tipos de emergencia:

- Deslizamiento de Tierra Probable
- Deslizamiento de Tierra Inminente
- Deslizamiento de Tierra Existente

Cada Unidad asignada de la ACP es responsable de la corrección de condiciones anormales durante o después de una situación de deslizamiento de tierra. Las intensas y extensas lluvias así como las altas afluencias que causan los deslizamientos de tierra e inundaciones en el área del Canal también podrán requerir la implementación de operaciones contra desastres que no están consideradas en este Protocolo.

**Cuadro 13 Responsabilidades de las Unidades de Soporte al Programa en función de la Emergencia**

| Unidad                     | Emergencia              | Acciones y Responsabilidades  |
|----------------------------|-------------------------|---|
| División de Tráfico Marino | Deslizamiento Probable  | Ninguna Acción; en este paso no se le notifica a la División de Tráfico Marino. La División de Tráfico Marino (OPT) no participa en los Procedimientos de Deslizamiento de Tierra Probable. Cualquier evento en esta condición debe ser manejado por las Secciones de IAIG, IAIT, OPEM y OPEM-S para no crear una alarma innecesaria en la División de Tráfico Marino   |
|                            | Deslizamiento Inminente | La División de Tráfico Marino (OP) debe notificarle a todos barcos, remolcadores y lanchas acerca de la situación actual después de una evaluación realizada por el Coordinador de Control de Deslizamiento de Tierra. Durante la advertencia de deslizamiento de tierra inminente, la probable intrusión de escombros del deslizamiento no ha entrado en el cauce de navegación, pero se debe considerar como una condición de pre-emergencia y se deben realizar los ajustes necesarios para garantizar el tránsito seguro a través del Corte Culebra.<br>Advertir a los tránsitos que se dirigen hacia el Corte Culebra, en dirección norte y sur, y tomar otras medidas apropiadas en anticipación al cierre parcial o total del Canal debido a material del deslizamiento de tierra presente en el cauce de navegación.<br>Garantizar que haya una cantidad apropiada de remolcadores disponibles para ayudar a las embarcaciones que transitan por el Corte, y para anclar las embarcaciones que viajan hacia el Corte, de ser necesario. Los remolcadores deben estar listos para ayudar a las embarcaciones a anclar en el fondeadero de Gatún y debe haber prácticos disponibles para todas las embarcaciones ancladas en caso de que se necesite ayuda adicional. |

**Cuadro 13 Responsabilidades de las Unidades de Soporte al Programa en función de la Emergencia**

| Unidad                                    | Emergencia              | Acciones y Responsabilidades  |
|---|-------------------------|---|
|   | Deslizamiento Existente | <p>El Control de Tráfico Marino (OPTC) debe notificar a todos los barcos, remolcadores y lanchas en tránsito acerca de la situación actual. Durante la Advertencia de Deslizamiento de Tierra Existente, el material del deslizamiento ha entrado en el cauce de navegación y se debe considerar una condición de emergencia; también se deben realizar los ajustes necesarios para proporcionar el tránsito seguro a través del Corte Culebra.</p> <p>Notificar a los tránsitos que se dirigen hacia el Corte Culebra, en dirección norte y sur, y tomar otras medidas apropiadas en anticipación a la obstrucción parcial o total del cauce de navegación debido a los escombros del deslizamiento de tierra.</p> <p>Garantizar que haya la cantidad apropiada de remolcadores disponibles para ayudar a las embarcaciones que transitan por el Corte, y para anclar las embarcaciones que viajan hacia el Corte, de ser necesario.</p> <p>Proporcionar la información apropiada a las agencias navieras en relación con la Advertencia de Deslizamiento de Tierra.</p> |
| División de Dragado                       | Deslizamiento Probable  | Ninguna Acción; en este paso no se le notifica a la División de Dragado. No se puede realizar ninguna excavación bajo el agua hasta que se haya completado el diseño de remediación y la excavación en seco apropiada   |
|   | Deslizamiento Inminente | <p>Se notifica a la División de Dragado para que se prepare para el despliegue de cualquier Equipo de Dragado disponible para dragar cualquier material en el cauce de navegación.</p> <p>NOTA: No se puede realizar ninguna actividad de dragado</p>   |
|   | Deslizamiento Existente | <p>Prepararse para desplegar inmediatamente cualquier Equipo de Dragado disponible para dragar cualquier escombros o material en el cauce de navegación.</p> <p>Proporcionar cualquier personal y equipo flotante necesario para ayudar a los barcos y a cualquier otro equipo o personal afectado. Monitorear el equipo flotante, muelles, estructuras permanentes y servicios públicos y tomar acciones apropiadas en caso de que cualquier deslizamiento de tierra existente pudiera afectarlos.</p> <p>Proporcionar apoyo logístico al personal de la Sección Geotécnica cuando se requiera el acceso inmediato al área del deslizamiento de tierra</p>   |
| División de Mantenimiento y Obras Civiles | Deslizamiento Probable  | Ayudar al personal de la Sección Geotécnica y de Inspecciones a localizar y mapear cualquier grieta superficial existente. Proporcionar cualquier equipo de excavación necesario para la desviación del agua o cualquier excavación requerida.  |

**Cuadro 13 Responsabilidades de las Unidades de Soporte al Programa en función de la Emergencia**

| Unidad  | Emergencia              | Acciones y Responsabilidades   |
|---|-------------------------|--|
|   | Deslizamiento Inminente | Ayudar al personal de la Sección Geotécnica y de Inspecciones a localizar y mapear cualquier grieta superficial existente. Proporcionar cualquier equipo de excavación necesario para la desviación del agua o cualquier excavación requerida.<br>Proporcionar cualquier equipo de excavación disponible y   |
|   | Deslizamiento Existente | Ayudar al personal de la Sección Geotécnica y de Inspecciones a localizar y mapear cualquier grieta existente en la superficie. Proporcionar cualquier equipo de excavación necesario para la desviación del agua o cualquier excavación requerida.<br>Proporcionar cualquier equipo de excavación disponible y personal para iniciar las excavaciones de remediación.   |
| Sección de Ingeniería Geotécnica o Sección de Geotecnia | Deslizamiento Probable  | Notificar a todas las partes necesarias en la Lista de Notificación.<br>Coordinar todas las visitas al sitio con las partes necesarias para evaluar y valorar la situación. Documentar la visita al sitio con un informe de inspección de campo y fotografías.<br>Compilar y recoger todos los datos existentes y nuevos.<br>Si la situación lo amerita, el trabajo de diseño se debe iniciar inmediatamente y el estatus del deslizamiento de tierra probable se debe cambiar a estatus de deslizamiento de tierra inminente.   |
|   | Deslizamiento Inminente | Notificar a todas las partes necesarias en la Lista de Notificación.<br>Coordinar todas las visitas al sitio con las partes necesarias para evaluar y valorar la situación.<br>Compilar y recopilar todos los datos existentes y nuevos.<br>El Ingeniero Geotécnico designado deberá proporcionar un diseño de la excavación de remediación necesaria para estabilizar el área.<br>Coordinar la excavación de remediación con las unidades necesarias de la ACP y los contratistas externos, de ser necesario.<br>Monitorear el progreso de la excavación de remediación hasta su finalización, documentándolo con fotografías y un informe.<br>Todos los cálculos y especificaciones necesarias se deben establecer de acuerdo con el diseño preparado por el Ingeniero Geotécnico designado.<br>Cualquiera estructura y suministros eléctricos se deben remover de la masa del deslizamiento |
|   | Deslizamiento Existente | Notificar a todas las partes necesarias en la Lista de Notificación.<br>Coordinar todas las visitas al sitio con las partes necesarias   |

**Cuadro 13 Responsabilidades de las Unidades de Soporte al Programa en función de la Emergencia**

| Unidad                         | Emergencia              | Acciones y Responsabilidades  |
|--------------------------------|-------------------------|---|
|                                |                         | <p>para evaluar y valorar la situación.<br/>                     Compilar y recoger todos los datos existentes y nuevos.<br/>                     El Ingeniero Geotécnico designado deberá proporcionar un diseño de la excavación de remediación necesaria para estabilizar el área.<br/>                     Coordinar la excavación de remediación con las unidades necesarias de la ACP y los contratistas externos, de ser necesario.<br/>                     Monitorear el progreso de la excavación de remediación hasta su finalización, documentándolo con fotografías y un informe.<br/>                     Todos los cálculos y especificaciones necesarias se deben establecer de acuerdo con el diseño preparado por el Ingeniero Geotécnico designado.<br/>                     Cualquiera estructura y suministros eléctricos se deben remover de la masa del deslizamiento.</p> |
| Oficina de Relaciones Publicas | Todas                   | La Oficina de Relaciones Públicas proporcionará el personal necesario para documentar el evento de deslizamiento de tierra con fotografías y video siempre que sea necesario  |
| División de Contratos          | Deslizamiento Probable  | Ninguna Acción; en este paso no se le notifica a la División de Contrato. Al menos que en área este trabajando un contratista de excavación.  |
|                                | Deslizamiento Inminente | <p>Si es necesario, la División de Contrato debe preparar la licitación inmediatamente y contactar a los contratistas necesarios para la excavación de remediación.<br/>                     La División de Contrato debe proporcionar el personal necesario para inspeccionar el trabajo de excavación contratado hasta su finalización.</p>   |
|                                | Deslizamiento Existente | <p>Si es necesario, la División de Contrato debe preparar la licitación inmediatamente y contactar a los contratistas necesarios para la excavación de remediación.<br/>                     La División de Contrato debe proporcionar el personal necesario para inspeccionar el trabajo de excavación contratado hasta su finalización.</p>   |

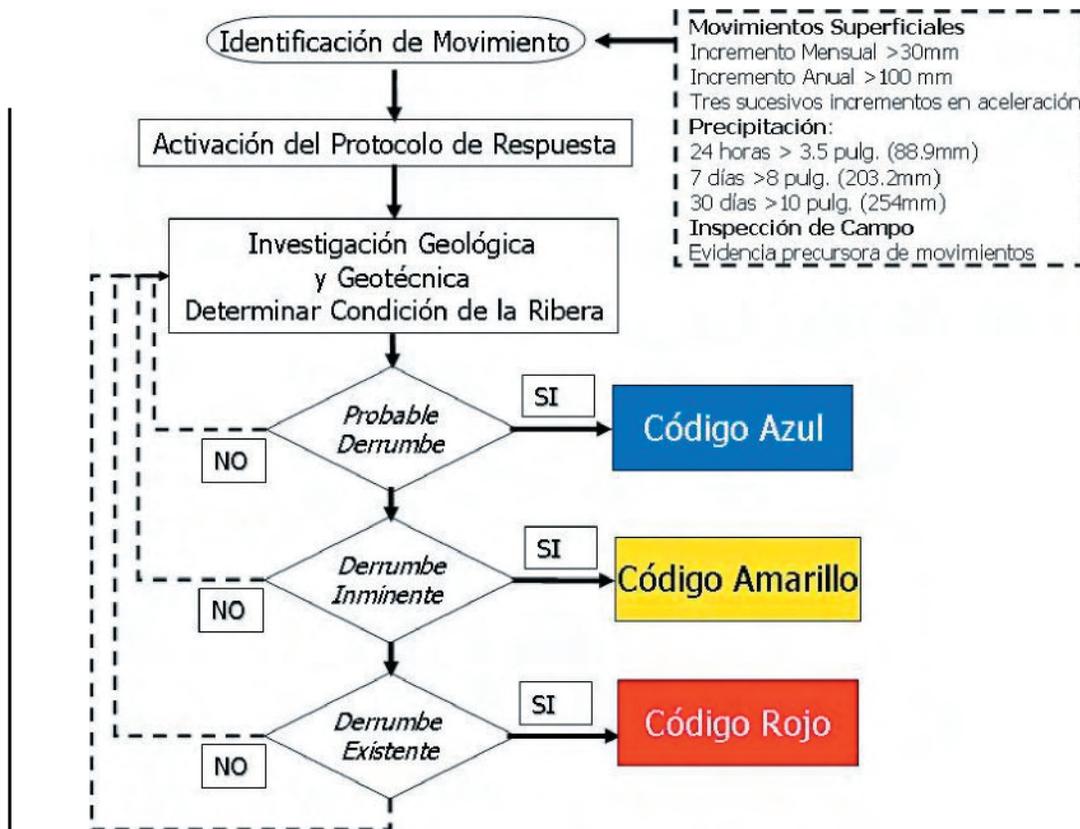


Figura 43 Activación del Protocolo de Respuesta a Deslizamiento

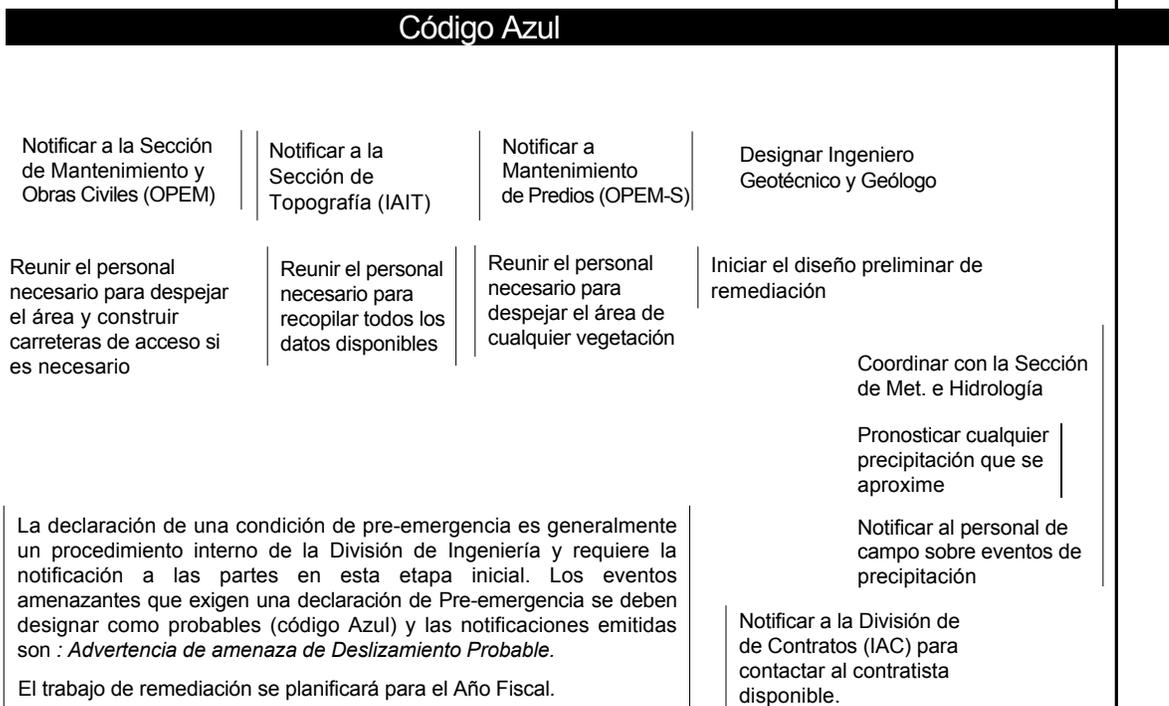


Figura 44 Notificaciones y Comunicaciones-Código Azul

## Código Amarillo

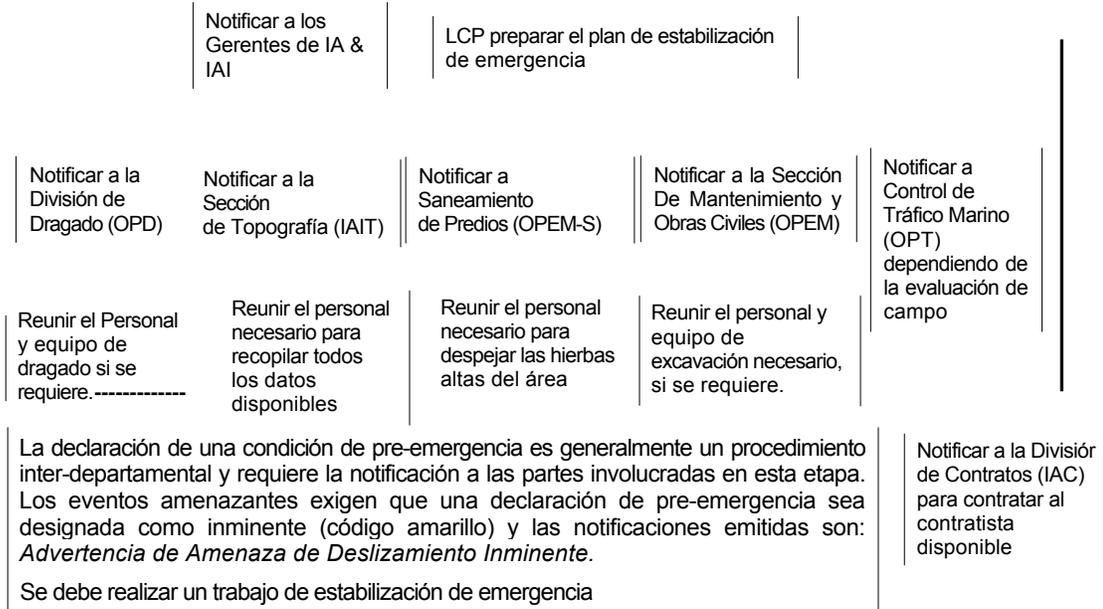


Figura 45 Notificaciones y Comunicaciones-Código Amarillo

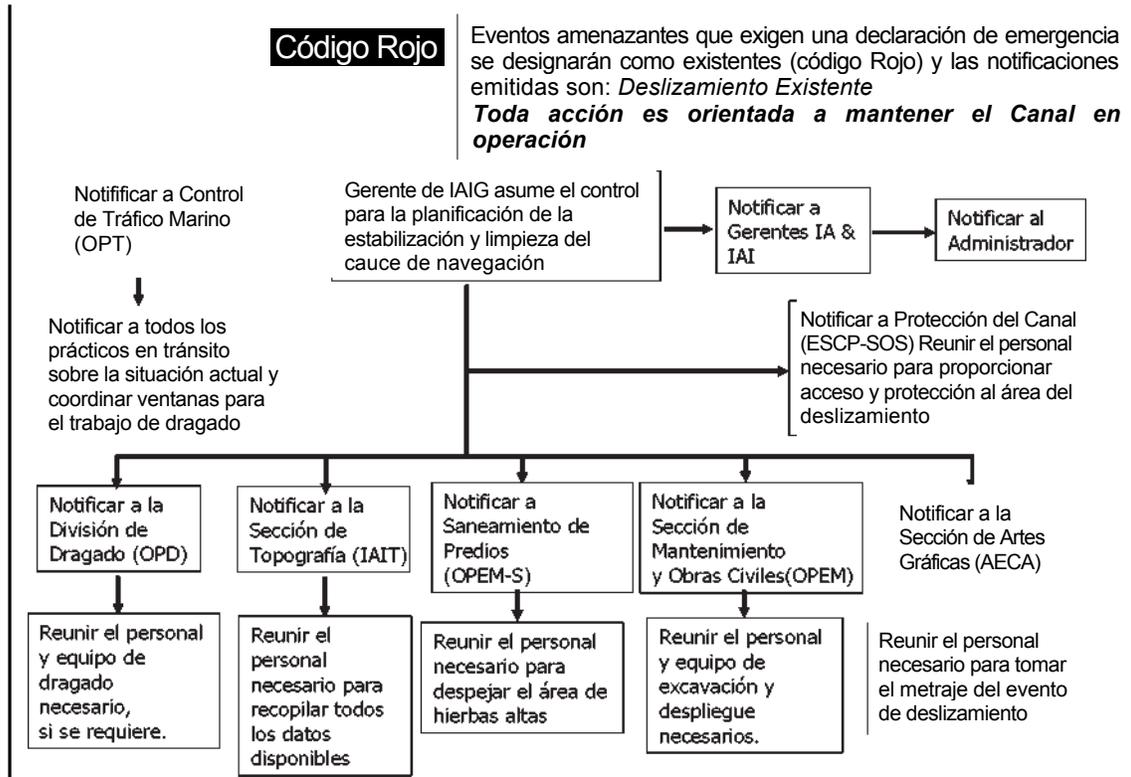


Figura 46 Notificaciones y Comunicaciones-Código Rojo

## Anexo 9. Sistemas regionales y globales de alerta de deslizamientos

Para Centroamérica se desarrollaron algunos SATD regionales y existe la propuesta de un sistema global del cual se podría beneficiar la región. Se menciona que estos sistemas se clasificarían como Sistemas de Información Rápida, ver informe principal del presente trabajo. Para beneficiarse la población local debe existir un sistema nacional y local que recibe la información de los sistemas regionales o globales y los integra en los protocolos de alerta en los municipios.

### 1. Sistema de alerta para inundaciones repentinas en Centroamérica (CAFFG)

El sistema fue diseñado para la alerta de inundaciones repentinas pero sus productos pueden ser usados también para entender la situación de las lluvias fuertes y por ende como elemento de alerta de deslizamientos. [http://www.hrc-lab.org/CAFFG/CAMI/Components/initial\\_caffg\\_design\\_Spanish.htm](http://www.hrc-lab.org/CAFFG/CAMI/Components/initial_caffg_design_Spanish.htm)

Productos de lluvia a nivel regional se pueden ver en

[http://www.hrc-lab.org/right\\_nav\\_widgets/realtime\\_caffg/index.php](http://www.hrc-lab.org/right_nav_widgets/realtime_caffg/index.php)

Los productos de alerta se presentan únicamente en el sitio Web pero el acceso es, desafortunadamente, limitado a los departamentos de hidrología en los países de Centroamérica. Muy pocas personas conocen de la existencia de este sistema y no se encontró una publicación o informes sobre su eficiencia en la práctica de los diferentes países. Es decir, una estadística cuantas veces el sistema pronóstico inundación en una cuenta, cuantas veces el departamento hidrológico del país correspondiente emitió una alerta a base de la información. Cuantas veces la inundación realmente ocurrió y cuantas veces no. No se entiende bien la razón para la política restrictiva en el uso de esta información cuando la información sobre terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis, huracanes, precipitaciones se maneja por lo general de manera muy abierta.

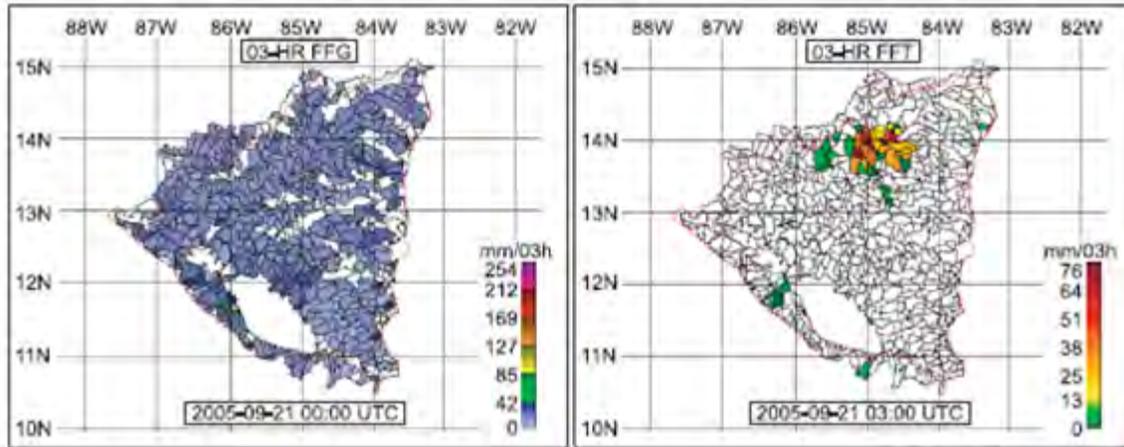
El siguiente texto explica el funcionamiento del sistema y se tomó de

[http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic\\_int/flash\\_flood\\_es/print.htm](http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/flash_flood_es/print.htm) .

*“Los sistemas de guía para inundaciones repentinas se hallan en uso en muchas partes del mundo, siendo algunos de los ejemplos más notables los de Estados Unidos, América Central y el valle del Río Mekong (Camboya, República Democrática Popular Lao, Tailandia y Vietnam). En muchas otras regiones, como Botsuana, la República de Sudáfrica, Haití y la República Dominicana, se están sometiendo a prueba sistemas similares que eventualmente cualquier SMHN podrá utilizar.*

*La OMM se ha propuesto el objetivo de formar un sistema de predicción global de crecidas, para lo cual colabora con el HRC (Hydrologic Research Center), una corporación sin fines de lucro con sede principal en California, EE.UU. Los sistemas del HRC aprovechan las estimaciones de precipitación generadas en tiempo real a partir de los datos satelitales de alta resolución (principalmente productos de NASA, EUMETSAT y JAXA) que ahora se pueden obtener con facilidad en todo el mundo. A continuación se muestra un ejemplo del sistema de guía para inundaciones repentinas empleado en América Central, el cual evalúa la amenaza de crecidas repentina en cuencas de 100 a 300 km<sup>2</sup> para intervalos de una a seis horas.*

Productos del sistema de guía para inundaciones repentinas de América Central (CAFFGS)

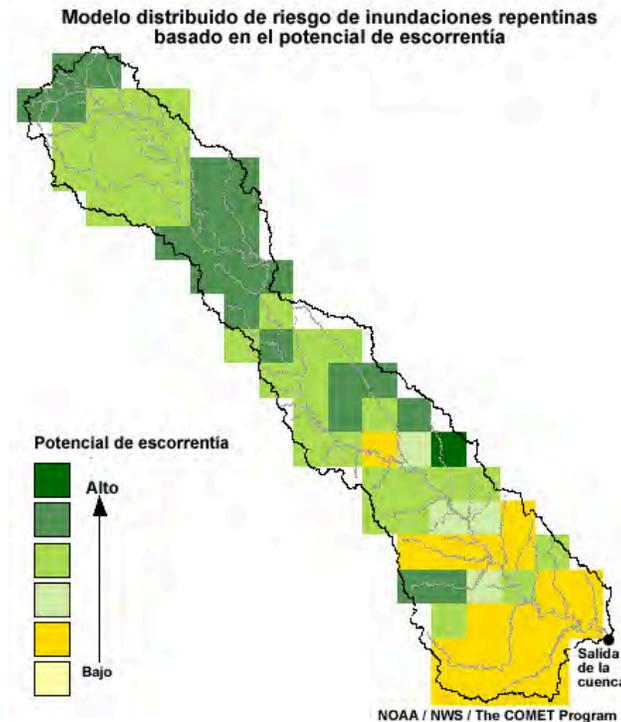


Hydrologic Research Center

Para compensar los sesgos de las estimaciones de precipitación derivadas de los datos satelitales, el sistema debe asimilar datos de pluviómetros obtenidos in situ. Dado que la distribución de tales redes pluviométricas varía en distintas partes del mundo, el sistema integra la incertidumbre de los datos en los cálculos de confiabilidad. También podemos utilizar bases de datos digitales de altimetría mundial y sistemas de información geográfica para demarcar la topología de los cursos fluviales de las cuencas pequeñas en cualquier parte del mundo. Finalmente, contamos con bases de datos mundiales de distribución de suelos y vegetación que pueden apoyar el desarrollo de modelos de de humedad del suelo basados en datos físicos.

### MODELOS DISTRIBUIDOS

La disponibilidad de estimaciones operativas de la precipitación con una alta resolución espacial y temporal a partir de datos de radar meteorológico corregidos mediante observaciones pluviométricas y los avances considerables que se han producido en la potencia de cómputo permiten modelar la escorrentía con mucho más detalle.



Los modelos de escorrentía distribuidos capturan los detalles de la lluvia, de las características del suelo y de uso del suelo a una escala muy fina. En el modelado distribuido, las características de escorrentía se representan a nivel de celda de malla o de subcuenca, lo cual genera descripciones mucho más detalladas de la escorrentía y del caudal fluvial con el tiempo de lo que puede generar la guía para inundaciones repentinas. La guía para inundaciones repentinas es una buena herramienta para alertar de una inundación repentina inminente, pero no comunica la magnitud de la crecida. Un modelo distribuido correctamente calibrado que cuenta con buenas mediciones cuantitativas de la precipitación de alta resolución y buena calidad puede, en teoría, pronosticar con éxito picos de altura de inundación y caudales específicos para una cuenca de 100 km<sup>2</sup> de superficie; esto significa que la escorrentía se puede modelar sobre la misma escala que una tormenta convectiva, algo muy importante para el pronóstico de inundaciones repentinas. Los modelos distribuidos prometen brindar información y perspectivas adicionales acerca de las condiciones hidrológicas en lugares donde no se cuenta con suficientes observaciones de caudal. A medida que la ciencia de modelado distribuido avanza y la calidad de los datos de entrada aumenta, es probable que el enfoque de modelo distribuido reemplace la guía para inundaciones repentinas.”

#### **Datos de Satellite (NESDIS-NOAA):**

GOES 10.7 micron channel (Infrarrojo)

Regression between IR and Radar fields to get Rainfall Estimates

AVN Model (~70km resolution) relative humidity and precipitable water scale rainfall estimates

Processing locally through an HP C3600 Unix server and PCs running the RAMDIS software

Spatial resolution of rainfall estimates: 4 km

Duration of rainfall estimates: 1-, 3-, 6-, 12-, and 24-hour accumulations, updated hourly

#### **Raingauge Data:**

ALERT- type automated raingauges

*Hourly temporal resolution of rainfall accumulations*

*Cooperative observer raingauges*

*Daily temporal resolution*

*Sparse spatial coverage*

***Radar Data:***

*Currently in Panama only*

*Hourly temporal resolution of rainfall accumulations*

*HRAP grid spatial resolution as in US (~4 km)*

*Bias adjustment using dense ALERT network of gauges*

*(through PANMAP software developed by HRC)*

## **2. SATD regional experimental del proyecto de Georiesgos**

Un proyecto regional sobre el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG, acronimo en inglés: GIS) para la reducción de la Geo-Riesgos en Centroamérica se llevó a cabo entre 2002 y 2010 por la Agencia Federal de Ciencias Geológicas y Recursos Naturales (BGR, Hannover, Alemania) a través de una colaboración con CEPREDENAC e instituciones geo-científicas y contactos con organismos de protección civil en Nicaragua, Guatemala, El Salvador y Honduras (Strauch et al. (2007)). Dentro de este proyecto se desarrollaron estructuras de SIG, se hicieron instalaciones de equipos y software y personal de las instituciones centroamericanas fue entrenado en las instituciones de ciencias de la tierra en Nicaragua, El Salvador, Guatemala y Honduras. Aparte de trabajar sobre otros fenómenos peligrosos se trabajó también sobre deslizamientos Mapas de susceptibilidad mapas de deslizamientos fueron elaborados por estos países y se promovió el estudio de la historia de deslizamiento de tierra (por ejemplo, Devoli, et al. 2007).

### **2.1 Sistema en base de ArcGIS**

En el marco de este proyecto, se ha desarrollado desde 2006-2007 un sistema de información en tiempo real sobre la precipitación y la susceptibilidad a los deslizamientos (Schillinger et al. 2009 ). Mapas interactivos (ArcIMS) presentaron los datos proporcionados por el Hydro estimator (NOAA / NESDIS (<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/HEcentralAmerica.php>)).

Satélite GOES 10.7 micron channel (Infrarrojo)

Resolución espacial de las estimaciones de la lluvia: 4 km

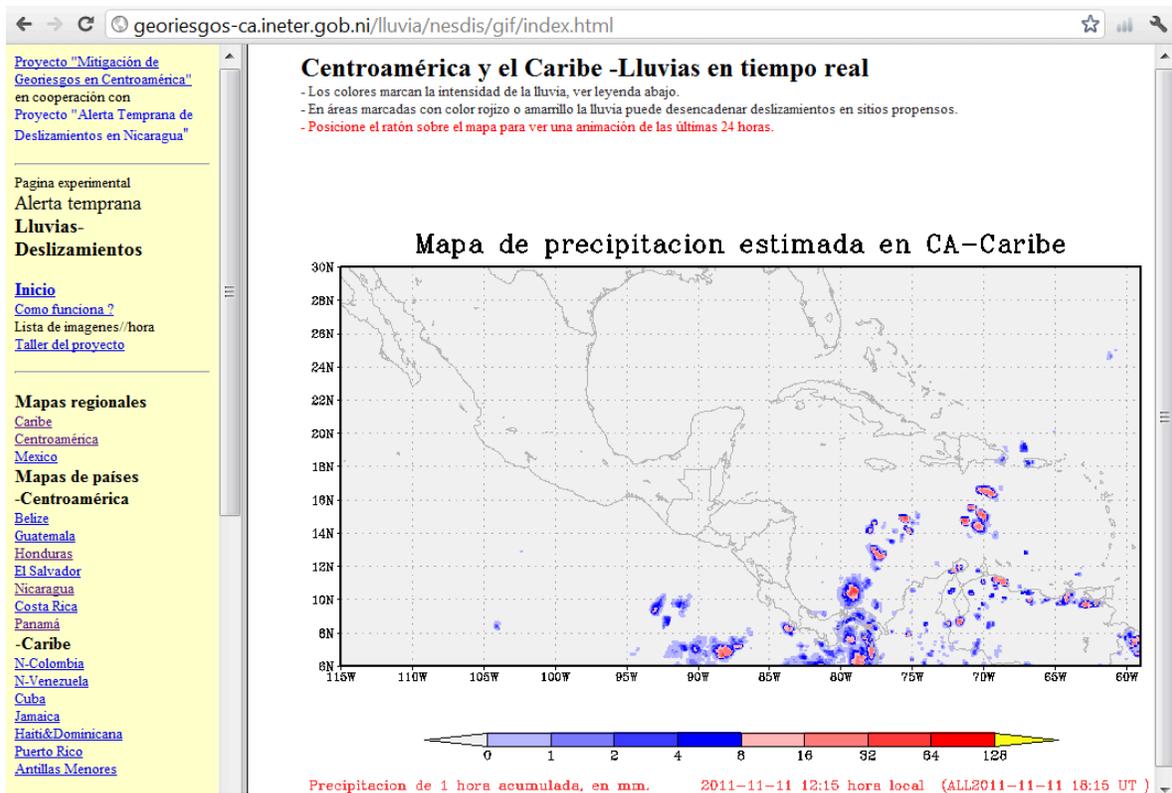
Duración de la estimación de la lluvia: acumulación de 1 hora, actualizado cada 30 minutos

Este sistema fue utilizado en la práctica, principalmente por INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). En situaciones de emergencia como el Huracán Félix (septiembre de 2008, véase Gutiérrez et al. 2010), el huracán Alma (mayo de 2008) las evaluaciones y recomendaciones sobre las advertencias necesarias fueron dados a la Defensa Civil de Nicaragua y el Instituto Prevención y Atenuación de sus Efectos, SINAPRED, basado en la variación espacio/tiempo depende de la susceptibilidad a los deslizamientos en el Norte y Occidente de Nicaragua.

## 2.2 Sistema en base de GrADS

A medida que el sistema basado en ArcIMS parecía ser demasiado caro y difícil de mantener en la situación de los países en desarrollo, un sistema alternativo fue desarrollado a partir de finales de 2007, ver Strauch (2010b), ver también Anexo 24 del presente informe. El trabajo fue realizado también en el marco del mencionada proyecto con la BGR y en comunicación con NESDIS / NOAA. Usa los mismos datos como el software de ArcGIS arriba mencionado.

El software es un script de Grads (Análisis de Red y sistema de visualización, <http://www.iges.org/grads/>), que utiliza otros paquetes de software libre para la comunicación de datos y procesamiento de imágenes. El sistema funciona desde 2008 en un PC instalado en INETER y copia cada 30 minutos, gráficos y productos de texto al servidor Web público de la institución.



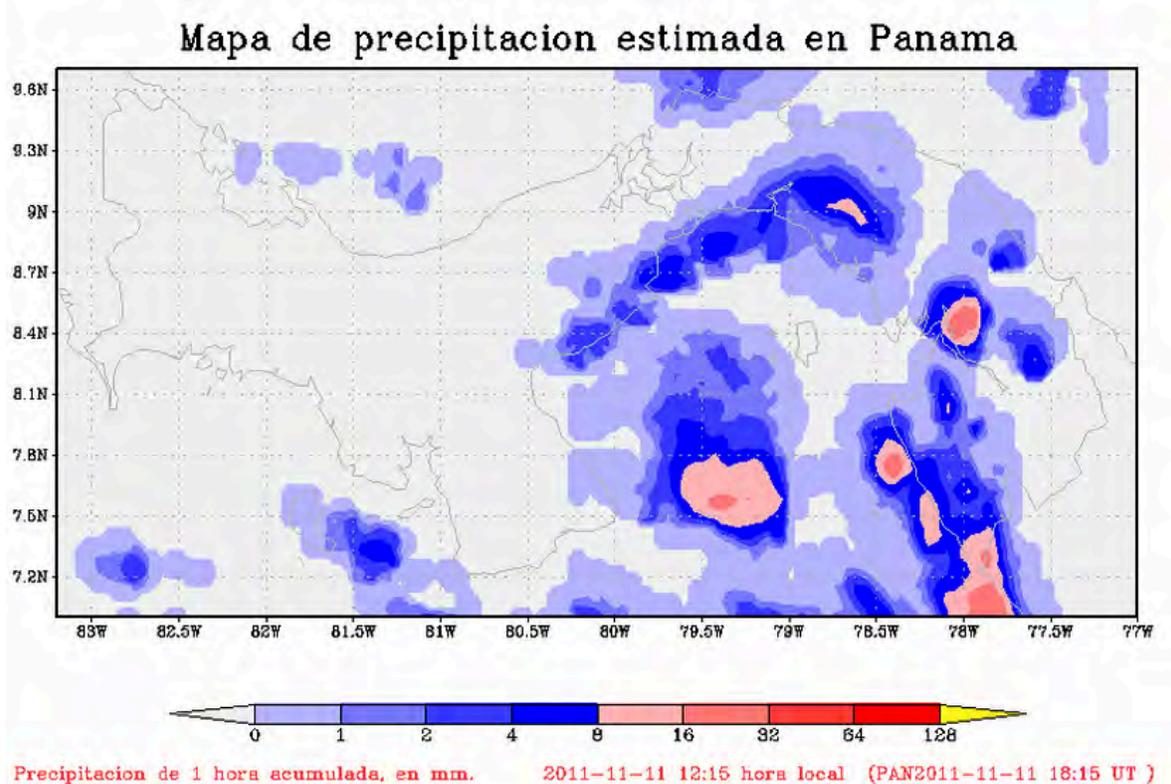
**Figura 1. Mapa de precipitación estimada en Centroamérica-Caribe.**

En el menú a la izquierda se puede seleccionar los mapas a nivel país.

Proporciona una herramienta de visualización que presenta, casi en tiempo real, las precipitaciones estimadas en América Central y el Caribe, actualizadas dos veces por hora. A detalle, este sistema experimental incluye lo siguiente: 1) El último mapa de precipitación según región, cada país de la región, determinadas zonas, ver figura 2; 2) Series de tiempo (GIF-animaciones) de la precipitación en las últimas 24 horas (región, cada país de la región, determinadas zonas), 3) Último lluvias en algunos lugares propensos a deslizamientos de tierra en la región, específicamente en los volcanes; 4) Lista de las lluvias en sitios susceptibles a deslizamientos en cada país; 5) La emisión de

mensajes de correo electrónico cuando un nivel de activación se ha superado en un sitio de deslizamiento.

Los archivos de texto con las lluvias en los sitios de deslizamientos de tierra proporcionan un indicador si el umbral de lluvia (en mm) se ha superado en esa hora. Como ser experimental, la versión actual del sistema sólo proporciona el acumulado de 1 hora de las precipitaciones, pero el mismo programa se puede descargar del servidor NESDIS el 3 -, 6 -, o las 24 horas del día de la acumulación y utilizarlos para la visualización y análisis.



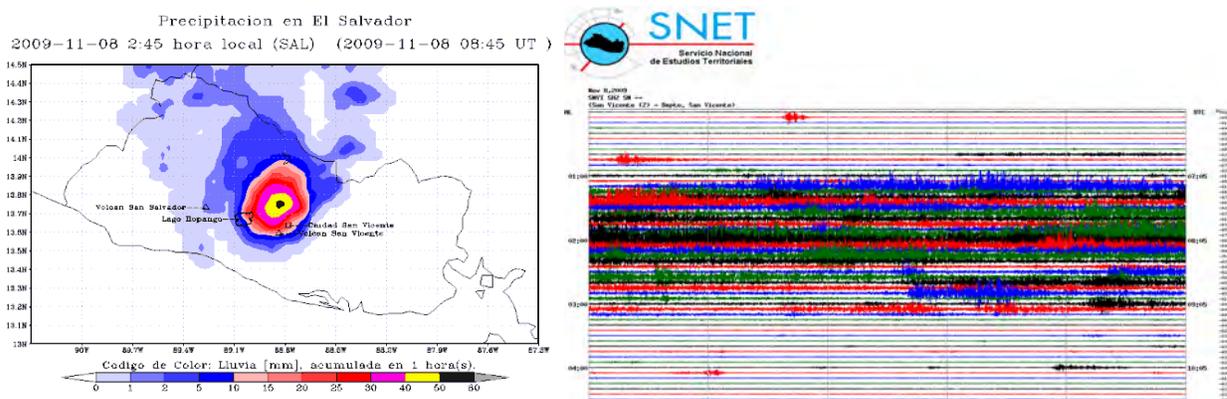
**Figura 2. Mapa de precipitación de Panamá, en tiempo real**

Se pretendía una inclusión de datos de los pluviómetros de las redes meteorológicas telemétricas desarrolladas en la región después del huracán Mitch con el fin de calibrar los datos de satélite, pero no se puede lograr antes de que finalizara el proyecto. Lo mismo se tiene que decir de la idea de incluir coberturas de terreno y susceptibilidad de deslizamientos para combinarlas con la lluvia estimada y dar una estimación una susceptibilidad variable de deslizamientos en dependencia del tiempo.

La capacidad real del sistema y las características deseadas de las futuras versiones se discutieron ampliamente en las reuniones con especialistas en deslizamientos y la meteorología de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua (Strauch, Castellón, 2009).

Dado que el éxito de los sistemas de alerta temprana depende de la aceptación a nivel local, INETER llevó a cabo una presentación y discusión del sistema en las 20 comunidades del país, que son las más afectadas por los deslizamientos. Los participantes se mostraron agradecidos porque fue el primer sistema público conocido por ellos que permite en tiempo real una visión general acerca de la distribución espacial de la intensidad de la lluvia, su desarrollo en el tiempo y el espacio (y de alguna manera la predicción de si podría afectar a su área), y un estimación de la intensidad de la lluvia para los sitios de deslizamientos de tierra boca abajo en su área (INETER, 2010).

Productos de este sistema se utilizaron para investigar las causas de los deslizamientos e inundaciones desastrosos en El Salvador, 07 y 08 de noviembre de 2009, véase la figura 1 (Strauch, 2010a).

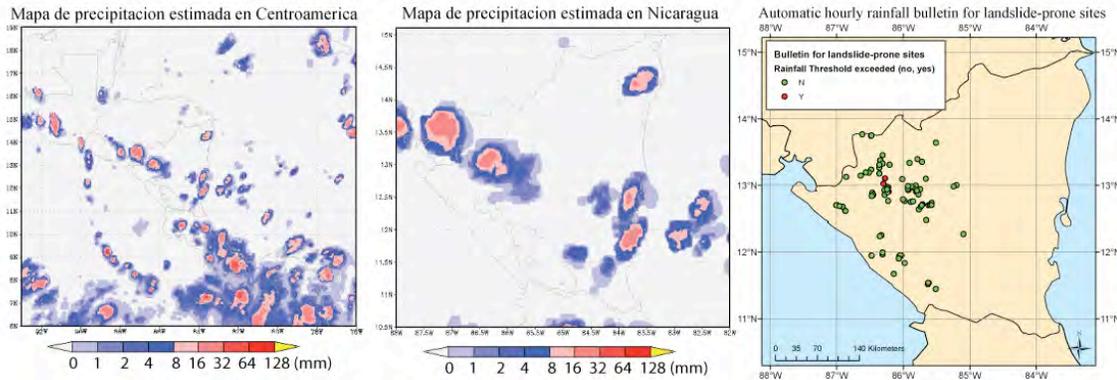


**Figura 1. Izquierda mapa de precipitación sobre El Salvador**

Izquierda. Precipitación del mapa para El Salvador 08 de noviembre 2009, 02:45 hora local, lo que indica una precipitación muy fuerte al norte del volcán San Vicente, con valores de 25-30 mm por hora en la N-flanco del volcán y más de 50 mm / h precipitación máxima .

Derecha: Registro de una estación sísmica en el volcán San Vicente que indica la ocurrencia de lahares de varios horas de duración. La hora del comienzo y el final de la actividad de los lahares se pueden derivar del sismograma. Los lahares mataron a unas 100 personas y destruyeron muchas casas en la zona.

Aunque este sistema presenta un potencial, el realización actual que funciona en INETER últimamente muestra discontinuidades en la presentación de informes y los resultados a veces no parecen ser actualizados regularmente. La interfaz para aquellos que vean la información también requiere varias modificaciones para una comunicación más eficaz de los deslizamientos. Por último, la información de la precipitación por satélite que se utiliza es principalmente derivado de sensores de satélites infrarrojos que todavía requiere de validación y calibración.



**Figura 3. Mapas de precipitación regional, nacional y sitios de alerta**

Izquierda y centro: Los mapas de precipitación por horas para América Central (izquierda) y Nicaragua de 21:45 08/10/2011 15:45 hora local.

Derecha: Mapa que muestra los lugares propensos a deslizamientos en Nicaragua para los cuales se emiten alertas por correo electrónico si los límites de la precipitación por hora se han superado (sistema experimental).

### 3. Proyecto regional, propuesto

En octubre de 2011, científicos de EEUU, Noruega y Centroamérica propusieron a la NASA un proyecto que tiene como objetivo el uso de satélites y de datos de medición in situ para proporcionar una herramienta operativa robusta para toda Centroamérica que servirá para identificar áreas propensas a deslizamientos de tierra y realizar el pronóstico en tiempo real de su posible ocurrencia (ver Kirschbaum et al, 2010). Se espera la respuesta sobre la aceptación de la propuesta a mediados de 2012. Si la NASA acepta el financiamiento del proyecto se desarrollará el sistema en cuatro años, de 2012 a 2016.

Este sistema se puede considerar parte de una iniciativa para establecer un sistema de monitoreo y alerta global de deslizamientos, ver el próximo capítulo.

### 4. Sistema global para la Alerta de Deslizamientos, propuesto

Hong & Adler (2007) propusieron un sistema global de alerta de deslizamientos desencadenados por fuertes lluvias y terremotos:

*“Basándose en los avances recientes del monitoreo por satélite y las técnicas de modelaje de deslizamientos de tierra, se propone desarrollar un sistema de alerta temprana para los deslizamientos que ocurren después de lluvias intensas y/o a causa de terremoto. Estos son los dos factores desencadenantes principales de los deslizamientos. La propuesta incluye tres componentes principales: (1) una base de datos de susceptibilidad a los deslizamientos de la, incluyendo la geología, la elevación, la topografía, el suelo y tipos de cobertura de la tierra, (2) un sistema casi en tiempo real de estimación de la precipitación (<http://trmm.gsfc.nasa.gov>), y (3) un sistema casi en tiempo real de predicción de aceleraciones después de los terremotos fuertes (<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/shakemap/>). El objetivo final de este*

*sistema es predecir el potencial de la ocurrencia de deslizamientos rápidamente después de terremotos grandes y / o fuertes lluvias combinando la información dinámicamente con la información geoespacial de alta resolución derivada de la susceptibilidad de deslizamientos . Sin embargo, el reto para la integración de estos sistemas en tiempo real en una red de deslizamiento de tierra de predicción operativa y rápida difusión de las alertas en todo el mundo es enorme. Se requiere un esfuerzo continuo y la colaboración interdisciplinaria en los próximos 2-5 años para realizar tal sistema, que proporcionaría una alerta temprana de deslizamientos de tierra en todo el mundo en una operación de toma de decisiones 24x7.”*

## **Anexo 10 Equipos y software para monitoreo de lluvias**

### **Contenido**

1. Reconocimiento del fenómeno disparador – lluvias
2. Funcionamiento de pluviómetros
3. Selección de los equipos
4. Sensores de lluvia
5. Como comprar los equipos?
6. Software para medición y procesamiento de datos lluvias
7. Intercambio de datos
8. Probar y calibrar el equipo
9. Notas sobre la instalación de pluviómetros
10. Uso de datos de satélites
11. Uso de datos de radares meteorológicos

### **1. Reconocimiento del fenómeno disparador – lluvias**

Lluvias intensas y/o prolongadas que pueden desencadenar deslizamientos ocurren bajo diferentes situaciones meteorológicas.

**Huracanes** provocan grandes zonas de precipitación fuerte a extrema. Las lluvias intensas ocurren no solamente cerca del centro u ojo del huracán sino pueden darse en grandes extensiones a centenares de kilómetros de distancia de él. Un ejemplo es el Huracán Mitch (1998) que causó el desastroso deslizamiento del Volcán Casita en Nicaragua a unos 500 km de distancia de su trayectoria.

**Ondas tropicales** son fenómenos menos violentos que los huracanes pero tienen también campos de lluvias de gran extensión y pueden presentar localmente precipitaciones muy fuertes. Ejemplos son la onda tropical que causó el desastre del Cerro Musún en Nicaragua y la que provocó, en 2008, muchos deslizamientos en gran parte de Honduras.

**Celdas de convección** son fenómenos que, en poco tiempo, pueden generar lluvias muy intensas, localmente en áreas de pocos kilómetros o decenas de kilómetros de extensión.

Se debe considerar que la lluvia, por lo general, es un fenómeno con mucha fluctuación, no es pareja. La topografía, altura, dirección del viento influyen en la intensidad de la precipitación. Por eso no se puede interpolar fácilmente los valores de precipitación entre estaciones meteorológicas para obtener la lluvia en un determinado sitio lejos de una de las estaciones.

#### **a) Observación de la lluvia, sin instrumentos**

Para las personas que viven en zonas con amenaza por deslizamiento es importante estar atento a la posibilidad de intensas lluvias. El uso de los medios modernos de comunicación permite obtener información sobre el peligro de deslizamientos causados por fuertes lluvias aún sin tener acceso directo a instrumentación.

**Radio/TV.** En los medios masivos se publica información al respecto. Las notas informativas que emiten los servicios meteorológicos de los países, reportes periodísticos sobre fuertes lluvias en la zona, ayudan para tener permanentemente una conciencia de la situación. La información presentada en TV o radio normalmente no contiene información numérica sobre la intensidad de la lluvia sino se limita a términos como “Chabuscos”, “Lluvia fuerte”, “Lluvia extrema”.

**INTERNET.** En el Internet se publican páginas que sirven para tener una idea sobre la posibilidad de fuertes lluvias en la zona de interés. Las pagina Georiesgos-ca.info, georiesgos-ca.ineter.gob.ni, <http://www.osop.com.pa/> publican mapas de precipitación en tiempo real para los países de Centroamérica y el Caribe derivados de imágenes de satélite.

En algunos países se publican mapas de precipitación obtenidos con radares meteorológicos El Salvador (<http://www.snet.gob.sv/googlemaps/radares/radaresSV.php>), Panamá (<http://www.hidromet.com.pa/radar.php>).

Observar tormentas en la zona de la fuente de los deslizamientos: Cuando se nota fuertes tormentas sobre la zona de fuente del deslizamiento es preciso buscar información sobre la intensidad de la lluvia, llamar

Pedir información a familiares o amigos que viven o se encuentran en la zona fuente de deslizamientos, específicamente en el caso de amenaza por flujos o lahares que pueden tener la zona de fuente a muchos kilómetros de distancia del sitio bajo riesgo.

## **b) Monitoreo instrumental de la Precipitación**

**Agencias internacionales:** Específicamente en el caso de huracanes es muy valiosa la información del Centro de Alerta de huracanes. Estimaciones de posible efecto por lluvia se da en la siguiente pagina: <http://www.nhc.noaa.gov/>

**Red meteorológica nacional:** Da aviso sobre fuertes precipitaciones. Algunas redes publican sus mediciones de precipitaciones cerca del tiempo real. Hay que considerar que las redes nacionales no son muy densas. La intensidad de las precipitaciones tiene generalmente una gran variación. Puede que no detecten campos de lluvia fuertes de poca extensión. Las Páginas de los centros meteorológicos nacionales son:

Guatemala: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia.html>

El Salvador: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/>

Honduras: <http://www.smn.gob.hn/>

Nicaragua:

<http://www.ineter.gob.ni/articulos/areas-tecnicas/meteorologia/red%20meteorologica%202.html>

<http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/index.html>

Costa Rica: <http://www.imn.ac.cr/>

Panamá: <http://www.hidromet.com.pa/>

**Red de aficionados:** Hay estaciones sísmicas de aficionados que publican sus datos en el INTERNET. Una excelente información facilita el Weather Underground: <http://www.wunderground.com/> donde se publican no solamente datos de estaciones de aficionados sino también de las estaciones principales de la redes meteorológicas nacionales. Se pueden obtener no solamente datos actuales sino también series de datos de fechas pasadas en forma de listas y gráficos. La página facilita también un fácil acceso a mapas de Google con información satelital infrarroja que permite deducir la intensidad de la precipitación. Zonas de baja temperatura de las nubes, en color rojo y violeta, significan alta intensidad de la lluvia.



**Figura 1. Ejemplo del mapa de nubosidad facilitado por Wunderground**  
(el color indica la intensidad de la lluvia)

El mapa interactivo permite acercamientos. Uno puede cambiar la opacidad de la capa de lluvia que se pone encima del mapa satelital y de esta forma. El mapa permite ver también campos de lluvia pequeños que la red meteorológica nacional tal vez no detecta.

**Estaciones pluviométricas cercanas:** Para tener información instrumental de lluvias en el sitio bajo amenaza de deslizamientos se buscaría as redes nacionales o de los aficionados una estación meteorológica cerca. No obstante, si la distancia es más de unos 10 kilómetros de la fuente del deslizamiento la importancia de la estación es muy limitada.

**Estación pluviométrica en el sitio:** Para una eficiente alerta de deslizamientos es necesario tener al menos una estación pluviométrica en o muy cerca de la zona fuente del deslizamiento.

**Sistema del pronóstico meteorológico:** El pronóstico meteorológico es valioso porque proporciona elementos para prepararse a una situación de lluvias fuertes que puede ocurrir en las próximas horas.

**Pronóstico Internacional:** Es importante especialmente en caso de huracanes, ondas tropicales (NOAA, Centro de Huracanes).

**Pronóstico Nacional:** Proporciona información a nivel país.

**Pronóstico Local:** En algunos países existe el pronóstico local para tomar en cuenta las condiciones locales. Podría ser recomendable para sistemas de alerta de inundaciones y deslizamientos en algunas ciudades grandes de Centroamérica contratar a un meteorólogo.

Una debilidad del pronóstico meteorológico de los servicios meteorológicos en Centroamérica es que frecuentemente no incluye una estimación de la intensidad esperada de las precipitaciones.

**Pluviómetros:** Hay esencialmente los siguientes tipos de pluviómetros 1) Sencillos 2. Tipping bucket; 3) Electrónicos

Sobre varios productos concretos se informa más abajo.

### **Registro y procesamiento**

Para el registro, procesamiento y emisión de alertas cuando se sobrepasa un umbral de precipitación acumulada en ciertos períodos de tiempo existe software que proporciona el fabricante o se obtiene en el Internet.

### **Estimación de precipitación con datos satelitales**

Imagen normal: presenta solamente la distribución de la nubosidad, NESDIS o TRRM presenta una estimación de la intensidad de la lluvia que se deriva de la temperatura del techo de la nube.

### **Medidor de rayos – detección de tormentas fuertes**

Los sensores (lightning detector) que se conectan con una PC y el software para detección de los rayos se pueden comprar a la empresa Boltek. <http://www.boltek.com/>.

El software determina la distancia aproximada y el azimut y así puede localizar el origen del rayo. El programa presenta los rayos en un mapa.

## **2. Funcionamiento de pluviómetros**

Una corta descripción de equipos meteorológicos se encuentra en la página del *Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica*, <http://www.imn.ac.cr/educacion/instrumentos.html>. No obstante contiene poca o ninguna información sobre equipos modernos de bajo costo para la medición de la lluvia, como se necesitan para la alerta de deslizamientos.

Hay que diferenciar entre 1) Pluviómetros o sensores que captan la intensidad de la lluvia pero no la registran o grafican 2) Pluviógrafos que la captan, registran y grafican. Hoy día las funciones de captación del dato, del registro y graficación pueden separarse, el sensor puede estar instalado en el campo. Se transmite el dato a otro lugar donde se registra en computadora, se publica en un servidor Web y se grafica por medio de navegador Web en las pantallas de los usuarios en cualquier parte del mundo.

“Weather Toys” de Tim Bitson es un libro en inglés que contiene una descripción muy buena del funcionamiento de los equipos meteorológicos y que enseña cómo construir sensores meteorológicos, transmitir los datos vía cables a una computadora, hacer software en Java para registrar los datos en una PC, hacer un sitio Web de los datos y enviarlos a una red de aficionados. Dado que el libro ya tiene varios años puede que no todo funcione como se describe en él pero hay actualizaciones en el sitio Web <http://www.weathertoys.net/weathertoys/main.html> donde uno puede también descargar el software.

Para comprar el libro en Amazon vaya al sitio [http://www.amazon.com/gp/product/0470040467/sr=8-1/qid=1155491536/ref=pd\\_bbs\\_1?ie=UTF8](http://www.amazon.com/gp/product/0470040467/sr=8-1/qid=1155491536/ref=pd_bbs_1?ie=UTF8)

La mayoría de los pluviómetros trabajan con el esquema de tipping buckets, ver gráfico abajo.

Lo siguiente se tomo de <http://es.wikipedia.org/wiki/Pluviómetro> :

*“El embudo conduce el agua colectada a una pequeña cubeta triangular doble, de metal o plástico, con una bisagra en su punto medio. Es un sistema cuyo equilibrio varía en función de la cantidad de agua en las cubetas. La inversión se produce generalmente a 0,2 mm de precipitación, así que cada vez que caen 0,2 mm de lluvia la báscula oscila, vaciando la cubeta llena, mientras comienza a llenarse la otra. Cada vez que la cubeta doble se mueve, este movimiento es registrado en la banda de papel que avanza a velocidad constante, al final del día contando el número de veces que la cubeta se ha movido, y multiplicándola por la precipitación que ocasiona su movimiento, se*

tendrá la precipitación caída en el día o en un intervalo de tiempo menor, con una precisión de 0,2 mm.

Últimamente los pluviómetros disponibles en el mercado son digitales, registrando el movimiento de las cubetas por medio de sistemas electrónicos que pueden conectarse, por ejemplo, vía [radio](#), con un servidor central que almacena todos los datos recogidos en varios pluviógrafos.

Con estas herramientas modernas, se puede realizar la medida, incluso en caso de nieve: si el embudo está equipado con una resistencia térmica, que disuelva la nieve.”

**Figura 2. Esquema del mecanismo de tipping bucket.** Tomado de COMET (2010)

“Consiste en un depósito pequeño equilibrado de tal modo que bascula cuando una de sus dos mitades se llena de agua de lluvia. Cada basculación corresponde a una determinada cantidad de precipitación”. WMO (1992).

El elemento Reed (funcionamiento ver Anexo 13, cap.3) se cierra o abre por el movimiento del imán y se genera un impulso que la computadora registra. Cada impulso registrado corresponde al aumento de la lluvia acumulada según el volumen de agua que alcanza en la cubetita.

El equipo puede ser afectado por polvo, arena, hojas o insectos que entran en el sistema y traban el mecanismo.



### 3. Selección de los equipos

ONG que quieren desarrollar un SATD y piensan instalar equipos meteorológicos piden frecuentemente consejo a las instituciones meteorológicas en el país correspondiente sobre el instrumental a seleccionar. Se ha reportado que los especialistas recomiendan generalmente los equipos que ellos mismos usan para el registro y la transmisión de datos de precipitación. En Centroamérica, las redes meteorológicas e hidrológicas utilizan mucho los equipos proporcionados por las empresas SUTRON ([www.sutron.com](http://www.sutron.com)) y Campbell Scientific (<http://www.campbellsci.com/>) que ofrecen estaciones con transmisión satelital. Estos equipos ciertamente son de muy buena calidad pero también son bastante caros. No solamente en la adquisición original sino también en su mantenimiento. Según los fabricantes estos equipos tienen una larga vida útil y eso es un buen argumento de venta. Pero, aún así muchas de las decenas de estaciones de este tipo donadas después del desastre del Huracán Mitch en 1998 a varias instituciones en Nicaragua y Honduras hoy día ya no están funcionando. Que los equipos tengan calidad profesional no significa que no se dañen, no pueden ser robadas o destruidos por vándalos o curiosos. El uso de equipo “profesional”, de alto costo, es recomendable para aplicaciones de larga duración y cuando los equipos pueden ser instalados en situaciones seguras y cuando existe presupuesto suficiente y seguro para reparaciones y repuestos relativamente caros.

Bajo las condiciones en las en las zonas fuentes de los flujos cerca de las cumbres de los volcanes y otras zonas de deslizamientos, donde no hay casas cerca y no hay cuidadores pagados los equipos caros, tal vez, no son la mejor opción.

Hay equipos “semiprofesionales” que ofrecen similar precisión como los equipos profesionales por un décimo del precio. Tal vez, su vida útil es menor y son menos robustos contra condiciones climáticas adversas como vientos huracanados o lluvias extremas. No obstante, reemplazar una

estación meteorológica de 1000 dólares es relativamente fácil mientras la reparación de un equipo de 10 o 15 mil dólares puede resultar más cara que la compra de un nuevo equipo de bajo costo.

En vez de usar transmisión por satélite se puede usar comunicación inalámbrica por WIFI o por el sistema celular. Se transmitiría directamente al centro de monitoreo local, o a algún lugar donde haya Internet (casa privada, oficina del gobierno, empresa) y donde se retransmiten los datos por el Internet al centro de monitoreo.

#### 4. Sensores de lluvia

En lo siguiente se presenta información sobre sensores de lluvia baratos. Una lista de sensores de lluvia con sus precios se pueden ver en <http://www.scientificsales.com/Rain-Gauges-s/3.htm>. Una comparación de equipos baratos se encuentra en [http://www.davisnet.com/weather/d\\_v\\_c\\_features.pdf](http://www.davisnet.com/weather/d_v_c_features.pdf).

Lista 1. tiene referencias a algunos fabricantes de estaciones meteorológicas o sensores pluviométricos con los precios aproximados de ciertos equipos.

**Lista 1. Fabricantes de equipos meteorológicos de bajo costo**

| Fabricante              | Sitio Web   | Ejemplo de producto   | Conexión con PC | Precio aproximado |
|-------------------------|---|---|-----------------|-------------------|
| Oregon Scientific       | <a href="http://www.oregonscientific.com/products_timeAndweather.asp">http://www.oregonscientific.com/products_timeAndweather.asp</a>                                       | RainLogger, RainLog data logger, collector (sensor) and montaje   | Si              | 295               |
| Davis                   | <a href="http://www.davisnet.com/weather/">http://www.davisnet.com/weather/</a>   | Vantage-PRO2, estación inalámbrica completa (300m, con repetidores el rango de transmisión es hasta 2.7 km), se conecta al INTERNET sin PC, con alimentación solar, La versión Vantage-PRO2 plus incluye sensor de humedad. | Si              | 600               |
|                         |   | Vantage-Vue   | Si              | 400               |
|                         |   | Sensor de lluvia (sensitividad de 0.2" o 0.01 mm)   | No              | 75                |
| Peet Bros               | <a href="http://www.peetbros.com/shop/">http://www.peetbros.com/shop/</a>   | ULTIMETER 2100 estación completa, tiene alarma de lluvia, se requiere adicionalmente sensor de lluvia   |                 | 399               |
|                         |   | ULTIMETER TB sensor de lluvia   |                 | 90                |
| Hideki/Honeywell        | <a href="http://www.honeywellstore.com/store/categories/weather-stations.htm">http://www.honeywellstore.com/store/categories/weather-stations.htm</a>                       | TC152 pluviómetro inalámbrico (30m) <b>con alarma de lluvia</b>   |                 | 40                |
| Fine Offset Electronics | <a href="http://www.foshk.com/">http://www.foshk.com/</a>   | WH0531 – pluviómetro inalámbrico (100m)   |                 |                   |
| La Crosse               | <a href="http://www.lacrossetechnology.com">http://www.lacrossetechnology.com</a>   | WS-2812, estación meteorológica inalámbrica, conexión con PC posible vía USB inalámbrico  |                 | 280               |
| RainWise                | <a href="http://www.rainwise.com/">http://www.rainwise.com/</a>   | MkIII   |                 |                   |
| Texas Weather           | <a href="http://www.txwx.com/1wire_bro1.htm">http://www.txwx.com/1wire_bro1.htm</a>   | 1-Wire weather station Raincollector  |                 | 149               |
| Hydreon                 | <a href="http://rainsensors.com/">http://rainsensors.com/</a>   | Hydreon Optical Rain Sensor - Model RG-11 Simula señal de contacto de un sensor convencional.   | No              | 59                |
| Vaisala                 | <a href="http://www.scientificsales.com/WXT520-Vaisala-Weather-Transmitter-p/wxt520.htm">http://www.scientificsales.com/WXT520-Vaisala-Weather-Transmitter-p/wxt520.htm</a> | Vaisala Weather Transmitter   |                 | 2,295             |

Productos que merecen una mención especial son:

- TC152 pluviómetro inalámbrico (30m) porque tiene una **alarma** configurable y es **muy barato** (para un pluviómetro electrónico). Uno no tiene que salir de la casa para obtener los datos. Se menciona que este equipo tiene una debilidad: La tarjeta electrónica interna del pluviómetro no está protegida contra el agua y la humedad y se moja durante lluvias fuertes. Se puede proteger sacando la tarjeta, aplicando un espray de laco transparente y reinstalarla.
- Vantage-PRO2 de Davis por la opción de **transmisión inalámbrica hasta 2.7 km y la conexión directa al INTERNET**, sin necesidad de un PC.
- El Sensor de lluvia Hydreon RG-11 porque es barato, usa sensores ópticos y **no tiene partes móviles**. Por eso es menos susceptible a ser afectado por polvo, arena, ceniza volcánica, animales pequeños. El sensor puede reemplazar un sensor convencional (p.ej. de Davis) con un pequeño trabajo de adaptación. Por ejemplo, se puede montar sobre un vehículo y registrar la lluvia durante el viaje para realizar perfiles de lluvia. La precisión puede ser menor que la de un equipo convencional con tipping bucket.



Figura 3. Sensor Hydreon RG-11

Otros equipos un poco más caros son:

**Vaisala Weather Transmitter WXT520** Vaisala Weather Transmitter porque no tiene partes móviles y integra medición de velocidad y dirección del viento, Temperatura, Humedad, presión barométrica, y precipitación. (aprox. **2,200 US\$**, ver <http://www.scientificsales.com/WXT520-Vaisala-Weather-Transmitter-p/wxt520.htm>). Se conecta por USB con una computadora. El sensor de lluvia no es de tipping bucket, no tiene partes móviles.

**WeatherHawk** ([www.weatherhawk.com](http://www.weatherhawk.com)) , ofrece una variedad de equipos p.ej. **WeatherHawk 916**, aprox 2,700 US\$ y **WeatherHawk 500** aprox 5,000 US\$. Incluye sensores de lluvia, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, presión barométrica, humedad relativa, software. El WH 500 no tiene elementos móviles. El sensor de lluvia no es del tipo tipping bucket sino mide el impacto de las gotas de lluvia en un sensor piezoeléctrico.



Figura 4. Weatherhawk 916 (izquierda) y 500 (derecha )

## 5. Como comprar los equipos?

La mayoría de esto equipos no se venden localmente en Centroamérica. Pero, se puede encargar una empresa local que vende artículos electrónicos o de cómputo.

También, es posible comprar los equipos por INTERNET. Por ejemplo vía Amazon.com, que envía por DHL a Centroamérica. Se paga con la tarjeta de crédito. Cuando venga el equipo se tendría que pagar los costos de aduana y impuestos. Hay también empresas que se preocupan por eso. En la

página de Amazon se busca “weather stations” y se presenta una diversidad. No todas tienen sensores de lluvia. Los precios actuales de Amazon para algunos equipos son:

Davis 6250 Vantage VUE 279.99 US\$

Ambient Weather WS-1090 Wireless Home Weather Station 129.99 US\$

Ambient Weather WS-1070 Wireless Weather Station 77.99 US\$

La Crosse Technology WS-1612CH-IT Professional Weather Station, Cherry 92.80

También una búsqueda en Ebay da muchos resultados de equipos nuevos y usados:

[http://www.ebay.com/sch/i.html?\\_nkw=weather+station](http://www.ebay.com/sch/i.html?_nkw=weather+station) se paga también con tarjeta de crédito, posiblemente por medio del sistema Paypal.

## 6. Software para medición y procesamiento de datos lluvias

Las estaciones meteorológicas comerciales vienen con su software propio para conectarse con un PC, descargar los datos automáticamente, mandarlos a un servidor Web

Por ejemplo en el caso de Davis, ver <http://www.davisnet.com/weather/products/weather-reporting-software.asp>

Páginas que contienen una lista de hardware y software para diferentes tipos de estaciones meteorológicas son:

<http://home.comcast.net/~dshelms/cwop.html>

<http://www.wunderground.com/weatherstation/index.asp#hardware>

<http://solorb.com/software/> para Davis Weather Monitor II

Meteohub (, <http://wiki.meteohub.de> ) es un software barato ( **59 Euro**) para la adquisición y procesamiento de datos meteorológicos. Funciona bajo Linux. Ofrecen gratis una versión de prueba. El programa registra los datos de la estación meteorológica, los evalúa, dibuja gráficos, y carga estos a través de FTP vía red local o Internet a un servidor web. Puede exportar los datos grabados en formato WSWIN o WD para permitir el procesamiento en un PC. Meteohub soporta una amplia gama de estaciones meteorológicas y permite registrar estos datos en tiempo real y enviarlos por Internet, sin tener el PC encendido. El software se puede usar en computadoras muy pequeños de bajo consumo, p.ej Linksys NSLU2, ebox 2300, ebox 3300 or ebox 4300, fit-PC Slim, ALIX.1D/3D2 o SheevaPlug. Meteohub ofrece una solución completa que incluye el software instalado en un plugcomputer SheevaPlug. El costo es de 200 US\$. Consume mucho menos energía que un PC estándar.

Meteohub soporta las siguientes estaciones meteorológicas:

**Tabla 2. Estaciones que trabajan con Meteohub**

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Oregon Scientific</b>       | WMR-918N, WMR-928 (NX), WMR-968, WMR-88, WMR-100, WMR-200, WMRS-200, RMS-300   |
| <b>Davis</b>                   | Vantage Pro 2, un Vantage Pro (necesidades del firmware "B"), Vue (a través de RS232, USB y TCP / IP)  |
| <b>Peet Bros</b>               | Ultimeter 100/800/2000/2100  |
| <b>Hideki</b>                  | TE-923 (necesidades HW-Revisión 3 o superior), TE-821W, WXR810, DV-928 (también conocida como Nexus, Mebus, IROX, Honeywell, Cresta)                                     |
| <b>Fine Offset Electronics</b> | WH-1080, WH-1081 (también conocido como W-8 681 Watson, WX-2008, National Geographic 265 NE, Elecsa 6975/6976, Ambient Weather WS-1080/WS-1090/WS-2080, Tycon TP1080WC ) |
| <b>La Crosse</b>               | WS2300   |
| <b>RainWise</b>                | MkIII actual modelo  |

Otro software gratis útil se encuentra en <http://meteo.othello.ch/> . El programa corre bajo Linux o UNIX. Adquiere datos de los modelos de Davis Weather Monitor II, Perception, Weather Wizard o Vantage Pro, los graba en una base de datos, y genera gráficos.

OSOP ( [www.osop.com](http://www.osop.com) , [info@osop.com.pa](mailto:info@osop.com.pa)) ofrece una solución alterna interesante que para cualquier sensor de lluvia con salida de impulsos (la mayoría de los colectores de lluvia). Adquiere los datos con un procesador de campo y con comunicación de datos compatible con el Sistema Earthworm que se usa para redes sísmicas. Esta es una solución práctica para sitios donde se combinan sensores meteorológicos con sismógrafos, por ejemplo para detectar lahares en los volcanes.

## 7. Intercambio de datos

En la siguiente pagina explican como adherirse a una red de monitoreo meteorológico: [http://home.comcast.net/~dshelms/cwop.html#Who are Citizen Weather Observer Program \(CWOP\) People?](http://home.comcast.net/~dshelms/cwop.html#Who%20are%20Citizen%20Weather%20Observer%20Program%20(CWOP)%20People?)

Ellos dan las siguientes recomendaciones:

### Instalación de la estación meteorológica

Seguir los siguientes pasos

#### 1. Adquirir hardware de estación meteorológica

El primer paso al instalar y comenzar a utilizar una estación meteorológica personal es hacerse con el dispositivo que supervisará las condiciones climatológicas.

Ver vínculos de proveedores de hardware.

#### 2. Colocación de su estación meteorológica para que envíe resultados precisos

Con el fin de obtener información meteorológica precisa, debe meditar la decisión de dónde colocar su estación meteorológica. Indicaciones para instalar su estación meteorológica

#### 3. Instalación y configuración de software

Cuando ya posea una estación meteorológica, deberá seleccionar el software correcto para ver y almacenar los datos en su ordenador.

Ver vínculos de proveedores de software.

#### 4. Cargar los datos al Weather Underground

Ahora que ya ha instalado su estación meteorológica y la ha conectado a su ordenador, puede comenzar a enviarnos datos.

1. [Citizen Weather Observer Program \(CWOP\)](#)
2. [Personal Weather Station Listserv \(Email Group\)](#)
3. [Independent Assessment of Weather Station Hardware and Software \(Gary Oldham's WeatherForum\)](#)

## 8. Probar y calibrar el equipo

Los equipos meteorológicos baratos tienen diferentes niveles de calidad y precisión. Algunos tienen un certificado de la agencia meteorológica del país de origen, p.ej. de la NOAA. La precisión de la medición garantizada de buenos equipos se obtiene de la página web del fabricante o del folleto que

viene con el equipo. Por ejemplo, DAVIS garantiza una precisión de 4 por ciento. De la fábrica, el equipo viene calibrado, es decir se garantiza que los valores que presenta corresponden a sus especificaciones. Pero, siempre es bueno verificar si realmente cumple con los parámetros prometidos.

Verificar el funcionamiento de un pluviómetro es fácil. Recordamos que la intensidad de la lluvia se expresa en milímetros acumulados por periodo de tiempo. Eso significa el espesor de la capa de agua en milímetros que se acumularía sobre la tierra plana si no existiera drenaje, sea milímetros por hora. O milímetros por día.

Antes de hacer el trabajo de la calibración se necesitan los siguientes datos:

1. Dimensiones en milímetros de la abertura del colector de lluvia, sea diámetro o ancho y longitud si es rectangular.
2. Área de colección del colector de la lluvia. Tal vez sale del manual del equipo. Si no, se determina de la siguiente forma:
  - Si es un cilindro se calcula con la fórmula:  $\text{Área} = 3.14 * (\text{diámetro}/2)$
  - Si es rectangular o cuadrado: con la fórmula  $\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Longitud}$
3. Volumen de la cuchara de medición del equipo. Se obtiene del manual. Si no, también se puede hacer el trabajo sin este dato.

El procedimiento es:

1. Se reinicia el registrador a que el valor de la lluvia acumulada este en Cero.
2. Se coloca en el colector de agua un pequeño recipiente de plástico (p.ej. de crema lavaplatos) en el fondo del cual se perforó anteriormente un pequeño hoyo.
3. Se echa una cierta cantidad de agua en este recipiente (medir la cantidad anteriormente, pueden ser entre 100 mililitros o un litro o sea 1000 mililitros, Se puede usar una botella de bebé que tiene marcas de volumen).
4. Mientras se el agua fluye lentamente del recipiente de plástico en el colector de lluvia gva se escucha el “clac-clac” que hacen las cucharas (bucket) del contador de lluvia cuando se descargan.
5. Se anota la cantidad de lluvia acumulada in milímetros que el registrador presenta.
6. Se multiplica el número de “clac” con el volumen de la cuchara. El valor resultante debe coincidir con el volumen de agua echada en el colector.
7. Se divide el volumen de agua echada entre el área del colector.

## **9. Notas sobre la instalación de pluviómetros**

En la página [http://wiki.wunderground.com/index.php/PWS\\_-\\_Siting](http://wiki.wunderground.com/index.php/PWS_-_Siting), se encuentran algunos consejos generales para la instalación de estaciones meteorológicas.

Pero, se debe considerar que estaciones para la alerta de deslizamientos frecuentemente se instalan lejos de sitios seguros y se debe tomar en cuenta el aspecto de seguridad. Es decir se deben tomar medidas de dificultar el acceso de extraños al equipo y/o camuflar el equipo de alguna manera.

Pueden ser las siguientes medidas:

**No llamar la atención:** En vez de pintar la instalación con colores bonitos (que se prefería para la entrega a las autoridades) hacer que aparezca sin mucho valor, viejo. Poner el equipo en un lugar donde ya haya una instalación de otro equipo, una casa, una torre de antenas. De una forma que no se ve que se agregó algo nuevo.

**Esconder:** Significa, en vez de instalar el pluviómetro en un mástil se puede dejar en el suelo en un área despejada dentro de una zona de monte o arbustos. Así no se ve fácilmente. Pero, el área cerca del instrumento debe ser despejada para evitar que hojas, ramas o pequeños animales se caigan en el sensor. Se puede proteger con una caja de concreto que deja abierto en la tapa solamente la circunferencia del pluviómetro y al lado un espacio para una pequeña antena de transmisión. Se pinta la caja con un color gris o verde oscuro y se echa arena o suelo sobre la pintura fresca para que adquiere el color del ambiente. En un área rocosa ponerlo escondido entre las rocas.

**Instalar en un lugar de difícil acceso:** Por ejemplo en el tope de un poste de luz, de teléfono.

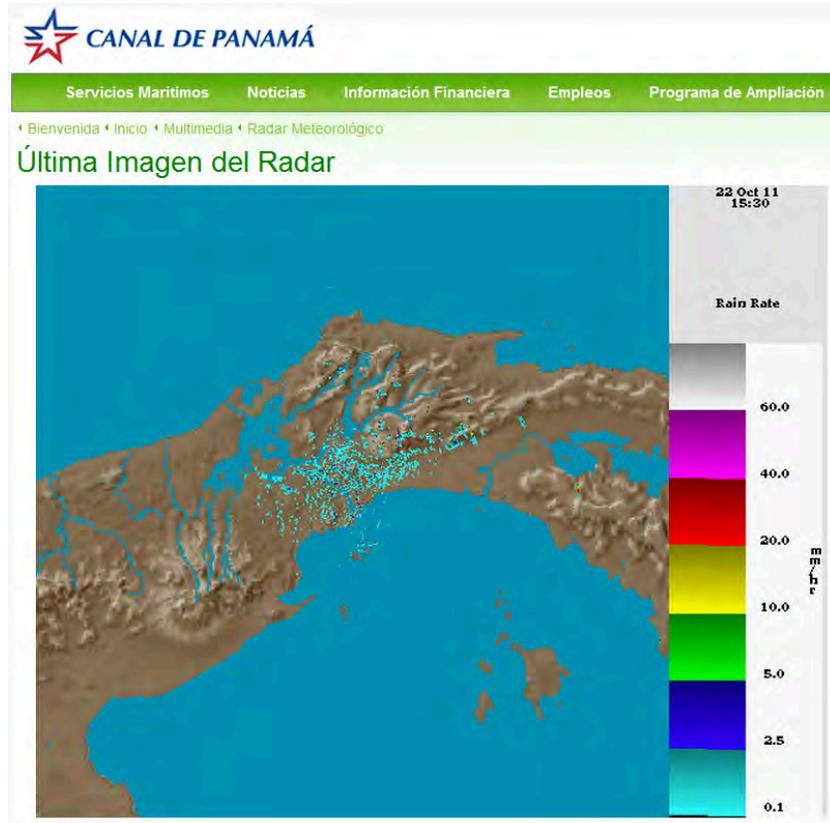
**Construir una caseta, un búnker:** En vez de poner el equipo en un mástil, que es típico para instrumental meteorológico, meterlo en un búnker de concreto, como se hace muchas veces para estaciones sísmicas. De una forma que oculta la presencia del equipo.

## **10. Uso de datos de satélites**

En la mayoría de las imágenes de satélites, que se publican en el Internet, se ve la distribución de las nubes sea en luz normal o en infrarrojo. La luz infrarroja provee imágenes también en la noche. De las imágenes infrarrojas se puede derivar la altura del techo de la nube. Nubes con un techo alto tiene un mayor espesor, contiene más agua y causan precipitaciones más copiosas. Hay algunas páginas donde se pueden ver imágenes de la distribución de la intensidad de las lluvias, por ejemplo [georiesgos-ca.ineter.gob.ni](http://georiesgos-ca.ineter.gob.ni) o [www.osop.com.pa](http://www.osop.com.pa). Una explicación de estas imágenes se encuentra en Anexo 24. La distribución espacial de la lluvia permite identificar campos de lluvia que se acercan al sitio de de interés, donde se encuentra el SAT específico. Si este campo presenta una gran densidad de la precipitación que sobrepasa el umbral de posible desencadenamiento de deslizamientos, anteriormente definido, y se mantiene por varias horas sobre el área bajo peligro de deslizamientos, se daría la alerta a la población. La ventaja de las imágenes de satélite es que se tiene información de la lluvia no solamente en los pocos sitios donde están las estaciones pluviométricas sino en toda la zona. En Anexo 24 se informa sobre el uso de datos de satélite en un sistema experimental de alerta regional.

## **11. Uso de datos de radares meteorológicos**

Los radares detectan las acumulaciones de las gotas de agua en el aire. Con mayor densidad de gotas la reflexión de las ondas de radar es mayor y de eso se deriva la densidad de la lluvia en la zona del alcance del radar. Si se tienen varios radares se combinan las imágenes obtenidas. Con esta información e procede similarmente como con las imágenes de satélite. Hasta hora hay poca experiencia en Centroamérica para el uso de radares meteorológicos, específicamente para la alerta de deslizamientos. En el Canal de Panamá existe un radar meteorológico desde hace varios años ( <http://www.pancanal.com/esp/radar/main.html> ). Cubre la zona entre Ciudad de Panamá y Colón.



**Figura 5. Imagen de radar meteorológico en Panamá**

Belize tiene poca incidencia de deslizamientos pero el radar meteorológico del país (<http://www.hydro-met.gov.bz/400-km-radar-static>) es de mucho interés porque cubre también grandes partes de Honduras y Guatemala. Guatemala y Honduras están en el proceso de adquirir radares meteorológicos. En El Salvador se instalaron recientemente 6 radares que dan una buena cobertura del país inclusive de algunas partes de Honduras. No obstante, por los volcanes y otras montañas altas hay algunas zonas de “sombra” que se escapan de la vigilancia con el radar. Las imágenes se aprecian en la página del MARN (<http://www.snet.gob.sv/googlemaps/radares/radaresSV.php?id=ES>).

La ventaja de los radares en comparación con el uso de imágenes de satélite es su alta resolución y la mayor frecuencia de medición. Pero los radares son equipo muy caros. Su mantenimiento es difícil y los repuestos son costosos. Se instalan en lugares altos para que tengan un alcance mayor. Pero así se exponen también al riesgo de descargas eléctricas y vientos fuertes. Puede que se descompongan en la situación de emergencia. Puede que dure mucho tiempo la adquisición de los repuestos. Por eso es recomendable tener un respaldo en base de imágenes de satélites. Hasta ahora los datos adquiridos por los radares no son públicos, con excepción de las imágenes publicadas en la web que solo permiten una evaluación cualitativa.

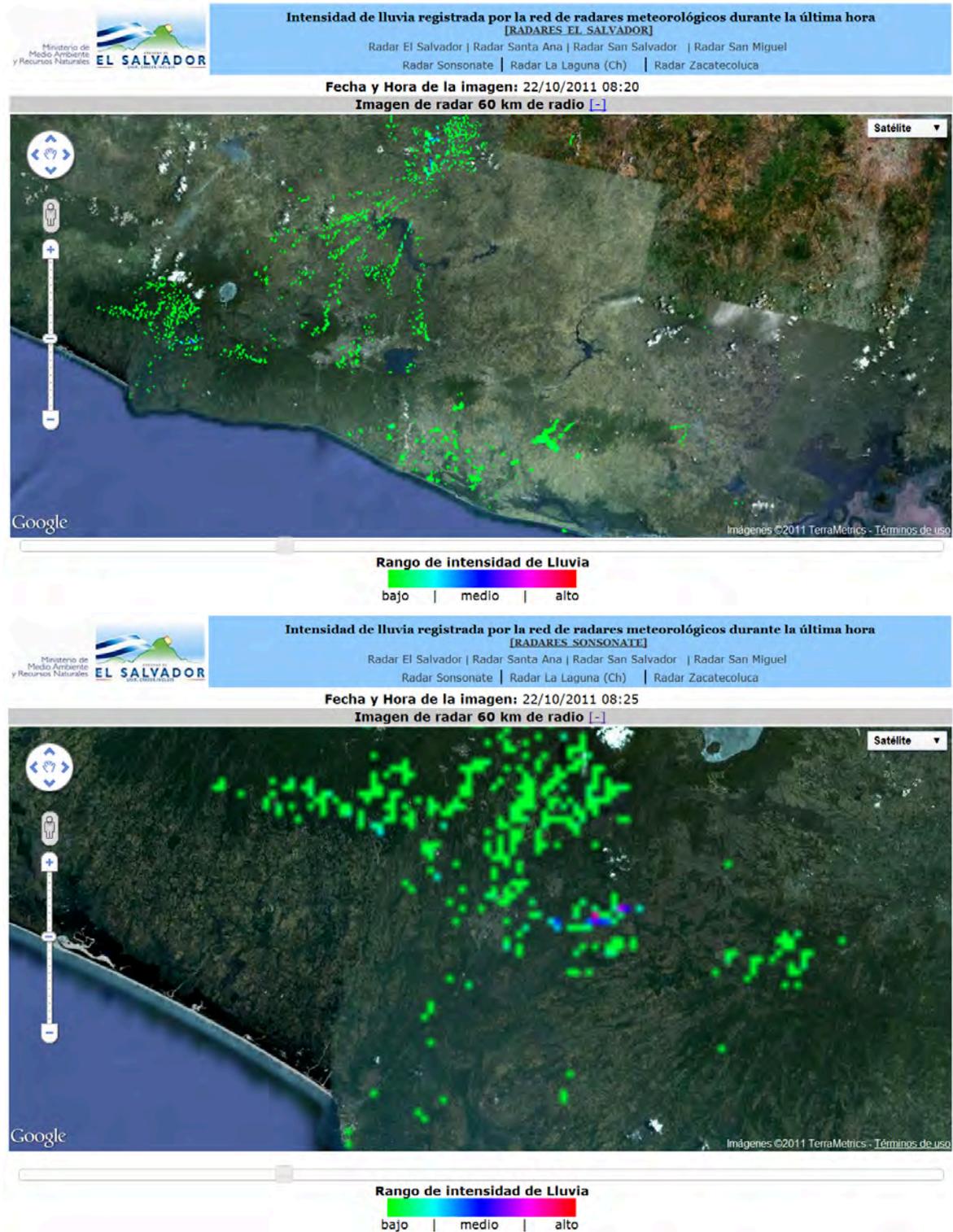


Figura 6. Imágenes de radar en El Salvador. Abajo: acercamiento a la zona de Sonsonate.

## **Anexo 11. Instrumentos para la medición de desplazamientos lineales**

### **I. Monitoreo sencillo del deslizamiento**

Los movimientos de los diferentes tipos de deslizamientos se explican en Anexo 2.

Hay algunos métodos sencillos que no requieren de instrumentos sino usan objetos accesibles en cualquier lugar:

#### **Medidor sencillo:**

Se usa una cinta métrica, un palo de madera, tubo de plástico o metal

El terminal del palo se fija en un la parte que se mueve, clavándolo en un poste de madera. El otro terminal se coloca sobre una madera con una marca.



**Foto 1. Regla de medición de grietas. Monitoreo. Comunidad Chañag San Miguel, Chimborazo. Tomado de DIPECHO 6, Ecuador (2010)**

Se hacen mediciones en períodos constantes, o. ejemplo diario a la misma hora.

Se dibuja cada vez una marca en el palo. Si es posible, se anota fecha y tiempo.

Ahora, la distancia entre las marcas corresponde a la velocidad del deslizamiento. Si la distancia entre las marcas se aumenta así lo hace la velocidad del deslizamiento proporcionalmente. Si se tiene una una regla o cinta métrica se mide la distancia y se anota en el cuaderno. Por ejemplo si se midieron 50 mm de un días al otro, la velocidad es de 50 mm por día o aproximadamente 2 mm por hora.

El medidor se coloca en la tierra y se puede cubrir con granma o pequeños ramas. Así se esconde y es menos probable que alguien lo mire. Así se evita robo o vandalismo. La cinta métrica que normalmente es de metal brillante o con color amarillo se puede colocar en un tubo de plástico de plomería. También se puede cubrir con un poco de arena y polvo. La fuerza del deslizamiento es tal que se mueve aún así sobre el suelo.

### Dispositivo de alarma sencillo:

El medidor puede convertirse en un dispositivo de alarma si se agrega un contacto Reed (ver Anexo 13) que conecta una batería con algún equipo que hace ruido cuando se cierra el contacto con electricidad. Puede ser un timbre eléctrico, un pito de moto o automóvil, o una sirena de alarma vehicular. Como batería se puede usar algunas AA. Se requieren 4 para un timbre y 8 para la alarma vehicular. Las cajas de batería AA se pueden comprar en tiendas de electricidad o de aficionados como Radio-Shack. Estas baterías se auto descargan muy lentamente y el dispositivo puede estar activo varios meses inclusive años. En las visitas regulares semanales o mensuales al equipo se debe medir para probar la batería si está cargada todavía.

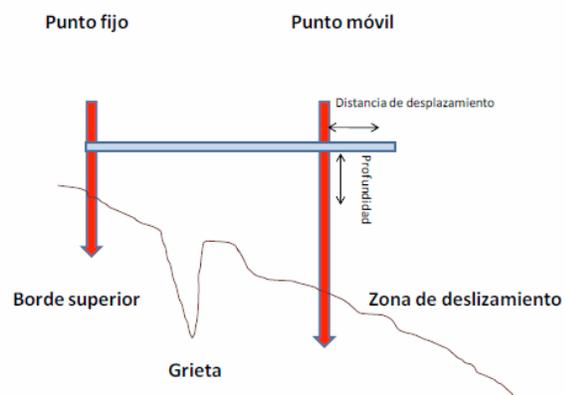
**Redundancia.** Un solo sensor es como ninguno porque se tiene que contar siempre con la posibilidad de fallas. Por eso se instalan varios de estos equipos en la zona fuente del deslizamiento. Así se tiene redundancia y cuando comienza el deslizamiento funciona (tal vez) al menos uno.

## II. Monitoreo Instrumental

La instrumentación es clave para entender el comportamiento de los deslizamientos. Una buena colección de instrumentos se aprecia en un folleto bien ilustrado de TWSI: [http://www.hycom.com.tw/pdf/Brochure\\_landslide\\_0827.pdf](http://www.hycom.com.tw/pdf/Brochure_landslide_0827.pdf)

El libro de Ortiz et al. (2002) sobre “Instrumentación en Volcanología” contiene muchos elementos importantes también para el monitoreo y alerta de deslizamientos, inclusive digitalización de señales, registro con computadora, telemetría.

En lo siguiente se proponen algunos métodos usando herramientas sencillas hasta instrumentos más sofisticados para vigilar los movimientos/desplazamientos de un deslizamiento lento. La idea es conocer con que velocidad (en milímetros por unidad de tiempo, sea hora, día, semana, mes o año) se abren las fisuras o grietas, cuando la velocidad se aumenta hay que pensar a dar alarma. Se mide entre el punto fijo y el punto móvil. Si el suelo es muy suave no se pueden medir fácilmente entre los lados de la grieta porque muchas veces colapsan parcialmente. Por eso se mide la distancia



**Figura 1. Medición de deslizamientos.**  
Tomado de Dipecho 6, Ecuador

entre un objeto (una pared, una roca, un poste, un reflector de laser) en la parte de la tierra que se mueve y la parte que está en reposo. Igualmente se mide la velocidad por unidad de tiempo. Cuando aumenta la velocidad abruptamente - se da la alarma.

## 1. Uso de una cámara, o del celular

Hoy día, los teléfonos celulares con cámara son muy comunes. Un método sencillo no solamente de medir sino también de documentar es - tomar una foto. Se incluye en la foto un objeto de referencia, p.ej. una moneda. Más abajo se trata el tema de la fotografía más a detalle. La moneda, que se usó en la foto 1, tiene un diámetro de 26.5 milímetros.



Foto 1. Grieta con moneda como objeto de referencia.

Con un programa de dibujo (por ejemplo Paint de Windows) se puede medir el diámetro en pixeles. En la foto original el diámetro de la moneda corresponde a **851** pixeles. Para la abertura de la grieta se midieron **75** pixeles en la foto. Por lo tanto, la grieta se abrió por  $x = 26.5 * (75/851)$  milímetros. Se obtiene  $x = 2.3$  mm. Este método es bastante exacto, la precisión puede ser de unos décimos de milímetros. Si no se tiene un programa para determinar los pixeles es posible medir con una regla diámetro de la moneda y abertura de la grieta en la pantalla de la computadora o del celular y hacer el cálculo usando estos datos.

Si se nota algún movimiento, y no se puede instalar algún equipo más adecuado, se toman fotos en períodos regulares, para documentar. Es conveniente que la cámara o celular graban fecha y hora automáticamente con la foto (hay que verificar si el equipo realmente tiene bien el tiempo). Después se pueden hacer las mediciones y se elabora una tabla como se explica abajo con la cinta métrica.

## 2. Cintas métricas

Se compran en ferreterías, supermercados o por INTERNET, p.ej. <http://www.harborfreight.com/hand-tools/tape-measures.html>



Longitud: 10 m, Precio 4 US\$



Longitud 100 m, Precio 15 US\$

En las fotos a la derecha se muestra un ejemplo de aplicación. Se detectó una grieta y se teme que podría abrirse por varios centímetros hasta metros. Se consigue una cinta métrica. Se fijan dos maderas a los dos lados de la grieta. Lo más fácil es con objetos pesados como unas piedras o bloques de cemento. También se pueden usar clavos o tornillos para concreto si el piso es de cemento o clavos largos si es sobre suelo. Si es suelo blando se pueden abrir pequeñas zanjas paralelas a la grieta con una profundidad correspondiente al espesor de las maderas y meter las maderas. O se monta todo sobre dos postes de madera que se instalan a los dos lados de la grieta. No tiene que sobresalir mucho sobre la superficie, solamente lo suficiente para poder fijar la caja de la cinta y el extremo de la cinta.



**Foto 2. Ejemplo de medidor con cinta métrica**

Se deben fijar de algún modo la caja de la cinta y el final de la cinta en los dos lados de la grieta. En el ejemplo, la caja de la cinta tiene una envoltura de hule que se puede quitar (foto de arriba). Se clava el hule sobre la madera derecha. Se regresa la caja amarilla en el hule, se extiende la cinta y se clava en la madera izquierda. Con un marcador permanente se indica en la cinta la ubicación del margen izquierdo de la primera madera como referencia. Se anota también la ubicación en milímetros del margen izquierdo de la madera debajo de la cinta. En el ejemplo son en este momento como 175 mm.

Se esconde el pequeño medidor improvisado con una bolsa de plástico u otra cosa que sirve también como protección contra lluvia y sol.

Cuando se regresa después de un tiempo adecuado, según la velocidad del movimiento, se puede constatar si hubo un movimiento o no. Si hubo un movimiento, se marca en la cinta la nueva ubicación del margen de la madera derecha y se anotan los milímetros. La diferencia en milímetros entre la primera y la segunda ubicación es el desplazamiento del deslizamiento. Si se divide el desplazamiento entre el tiempo ocurrido se obtiene la velocidad del deslizamiento. Se anotan fecha, hora, diferencia de tiempo entre las dos visitas, ubicación, desplazamiento y velocidad del desplazamiento en una tabla. Además, el nombre del observador. Se puede agregar una columna con observaciones adicionales.

**Tabla 1. Ejemplo del monitoreo del deslizamiento**

| Monitoreo del deslizamiento. Ubicación: |                       |                |                    |                     |                       |
|---|-----------------------|----------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| Fecha y hora                            | Diferencia del tiempo | Ubicación (mm) | Desplazamiento(mm) | Velocidad (mm/hora) | Nombre del Observador |
| 15-01-2012 09:00 AM                     |                       | 175            |                    |                     | xyz                   |
| 16-01-2012 09:00 AM                     | 24                    | 189            | 14                 | 0.58                | xyz                   |
| 17-01-2012 10:00 AM                     | 25                    | 199            | 10                 | 0.25                | xyz                   |
|   |                       |                |                    |                     |                       |

Si se mantiene esta tabla en una computadora por ejemplo con el programa Excel u otro similar, es fácil hacer un gráfico del comportamiento del desplazamiento y velocidad del deslizamiento sobre el tiempo. Excel necesita que se que entren fecha y hora en el formato como en ejemplo para poder hacer un gráfico de desplazamiento y velocidad versus tiempo.

### 3. Caliper

Caliper son pequeños y baratos y se pueden usar para medir manualmente la distancia entre dos objetos bien definidos en los dos lados de una grieta o fisura, por ejemplo dos clavos. Un especialista de deslizamientos podría tener uno siempre en su mochila. Se recomiendan los digitales porque la lectura del dato es mucho más fácil, pero se debe tener el cuidado que la batería este cargada. Se obtienen en ferreterías o por Internet, por ejemplo



<http://www.harborfreight.com/6-inch-digital-caliper-47257.html>

**Precio: 20 US\$**

- Metric and "inch" digital display, Accurate to +/- 0.001" (0.03mm), Resolution: 0.0005" (0.01mm)
- Measuring system: Linear capacitive, Uses one 1.5V button battery

### 4. Caliper digital con interface USB

Si uno tiene muchos puntos de medición es cómodo tener un caliper con USB porque facilita la transmisión del dato a una Notebook. También se puede usar construir un soporte mecánico para el Caliper que facilita la realización de mediciones automáticos repetitivos en un sitio, durante horas u días. Para observaciones de mayor tiempo se recomiendan distanciómetros lineales o de alambre, ver abajo. Se encuentra en el Internet, por ejemplo, por **\$124.00** se compra en:



[http://www.willrich.com/product.asp?product\\_type=Calipers&product\\_name=DIGITAL%20CALIPER%20-%20USB%20DATA%20OUTPUT&series\\_id=347](http://www.willrich.com/product.asp?product_type=Calipers&product_name=DIGITAL%20CALIPER%20-%20USB%20DATA%20OUTPUT&series_id=347)

16 ER Mahr Federal Digital Calipers w/ Output - 16EWR Series IP67 rated w/OutputFeaturing USB direct output on selected gages - simply plug in and send your data automatically to Excel.  
No USB Cable provided, USB Data Cable and Marcom Interface Software for sending data to Excel 4102357

## 5. Indicadores (Relojes) de medición

Equipos muy baratos pero de alta precisión que se usan normalmente en talleres automotrices la reparación de vehículos, verificación del movimiento del motor. Se venden en ferreterías o tiendas de artículos para reparación de vehículos. O se consiguen del Internet, por ejemplo **con 11 US\$** se compra en <http://www.harborfreight.com/1-inch-travel-machinists-dial-indicator-623.html>

- Delivers precise readings to 1" in increments of 0.001"

Para la medición se puede usar un soporte magnético, que cuesta aprox. **10 US\$**.



Con la base magnética, el soporte se pega fácilmente en una tabla de acero después de actuar la palanca.



Para realizar rápido mediciones de aberturas de grietas en un edificio o en el suelo se lleva una tabla pesada de acero y se coloca muy cerca del objeto que se quiere monitorear. Se ajusta el reloj de medición para que el pin toque el objeto. Se baja palanca la en la base magnética del soporte para que imán conecte el soporte firmemente con la tabla de acero. Esta configuración se puede usar para varios días. Para mayor tiempo es mejor usar distanciómetros.

**Foto 3. Ejemplo de instalación del indicador con soporte y placa de acero.**

Aquí parece abrirse una grieta entre la placa de cemento y el edificio. Con esta instalación se puede verificar o monitorear el movimiento durante algunos días. Se cubre con un plástico para protegerlo contra el sol y la lluvia.



Es un poco más caro que un indicador mecánico pero facilita mucho la lectura de los datos. Puede que se obtenga también en tiendas locales, si no – en el Internet, por ejemplo en

CEN-TECH <http://www.harborfreight.com/1-inch-sae-metric-digital-indicator-93295.html>

### 27 US\$

1" LCD display, rango: 0 – 25, mm resolución: 0.01mm  
Quick reset button, Manual on/off button  
Hardened steel contact point  
Requiere de batería 1.5 volt LR44 (incluido),



Se usa de la misma manera como el indicador mecánico, con un soporte.

## 7. Indicador Digital con USB o RS232

Indicadores digitales que tienen conector USB o RS232 (serial) ya se puede realizar un sistema de monitoreo con registro local en una pequeña computadora o con telemetría. Comprar por ejemplo en

[http://www.willrich.com/product.asp?product\\_type=Digital%20Indicators&product\\_name=Mahr%20Millitast%201075/1080/1081%20Digital%20Indicators&series\\_id=339](http://www.willrich.com/product.asp?product_type=Digital%20Indicators&product_name=Mahr%20Millitast%201075/1080/1081%20Digital%20Indicators&series_id=339)

Rango 12.5 mm, precisión 0.01 mm,  
**189 US\$**

- Switch ON/OFF
- 0 (poner el display a zero)
- Selección de medición en mm o pulgadas
- Reversión del sentido de medición
- PRESET (para entrar un valor numérico)
- DATA (transmisión de datos con a un cable cable)
- Sistema de medición capacitivo
- Duración de la batería aprox. 2 años



Se usa con un soporte como los indicadores sencillos. Se conecta con una laptop para registrar el movimiento.

## 8. Sensores de desplazamiento lineal

Los indicadores arriba mencionados son baratos pero se pueden usar solo por algunos días y para movimientos pequeños de hasta algunos centímetros porque la instalación mecánicamente no es muy estable. Hasta varios metros de distancia se pueden usar los distanciómetros lineales, si el movimiento es realmente lineal es decir en una sola dirección.

Una gran variedad se ofrece, por ejemplo en:

**Penny and Giles,**

<http://www.pennyandgiles.com/Linear-Displacement-Sensor-pd-94,3,..php>

Una amplia gama de sensores de posición lineal, transductores de desplazamiento lineal y potenciómetros lineales que ofrecen medidas de la longitud del recorrido de 5 mm a 5000 mm. Utilizamos tecnologías que incluyen potenciométrica, efecto inductivo, por corrientes de Foucault y Hall, empaquetados en cajas resistentes, con soportes que dan al usuario una amplia gama de opciones flexibles de instalación.

Ejemplo: **S LT 1 9 0**

Rango 25 to 500 mm



## 9. Sensores Magnetostrictivos

Estos sensores usan la magnetostricción para medir la distancia

Hay análogos y digitales, por ejemplo en

<http://www.rdpe.com/uk/mts.htm>

200 a 400 US\$

- Medición Linear de la posición absoluta
- Salida de de posición de Start/Stop (pulso) p
- Longitudes de medición: 4, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 54 y 60 pulgadas
- Conexión integral de Cable
- Repetibilidad mejor que 0.005%
- linealidad mejor que 0.02%



## 10. Extensiómetros de Cable

Estos se pueden usar para mayores distancias. Su flexibilidad hace posible usarlos también cuando el movimiento además de la componente lineal, que se quiere observar, también tiene una pequeña componente en otra dirección, por ejemplo vertical. Su trabajo se basa en la medida de la extensión de un cable de acero inoxidable, auto-recogible (extensión máxima 60metros), dentro del transductor (un encoder incremental o absoluto multivuelta, o un potenciómetro multivuelta en el eje del cual se monta un carrete para el enrollamiento del cable).



El precio depende de la distancia máxima y es de algunos centenares de dólares.

Hay varios fabricantes, ver una lista en:

<http://www.directindustry.es/prod/sick/sensores-de-posicion-con-cable-894-553450.html>

Otro ejemplo el extensiómetro de alambre de Applied Measurements:

<http://www.appliedmeasurement.com.au/product/HSI+-+Houston+Scientific/Position+Transducers-Model+1850/179>

Modelo 1850, Rango: hasta 15 m, Linealidad: estándar 0.1% del rango máximo; opcional mejor de 0.05%.

Otro ejemplo: **Extensiómetros de ELCIS**

[http://elcis.elcis-encoder.com/SPAGNOLO/catalogo/filo/E\\_filo.htm](http://elcis.elcis-encoder.com/SPAGNOLO/catalogo/filo/E_filo.htm)

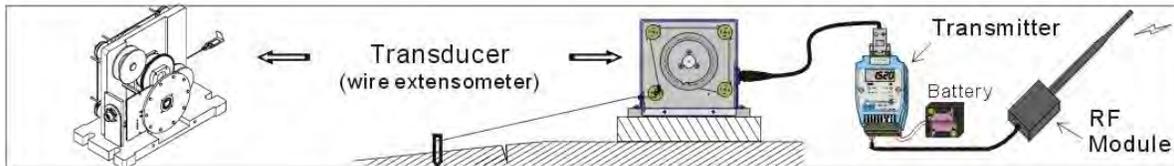
Una variedad de extensiómetros de cable hasta 60 m

Su trabajo se basa en la medida de la extensión de un cable de acero inoxidable, auto-recogible (extensión máxima 60 metros), dentro del transductor (un encoder incremental o absoluto multivuelta, o un potenciómetro multivuelta en el eje del cual se monta un carrete para el enrollamiento del cable).

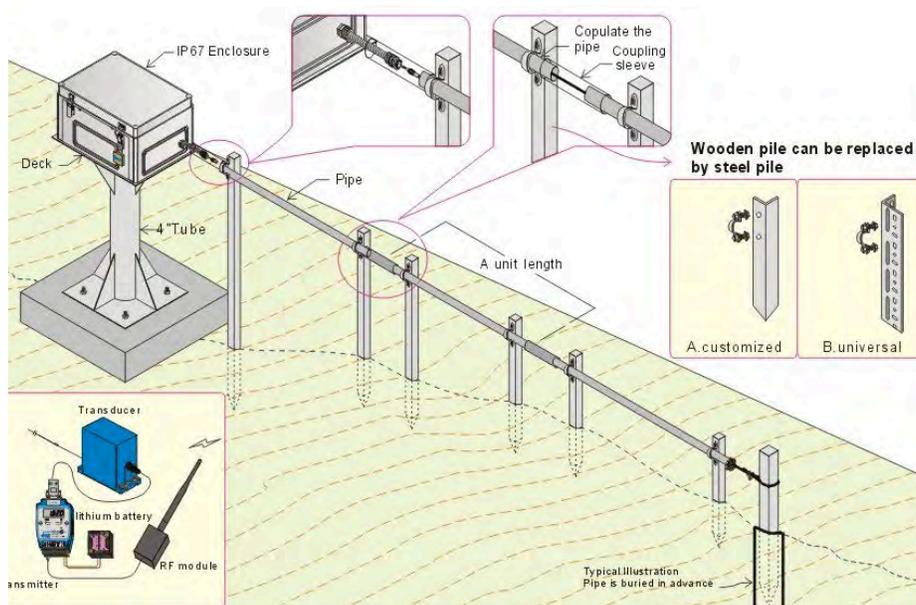
Resolución 0.1 o 1 mm. Con salida análoga y digital.



El funcionamiento y la posible aplicación de los extensiómetros de alambre se aprecia en el siguiente figura:



**Figura 2. Esquema, tomado de TWSI**



**Figura 3. Instalación del extensiómetro en una pendiente.**

Tomado de TWSI. El alambre corre en un tubo de plástico que sirve de protección.

## 11. Distanciómetro de ultrasonido, de bolsillo

con apuntador laser, hasta 10 m

Estos aparatos se obtienen en buenas ferreterías o por Internet, por ejemplo

<http://www.harborfreight.com/hand-tools/marking/ultrasonic-distance-meter-with-laser-pointer-67802.html>

14 US\$

No more hassle with a tape measure and a calculator! Measure distances between 2 ft. and 50 ft. with the push of a button.

- Dynamic measurement function displays distance while in motion
- Built-in laser pointer for added precision
- Memory recall and memory input
- Adds multiple readings of distance, area, volume
- Low battery indicator

Uses 9 volt battery, sold separately

Working range: 10 meters

Resolution: 1"

Accuracy: +/- 2%

Class II Laser, 1 mw

Wavelength: 650 nm

Shipping Weight: 0.40 lbs.



## 12. Sensores de Ultrasonido

Se pueden usar para monitorear la distancia a objetos relativamente grandes, por ejemplo una roca o una pared al otro lado de una grieta, río o cauce profundo. Funcionan hasta como 10 m de distancia. Hay una gran variedad, ver una lista en

<http://www.vision-supplies.com/Catalog.aspx?cid=2666>

por ejemplo: **Sick UM30-215115** Sensor Ultrasonico con Display, Rango 6000 (8000) mm

Precio 289 US\$, Peso 0.3 kg, Precisión 0.15 % (aprox. 10 mm)

Se conecta con una computadora para el monitoreo



## 13. Distanciómetros laser de bolsillo

Son más exactos que los distanciómetros de ultrasonido y funcionan a mayor distancia. Se obtienen en muy buenas ferreterías o por Internet, por ejemplo en

<http://www.nextag.com/laser-distance-meter/stores-html>

<http://www.fluke.com/fluke/usen/products/Laser-Distance-Meters?trck=distance>

[http://www.lascolaser.com/show\\_products.php?cat=Hand%20Held%20Distance%20Meter](http://www.lascolaser.com/show_products.php?cat=Hand%20Held%20Distance%20Meter)

Exactitud aprox. 2 mm., hasta 60 m

Precio hasta 200 US\$

p.ej. **AgaTape Handheld Laser Distance Measurer**

**195 US\$**

The new AgaTape from AGATEC Construction Lasers is a one-person measuring tool for distances up to 200 ft. (60 m). The AgaTape makes tape measures over 15' obsolete – the user aims, presses a button, and instantly has a measurement. It's a safe, cost-effective way to measure hard-to-reach places or long distances.



**Other features include:**

- Shortcut keys for addition, subtraction, area, and volume calculations
- Backlit LCD is very bright and easy-to-read, displaying 3 lines of data
- Timer delay: ideal for accurate measurement of long distances. Like a timer for a camera shutter, it reduces errors from shaking. Set the timer and the measurement is triggered automatically, while holding the AgaTape steady.
- Indoor and outdoor use: IP54 for water and dust resistance
- Soft grip sides for secure non-slip handling
- Compact, small size: 4.5" x 1.7" x 1" (112 x 43 x 25mm); 3.2 oz. (90g)
- Range: 2" to 200 ft. (0.05 to 60m)
- Accuracy:  $\pm 1/16"$  ( $\pm 1.5$ mm)
- Includes pouch with belt loop, carrying strap, 2 AAA batteries, manual
- Battery life: up to 5,000 measurements
- Two-year warranty

**Leica D210xt**

[http://www.lascolaser.com/product/Leica-DISTO-D210XT-Laser-Distance-Meter-The-Extra-Tough-Leica--Disto-for-Extreme-conditions\\_Qitem776110-3.html](http://www.lascolaser.com/product/Leica-DISTO-D210XT-Laser-Distance-Meter-The-Extra-Tough-Leica--Disto-for-Extreme-conditions_Qitem776110-3.html)

<http://www.lascolaser.com/pdfs/d210xt-manual.pdf>

**219US\$**

Typ. Accuracy  $\pm 1.5$  mm  
Range 1.6 in – 230 ft / (0.05 m – 70 m)  
Units 0.000m, 0'00"1/8, 0in1/8, 0'00"1/16, 0in1/16, 0.00ft  
Measurements per set of batteries 5.000  
Protection class IP 65 dust-proof and jet water protected  
Batteries 2xAAA  
Dimensions 4.80 in x 2.17 in x 1.10 in, (122 x 55 x 28 mm)  
Weight with batteries 5.6 oz.



## Leica D8

799 US\$,

Con Tilt sensor, con Bluetooth para transmisión al PC

[http://www.lascolaser.com/product/-DISTO-D8--Leica-Disto-Laser-Distance-Meter--Outdoor--Laser--Measuring--with-Bluetooth-Free-Next-Day-Air--\\_Qitem764558-3.html](http://www.lascolaser.com/product/-DISTO-D8--Leica-Disto-Laser-Distance-Meter--Outdoor--Laser--Measuring--with-Bluetooth-Free-Next-Day-Air--_Qitem764558-3.html)



| Features   | Your advantages   |
|--|---|
| Measuring range of 0.05 m / 0.16 ft up to 200 m / 650 ft; typ. accuracy $\pm 1.0$ mm / $\pm 0.04$ in | Precise, quick and reliable measurements  |
| BLUETOOTH®   | Error-free and quick data transfer to Pocket PC or PC   |
| Digital Pointfinder with 4x zoom and high resolution color display                                   | Convenient measuring to distant objects, even in strong sunlight                                    |
| 360° Tilt sensor   | Measure any slope overhead  |
| Indirect measurement functions with tilt sensor  | Determine distances to objects that cannot be measured directly because they lack reflective points |
| "Leica DISTO™ Transfer" software is included   | Easy transfer for further processing in Excel®, Word®, AutoCAD® or other Windows -based programs.   |
| AutoCAD® plug-in   | Convenient measurement of distant objects, even in bright sunlight.                                 |

## SICK Laser Distanciómetros

<https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=344&Category=Produktfinder&Selections=34241,34258>

Rango hasta 300 m



## 14. Inclinómetros

Son instrumentos para medir ángulos de inclinación y cambios de la inclinación de un objeto con respecto a la gravedad. Se usa en casos donde se espera que el deslizamiento genera

Ejemplos:

<http://www.riekerinc.com/Inclinometers.htm>

<http://www.riekerinc.com/ElectronicInclinometers.htm>

<http://www.riekerinc.com/E-Inclinometers/SlopeAlert.htm>

Available Options

- Single and Dual Axis
- Remote Angle Sensing Packages
- Input Ranges from  $\pm 4^\circ$  to  $\pm 100^\circ$
- Output Options:
  - > Analog 0-5V, > Serial RS232, > Open Collector Switch Outputs > Relay Switch (12VDC or 24VDC)
- Power Supply Options:
  - > 8-30VDC non-regulated, > 9V Battery
  - > 110VAC or 240VAC Wall Adaptor
  - > Cigarette Lighter Adaptor
- LCD Displays Angle in either:
  - > Degrees > Percent Grade
- 0.1° or 0.01° Display Resolution
- Relative Zero Button, Minimum / Maximum Angle Button
- Up to 4 Open Collector Switch Outputs, Adjustable Trip Angle Settings
- High Current-Sink Capability, Lamp/Solenoid/Relay Drive



## 15. Tripodes

Se usan para garantizar una base firme para los instrumentos de monitoreo y medición.

Se obtiene de madera, aluminio. Los precios oscilan entre **100 y 500 US\$**.

Una gran variedad se encuentra en

[http://www.lascolaser.com/show\\_products.php?cat=Tripods&keywords=http://www.lascolaser.com/show\\_products.php?cat=Tripods&sub\\_cat=Wood&keyword=](http://www.lascolaser.com/show_products.php?cat=Tripods&keywords=http://www.lascolaser.com/show_products.php?cat=Tripods&sub_cat=Wood&keyword=)

por ejemplo el Tripod - Aluminum W/Snap Clamp

[http://www.lascolaser.com/product/Tripod-Aluminum-WSnap-Clamp\\_QitemALQCI20.html](http://www.lascolaser.com/product/Tripod-Aluminum-WSnap-Clamp_QitemALQCI20.html)

**95US\$**



## **16. Theodolitos**

Para medir ángulo y distancia de un sitio de observación a uno o varios puntos dentro del deslizamiento.

Hay hasta equipos robóticos que realizan la medición cada cierto período para varios puntos y transmiten los datos a una central de monitoreo. En los puntos se instalan reflectores que facilitan la medición.



[http://www.lascolaser.com/show\\_products.php?cat=Instruments&sub\\_cat=Theodolites&keyword=](http://www.lascolaser.com/show_products.php?cat=Instruments&sub_cat=Theodolites&keyword=)

**1000 a 7000 US\$**

Mide distancia y ángulo hasta 600 m de distancia.

## **17. Métodos fotográficos**

### **17.1 Medición y documentación del movimiento de grietas, fisuras**

Con una simple cámara del teléfono celular es posible medir la distancia y documentar el movimiento. Es importante incluir en la foto siempre un objeto de comparación, por ejemplo una moneda. También se debe tomar la foto siempre de la misma posición.

Si se toman fotos de una área más grande que no tiene objetos de referencia muy marcados se pueden instalar puntos de control, por ejemplo postes de madera o concreto que se pintan en blanco.

### **17.2 Cámaras automáticas**

Algunas cámaras de alta calidad pueden ser controladas por computadora. Se pueden usar para tomar fotos y/o películas de alta resolución. Los costos oscilan entre 300 y 2000 dólares. Para algunas es posible cambiar los objetivos para adaptarlas a la distancia y el área a monitorear. Algunas incluyen detección de movimiento y pueden activarse automáticamente cuando comienza el movimiento de un deslizamiento o cuando la masa de rocas y/o lodo pasa por un determinado sitio. También se pueden activar por sencillos detectores de movimientos electro-mecánicos o magnéticos. De esta forma se puede documentar el movimiento. Las fotos o películas transmitidas en tiempo real a la central de monitoreo y alerta le dan al personal de turno una buena idea de la situación. Para funcionar también en la noche deben ser cámaras con sensores infrarrojos e iluminación infrarroja.

Cámaras automáticas con que se toman fotos en ciertos períodos permiten detectar movimientos lentos. Se comparan las fotos actuales con fotos tomadas en el pasado. La comparación puede ser realizada automáticamente por computadora. Se detecta que área en la zona vigilada se ha movido y se determina el tamaño del movimiento.

Si se toman fotos de una área más grande que no tiene objetos de referencia muy marcados se pueden instalar puntos de control, por ejemplo postes de madera o concreto que se pintan en blanco.

Para vigilancia nocturna se pueden usar las mismas cámaras pero se en los postes de referencia se instalan pequeñas lamparitas LED con el reflector dirigido hacia la cámara. Estos deben encenderse en la noche automáticamente con un dispositivo electrónico. Pueden tener un panel solar muy pequeño y barato para cargar la batería durante el día. El mismo panel puede controlar la LED con un solo transistor. Durante el día cuando el panel alimenta la batería el transistor desconecta el LED. En la noche el panel no tiene voltaje y el transistor conecta la lamparita. Se puede experimentar con LED infrarrojas para no llamar la atención en la noche y evitar que el sistema de referencia sea destruido por vándalos o curiosos.

### **17.3 Cámaras Web**

Se pueden usar cámaras web con servidor integrado (funcionan sin computadora externa) para monitorear una zona, y documentar el movimiento. Se obtienen en ferreterías o tiendas electrónicas o de cómputo buenas, o por Internet. Los precios varían entre 100 y 2000 dólares. Requieren acceso al Internet o una red local por cable, inalámbrica o satelital. Se pueden programar para detectar movimientos e iniciar acciones como enviar correos electrónicos, SMS, cerrar contactos de sirenas. Para funcionar también en la noche deben ser cámaras con sensores infrarrojos e iluminación infrarroja.

Algunas cámaras Web son tele controlables, se puede cambiar el zoom o el ángulo horizontal y vertical lo que permite observar una zona más amplia. Por otro lado son mejores las cámaras fijas para la medición y documentación porque cuando se da un deslizamiento rápido es probable que las móviles miren hacia otra dirección en este momento.

También pueden combinarse con un sistema de referencia similar como descrito para las cámaras automáticas con puntos de referencia para el día y la noche.

### **17.4 Fotografía estereoscópica**

Si se toman con la misma cámara dos fotos de un área desde dos puntos cercanos se obtiene un par de imágenes con que se puede crear un efecto estereoscópico o 3D. Una persona que mira estas imágenes con un visor 3D óptico o en la computadora o TV con un lente 3D obtiene una visión 4D de el área y consigue una impresión mucho más exacta de la situación que con una foto normal. Se pueden diferenciar mucho mejor los diferentes objetos por el efecto de la distancia.

La distancia ocular entre los puntos en que se toman las dos fotos debe ser alrededor de 0.1 a 10% de la distancia a los objetos que se quieren vigilar.

### **Medición y documentación del movimiento de toda un área**

Similar como descrito arriba se puede mejorar la calidad de la medición con puntos de control. Para distancias grandes los objetos de control deben ser más grandes. Pueden ser placas de plástico blanco de algunos centímetros hasta decímetros de diámetro.

## Anexo 12. Métodos sofisticados para el monitoreo de deslizamientos

### 1. Escáneres de laser

Un escáner de laser determina distancia a la zona de deslizamiento de monitoreo variando el ángulo horizontal y vertical y generando así una representación tridimensional. Esto se puede repetir en ciertos períodos y se obtiene el desarrollo de la superficie del deslizamiento versus el tiempo. Se pueden diferenciar zonas según la velocidad de su movimiento. Los escáneres de laser son equipos costosos, en el rango de algunas decenas de miles de dólares. Su aplicación se recomienda para zona con alto riesgo para una población grande.

Un ejemplo es

**Riegl VZ-1000** <http://www.microgeo.it/es/vz1000.php>

“La conocida tecnología Riegl de análisis de la forma de onda completa de la señal láser (FULL WAVE FORM), utilizada en los escáner laser aerotransportados, se introduce por primera vez en un escáner láser terrestre. Esto permite que el escáner laser Riegl. VZ1000, pueda superar zonas de sombra debidas a la vegetación. El nuevo escáner láser Riegl VZ1000 es el primer escáner con el tiempo de vuelo Clase 1, que alcanza velocidades de adquisición de 122.000 puntos / seg. Su grande alcance (> 1400 m) y su precisión (8 mm) hacen de él un instrumento extremadamente versátil y adecuado en numerosos campos de aplicación. VZ1000 con su tamaño y su peso contenidos (<10 kg) facilita su portabilidad. VZ1000 es el único escáner láser terrestre del mercado que tiene un sistema GPS, un sensor inclinométrico interno y una brújula integrada la para georeferenciación y la alineación de las varias tomas de datos. La adquisición de las tomas de datos se pueden realizar remotamente a través de interfaz LAN / WLAN o controladas directamente a través de un teclado y una pantalla integradas en el instrumento, guardando los datos en una memoria interna (8GB).



Características:

ALTA VELOCIDAD DE ADQUISICION 122.000 PTI/SEC

PESO REDUCIDO (<10 KG)

REDUCCIÓN DE LAS ZONAS DE SOMBRA DEBIDAS A LA VEGETACIÓN

SENSOR INCLINÓMETRICO INTEGRADO DE LÁSER Y PLUMA LASER

ANTENA GPS INTEGRADA

MEMORIA INTERNA

INTERFAZ DIRECTA CON IMU PARA APLICACIONES EN MOVIMIENTO

**Riegl LPM321** <http://www.microgeo.it/es/lpm321.php>

Alcance máximo de hasta 6 km. Riegl LPM321 permite realizar el levantamiento y monitorización de zonas de difícil accesibilidad. Su gran robustez le permite trabajar en condiciones ambientales extremas, gracias a un alto grado de protección. De hecho los principales campos de aplicación para el modelo 321 LPM son levantamientos puramente dedicados a objetivos geológicos y ambientales (monitoreo de los glaciares, montañas, tierras, etc.). El producto puede tener una interfaz con cámara externa métricas de alta definición.

**Características:**

- Rango de medición: 6 km
- Precisión: 25 mm
- Repetibilidad de las medidas: 10 mm (con promedia)
- Velocidad de adquisición: 10 - 1000 Pts/seg
- Divergencia láser de rango: 0.8 mrad
- Clase tipo de medida: la medición de la forma de onda completa de la señal para superar la vegetación
- Scan angle: 360° horizontal - 150° vertical



## 2. Radares

Una mayor precisión en comparación con los láseres se obtiene con los radares cuando se usa el método de interferencia. Los radares también son equipos caros, hasta el momento se construyen principalmente en laboratorios de investigación.

Ver por ejemplo el radar interferométrico de IBIS:

<http://idsaustralasia.com/Georadar/Interferometric-Radar-Products>

“Esta nueva tecnología, basada en la interferometría de radar permite la monitorización remota de los movimientos de grandes porciones de territorio (deslizamientos de tierra, taludes, volcanes, glaciares, etc) y de las estructuras (presas, puentes, torres, edificios, etc) con una precisión sub-milímetro.

IBIS tecnología revoluciona el método tradicional para medir los movimientos y deformaciones de los territorios y las estructuras, tanto en estático (desplazamientos lentos) y las mediciones dinámicas de vibración.



Sus características innovadoras incluyen:

**Monitoreo remoto:** capaz de monitorizar los desplazamientos sin ningún tipo de acceso necesario para el escenario de investigación y a una distancia de hasta 4 km.

**Control de área extensa:** hasta varios kilómetros cuadrados se puede controlar a la vez: mientras otros sensores medir el desplazamiento de un punto seleccionado en un momento, IBIS mide el desplazamiento simultáneo de todo el escenario en tiempo real

**Alta precisión:** sub-milimétrica precisión de la medición: 1 / 10 mm en situaciones normales, hasta 1 / 100 mm en las condiciones particulares.

Cualquier momento, en todo tiempo la operación: capaz de funcionar en todas las condiciones: día, noche, niebla y lluvia.

**Autonomía de funcionamiento:** el sistema puede funcionar de vigilancia en ejecución permanente o de largo sin intervención humana. En tiempo real de retroalimentación sobre el desplazamiento permite su uso como un dispositivo de alerta temprana.

**Medición dinámica:** IBIS no sólo permite el monitoreo continuo de desplazamientos lentos y deformaciones, pero también se puede medir las vibraciones estructura (las frecuencias de resonancia, los modos de vibración) de hasta 100 Hz.”

Un ejemplo de aplicación:



PHOTO COURTESY ALBERTA GEOLOGICAL SURVEY

## Watch kept on Frank Slide site

The Alberta Geological Survey has installed new ground radar to monitor the movements of Turtle Mountain, about 250 km south of Calgary. The mountain is the location of the infamous Frank Slide, which saw a rock slide bury the town of Frank in 1903, killing 70 people.

See story: Page 13

<http://idsaustralasia.com/AnnouncementRetrieve.aspx?ID=27989>

[http://www.idscopy.com/it/upload4/Image/Calgary\\_Sun.jpg](http://www.idscopy.com/it/upload4/Image/Calgary_Sun.jpg)

[http://www.ags.gov.ab.ca/geohazards/turtle\\_mountain/turtle\\_mountain.html](http://www.ags.gov.ab.ca/geohazards/turtle_mountain/turtle_mountain.html)

Ventajas en comparación con otras técnicas tradicionales son:

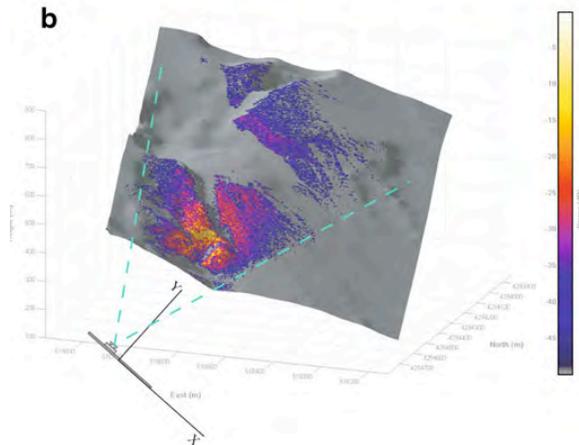
- Alcance hasta 4 km.
- Precisión de la medición del desplazamiento hasta 0.1 mm (0.001 en condiciones especiales).
- Mapeo 2-dimensional de movimientos simultáneos en tiempo real displacements over large areas (several km<sup>2</sup>)
- Sampling of movements every 5 minutes
- Autonomous operation
- Day-night, all weather operation

Otro ejemplo para el monitoreo, pronóstico y alerta de deslizamientos con radar interferométría de radar GBInSAR desarrollado por un grupo italiano y la Comisión Europea. (Casagli et al. 2010)

a) El radar se mueve a lo largo del riel (eje-x) debajo de él para realizar la apertura sintética



b) Esquema del concepto de adquisición del radar GBInSAR. Una imagen SAR es proyectada sobre un modelo de terreno del volcán Estromboli que se usa como ejemplo.



Las partes con color rojizo y amarillo se movieron más que las zonas en color azul.

Esta metodología también ha sido demostrado ante las autoridades nacionales y regionales de protección civil con el fin de proporcionar una monitoreo en tiempo real para la gestión de emergencias.

### **3. Fotos aéreas**

Se pueden encargar a empresas especializadas a hacer fotos aéreas de las zonas de deslizamientos. Comparando fotos actuales con fotos de hechos en el pasado se puede determinar el movimiento lento. Los costos son muy altos si se usan aviones normales.

En los últimos años se desarrollaron mucho los pequeños aviones tele controlados. Los aviones con motor de gasolina o batería eléctrica de alta potencia tienen un rango de algunos kilómetros hasta decenas de kilómetros, suben a alturas de miles de metros y pueden llevar cámaras fotográficas o de video. Tienen computadoras y GPS y pueden volar en una trayectoria pre programada o dirigido por una persona. El costo es de algunos miles hasta decenas de miles de dólares. Con estos aviones es posible tomar fotos de las zonas fuente de los deslizamientos que de otra forma son difícilmente accesibles o con altos costos usando aviones o helicópteros grandes. También se puede realizar fotos y videos de zonas afectadas y usarlos para que las instituciones de protección civil conozcan la situación y para hacer mapas de afectación.

Existen también globos dirigibles con similares características. Son más lentos pero se pueden mantener por cierto tiempo inmóvil sobre un sitio y hacer mediciones o tomar fotos. Solo trabaja cuando la velocidad del viento no sea demasiado fuerte.

### **4. LIDAR**

Lidar son escáneres laser que se usan desde un avión. Mientras en avión sobrevuela una zona se determina con el escáner la forma del terreno de la zona y graba la información. La precisión es de algunos centímetros. Se repite la medición después de un tiempo y comparando las formas de terreno (modelo de terreno) se detectan las zonas de deslizamientos. El costo es muy alto.

(compara con cap. 17 de este Anexo)

### **5. Radar interferimétrico desde avión**

Con estos radares se puede determinar la forma del terreno con una precisión de algunos milímetros. Con mediciones repetidas se detectan las zonas de deslizamiento y la velocidad del movimiento. El costo es muy alto.

(ver cap.18 de este Anexo)

## **6. GPS de precisión**

### **6.1 GPS de mano**

Los GPS de mano o también GPS que tienen un costo de 10 a 1000 dólares o los GPS de los teléfonos celulares son muy útiles para hacer mapas de afectación, ubicar los sitios de las estaciones de monitoreo y de objetos bajo riesgo.

No son adecuados para determinar el movimiento de un deslizamiento lento porque su precisión es de solo algunos 5 a 20 metros.

### **6.2 GPS de precisión**

A veces se recurre a GPS de precisión para monitorear un deslizamiento lento, especialmente si no hay otro equipo adecuado disponible. Tienen un costo de 5-20,000 dólares.

GPS de precisión pueden tener una resolución en el rango de algunos milímetros pero su uso es dilatado. Para alcanzar esta precisión deben medir durante todo un día y después se deben aplicar correcciones que se obtienen por INTERNET, lo que puede dilatar varios días.

Se pueden usar de dos maneras.

1. Medición de puntos geodésicos previamente instalados con uno o varios equipos que se trasladan de un hito al otro, en campañas de medición.
2. Medición con GPS permanentes o continuos, es decir se dejan instalados permanentemente en un solo lugar. Se registran en una memoria interna, en computadora o se transmite a un centro de monitoreo.

Además se puede usar uno o varios GPS de referencia, equipos que existen o se instalan en lugares cercanos (algunos kilómetros hasta decenas de kilómetro). La posición relativa de los GPS se puede determinar con mucha mayor precisión que la posición absoluta.

La aplicación de GPS para el monitoreo de deslizamientos en tiempo real usando telemetría se describe en Cornejo (2004).

## 6. Comparación de la precisión de diferentes técnicas de medición

La siguiente tabla presenta una comparación de la precisión alcanzada por las diferentes técnicas de monitoreo de deslizamientos (tomado de Savvaidis, 2002) :

| <b>Table 1. Precisión alcanzada por las diferentes técnicas del monitoreo de deslizamientos)</b> |                                    |                                   |   |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| <b>Método de medición</b>  | <b>Parámetro de desplazamiento</b> | <b>Distancia entre los puntos</b> | <b>Precisión típica/<br/>Rango de distancia</b> |
| <b>Cinta de metal o alambre de invar</b>   | Distancia                          | <30m                              | 0.5mm/30m                                       |
| <b>Extensiómetro de alambre fijo</b>   | Distancia                          | <10-80m                           | 0.3mm/30m                                       |
| <b>Inclinómetro</b>  | Ángulo de Inclinación              | ±10°                              | ±(5-10mm± 1-2 ppm)                              |
| <b>Triangulación, Trilateración</b>  | Dx, Dy, Dh                         | < 300-1000m                       | 2-10mm  |
| <b>Traversas</b>   | Dx, Dy, Dh                         | variable                          | 5-10mm  |
| <b>Estación total robótica</b>   | Dx, Dy, Dh                         | <100m                             | 1-3 mm  |
| <b>Medición geodésica precisa</b>  | Dh                                 | 10m<br>100 m                      | 0.1 mm<br>0.2 -1 mm / km                        |
| <b>Medición electromagnética de distancia</b>  | Distancia                          | variable                          | ± (1-5 mm± 1-5 ppm)                             |
| <b>Fotogrametría Terrestre</b>   | Dx, Dy, Dh                         | <100m                             | ±10mm   |
| <b>Fotografía Aérea</b>  | Dx, Dy, Dh                         | variable                          | 10 cm   |
| <b>GPS L1/L2static</b>   | Dx, Dy, Dh                         | <50Km<br>< 1-2 km                 | ±(5mm±2ppm)<br>±(1-3mm±2ppm)                    |
| <b>RTKDGPS (diferencial)</b>   | Dx, Dy, Dh                         | variable                          | ± (5 mm ±2 ppm)                                 |
| <b>CGPS (continuo)</b>   | Dx, Dy, Dh                         | variable                          | ±2-3mm  |
| <b>Radar interferométrico</b>  | Dx, Dy, Dh                         | <5Km                              | 0.01-1 mm                                       |

## Anexo 13. Actuadores y switches para la alarma, sirenas

Los equipos para el continuo monitoreo y la medición de los deslizamientos suelen ser complejos y requieren de energía eléctrica, permanentemente. Siempre es un problema la alimentación eléctrica de los equipos electrónicos en sistemas de monitoreo y alerta instalados en zonas remotas de difícil acceso cuando deben funcionar por años o décadas. Los paneles solares con que se trata normalmente resolver este problema llaman desde lejos la atención con su gran superficie brillante. Hoy día inclusive en los lugares más remotos ya se conoce su utilidad: Las personas necesitan recargar teléfonos celulares, radios y televisores, computadoras móviles y por lo tanto como antes las baterías de carro ahora también los paneles solares se han convertido en objetos de robo.

Si se trata solamente de dar un aviso cuando una grieta se abre más que un determinado umbral, un movimiento rápido comienza en alguna parte o una avalancha o un flujo pasa por algún sitio y podría alcanzar de inmediato las casas bajo amenaza se pueden usar elementos muy sencillos y confiables que no requieren de energía permanentemente o consumen muy poca energía.

### 1. Sistemas mecánicos

En los deslizamientos sobra la energía mecánica y una parte infinitamente pequeña de ella puede ser usada para mover una palanca que activa un sistema mecánico, que hace sonar un tubo de acero, un tubo de riel o una campana.

### 2. Sistemas mecano-eléctricos

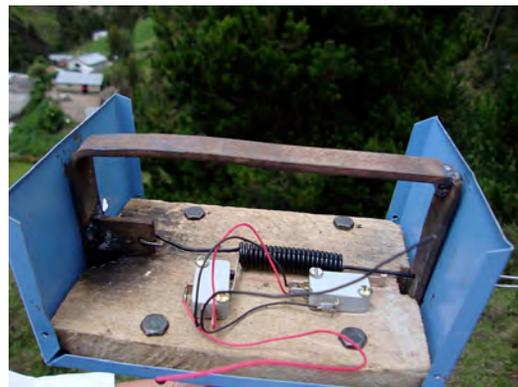
Puede ser un simple switch que una vez activado conecta una batería con un dispositivo de alarma como una sirena, radio de comunicación, luz intermitente.

Lo siguiente se tomó de DIPECHO 6, Ecuador (2010):

*“Este dispositivo accionará automáticamente una sirena en caso de producirse un deslizamiento o derrumbe. Está ubicado en las zonas de mayor riesgo en la comunidad, y se colocará en comunidades en donde podría presentarse deslizamientos rápidos en los que se necesita que la alerta sea inmediata.*

*El sistema consta de una serie de postes metálicos colocados estratégicamente a lo largo de la zona de posible deslizamiento, estos postes están conectados mediante un cable de acero tensado hasta una caja ubicada fuera de la zona de amenaza, los postes tiene una altura de 2,50 mts sobre el terreno lo que nos asegura que el cable no vaya a ser movido accidentalmente y pueda causar daño.*

*La caja adonde va el cable tiene un interruptor electrónico que se acciona cuando aumenta o disminuye la tensión del cable, esto podría producirse en caso de que por motivo de un deslizamiento se mueva un poste. El interruptor envía una señal a un sistema electrónico (Anexo 2) ubicado en un UPS el que nos asegura que el sistema funcione en caso no haya electricidad en ese momento. El UPS es conectado en una casa de uno de los beneficiarios*



del sistema al cual se le indica su funcionamiento. El sistema electrónico colocado en el UPS controla el funcionamiento de una sirena la cual está ubicada en un lugar cerca de la casa y que nos asegura que se pueda escuchar especialmente por la población que se beneficia del sistema. La sirena sonará durante tres minutos con un lapso de interrupción de 10 segundos entre cada minuto. Si el sistema quedó activado, volverá a sonar la sirena dentro de 10 minutos.

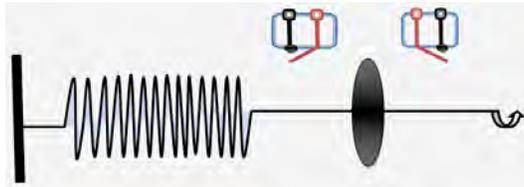
El sistema tuvo una variación en San Bernardo puesto que el problema en este lugar es el desprendimiento de piedras en épocas de lluvias, por lo que en este caso a más de el cable se puso una malla de cerramiento que ayudaría a sostener si una o más piedras que podrían desprenderse. Con el impacto de las piedras se accionará la alarma para alertar de la amenaza.



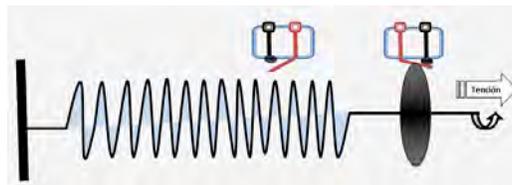
El Sistema está diseñado para que no se active por accidente, puesto que el cable está alto y un pequeño movimiento del poste tampoco lo activa, pero se pueden provocar falsas alarmas en caso de que alguien intencionalmente vire un poste o se cuelgue del cable. “

#### “Funcionamiento

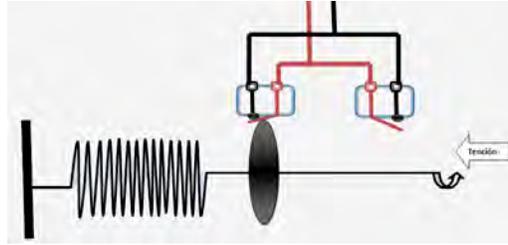
1.- La caja con sensores de tensión trabajan de la siguiente manera, debe tener una tensión inicial para que quede en la posición de la siguiente figura.



2.- Al realizar una tensión accionara a un micro interruptor derecho que dará un pulso y llegara a la caja de control para accionar una sirena.



3.- Al perder una tensión accionara a un micro interruptor izquierdo que dará un pulso y llegara a la caja de control para accionar una sirena.



Los sensores están controlados con un microchip para que realicen funciones específicas:

- El sensor de carga permitirá carga a las baterías del Ups cada cierto tiempo ya programado.
- El sensor de luz nos indicara si existe energía.
- El sensor power se utiliza para encender o apagar al Ups.
- El sensor temporizado o de sirena controla el encendido de la sirena para que se prenda 3 veces y se apague automáticamente.
- El sensor de tensión nos indica la alerta cuando gane o pierda tensión prendiendo automáticamente el Ups con el sensor power, consumiendo energía o batería con el sensor luz y controlando el encendido de la sirena para que se prenda 3 veces y se apague automáticamente con el sensor temporizado. “

### 3. Sistemas con elementos Reed

En vez de un interruptor eléctrico como en el ejemplo de Ecuador puede ser más favorable usar elementos Reed.

Reed Switches son elementos muy baratos con que se puede activar una sirena u otro dispositivo eléctrico de alarma. Los elementos Reed son sensibles al campo magnético y abren o cierran un contacto cuando se acerca o aleja un imán.

Los sensores básicos Reed se ofrecen p.ej. en:

Sparkfun por **1.50US\$** <http://www.sparkfun.com/products/8642>

5hertz, algunos dólares, <http://www.5hz-electronica.com/interruptordelminasreedswitch.aspx>

Soluciones un poquito más caras usan un juego de Reed Switch con su imán montados en cajitas de plástico. Se encuentran por ejemplo en la pagina de Amazon. Buscando “Reed Switch” se llega a [http://www.amazon.com/s/ref=nb\\_sb\\_noss?url=search-alias%3Delectronics&field-keywords=reed+switch&x=0&y=0](http://www.amazon.com/s/ref=nb_sb_noss?url=search-alias%3Delectronics&field-keywords=reed+switch&x=0&y=0) donde se ofrece una variedad de estos.

Los precios: Directed Electronics **US\$9.22**, Parts Express **US\$3.25**, Reed Switch and Magnet Assembly **US\$4.10**. Se usan cotidianamente para indicar cuándo puertas o ventanas se abren o cierran. Posiblemente, se pueden encontrar en ferreterías o tiendas locales que venden elementos eléctricos.



Reed Switch con su imán

### **Como usar los elementos Reed para la alerta de deslizamientos?**

Si se acerca el imán al elemento Reed, este cierra o abre un contacto. La distancia entre los dos en que se efectúa la actuación puede estar entre un milímetro hasta un centímetro. Hay elementos que abren un contacto y cierran otro al mismo momento. Igualmente, si se remueve un imán que estaba ubicado cerca del elemento Reed, este también abre o cierra sus contactos, pero de manera reversa. Así podemos construir fácilmente un sensor que activa una sirena u otro medio de señalización acústica, óptica o electrónica cuando un imán se acerca o se aleja.

#### **Ejemplo 1: Con tablas de madera**

Se fija el Reed Switch en una madera (hay que insertarlo en una pequeña fisura alargada que se abre en la superficie de la madera, o un pequeña perforación que se abre con un taladro debajo de la superficie de la tabla, se protege con laco o pintura) que está ubicada a un lado de la fisura y alineada sobre otra madera en que se coloca un imán. Cuando ocurre un movimiento entre las dos maderas, el imán se acerca al elemento Reed, este cierra el contacto y la sirena suena. Si la sirena sigue sonando por mucho tiempo el movimiento es lento y el peligro no es tan alto. Si se apaga rápido, el imán pasó rápido y la tierra está en movimiento veloz. Mejor busquemos como salvarnos.

Podemos colocar dos imanes o dos elementos Reed en el equipo y nos dará información más detallada sobre el movimiento. Del tiempo que pasa entre las dos activaciones de la sirena realmente podemos calcular la velocidad del deslizamiento.

#### **Ejemplo 2: Con tubos de plástico**

Se fijan dos imanes cilíndricos en una barra de plástico o aluminio de pequeño diámetro. Ahora se mete esta configuración en un tubo de mayor diámetro en que alcanzan bien los dos imanes. Afuera del tubo de plástico se pega un elemento Reed. Con esta configuración, tenemos también la ventaja de poder generar varias señales de sirena permitiéndonos estimar la velocidad del deslizamiento. Si montamos los dos imanes a una distancia de 10 centímetros, la sirena suena cuando se acerca el primer imán y después cuando lo hace el segundo. El tiempo entre las dos señales indica la velocidad del movimiento.

#### **Ejemplo 3: Con una rueda.**

Se monta el imán en la periferia de una rueda. Sobre la periferia de la rueda se monta el elemento Reed suficientemente cerca para que el imán lo active cuando pase por él con cada rotación de la rueda. El final de un alambre de acero enrollado en la rueda se fija en el bloque de tierra que se sospecha va a moverse. Con la frecuencia en que se activa la sirena se puede derivar la velocidad del movimiento. Si la rueda tiene un diámetro de 40 cm (rueda de bicicleta) cada vuelta (y cada señal de sirena) significa un nuevo movimiento de aprox. 120 cm (exactamente  $40 \times 3.14$  cm, es decir diámetro multiplicado por la constante Pi). Se pueden montar varios imanes en la rueda. Su cantidad se adaptaría a la velocidad del movimiento que se espera.

La ventaja es que el alambre puede ser bastante largo, algunos metros hasta decenas de metros. Lo dejamos sobre la tierra o en un tubo de plástico. Es decir con esta construcción se puede monitorear un movimiento lento que se sospecha podría convertirse en uno rápido y desastroso. Si se anota la hora en que suena la sirena se puede verificar si el movimiento se acelera.

### **Que tipos de sirenas pueden activar los elementos Reed?**

Los elementos Reed pequeños y baratos aguantan corrientes eléctricos de aproximadamente 1 amperio. Con mayores corrientes existe el peligro que se peguen. Si se usa con un voltaje de 110 Voltios eso es suficiente para activar una sirena pequeña con una potencia hasta 110 W (110 Voltios \* 1 Amperio = 110 Watios). Si se usa con una batería carro de 12 Voltios solamente puede switchear al máximo 12 Watios, que es muy bajo. Pero podemos usar un relé (relais) para potenciar el amperaje. Es decir, el elemento Reed activa el relé y el relé activa la sirena. Así, usando un relé pequeño que puede switchear 10 amperios logramos activar una sirena electrónica de 120 W con una batería de carro. Aplicando el relé de 10 Amperios a un voltaje de 120 V podemos activar sirenas de 1200 W, que ya es bastante potencia.

Un estudiante de electrónica o informática puede construir un equipo que cuenta cada impulso y registra su hora. Podría inclusive transmitir el dato por radio o celular a una central de registro. Así ya se realizaría un equipo que mide el avance del deslizamiento.

### **Ejemplo 3: Con un alambre o mecate.**

Un final de un alambre se fija en el bloque que posiblemente se moverá, el otro fin se fija en un imán. El imán colocamos sobre un elemento Reed que está anclado en la tierra al otro lado de la fisura. Tiene dos contactos. Él, que está abierto en la presencia del Imán, conectamos con la sirena. Cuando se mueve la tierra, el alambre halla el imán, el contacto del elemento Reed se cierra y se activa la sirena.

### **Ejemplo 4. Monitoreo de grandes áreas con elementos Reed**

Los elementos Reed son muy baratos y no gastan energía. Se pueden ajustar con el imán para que se detecten movimientos de pocos milímetros. Se pueden combinar con una sirena electrónica pequeña (de carro) y algunas baterías AA de 1.5 V para ensamblar un equipo pequeño y barato. Buenas baterías AA conservan su energía por meses, hasta años y todo el equipo gastaría energía solamente cuándo se activa el elemento Reed. De estos equipos, se pueden colocar varios sobre las fisuras y fallas que se observan en una zona habitada que se encuentra bajo peligro de deslizamiento. Cuando una o varias fisuras se abren, las sirenas se activan y alarman a las personas.

Se instruiría a los pobladores sobre que deben hacer cuando suena la alarma. Al menos, pueden verificar, que está pasando. Si solamente un equipo sonó y si no se observa algún movimiento peligroso deben anotar la hora cuando se activó la sirena. Después apagan y acogen el equipo, e informan a los responsables de SAT. Estos anotan la hora de la activación y el número/ubicación del equipo, verifican su buen funcionamiento y lo reinstalan.

Cuando varios equipos suenan dentro de poco tiempo, se puede derivar que toda el área comenzó a moverse y los pobladores deben pensar cómo ponerse a salvo.



## 5. Sirenas

Hay una gran variedad de sirenas con precios de algunos dólares (sirenas electrónicas pequeñas, sirenas de vehículo), sirenas que usan los carros de la Cruz Roja o bomberos que cuestan algunos centenares de dólares y sirenas grandes y muy grandes que pueden costar miles a decenas de miles de dólares. Por ejemplo:

<http://www.hoermann-gmbh.de/en/sirens.html>

[http://www.whelen.com/\\_MASSNOTIFICATION/massnotification.php](http://www.whelen.com/_MASSNOTIFICATION/massnotification.php)

| Tipo de sirena                               | Fuente eléctrica  | Voltaje     | Watteaje | Alcance           | Costo en US\$ |
|--|---|-------------|----------|-------------------|---------------|
| Pequeña, electrónica (p.ej. de carro)        | Baterías AA, batería de moto o de carro                                       | 12 V        | 50 W     | 100 m             | 10-100        |
| Mediana electrónica                          | Batería de moto o de carro, con cargador o panel solar                        | 12 V        | 500 W    | 500 m             | 100 – 1000    |
| Grandes, electrónicas o electromecánicas     | Batería de ciclo profundo, mantenido con cargador o paneles solares           | 12 V o 120V | 2000W    | 1 kilómetro       | 1,000-10,000  |
| Muy grandes, electrónicas o electromecánicas | Banco de baterías de ciclo profundo, mantenido con cargador o paneles solares | 110-240 V   | 5000 W   | varios kilómetros | Más de 10,000 |

La potencia de una sirena se expresa en dB (decibel) que es una medida logarítmica para medir la fuerza relativa de sonidos. Las sirenas pequeñas tienen aproximadamente xyz dB a una distancia de 30 metros mientras las más grandes tienen 130 dB.

En vez de sirenas se pueden usar también altoparlantes o cadenas de altoparlantes. Tienen la ventaja de poder transmitir por voz un contenido variable en los mensajes de alerta.

Hay sirenas que emiten aparte de los típicos sonidos de sirena también voz. Estas también se pueden usar para transmitir a la población transmitir por voz un contenido variable.

El alcance de las sirenas depende de su potencia, de su ubicación y altura en relación con las casas o edificios, y el relieve del paisaje.

Para la alerta temprana, las sirenas deben ser suficientemente potentes para despertar a la población en la noche.

Factores que se deben considerar en la selección de las sirenas se discuten en la siguiente página: [http://www.whelen.com/\\_MASSNOTIFICATION/warnfaq.php](http://www.whelen.com/_MASSNOTIFICATION/warnfaq.php). Hay programas en el Internet que ayudan a estimar el alcance de una sirena, por ejemplo:

[http://www.whelen.com/\\_MASSNOTIFICATION/WEPlan/index.php](http://www.whelen.com/_MASSNOTIFICATION/WEPlan/index.php).



## Anexo 14. Proyectos en Centroamérica relacionados con la Alerta Temprana de Deslizamientos

Se elaboró una lista de proyectos que tienen relación con el tema de la alerta de deslizamientos en Centroamérica. Se basa para el tiempo hasta 2006 en una recopilación realizada dentro del proyecto Georriesgos en Centroamérica por Schmidt (2005) para Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua y proyectos regionales. Se agregaron los programas nacionales permanentes y algunos datos de proyectos de los últimos años. La lista no se considera completa. También existen menciones dobles porque algunos proyectos se realizaron a nivel nacional y regional. Para Costa Rica y Panamá no se pudo obtener una compilación similar.

La lista incluye 90 proyectos (Guatemala 22, El Salvador – 19, Honduras – 16, Nicaragua – 24, regionales – 9).

### Guatemala

| Título de Proyecto  | Institución Nacional | Cooperación externa | Inicio | Fin        | Objetivos  | Áreas de Actuación  | Temas a desarrollar   |
|---|----------------------|---------------------|--------|------------|--|---|---|
| 1 Sistema de monitoreo nacional de CONRED                   | CONRED               |                     |        | permanente |  | volcanes de Guatemala y zona montañosa  |   |
| 2 INSIVUMEH monitoreo volcánico nacional incluyendo lahares | INSIVUMEH            |                     |        | permanente |  |   |   |
| 3 Monitoreo meteorológico nacional                          |                      |                     |        |            |  |   |   |
| 4 Proyecto Post Mitch                                       | CARE                 |                     | 1999   | 2001       | Fortalecimiento comunitario para la preparación y reducción del riesgo a desastres de la población | Alta Verapaz / Tamahú, Tucurú, La Tinta, Panzós, Senahú, Panzós, Cahabón, Carchá, Chamelco. Baja Verapaz / Purulhá. | 1) Evaluación de vulnerabilidades para identificar 25 comunidades con mayor riesgo a desastres; 2) Organización de Comités Voluntarios Locales; 3) Planes de prevención y reducción del riesgo; 4) Capacitaciones para estar preparados y responder ante efectos de desastres, mediante manejo de información sismológica, meteorológica, hidrológica y geográfica; 5) Coordinación con la SECONRED; 6) Campañas educativas relacionadas a prevención y reducción de riesgos a desastres. |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|   |   |  |  |      |            |  |  |  |
|---|---|--|--|------|------------|--|--|--|
| 5 | Proyecto Iniciativa Centroamericana de Mitigación -CAMI-  | CARE   |  | 2001 | 2004       | Fortalecimiento de capacidades en respuesta y reducción de riesgos a desastres en 25 comunidades de 6 municipios (5 de la cuenca del Polochic y 1 municipio de Baja Verapaz).        | Paises: Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala. Caso Guatemala: Departamento de Alta Verapaz / Tamahú, Tucurú, La Tinta, Senahú, Panzós. | 1) Línea Base; 2) Diagnósticos Comunitarios; 3) Diseño, formulación e impresión de currículo y ocho módulos de capacitación en gestión del riesgo; 4) Organización de Coordinadoras Municipales y Locales; 5) Formación de capacidades municipales y locales en gestión del riesgo; 6) Convenios de cooperación entre SECONRED, Municipalidades, Universidad de San Carlos y CARE; 7) Diplomado en Gestión del Riesgo en cooperación con la Universidad de San Carlos de Guatemala; 8) Pequeñas obras de mitigación; 9) Inclusión del enfoque de gestión del riesgo en la currícula educativa del Ministerio de Educación. |
| 6 | Emergency Capacity Building -ECB-   | CARE   |  | 2005 | 2006       | Fortalecimiento de capacidades en reducción de riesgos y preparación de la respuesta a emergencias / desastres.  | Guatemala / departamento: Senahú, Alta Verapaz.  | 1) Organización comunitaria; 2) Capacitación; 3) Pequeñas obras de mitigación; 4) Campañas de prevención.  |
| 7 | Formación Docente en el Abordaje de Gestión para la Reducción del Riesgo a Desastres, en el sector escolar del Ministerio de Educación. En el marco del proyecto de Gestión para la Reducción del Riesgo a Desastres -PROHABITAT- | CARE, PNUD   |  | 2007 | 2008       | Fortalecer la institucionalización de los procesos educativos para la reducción de riesgo a desastres en el sector escolar de la educación   | Guatemala / departamentos: Sololá y San Marcos.  | 1) Capacitación de la franja de supervisión, directores y docentes; 2) Diseño y formulación de instrumentos sistematizados para la comunidad educativa; 3) Sensibilización y capacitación de padres de familia, alumnos y alumnas; 4) Aplicación de conocimientos por alumnos y alumnas.   |
| 8 | Sistemas de alerta temprana en los volcanes de Pacaya y Fuego.  | GTZ  |  | 2002 | permanente | Sistematización y documentación del proyecto : Sistemas de alerta temprana en los volcanes de Pacaya y Fuego.  | Escuintla y Sacatepequez   | Sistema de Alerta Temprana a erupciones volcánicas   |
| 9 | Proyecto : Monitoreo geofísico del volcán Pacaya  | Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales (CIMDEN) |  | 2000 |            | desarrollar y poner en operación una infraestructura de sensores geofísicos de tipo experimental para el monitoreo de señales precursoras relacionadas con la actividad eruptiva del | Volcan Pacaya, Escuintla Guatemala   | Monitoreo  |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |   |      |  |  |  |   |                                    |
|----|---|---|------|--|--|--|---|------------------------------------|
| 9  | Medidas de mejoramiento de viviendas y de urbanismo como parte de la GLR : Versión preliminar | Proyecto para el Fortalecimiento de Estructuras Locales en la Mitigación de Desastres (FEMID)Alemania. Deutsche Technische Zusammenarbeit (GTZ)   | 2001 |  |  | Fortalecer estructuras locales de gestion del riesgo | Escuintla                                       | Gestion del Riesgo                 |
| 10 | Experiencias y propuesta de un sistema de alerta local para incendios forestales              | Proyecto Prevención y Control Local de Incendios Forestales (PRECLIF II)Alemania. Cooperación Técnica Alemana (GTZ)   | 2002 |  |  | Monitorear Incendios Forestales                      | Ciudad de Guatemala                             | Prevención de Incendios Forestales |
| 11 | Clasificación de lahares Volcán de Santiaguito  | Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Centro Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC), Proyecto para el Fortalecimiento de Estructuras Locales en la Mitigación de Desastres (FEMID) | 2000 |  |  | Clasificar Lahares del Volcán Santiaguito            | Volcan Santiaguito, Quetzaltenango y Retalhuleu | Mapeo y clasificación de Lahares   |
| 12 | Estudio de riesgo geológico causado por remoción en   | Instituto Nacional de Sismología,   | 1995 |  |  | Riesgos por movimientos de masas en la Ciudad de     | Ciudad de Guatemala                             | Estudios de Riesgo Geológico       |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |   |                          |  |  |   |
|----|---|---|--------------------------|--|--|---|
|    | masa en la ciudad de Guatemala y áreas aledañas<br>: Informe preliminar :<br>Fotointerpretación parcial y conclusiones iniciales  | Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)   |                          |  | Guatemala  |   |
| 13 | Zonificación de amenazas naturales en la cuenca del río Samalá y análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, Centro América | UNESCO; Instituto Aeroespacial de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC); Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres (CEPRENAC); Coordinadora Nacional para la Reducción de los Desastres (CONRED) | 2003                     |  | Zonificar zonas de Amenazas Naturales  | Cuenca del Río Samalá, Retalhuleu, Guatemala<br><br>Amenazas Naturales, Vulnerabilidad y Gestión del Riesgo   |
| 14 | Diagnóstico de riesgos en la zona del Trifinio de Guatemala   | Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales (CIDMEN)  | 2001                     |  | Riesgos en la zona del Trifinio  | Riesgos, amenazas y Vulnerabilidad  |
| 15 | Plan de contingencia de protección escolar  | Ministerio de Educación   | 2000                     |  | Fortalecer la respuesta de las escuelas ante desastres Naturales   | Republca de Guatemala<br><br>Gestion del Riesgo   |
| 16 | Cartografía básica y determinación de amenazas a inundaciones y deslizamientos  | JICA  | 2001-2003                |  | Actualización de cartografía a escala 1:50,000 del sur de la república de Guatemala, elaboración de mapas de amenaza por inundación, erupción volcánica, geológicos y deslizamientos | Zona Sur de Guatemala (Escuintla, San Marcos, Santa Rosa, Jutiapa, Quetzaltenango, Retalhuleu, Guatemala y Suchitepequez)<br><br>Cartografía básica y mapas de amenazas |
| 17 | Programa Permanente Santiaguillo-Samalá (SANSAM)  | SE-CONRED   | En ejecución inicio 2005 |  |  |   |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |           |  |      |      |   |   |  |
|----|---|-----------|--|------|------|---|---|--|
| 18 | Implementación de un Sistema de Alerta Temprana, Volcan de Fuego  | JICA      |  | 2007 |      | Establecer un Sistema de Alerta Temprana para el manejo del riesgo ante la actividad del Volcan de Fuego  | departamentos de Chimaltenango, Escuintla y Sacatepéquez. | Elaboración del POA 2007 preliminar, Socialización y Coordinaciones con las instituciones presentes en las comunidades |
| 19 | Fortalecimiento de las capacidades de Preparación para Desastres en Asentamientos urbanos en el departamento de Guatemala   | OXFAM-UK  |  | 2007 | 2008 | Fortalecer las capacidades de Preparación para Desastres en Asentamientos urbanos en el departamento de Guatemala   | Departamento de Guatemala                                 | Preparación para Desastres   |
| 20 | Fortalecimiento de los Sistemas de Radio Comunicación de CONRED   | SE-CONRED |  | 2005 | 2006 | Fortalecimiento de los Sistemas de Radio Comunicación de CONRED   |   | Fortalecimiento de los Sistemas de Radio Comunicación de CONRED  |
| 21 | Programa Reducción de Riesgos en el proceso de Reconstrucción del Habitat Comunitario   | PNUD-CARE |  | 2007 |      | Formación a Docentes en el abordaje de la reducción de riesgo a desastres en el Sector Escuelas del MINEDUC   |   | Capacitaciones en el sector de la reducción de riesgo a desastres en el sector escuelas del MINEDUC                    |
| 22 | Fortalecimiento para la Coordinación Local de la Gestión de Riesgo y Respuesta Inmediata a Emergencias y Desastres en Áreas de Alto Riesgo por Deslizamiento en Regiones IV y VII de Guatemala. (parte de DIPECHO IV) |           |  | 2005 | 2006 | Fortalecimiento para la Coordinación Local de la Gestión de Riesgo y Respuesta Inmediata a Emergencias y Desastres en Áreas de Alto Riesgo por Deslizamiento en Regiones IV y VII de Guatemala. | Regiones IV y VII de Guatemala.                           | Respuesta antes desastres naturales  |

## El Salvador

| Título de Proyecto  | Institución Nacional | Cooperación externa                    | Inicio | Fin        | Objetivos  | Áreas de Actuación             | Temas a desarrollar   |
|---|----------------------|--|--------|------------|--|--------------------------------|---|
| 1 Sistema del Monitoreo Volcánico y Geológico   | SNET-MARN            |  | 2002   | permanente |  |                                |   |
| 2 Sistema del Monitoreo Hidrometeorológico  | SNET-MARN            |  | 2002   | permanente |  |                                |   |
| 3 Sistema de Protección Civil   | Protección Civil     |  |        | permanente |  |                                |   |
| 4 BID/OEA/CBB CASCOS BLANCOS  | MARN-SNET            | OEA Y BID                              | 2003   |            | Elaborar un programa de gestión de riesgos participativo y asistido en la Cuenca Binacional del Río Paz.   | Guatemala-El Salvador          | Gestión de riesgo y Sistemas de Alerta Temprana   |
| 5 Asistencia para la Prevención de Desastres Causados por Deslizamientos en El Salvador | MARN-SNET            | NGI (Norwegian Geotechnical Institute) | 2002   |            | Instalación de 2 estaciones meteorológicas para estudiar y determinar umbrales de generación de deslizamientos- Identificación de áreas de amenaza por deslizamientos y condiciones geotécnicas de las laderas del volcán San Vicente.- Capacitación del personal de Geología y asesoría para la revisión de la norma de cimientos y taludes | Zona del Volcán de San Vicente | Estudios y monitoreo volcánico  |
| 6 FORGAES (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador)                      | MARN-SNET            | Unión Europea                          | 2002   | 2007       | El objetivo general es el de fortalecer la gestión ambiental a nivel central y local, contribuyendo al desarrollo sostenible   | Nacional                       | Fortalecimiento Institucional, Legislación Ambiental, Protección de Recursos Hídricos, Comunicación, Educación Ambiental y Participación Ciudadana, Género y Medio Ambiente, Gestión del Riesgo |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |                  |                    |      |        |   |   |   |
|----|---|------------------|--------------------|------|--------|---|---|---|
| 7  | Desarrollo sostenible en la cuenca alta del Río Lempa en la Región Trifinio             | Vicepresidencia  | GTZ                | 2003 | 2008   | En la cuenca alta del Río Lempa en la región del Trifinio la gestión de riesgos ante catástrofes está integrado en los procesos de desarrollo y planificación local.                  | Cuenca alta del Río Lempa en la región del Trifinio   | Prevención ante deslizamientos e inundaciones y la inversión en proyectos de reducción de la erosión bajo la elaboración de análisis de riesgo, fortalecimiento de capacidades locales en la prevención de incendios forestales y de deslizamientos de tierra, planificación municipal y territorial con enfoque de la prevención de riesgos. |
| 8  | Reducción de riesgos en la zona del Trifinio El Salvador                                | MAG, SNET        | PROMUDE/<br>GTZ    | 2002 | 2003   | Realizar acciones estructurales y no estructurales para la reducción de riesgos en los municipios de La Palma, San Ignacio y Metapán  | Región del Trifinio-El Salvador   | Gestión del Riesgo  |
| 9  | IPGARAMSS - Implementación del SIAR (Sistema de Información Ambiental y de Riesgos)     | AMSS, OPAMSS     | Geólogos del Mundo | 2007 | 2008   |   | AMSS  | Ordenamiento Territorial y Gestión del riesgo   |
| 10 | Fortalecimiento de Capacidades para la Gestión de Riesgos                               | Protección Civil | PNUD               | 2005 | 2007   | Fortalecer las capacidades de los actores en la gestión de riesgos, incluyendo el Sistema de Emergencia a nivel nacional y local y el Sistema Nacional de Naciones Unidas en el país. | Nacional  | Gestión de riesgo   |
| 11 | Recuperación de desastres y gestión de riesgos.   | Protección Civil | PNUD               | 2007 |        | Fortalecer las capacidades y sistemas nacionales y locales de prevención, respuesta y recuperación de desastres con un enfoque de gestión de riesgos                                  | Nacional  | Gestión de riesgo   |
| 12 | Recuperación del impacto del tormenta tropical Stan y la erupción del volcán Ilamatepec |                  | PNUD               | 2007 | feb-08 | Contribuir al fortalecimiento de capacidades locales y nacionales para la recuperación económica de los desastres   | Municipios de San Francisco Menéndez, Jujutla, Acajutla, Juayúa, Nahuizalco, Talnique, Santa Tecla, San Luis La Herradura, Tecoluca, Concepción Batres. | Fortalecimiento comunitario para la gestión del riesgo  |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |                     |                       |      |      |  |  |   |
|----|---|---------------------|-----------------------|------|------|--|--|---|
| 13 | Programa Gestión de Recursos Acuiferos Internacionalmente Compartidos en el continente Americano (ISARM Américas) |                     | OEA                   | 2007 | 2008 | El objetivo del Programa es contribuir a los esfuerzos de la cooperación global para asegurar en forma sostenible las necesidades del medio ambiente, de la economía, social y política en los acuíferos internacionalmente compartidos. | Nacional - El programa es dirigido al Continente Americano | Recurso hídrico   |
| 14 | Proyecto Río Grande de San Miguel   | MARN-SNET           | USAID/NOA A/SUTRON    | 2002 |      | Establecimiento de Sistema de Advertencias sobre Inundaciones para el río Grande de San Miguel   | Cuenca del Río Grande                                      | Recursos Hídricos e inundaciones                          |
| 15 | Evaluación de Riesgos y Actividades de Mitigación en Soporte del programa de Reconstrucción USAID (TERREMOTO)     | MARN-SNET           | USAID                 | 2002 |      | Instalación de Estaciones de Pronóstico de Crecidas  | Cuencas del Río Jiboa y Goascorán                          | Recursos Hídricos e inundaciones                          |
| 16 | Mitigación de efectos multiamenaza del volcán San Salvador  | MARN-SNET           | BID/BM                | 2001 | 2002 | Establecer un programa de monitoreo permanente e identificar escenarios de amenaza del Volcán de San Salvador  | Volcán de San Salvador                                     | Amenaza y monitoreo Volcánico                             |
| 17 | Sistema de Alerta Anticipada y Alarma   | MAG/MARN/SNET/GIPEA | BID/GOES              | 2001 | 2002 | Establecimiento de un Sistema de Alerta Temprana por Deslizamientos  | Nacional   | Estudios por deslizamientos y Sistemas de alerta temprana |
| 18 | Sistema de información, monitoreo y alerta temprana en el sur de Ahuachapán                                       |                     | Unión europea-dipecho | 2007 | 2008 |  |  |   |
| 19 | SAT OPAMMS  |                     |                       |      |      |  |  |   |

## Honduras

| Título de Proyecto                                | Institución Nacional                        | Cooperación externa                                  | Inicio                   | Fin                               | Objetivos  | Áreas de Actuación   | Temas a desarrollar   |
|---|---|--|--------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
| 1 Sistema de monitoreo y alerta temprana nacional | COPECO                                      |  | 2000                     |                                   |  |  |   |
| 2 Monitoreo meteorológico nacional                | Servicio Meteorológico Nacional de Honduras |  | P                        | P                                 |  | nivel nacional   | Estaciones meteorológicas, mapas de precipitación, amenaza huracanes  |
| 3 SERNA   | SERNA                                       | SINIA  | P                        | P                                 | Impulsar el desarrollo sostenible de Honduras mediante la formulación, coordinación, ejecución y evaluación de políticas concernientes a los recursos naturales renovables y no renovables, así como coordinar y evaluar políticas relacionadas al ambiente, ecosistemas y control de la contaminación, a fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes. | nivel nacional   | Asuntos respecto a recursos naturales y ambiente  |
| 4 COPECO-UNETE                                    | COPECO-UNETE                                | Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD | 2007 - 31 diciembre 2008 | 01 julio 2007 - 31 diciembre 2008 | Consolidar y promover nuevas iniciativas que contribuyan al desarrollo humano sostenible, la consecución de las metas de la Estrategia de Reducción de la Pobreza y las Metas del Milenio teniendo como eje de intervención el fortalecimiento de las capacidades nacionales para el manejo de la gestión de riesgos y enfrentamiento a contingencias.         | Dada la acción de COPECO a nivel nacional podemos estimar que de forma indirecta se beneficia toda la población de la Republica de Honduras. | Resultado 1: Diseño e implementación de un Plan Operativo Institucional de COPECO.<br>Resultado 2: Desarrollo de un Programa integral de gestión de riesgos para Honduras. Resultado 3: Fortalecimiento de capacidades a tomadores de decisión, a brigadas de voluntarios para las 4 regiones del país (Norte, Sur, Oriente y Occidente) y brigadas de maestros a nivel nacional. Resultado 4: Unidad técnica para el monitoreo, asesoramiento, movilización de recursos y coordinación COPECO-UNETE. |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |        |   |                          |                          |   |   |  |
|----|---|--------|---|--------------------------|--------------------------|---|---|--|
| 5  | Programa de Prevención de Desastres Naturales en América Central  | COPECO |   | Agosto 2006 - Junio 2008 | Agosto 2006 - Junio 2008 | Contribuir al desarrollo sostenible del país a través de la gestión integral del riesgo | Los 10 Municipios de Departamento de Colón: Balfate, Sonaguera, Sabá, Tocoa, Trujillo, Santa Fe, Bonito Oriental, Limón, Santa Rosa de Aguán e Iruña. | 1. Gestión integral de riesgos. 2. Estructura organizacional de riesgos. 3. planificación del desarrollo departamental.  |
| 6  | Honduras: Proyecto de mitigación de desastres naturales   | COPECO |   |                          |                          | Protección contra las inundaciones  |   | El proyecto mejorará la capacidad del país de reducir su vulnerabilidad a los desastres naturales en el nivel municipal. El financiamiento respaldará el proyecto de mitigación de desastres naturales, actualmente en curso y apoyado en un principio con un préstamo del Banco Mundial por valor de US\$11 millones, que fue aprobado en mayo de 2000. |
| 7  | Preparación de las comunidades para enfrentar los desastres en las Colonias de la Quebrada El Sapo, Tegucigalpa | COPECO |   |                          |                          |   | Dpt: Tegucigalpa - Distritos Urbanos la Quebrada El Sapo  |  |
| 8  | carte des instabilités de terrain, nivel nacional   | COPECO | Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE)          |                          |                          | PREVENCIÓN: MAPAS DESLIZAMIENTO DE TERRENO  | Honduras  |  |
| 9  | Estudios de 3 DT de Tegucigalpa, recomendaciones y Instrumentación  | COPECO | JICA Agencia de cooperación Japonesa                      | 1998-1999                | 1998-1999                | PREVENCIÓN: ESTUDIOS Y MONITOREO  | Hon, tegu   |  |
| 10 | Sistema de Monitoreo del deslizamiento de Berriche con barras de acero  | COPECO | Agencia para el Desarrollo del Gobierno de los EU (USAID) | 1999                     | 1999                     | PREVENCIÓN: MONITOREO   | Tegu  |  |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |   |          |   |            |            |   |                |   |
|----|---|----------|---|------------|------------|---|----------------|---|
| 11 | Instalación de sistema telemétricas de monitoreo de ríos                      | COPECO   | Agencia para el Desarrollo del Gobierno de los EU (USAID) |            |            | PREVENCION: RED HYDROLICA   | Honduras       |   |
| 12 | Construcción de instalaciones de alerta temprana de inundación 3 millones U\$ | COPECO   | Agencia para el Desarrollo del Gobierno de los EU (USAID) |            |            | PREPARACION: ALERTA TEMPRANA  |                |   |
| 13 | estrategia de ordenamiento territorial  | COPECO   | BM, BID, ACD<br>Agencia Canadiense de Desarrollo          |            |            | PREVENCION: ORDENAMIENTO TERRITORIAL  | Honduras       |   |
| 14 | elaboración de una ley de normalización constructiva                          | COPECO   | BM, FEMA<br>Federal Emergency Management Agency           |            |            | PREVENCION: LEY CODIGO DE CONSTRUCCION  |                |   |
| 15 |   | SOPTRAVI | DGVU  | permanente | permanente | optimizar el uso de todos sus recursos, fortaleciendo la planificación y el uso de la tecnología informática e integrando las funciones de administración, recursos humanos y legal a nivel institucional y facilitando al personal la capacitación que le permita asumir nuevos roles y funciones. | nivel nacional | Carreteras, vías de comunicación y transporte, datos de vivienda                                      |
| 16 |   | ENEE     |   | permanente | permanente | Organismo autonomo responsable de la producción, comercialización, transmisión y distribución de energía eléctrica en Honduras.   | nivel nacional | Estaciones electricas, lineas de conduccion, cobertura de energia electrica, estaciones hidrometricas |

## Nicaragua

|   | Título de Proyecto   | Institución Nacional                    | Cooperación externa       | Inicio | Fin  | Objetivos  | Áreas de Actuación  | Temas a desarrollar   |
|---|--|---|---------------------------|--------|------|--|---|---|
| 1 | Sistema nacional de Defensa Civil  | Defensa Civil del Ejército de Nicaragua |                           | 1997   | P    |  | Volcanes, Zona montañosa de Nicaragua                             | preparación a la población, información sobre situaciones peligrosas, apoyo, evacuación   |
| 2 | Sistema nacional de monitoreo volcánico, incluyendo alerta de lahares  | INETER/Geofísica                        |                           | 1993   | P    |  | Volcanes de Nicaragua   |   |
| 3 | Sistema nacional de monitoreo de deslizamientos  | INETER/Geofísica                        |                           | 2000   | P    |  |   |   |
| 4 | Sistema nacional de monitoreo meteorológico  | INETER/Meteorología                     |                           | 1997   | P    |  |   |   |
| 5 | Monitoreo de carreteras  | MTI                                     |                           | 1997   | P    |  |   |   |
| 6 | Proyecto sobre alerta de deslizamientos  | INETER, Defensa Civil                   | CEPREDENA C               | 1997   | ?    |  |   |   |
| 7 | mapa de riesgo (con INETER), org. + capac. Comités, brigadas, sistema de comunicación, divulgación                       | INETER, Alcaldía Managua                | ASDI (Suecia)             | 1998   | 1998 | PREPARACION DE POBL  | Managua, 7 distritos  |   |
| 8 | Sistema de alerta temprana (RELSAT): comités, brigadas, equipamiento, simulacros, etc. Nica: 10 Municipio. \$ 0.6 millón | INETER                                  | GTZ, ECHO, (CEPREDENA C?) | 1998   | 2000 | PREPARACION: SISTEMA DE ALERTA   | AC (Nica: Omotepe?, Corinto + 10 municp. Chinandega y Norte León) |   |
| 9 | PNNR - Programa Nacional de Reducción de Riesgos   |   | Banco Mundial / PNUD      | 1999   | 2003 | Reducir la vulnerabilidad antes desastres naturales, Red de comunicacion | Nacional (Nicaragua)  | desarrollo del Sistema; estructura de comunicación y manejo de información; introducción de la prevención en la cultura; capacidad de respuesta operativa; participación ciudadana; capacidad técnica y científica; proceso de programación integrada; y reducción de riesgos |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    | SINAPRED   | VP, PNUD  | 2000 | 2000 | 2000 | PREVENCIÓN: SISTEMA NACIONAL  |  |   |
|----|--|---|------|------|------|---|--|---|
| 10 | Creación de un sistema nacional para la reducción de los riesgos |   |      |      |      |   |  |   |
| 11 | INETER   | NGI   | 2000 | 2002 | 2002 | Elaborar métodos para SAT de deslizamientos   | 4 volcanes (San Cristóbal, Casita, Mombacho, Concepción) | Equipos y software p. SAT Deslizamientos  |
| 12 |  | Agro-acción alemana / INPRHU  | 2002 | 2002 | 2002 | Incorporar la gestión de riesgos en la planificación territorial municipal  | Municipio de San Juan de Limay                           | Amenazas naturales, zonificación territorial  |
| 13 | INETER   | Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) (Cooperación Técnica Alemana) | 2002 | 2010 | 2010 | Un sistema suprarregional de información de georriesgos está disponible y es aprovechado en los países de la región   | Nicaragua, Guatemala, El Salvador, Honduras              | Análisis de riesgos: amenazas (volcánica, sísmica, inundaciones y deslizamientos) y vulnerabilidades, Web-Portal de Informaciones sobre Georriesgos |
| 14 | INETER   | COSUDE  | 2002 |      |      |   |  |   |
| 15 | INETER/Geofísica   |   | 2002 |      |      |   |  |   |
| 16 | INETER   | COSUDE  | 2003 | 2005 | 2005 | metodologías para mapeo de amenazas. Estan-darizar leyendas   | 28 Municipios  | Amenazas naturales y gestión de riesgos   |
| 17 | SINAPRED   | COSUDE - SNV  | 2004 | 2005 | 2005 | Evaluar el riesgo de las poblaciones a fenómenos de inestabilidad de laderas, inundaciones y sismos. Proponer una zonificación del territorio basado en el análisis de riesgo | Río Blanco   | Amenazas naturales, vulnerabilidad social y riesgos   |
| 18 | INETER, Comunidad Dipilto  | ACSUR   | 2006 |      |      |   |  |   |
| 19 | INETER   | NGI   | 2007 | 2009 | 2009 | Establecer un sistema de alerta temprana con precipitación en tiempo real   | Nacional (Nicaragua)                                     | Mapas en la web, imágenes de satélite NOAA, precipitaciones en tiempo real, umbrales para pronósticos de deslizamientos                             |
| 20 | INETER, Mun. Jalapa  |   | 2010 |      |      |   |  |   |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|    |  |                             |                    |      |            |  |   |  |
|----|--|-----------------------------|--------------------|------|------------|--|---|--|
| 21 | SAT Municipal Inundaciones y Deslizamientos en Matagalpa | Mun. Matagalpa, INETER      | CRIP               | 2010 | permanente |  |   |  |
| 22 | SAT Inundaciones y Deslizamientos cuenca río Estelí      | Estelí                      | Agroacción Alemana | 2010 | P          |  |   |  |
| 23 | SAT Municipal Deslizamientos                             | Mun. San Juan del Río Cocos |                    | 2011 | P          |  |   |  |
| 24 | Proyecto COSUDE  | SINAPRED                    | COSUDE             |      | 2005       |  | Departamentos de Estelí, Nueva Segovia, Managua | gestión de riesgos, obras de mitigación, capacitación a técnicos municipales y de ONGs, sensibilización, planificación con GR, capacitación a docentes y estudiantes, capacitación a COMUPRED, brigadas y COLOPRED |

### Proyectos regionales

|   | Título de Proyecto  | Institución Nacional         | Cooperación externa       | Inicio | Fin          | Objetivos  | Áreas de Actuación                        | Temas a desarrollar  |
|---|---|------------------------------|---------------------------|--------|--------------|--|---|--|
| 1 | Mitigación de Georriesgos en Centroamérica  | Instituciones geocientíficas | BGR, Gobierno de Alemania | 2002   | 2009         | Desarrollo de Capacidades de Sistemas de Información geográfica y su aplicación para la prevención y Mitigación  | Nicaragua, El Salvador Guatemala Honduras | Instalación de SIG, Capacitación de personal técnico, Elaboración de mapas, Estudio de amenazas (Sismos, tsunamis, volcanes, deslizamientos), cooperación entre los países |
| 2 | Desarrollo de las capacidades Para la gestión del Riesgo en América Central - BONSAI                                      |                              | JICA                      | 2006   | 2008         | Compartir y aprovechar entre los países de Centroamérica los conocimientos, la información y las metodologías sobre la gestión del riesgo en las diferentes áreas de la Región   | Regional                                  | Gestión local del riesgo mediante la experiencia regional, evaluando deslizamientos, inundaciones, tsunamis, terremotos y riesgo volcánico                                 |
| 3 | Prevención de Desastres en la Cuenca Alta del Río Lempa en la Región de Trifinio  |                              | GTZ                       |        | en ejecución | Integrar la gestión de riesgos ante catástrofes en los procesos de desarrollo y planificación local  | Trifinio de El Salvador                   | medidas de prevención y mitigación   |
| 4 | Fortalecimiento de las Capacidades en el Manejo de los Riesgos causados por Deslaves En Centroamérica - Deslaves RECLAIMM | instituciones geocientíficas | NGI, Noruega              | 2004   | 2009         | 1. Fortalecer a profesionales en niveles medios de mando de organizaciones en la región que estén relacionadas con amenazas por deslaves.<br>2. Crear foro con representantes de los distintos países para estandarizar metodologías | América Central                           | Reducción de riesgos, mitigación de riesgos por deslaves, conceptos de alerta temprana por deslizamientos y tsunamis.  |

Guía para la implementación y sostenibilidad de Sistemas de Alerta Temprana ante Deslizamientos (SATD) en América Central. Proyecto Regional DIPECHO VII UNESCO

|   |   |   |   |      |      |  |  |   |   |
|---|---|---|---|------|------|--|--|---|---|
|   |   |   |   |      |      |  | de trabajo y compartir experiencias. 3. Crear mecanismos que aseguren la diseminación del conocimiento   |   |   |
| 5 | Proyecto sobre Guías para inundaciones y sistemas de alerta para Centroamérica (CAFFG)  | instituciones geocientíficas              | Comité Regional de Recursos Hidráulicos-CRRH          | 2003 | 2006 |  | Implementación de un sistema de alerta temprana para la prevención de inundaciones en Centroamérica utilizando información satelital y telemetría. | Regional  | Recursos Hídricos   |
| 6 | NOAA-CAMI FLASH FLOODS  | instituciones geocientíficas              | OFDA (The Office of U.S. Foreign Disaster Assistance) | 2002 | 2003 |  | Producir una guía para alerta temprana en tiempo real para inundaciones en cuencas de rápida respuesta   | Regional (Centro América)   | Estudios de cuencas y sistemas de alerta temprana   |
| 7 | BID/OEA/CCB CASCOS BLANCOS  | instituciones geocientíficas              | OEA Y BID   | 2003 | 2003 |  | Elaborar un programa de gestión de riesgos participativo y asistido en la Cuenca Binacional del Río Paz.   | Guatemala-El Salvador   | Gestión de riesgo y Sistemas de Alerta Temprana   |
| 8 | Sistema de alerta temprana para Centroamérica (SATCA)   | instituciones geocientíficas              | PMA Naciones Unidas                                   | 2007 | 2008 |  | Mitigar y reducir el impacto de los desastres naturales sobre las poblaciones más vulnerables de la región   | Regional  | Plataforma web sobre amenazas naturales   |
| 9 | Sistema Piloto de Alerta temprana de Deslizamientos usando Información Satelital /dentro del proyecto de Mitigación de Georriesgos, ver arriba) | INETER, Nicaragua SNET, INSIVUMEH, COPECO | BGR, Alemania - NESDIS/NOA A EEUU, NGI (Noruega)      | 2007 | 2010 |  | Desarrollar y experimentar con un sistema de alerta de deslizamientos a nivel regional   | Regional, Volcanes de Centroamérica, sitios de deslizamientos en zonas montañosas | Desarrollo del software para detectar zonas de alta precipitación en tiempo real, desarrollar sitio Web con la información obtenida, envío de mensajes de alerta en tiempo real |

## **Anexo 15. Métodos para hacer mapas**

La capacidad de hacer mapas es indispensable para la preparación de un SAT de Deslizamientos y también para el funcionamiento de él. Sea para mapas de amenazas y riesgos, para la selección de los sitios idóneos para las estaciones de monitoreo o para entender la situación en caso de una emergencia. Para un sistema de monitoreo y alerta complejo, con muchas estaciones de medición es favorable de tener un sistema de visualización que facilita la comprensión de la situación. En lo siguiente se mencionan las diferentes formas de hacer mapas.

### **1. Croquis**

Una guía sencilla para hacer mapas de amenaza se obtiene en

<http://www.eird.org/fulltext/Educacion/gu%EDa-mapas-riesgo.pdf>

### **2. Mapas en base de hojas topográficas**

Los mapas topográficos se pueden comprar de las instituciones de cartografía en los países.

### **3. Mapas en base de fotografías aéreas o de satélite**

Fotografías aéreas también se obtienen de los servicios cartográficos. Después de grandes desastres agencias nacionales o internacionales encaran la toma de fotos aéreas de las zonas afectados que después son accesibles libremente. Para el desastre del huracán Mitch hay una gran cantidad de fotos sobre la afectación por deslizamientos. Con el uso de fotos aéreas se documentó la ocurrencia de decenas de miles de deslizamientos en Nicaragua y Honduras provocados por este huracán.

### **4. Mapas con Google, Yahoo ó Bing**

Hoy se usa mucho los servicios de Google-Map y Google-Earth, Bing o Yahoo-Map que proveed vía Internet

<http://maps.google.com> o se descarga Google Earth y se instala en la PC.

Alternativas son:

Mapas de Bing

<http://www.bing.com/maps/>

Mapas de Yahoo.

<http://maps.yahoo.com/>

Los mapas y las fotos aéreas o de satélite de los servicios son diferentes en las mayores acercamientos y vale la pena de buscar la mejor foto para un determinado trabajo.



**Foto 1. Foto aérea del Volcán Barú.**

A la izquierda se ve claramente que la ciudad “Volcán” se ubica sobre una zona de lahar. A la derecha, la ciudad Boquete en el cauce de un río que causa correntadas rápidas e inundaciones repentinas. Fuente: <http://maps.yahoo.com/>

## **5. Levantar coordenadas con el GPS**

Para el estudio de amenaza, la instalación de equipos de monitoreo y otras actividades es necesario levantar coordenadas con GPS. Hay que saber que hay varios sistemas de coordenadas. Para combinar con las fotos de google map o servicios similares se usa mejor el estandar mundial WGS84.

## **6. Sistemas de Información Geográfica**

Para el análisis de los deslizamientos, la elaboración de mapas de amenaza, el diseño de los sistemas de monitoreo y alerta es favorable usar un Sistema de Información Geográfica.

El **Google map** es un sistema gratis, potente y fácil de usar basado en Internet. Permite visión 3D. Google Earth, también gratis en su versión básica, se descarga a la PC y se puede usar cuando no haya conexión al INTERNET. También permite 3D.

Google-Map y Google-Earth pueden ser usados con bastante facilidad por personas interesadas sin conocimientos especiales de informática o computación.

Hay una gran variedad de programas de SIG para PC, sea para Windows o Linux. Algunos son muy fácil de usar pero

El más potente es el **ArcGIS** de la empresa ESRI, muy común en instituciones geocientíficas de Centroamérica pero también en instituciones estatales, mayores alcaldías, sea todavía en sus versiones antiguas de la versión 3 (donadas hace muuchop tiempo por algún proyecto), o en las

últimas versiones 9.3 0 10. Son paquetes bastante caros pero muy útiles especialmente para estudios científicos. Requieren de cierta capacitación inicial aunque las últimas versiones . Hay bastante ayuda en el Internet.

El **Quantum-GIS** (<http://www.qgis.org/> ) es la mejor alternativa al ArcGIS, el paquete es gratis y abierto, es bastante fácil de usar y potente, aunque no tiene toda la variedad de funciones que ofrece ArcGIS. También hay ayuda en el Internet. Quantum GISD puede ser usado para hacer mapas interactivos que se pueden presentar en un servidor de mapas con el paquete MAPSERVER, que es también un abierto y gratis.

Para la aplicación de SIG en el estudio de los deslizamientos hay muchos artículos, un ejemplo es el caso de Tegucigalpa con un ejercicio de SIG:

<http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Publicaciones%20RAPCA/Honduras/Caso%20de%20estudio%20Tegucigalpa%20%20Honduras.PDF>

Otros ejemplo ver

<http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html>

## 7. Maquetas

Muchas personas en las zonas rurales pero, sorpresivamente también entre las ciudades, tienen problemas de entender mapas sea en papel o en la pantalla de la computadora. La elaboración de Maquetas podría ser una buena forma de

Una guía hecha en Nicaragua para la elaboración de maquetas se encuentra en

[http://www.asocam.org/GRC/Biblioteca/Guia\\_paraelaboracionde\\_maquetas.pdf](http://www.asocam.org/GRC/Biblioteca/Guia_paraelaboracionde_maquetas.pdf)



**Foto 2. Elaboración de maqueta de la Isla Ometepe, Lago de Nicaragua.**  
Se aprecian los volcanes Concepción y Maderas, incluyendo cauces de lahares.

## **8. Tecnología 3D**

Últimamente, la tecnología 3D se ha desarrollado mucho, hay televisores 3D y también pantallas para PC que pueden presentar objetos, mapas y complicadas relaciones espaciales en forma tridimensional.

Como las maquetas, esta tecnología puede usar mucho en el entendimiento y análisis del peligro, se usará en el futuro próximo también en sistemas de alerta para entender el peligro más fácil y rápido.

## ANEXO 16 Equipos para monitorear flujos, lahares y avalanchas

En lo siguiente se presentan algunos métodos para detectar y monitorear el movimiento de flujos o lahares.

### 1. Anclas

En la parte alta del cauce se ponen uno o varias anclas que se conectan con uno o varios extensiómetros de alambre. Cuando la masa de detritos comienza a moverse se mide un cambio en la distancia. Cuando sobrepasa un cierto umbral se da alarma. En vez de distanciómetros se puede usar también uno varios simples Reed Switches. Cuando el imán se aleja del elemento Reed se cierra el contacto y se emite la alarma.

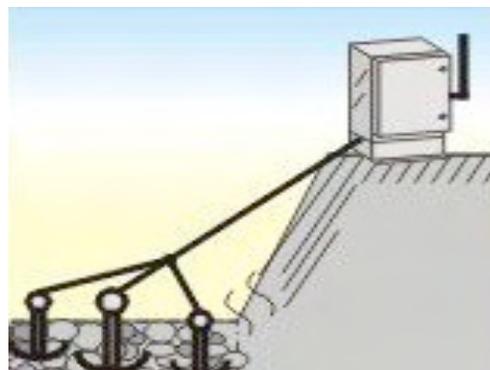


Figura 1. Esquema de Anclas para monitorear lahares. Tomado de TWSI.

### 2. Laharímetros

El alambre se rompe por el paso del lahar y se envía un mensaje al centro de monitoreo. En realidad no miden algún parámetro del lahar sino lo detectan.

Para mayor confiabilidad se instalan varios en el mismo lugar. En OXFAM (2011) explican el uso

*“Estos funcionan por medio de un alambre que se instala perpendicularmente a la dirección de la corriente principal. El alambre se reventará al momento de que pase un flujo de escombros (ver Figura 20). Se deberá realizar un recorrido en las zonas de interés para escoger el sitio más idóneo para la instalación y el resguardo del equipo por parte de alguna familia de la comunidad. Estos laharímetros se instalarán, bajo un enfoque experimental, en coordinación con funcionarios del Departamento de Alerta Temprana de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) en Guatemala. Se instalarán a una altura apropiada para el monitoreo de flujos de escombros de mediana o gran magnitud.”*

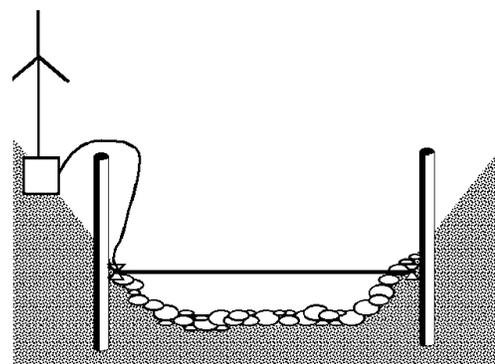


Figura 2. Esquema de laharímetro. Tomado de Ortiz (2001)

El problema de los laharímetros con alambres es que se destruyen por el paso del lahar. Puede ser por un lahar menor. Para Se debe ir para reinstalarlos lo que podría ser muy difícil y peligroso en una situación de emergencia.

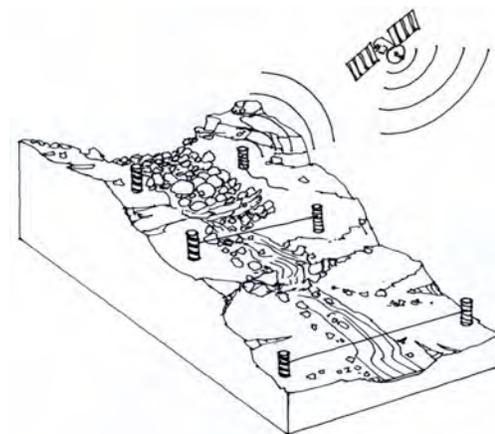


Figura 3. Grupo de laharímetros. Tomado de OXFAM (2011)

Una alternativa podría ser un palo o un tubo largo de metal que cuelga de un alambre que se instala perpendicularmente sobre el cauce del lahar. Tiene un micrófono o un simple acelerómetro. Cuando pasa el lahar los bloques golpean contra el tubo y causan sonido o aceleraciones. Un circuito cierra cada vez un contacto. El impulso se transmite por radio. Así se puede saber cuando el lahar se mueve y cuando termina a moverse. Con el laharímetro de alambre solamente se sabe cuando se destruye el alambre.

Otra alternativa es el uso de sismógrafos, ver Anexo 23.

### 3. Sensores de Ultrasonido, verticales

Se instalan en puentes o torres con brazos que llegan encima del cauce del lahar. Con el equipo se mide la altura del agua o del material que pasa por el cauce. Se detecta el movimiento y se puede estimar el volumen por la altura alcanzada. En la instalación se debe tomar precaución que el equipo no sea alcanzado por el propio lahar o flujo de detritos.

**Ejemplo: Aquasonic 7000 Ultrasonic Stage Sensor**

<http://www.rickly.com/sm/StageSensors.htm>

Alcanza hasta 30 m de distancia, 0.2 % precisión

**Ejemplo: Max Sonar [www.maxbotix.com](http://www.maxbotix.com)**

Precios entre 30 y 60 dólares

El sensor tiene salida analógica y digital (puerto serial)

La precisión es de 1 cm a 10 m de distancia.

### 4. Radares, verticales

Similar como con los sensores de ultrasonido se mide la altura de los flujos en el cauce.

Por ejemplo:

<http://www.rickly.com/sm/StageSensors.htm>

hasta 30 m de altura, precisión 1 cm.



Figura 4. Sensor Aquasonic

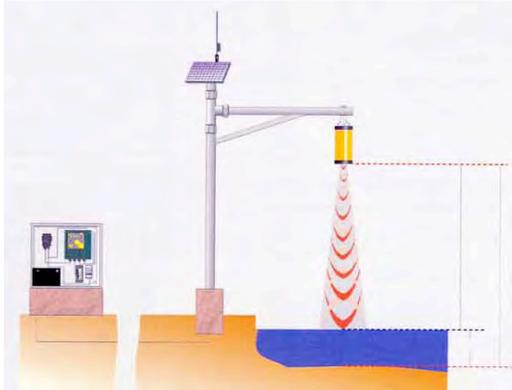


Figura 5.  
Sensor Max Sonar



Figura 6.  
Sensor de  
Radar Rickly

**Figura 7. Montaje de los sensores verticales de Ultrasonido y radar.**



Se nota que el sensor se monta a cierta altura segura sobre el cauce.

### **5. Sensores horizontales, ultrasónicos o radares,**

Con un sensor horizontal se mide la velocidad de los objetos que se mueven en el cauce. Detectan cuando el lahar o flujo pasa por el sitio de monitoreo y determina su velocidad.

Por ejemplo:

**Aquanaut 6100-Acoustic Doppler Current Meter**

[http://www.rickly.com/sgi/acoustic\\_doppler\\_meters.htm](http://www.rickly.com/sgi/acoustic_doppler_meters.htm)

Se monta en un puente o un lugar al lado del cauce y se dirige horizontalmente o con cierta inclinación hacia abajo para poder medir la velocidad de los bloques que van en el lahar.



**Figura 8. Sensor Aquanaut 6100**

## Anexo 17. Esquema de un SAT para flujos

### 1. Lahares y flujos de detritos

Lo siguiente se adaptó ligeramente de Smith et al (2009):

*“Los volcanes están sujetos a varios tipos de inestabilidad de laderas, algunas relacionadas con los procesos eruptivos, otros a lo empinado del terreno y laderas inestables que caracterizan a muchos edificios volcánicos. Esta sección trata de los flujos de detritos, que son mezclas de fragmentos de rocas, barro y agua que se originan en pendientes pronunciadas y se mueven muy rápido. Son conocidos como lahares cuando se originan en los volcanes, y se ubican entre los más destructivos y persistentes de los riesgos volcánicos. Los lahares amenazan las vidas y la propiedad no sólo sobre los volcanes, pero más abajo en los valles de desagüe, donde llegan de repente e inundan todo el fondo del valle. Los flujos de escombros pueden destruir la vegetación y las estructuras en su camino, incluyendo puentes y edificios. Sus depósitos pueden cubrir los caminos, áreas de recreación y vías férreas, y llenan o desvían los cauces fluviales, reduciendo así su capacidad de transporte y facilidad de navegación.*

*Los lahares pueden ocurrir como lahares primarios o secundarios. **Lahares primarios** empiezan durante las erupciones volcánicas, como resultado de los materiales eruptivos calientes que derriten la nieve y el hielo o como producto de la destrucción de represas naturales y el subsiguiente desagüe de lagos volcánicos u otras aguas estancadas. **Lahares secundarios** pueden aparecer en cualquier momento después de las erupciones, como resultado de las fuertes lluvias o de los glaciares estallido que movilizan cenizas, suelos erosionables o glaciares. “*

*“A diferencia de otros peligros volcánicos que no son necesariamente limitado por la topografía, como la lluvia de cenizas y flujos piroclásticos, los flujos de escombros se encuentran normalmente en las partes bajas del valle y siguen un camino predecible a lo largo de los cauces fluviales, lo que hace posible la reducción de riesgos a través de la delimitación de zonas de posible inundaciones y con el monitoreo en tiempo real de los canales de los flujos de escombros. “*

*Los elementos del monitoreo relevante para la vigilancia volcánica incluyen (1) determinación de los tipos de deslizamientos de tierra, (2) control de factores desencadenantes y las causas de deslizamientos de tierra, (3) la delimitación de riesgos de lahares y (4) monitoreo en tiempo real de lahares. Los primeros dos elementos están cubiertas en el capítulo de pendientes. Dos métodos se describen a continuación para controlar los riesgos de lahares y los movimientos.*

### 2. Delineación de la amenaza de lahares

*“LAHARZ es un método rápido, objetivo y reproducible utilizando un sistema de información geográfica (SIG) con modelos de elevación digital (DEM) para delimitar las zonas de inundación lahar (Iverson et al, 1998). El Servicio Geológico de EE.UU. desarrolló el método para los volcanes, donde los datos, tiempo, financiación, o el personal no son suficientes para aplicar los métodos tradicionales de mapeo geológico. Ambos, LAHARZ y los métodos tradicionales de mapeo se basan en los mismos principios: (1) La inundación por lahares pasados proporciona una base para predecir la inundación por lahares futuros, (2) La amenaza por lahar se confina a los valles que cercanos a los flancos del volcán, (3 ) El volumen de lahares es controla en gran medida el*

*alcance de las inundaciones aguas abajo, (4) Lahares voluminosos se producen con menos frecuencia que los lahares pequeños, y (5) No se puede predecir el tamaño del próximo lahar que descenderá un drenaje determinado.*

*El programa SIG LAHARZ es un método automatizado que combina el análisis estadístico de los datos de inundación lahar-de nueve volcanes para desarrollar ecuaciones cuantitativas que predicen el valle de la sección transversal y el área planimétrica que sería inundada por lahares con volúmenes diferentes. El método de los SIG al mismo tiempo delimita las zonas de inundación para una gran variedad de volúmenes de lahar, lo que representa gradaciones del riesgo de inundación. La amenaza de inundación es el más grande en los fondos de los valles cerca de un volcán, y disminuye a medida que las elevaciones por encima del fondo del valle y las distancias desde el aumento del volcán. Interpretación automatizada de gradaciones en peligro es una de las principales ventajas de esta metodología SIG. El método requiere un DEM de suficiente precisión y resolución eficiente combinado con un conocimiento práctico de los programas de SIG. El programa LAHARZ está disponible en el USGS Observatorio Vulcanológico de los Cascades.”*

### **3. Monitoreo de lahares o flujos de escombros, en tiempo real**

*La detección de lahares cerca de sus fuentes hace posible avisar a tiempo a las personas en las zonas de inundación delineadas, si existen los sistemas de comunicación adecuados y planes de evacuación. El monitoreo continuo y automatizado de flujos de escombros también puede proporcionar información útil para identificar específicamente las condiciones climáticas que aumentan la probabilidad los lahares activados por las lluvias.*

*Los científicos en el Servicio Geológico de EE.UU. han desarrollado un barato, portátil y duradero sistema que y rápido de instalar el sistema para detectar y vigilar continuamente la llegada y el paso de flujos de escombros o lahares en los valles de drenaje (Lahusen, 1996). Este sistema automatizado, Acoustic Flow Monitor (AFM, Monitor Acústico de Flujos), registra y analiza las vibraciones del suelo con un diseño compacto, alimentado por energía solar. La unidad debe estar instalada cerca de los cauces específicos en que los lahares viajan. Utiliza un sensor robusto y un microprocesador in situ para analizar continuamente las señales de vibración y para realizar la detección de flujos basado en la frecuencia, la composición, la amplitud y la duración de la señal de vibración. Un sistema de radios de dos vías mantiene la comunicación entre cada unidad de detección y una estación base a través de una red de radios.*

*Cada estación AFM mide la amplitud de la vibración de tierra de la señal una vez por segundo y envía los datos por radio a la estación base en intervalos regulares por lo general cada 15 minutos. Si el instrumento detecta las vibraciones que superen un determinado umbral (ajustable para cada sitio) por más de 40 segundos, la AFM transmite mensajes de alerta inmediata. Se continúa enviando los datos de alerta en intervalos de 1 minuto durante el tiempo que la señal acústica permanece por encima del umbral. Cuando la señal cae por debajo del nivel de umbral, el AFM reanuda el funcionamiento normal, transmitiendo a intervalos menos frecuentes. El sistema AFM tiene claras ventajas sobre otros sistemas de detección: (1) el sensor y el microprocesador se ponen a analizar específicamente las vibraciones pico normalmente producidas por los lahares, y descartana otro tipo de ruido o los temblores que registran los sismógrafos normales; (2) Los flujos se registran cuando se acercan y se alejan de los sitios monitoreados, y (3) el equipo está listo de*

*inmediato para detectar posteriores flujos sin ningún tipo de mantenimiento adicional (como es el caso con los laharímetros).*

*Por lo general dos o tres estaciones de AFM se colocan en cada drenaje seleccionado de manera que la velocidad de lahar se puede determinar a partir de los tiempos de llegada entre las estaciones, lo que proporciona un sistema robusto y redundante. Uno o varios repetidores de radio alto de una colina pueden ser necesarios para transmitir las señales a una estación base donde las acciones de alerta apropiadas puedan ser iniciados.*

*El costo de instalación de un sistema de monitoreo básico AFM es de aproximadamente \$ 50.000 por cada cauce cubierto.”*

#### **4. Monitoreo de las precipitaciones**

Los lahares o flujos de detritos se inician por fuertes lluvias y la presencia de grandes cantidades de agua facilitan su movimiento, por eso un sistema de monitoreo de la lluvia ayuda en detectar cuando se aumenta la amenaza en un determinado sitio. Por eso, el monitoreo de la lluvia en las zonas bajo peligro es de alta importancia.

Un sistema local de alerta requiere pluviómetros en o cerca de las zonas donde se inician los lahares o flujos. Puede ser que llueve en la zona cumbre del volcán pero no en la zona poblada a decenas de kilómetros de donde se originan los lahares.

Se debe instalar no solamente un pluviómetro sino al menos dos o tres para tener una redundancia

Datos de la meteorológica red nacional, de radares y de imágenes de satelitales también son de gran ayuda porque permiten conocer el desarrollo de grandes campos de precipitación en la cercanía del sitio que podría moverse hacia el

#### **5. Monitoreo con cámaras web**

Cámaras web son equipos baratos y comunes. Se pueden conectar con radios digitales para transmitir imágenes, archivos de videos o video en vivo. En algunos lugares se pueden usar Cámaras Web para la detección y el monitoreo de lahares y flujos. Se pueden programar para detectar movimiento del lahar y enviar mensajes de alerta con fotos y videos. Se puede observar en tiempo real el movimiento en un determinado sitio. El operador pueden estimar el tamaño del flujo. Cámaras web que vigilan la zona de la entrada del lahar en el pueblo pueden servir para registrar y documentar inmediatamente la afectación por el fenómeno.

#### **6. Equipos de detección y medición de la velocidad de movimientos en los cauces**

Equipos como Anclas, Laharímetros, sensores de ultrasonido o radar, ver anexo 16, pueden servir como medidas adicionales. Hay que considerar que algunos de estos equipos deben ser re-instalados después de cada lahar lo que representa un problema. Porque en una estación de lluvia puede ocurrir inicialmente un pequeño lahar que desactiva el ancal o laharímetro. Si no se reinstala el equipo inmediatamente puede ser que un lahar posterior no puede ser detectado con estos sensores.

## **5. Desarrollo de un sistema de alerta de lahar o flujo de detritos**

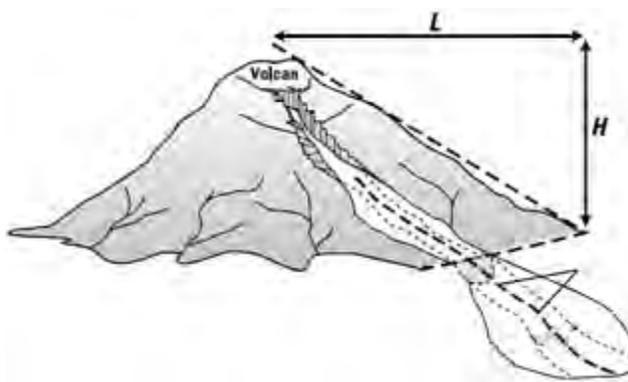
En lo siguiente detallamos como se podría llegar a instalar y mantener un sistema de alerta para flujos o lahars. Estos son los deslizamientos más frecuentes en Centroamérica y especialmente en la zona volcánica.

### **1. Investigaciones anteriores**

2. Desarrollar una idea inicial del SATD, porque se considera necesario?
3. Basado en las experiencias pasadas – caracterizar la zona bajo peligro (zona bajo riesgo)
4. Averiguar de donde viene la amenaza para esta zona - elaborar el mapa de amenaza. Hacer énfasis en la zona de fuente. Delinear la micro cuenca de esta zona. Cuál es la diferencia en la altura (H en metros) entre fuente y zona bajo peligro? Cuál es la distancia (L en kilómetros) entre la zona fuente y la zona bajo peligro?
5. Cómo es la geología de la zona de fuente, las propiedades del suelo, si hay mucho material suelto, si es un volcán – hay mucha ceniza volcánica de erupciones recientes?

### **2. Elaborar el mapa de la propagación del flujo, el cauce.**

6. Verificar si hay otras fuentes que podrían enviar flujos que impactarían en la zona bajo riesgo. Considerar que grandes flujos pueden sobrepasar obstáculos. Pasan sobre pequeñas colinas
7. Hacer una investigación si hubo flujos destructivos en el pasado y como afectaron la zona bajo riesgo, preguntar personas mayores, hacer investigación en periódicos antiguos, buscar en Internet, preguntar especialistas. Este estudio pueden hacer estudiantes de la secundaria o de la universidad. Hacer un historial de la zona en cuanto a los deslizamientos.
8. Con los conocimientos adquiridos se hace un mapa que integra toda la información obtenida.
9. Se elabora un corto informe que concentra la información y contiene los mapas como anexos.



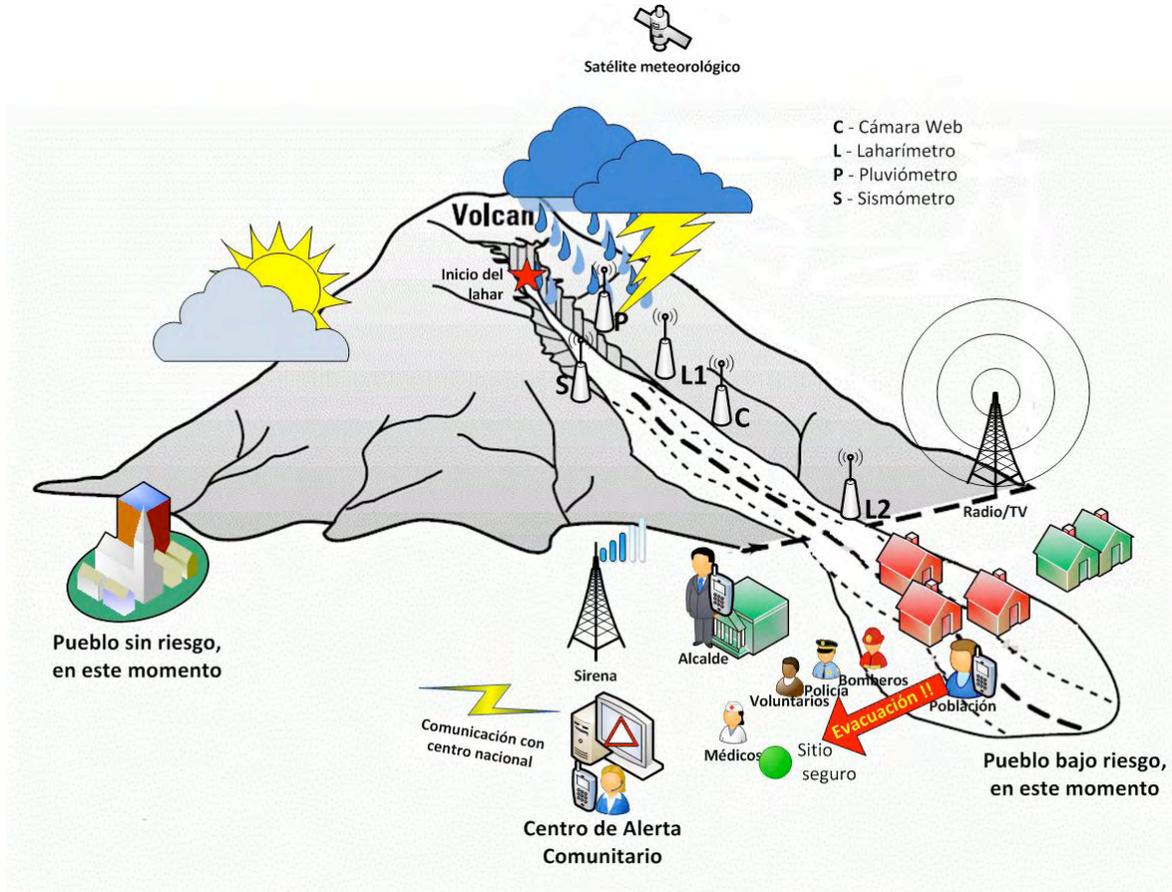
Los puntos anteriores no necesariamente se refieren a una investigación científica, sino a información que una persona con interés y entendimiento práctico puede averiguar con las fuentes locales, en bibliotecas o en el Internet.

Para un sistema de monitoreo se podría pensar en lo siguiente:

- 1) Al menos dos (redundancia!) pluviómetros telemétricos en la zona fuente o cerca de ella.
- 2) Al menos dos laharímetros y/o sismógrafos telemétricos o un sistema de monitoreo acústico de flujos (ver capítulo 3. Arriba en este Anexo) cerca del cauce debajo de la zona de fuente.
- 3) Tal vez una cámara Web cerca del cauce.
- 4) Dos laharímetros telemétricos y una cámara Web en la entrada al pueblo.

Con esta configuración se pueden emitir los siguientes mensajes de alerta:

- 1) Basado en la medición de la lluvia en o cerca de la zona fuente se emite una alerta naranja cuando la lluvia acumulada sobrepasa un determinado nivel. Se evacua a la población en la zona mayor probabilidad de afectación, los demás preparan su evacuación.
- 2) Cuando se detecta un flujo grande con los laharímetros o sismógrafos se emite alerta roja y se evacua toda la población bajo riesgo.
- 3) Con los laharímetros y la cámara Web en la entrada al pueblo se confirma la ocurrencia del flujo y se puede estimar el volumen flujo que entró.



Los sensores transmiten sus datos por medio de una sistema inalámbrico ala central de monitoreo y alerta. En esta central de monitoreo se dispone de al menos de computadoras redundantes que trabajan en paralelo con software para el manejo de todo el sistema y para facilitar ayuda para la conciencia de la situación y la toma de decisión.

El sistema se puede construir con equipos existentes en el mercado pero sería costoso y difícil. No hay sistemas específicos para esta tarea. Los sensores que se ofrecen funcionan con diferentes software. Para hacer un sistema funcional se deben adaptar los diferentes componentes para que trabajen de la manera deseada.

Sería más favorable disponer de un sistema integral específicamente diseñado para esta tarea. Es decir pluviómetros sencillos y robusto para los volcanes, sismógrafos de bajo consumo de energía, laharímetros inteligentes que no se tiene que reinstalar después de un flujo sino se "resetea" de alguna forma, cámaras web de bajo consumo.

Este sistema requiere de un software integral que

- Maneja todos los equipos vía inalámbrica, que visualiza la información,
- Emite una alerta al operador cuando se prepara una situación peligrosa;
- Apoya la toma de decisión para la emisión de alerta;
- Enciende los dispositivos de alarma cuando el operados da el comendo correspondiente o lo hace automáticamente si el operador no está a disposición,
- Envía mensajes a los colaboradores y voluntarios que apoyan en evacuación y rescate;
- Envía de mensajes a la radio comunitaria;
- Facilita la elaboración de reportes diarios, mensuales, anuales y de eventos,
- Facilita la publicación de los datos y reportes en un sitio Web.

## **Anexo 18. Sistemas automáticos de monitoreo y alerta de deslizamientos**

Lo siguiente se tomó de Claudio Olalla Marañen (2007) AUSCULTACIÓN DE LADERAS, Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalses.

### **VENTAJAS**

*El uso de sistemas automáticos ofrece múltiples ventajas*

- *Las medidas se pueden tomar automáticamente sin participación humana directa. En particular, obviamente, no se necesita desplazamientos al lugar.*
- *Los resultados y los posibles mensajes de interés se pueden transferir, también automáticamente a lugares remotos.*
- *Estos sistemas se pueden instalar incluso de manera permanente en varias zonas a la vez, incluso de difícil acceso.*
- *Las medidas se pueden realizar periódicamente a intervalos de tiempo predeterminados, preferiblemente sin la presencia directa de operador.*
- *Se pueden efectuar comparaciones automáticas de las mediciones efectuadas con respecto a tolerancias o márgenes de variación de los parámetros predefinidos. Si existiesen puntos singulares y no representativos que se mueven de manera singular, más rápidos que el resto, por ejemplo grandes bloques singulares de piedras, la auscultación puede confirmar la no validez de las medidas efectuadas.*
- *Un chequeo estadístico puede efectuar una primera selección y confirmar los datos obtenidos, así como eliminar los resultados no deseados. También se pueden efectuar, de manera automática, controles que permitan detectar información inconsistente así como anomalías no deseadas.*
- *Es posible un procesado automático de los datos, con la correspondiente ilustración gráfica de los mismos e interpretación de manera continua. La expresión de esta información se puede presentar en el formato deseado. Se puede mostrar de manera amable de acuerdo con los gustos particulares del usuario.*
- *La totalidad del proceso se puede automatizar y enviarlo por correo electrónico o por cualquier otro procedimiento a las autoridades pertinentes con la periodicidad que se desee. Permite vincularlos con sistemas de alarma, de manera automática y con la información pertinente de amenazas, o de riesgos, o de fallos.*
- *El nivel de precisión de las medidas no depende del procedimiento de toma y de envío de datos. Se puede alcanzar el mismo grado de precisión que en equipos manuales.*
- *La energía necesaria para el mantenimiento de los equipos se puede confiar a paneles solares con o sin acumuladores de energía.*

### **INCONVENIENTES**

- *El principal inconveniente es su precio. En la actualidad estas técnicas puedan resultar tan caras que resulten inviables.*
- *A su vez otro inconveniente está vinculado con el **excesivo volumen información** se puede generar y que puede hacer inviable disponer de una idea clara del mecanismo de rotura que se está produciendo.*

*No hay que olvidar que el aspecto más importante en la actualidad, cuando la bondad de los datos está garantizada, no es tanto la cantidad como la calidad de la información que se entrega y que debe ser proporcionada de una manera sencilla, fácil; en definitiva amigable.*

1. *La mayoría de los parámetros implicados en el control deslizamientos sus susceptibles de ser controlados por medio de las técnicas de control remoto.*
2. *La mejor manera para disponer de un conocimiento global de los mecanismos de las superficies de deslizamiento es mediante el uso conjunto y complementario de distintas técnicas.*
3. *Algunas de los controles automáticos hoy en día disponibles son asequibles. Los pueden proporcionar empresas comerciales. Su mayor inconveniente es el costo y el elevado volumen de información que pueden proporcionar.*
4. *Si se comparan con otros métodos tradicionales, como el GPS o la Fotogrametría Aérea Digital, las técnicas del láser están ofreciendo posibilidades muy prometedoras y desconocidas hasta nuestros días. Una comparación entre ellas puede estar condicionada por las circunstancias no óptimas que necesitan por ejemplo otros procedimientos como por ejemplo el GPS.*
5. *El nivel de precisión que se puede conseguir con instalaciones de GPS, fijas o móviles, es del orden de pocos milímetros.*
6. *Aunque las cámaras digitales se han desarrollado de manera considerable en los últimos años todavía no pueden competir con la resolución de las técnicas analógicas, cuando se utilizan fotografías aéreas. Si bien, hoy en día, para distancias del orden de pocas decenas de metros la precisión alcanzada en el control de taludes es inferior al milímetro.*
7. *El radar de tierra representa una aplicación muy interesante para el procesamiento de imágenes y se puede utilizar, junto con otros procedimientos, para el control de deslizamientos.*
8. *El uso de la información que proporcionan los satélites comerciales e institucionales se encuentran todavía en el inicio de un desarrollo prometedor para el control de grandes movimientos. En el futuro suplirán a otras técnicas y permitirán análisis más precisos. En cualquier caso su evolución es prometedora y es de esperar que sus aplicaciones prácticas en España se puedan llevar a cabo en un futuro próximo.*
9. *Para la aplicación de estas técnicas se requiere la participación de equipos multidisciplinares, con la colaboración de especialistas vinculados con las técnicas de control remoto (satelital, aéreo y terrestre).*

En las figuras 1 y 2 se presenta un ejemplo de un sistema automático de monitoreo de deslizamientos.

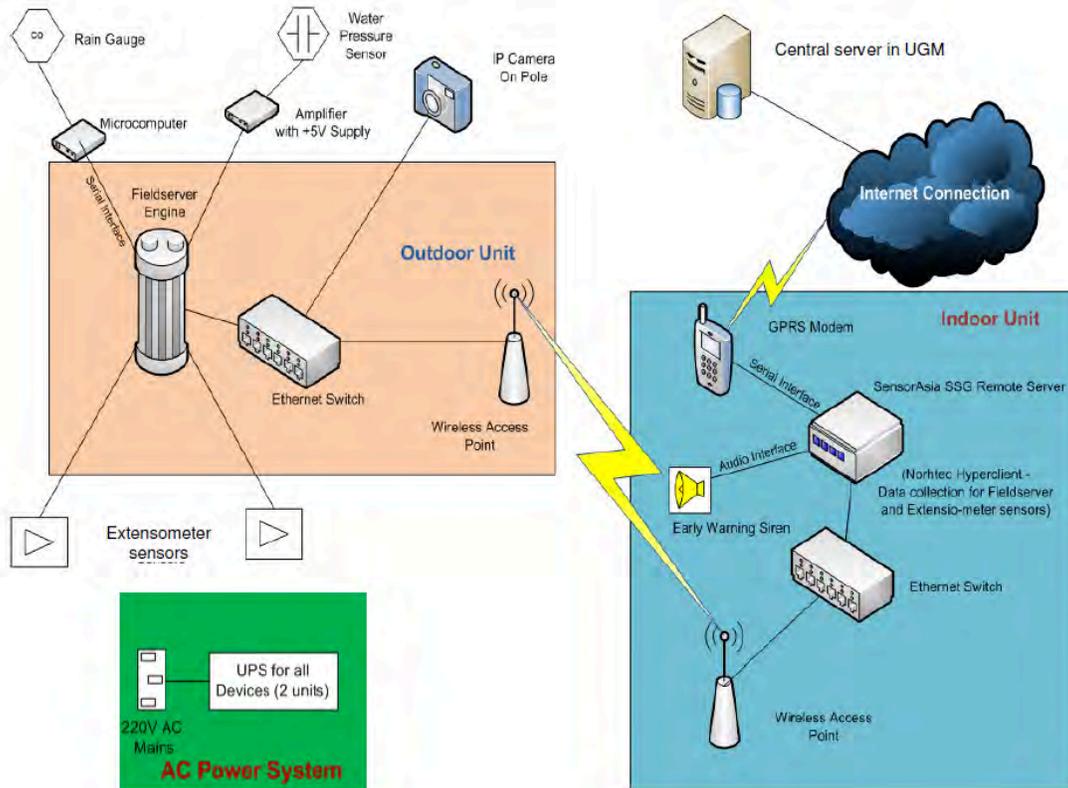


Figura 1. Esquema de red para un sistema de alerta de deslizamientos en tiempo real. Fathani (2010)



Figura 2. Mástil con with extensiómetros, pluviómetro gauge, medidor de presión de agua, cámara web, caja exterior con el servidor de campo. Fathani (2010)

## **Anexo 19. Protocolos para SATD**

Para la operación de los SAT centrales y comunitarios es necesaria la elaboración de un manual de protocolos para operaciones rutinarias y en casos de eventos para ser implementado como parte de los esfuerzos de fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana.

A continuación se presenta una lista de los protocolos adaptando la propuesta de Villagran (2001).

### **I. PROTOCOLO DE OPERACIÓN RUTINARIA DEL SISTEMA**

1. Funcionamiento diario
2. Mantenimiento de equipo de monitoreo
3. Mantenimiento de equipo de radiocomunicación
4. Capacitación anual del personal
5. Revisión y actualización anual de plan de emergencia

### **II PROTOCOLO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA EN CASOS DE EVENTOS POTENCIALMENTE CATASTROFICOS**

1. Seguimiento a eventos potencialmente desastrosos
2. Emisión de alertas verde, amarilla, naranja y roja
3. Elevación y Disminución de nivel de alerta
4. Comunicación con el nivel nacional
5. Seguimiento a eventos de otra índole o tipo

A continuación se presentan en más detalle los protocolos que se elaboran para una operación más sistemática de los SAT comunitarios y de cualquier tipo que se implementen en los países.

Los protocolos 1 y 2 se encuentran en los anexos del mismo nombre.

### **I. PROTOCOLO DE OPERACIÓN RUTINARIA DEL SISTEMA**

#### **1. Protocolos de Funcionamiento diario**

##### **1.1 Estaciones de Monitoreo**

- A Verificación de funcionamiento de equipo de radio comunicación por voz
- B Verificación de funcionamiento de equipo de radio comunicación digital
- C Verificación de funcionamiento de equipo de monitoreo hidrometeorológico
- E Verificación del funcionamiento del equipo de monitoreo de deslizamientos
- F Reportes de acuerdo a planificación (3 veces diarias)

##### **1.2 Estación Central de Control en la Cuenca**

- A Verificación de funcionamiento de equipo de radio
- B Verificación de funcionamiento de equipo de radio comunicación digital
- C Verificación de funcionamiento de equipo de monitoreo hidrometeorológico
- D Verificación de funcionamiento de equipo de monitoreo de deslizamientos
- E Verificación de Disponibilidad de Bitácora
- F Recepción de reportes de bases de acuerdo a planificación
- F Ingreso en Bitácora
- G Análisis de datos hidrometeorológicos
- H Análisis de datos de monitoreo de deslizamientos

- H Generación de reporte diario de eventos y datos
- I Envío de reporte a Entidad Nacional de Protección Civil

**1.3 Estaciones de Respuesta en comunidades en riesgo**

- A Verificación de funcionamiento de equipo de radio
- B Verificación de Disponibilidad de Bitácora
- C Verificación de Disponibilidad de Plan de Emergencia
- D Recepción de reportes de bases de acuerdo a planificación
- E Ingreso en Bitácora
- F Generación de reporte diario de eventos y datos
- G Envío de reporte a Entidad Nacional de Protección Civil

**2. Protocolos de Mantenimiento de equipo de monitoreo**

**2.1. Mantenimiento de Bitácora del equipo**

**2.2. Verificación de funcionamiento de equipos de monitoreo**

- A Medidor electrónico de nivel de río
- B Estación meteorológica
- C Pluviómetro
- D Medidores de deslizamientos

**2.3. Mantenimiento de equipo de monitoreo**

- A Medidores de deslizamientos
- C Pluviómetros

**3. Protocolos de Mantenimiento de equipo de radiocomunicación**

**3.1. Verificación de funcionamiento de equipo de radiocomunicación**

- A Unidad de radio
- B Batería de ciclo profundo
- C Fuente eléctrica de alimentación de radio y batería
- D Panel solar
- E Antena de radio

**3.2 Mantenimiento de equipos**

- A Batería de ciclo profundo
- B Panel solar
- C Unidad de radio, cables y antena.

**4. Capacitación anual del personal**

**4.1. Capacitación anual de personal que opera red de monitoreo y SAT**

- A Planificación de capacitación
- B Capacitación de personal
- C Evaluación de capacitación

**4.2. Capacitación anual de personal de Comités Locales de Emergencia**

- A Planificación de capacitación
- B capacitación de personal
- C Evaluación de capacitación

**4.3. Simulacros**

- A Planificación de simulacro
- B Ejecución de simulacro
- C Evaluación de simulacro

**5. Revisión y actualización anual de plan de emergencia**

**5.1. Protocolo de revisión de plan de emergencia**

**5.2. Protocolo de actualización de plan de emergencia**

**II. PROTOCOLO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA EN CASOS DE EVENTOS POTENCIAL DESASTROSOS**

**1. Protocolos de Seguimiento a eventos potencialmente desastrosos**

**1.1. Operación en casos críticos**

- A Establecimiento de comunicación con entidad nacional para inicio de operación en caso crítico
- B Establecimiento de comunicaciones con estaciones de monitoreo en casos críticos
- C Establecimiento de comunicaciones con estaciones de respuesta en caso de respuesta en casos críticos
- D Establecimiento de comunicaciones con otras instituciones del sistema
- E Análisis de información
- F Verificación de situación con entidad nacional

**2. Protocolos de emisión de alertas verde, amarilla, naranja y roja**

**2.1. Emisión de alerta verde**

- A Emisión de alerta verde a estaciones de respuesta
- B Emisión de alerta verde a entidad nacional
- C Emisión de alerta verde a otras instituciones del sistema
- D Emisión de boletín informativo de alerta verde para medios masivos

**2.2 Emisión de alerta amarilla**

- A Emisión de alerta amarilla a estaciones de respuesta
- B Emisión de alerta amarilla a entidad nacional
- C Emisión de alerta amarilla a otras instituciones del sistema
- D Emisión de boletín informativo de alerta amarilla para medios masivo

**2.3 Emisión de alerta naranja**

- A Emisión de alerta naranja a estaciones de respuesta
- B Emisión de alerta naranja a entidad nacional
- C Emisión de alerta naranja a otras instituciones del sistema
- D Emisión de boletín informativo de alerta naranja para medios masivos

**2.4 Emisión de alerta roja**

- A Emisión de alerta roja a estaciones de respuesta
- B Emisión de alerta roja a entidad nacional
- C Emisión de alerta roja a otras instituciones del sistema
- D Emisión de boletín informativo de alerta roja para medios masivos

**3. Protocolos de elevación y disminución de nivel de alerta**

- 3.1. Elevación a alerta verde**
- 3.2. Elevación de alerta verde a amarilla**
- 3.3. Elevación de alerta amarilla a naranja**
- 3.4. Elevación de alerta naranja a roja**
- 3.5. Disminución de alerta roja a amarilla**
- 3.6. Disminución de alerta amarilla a verde**
- 3.7. Eliminación de alerta verde**

**4. Protocolos de comunicación con el nivel nacional**

- 4.1. Comunicación con entidad nacional en caso de establecimiento de alertas.**
  - A Alerta verde.
  - B Alerta amarilla.
  - C Alerta naranja.
  - D Alerta roja.
- 4.2. Comunicación con entidad nacional en caso de disminución de alertas.**
  - A Alerta verde.
  - B Alerta amarilla.
  - C Alerta roja.

## **Anexo 20. Signos de alerta y métodos de observación visual**

Signos de alerta para deslizamientos son:

### **Deslizamientos lentos:**

- o Nuevos manantiales, filtraciones de agua, o suelos saturados con agua en áreas que no han sido típicamente húmedo antes. Estos aparecen al pie del deslizamiento.
- o Nuevas grietas o bultos inusuales en el suelo, en el pavimento de las calles o aceras.
- o El suelo se aleja de las fundaciones de las casas o edificios.
- o Estructuras auxiliares, tales como terrazas y patios se inclinan y / o mueven en relación con la casa principal.
- o Inclínación o grietas en pisos de concreto y fundaciones.
- o Tubos de agua quebradas agua potable y de otros servicios subterráneos.
- o Postes telefónicos, árboles, muros de contención o cercas se inclinan.
- o Desplazamientos en líneas de cercas.
- o Hundimientos o caídas de las camas carretera.
- o Rápido aumento en los niveles de agua de los arroyos, posiblemente acompañado de aumento de la turbidez (según la composición del suelo).
- o Disminución repentina de los niveles de agua del arroyo, aunque la lluvia sigue cayendo o se detuvo recientemente.
- o Se peguen las puertas y ventanas, y son visibles espacios abiertos entre jambas y marcos.
- o Ruidos como explosiones en la casa indica que se quiebran los marcos de cemento o metal.
- o Ruidos lejanos en el bosque, como explosiones, indican que se rompen raíces de los árboles por el deslizamiento.

### **Deslizamiento rápido, avalancha, catastrófico**

- o Sonidos inusuales, tales como árboles quebrándose o rocas golpeándose, podrían indicar escombros en movimiento.
- o Un leve sonido retumbante que aumenta en volumen se nota cuando deslizamiento de tierra se acerca.
- o Ruido como helicóptero, el deslizamiento rápido ya está cerca

Zonas que son generalmente propensas a los deslizamientos de tierra:

- o Zonas de deslizamientos antiguos.
- o En los cauces que se bajan de la montaña o volcanes
- o Áreas sobre o en la base de fuertes pendientes.
- o En o en la base de huecos de drenaje menor.
- o En la base o la parte superior de un antiguo talud de relleno.
- o En la base o parte superior de una ladera empinada corte.
- o Zonas en las laderas que se usan para de sistemas sépticos.

Áreas que normalmente se considera a salvo de deslizamientos de tierra:

- o Sobre roca dura que no se ha movido en el pasado.
- o En zonas relativamente llanas alejadas de cambios repentinos en el ángulo de inclinación.
- o En la parte superior o en la nariz de las cordilleras, alejado de la parte superior de las laderas.

## **Anexo 21. Equipos de transmisión, registro y procesamiento de datos**

### **1. Registro en el campo**

Para el registro en el campo hay una variedad de computadoras de muy bajo tamaño y poco consumo eléctrico.

Los más potentes trabajan con el sistema operativo Linux lo que facilita el desarrollo, la aplicación de software y la comunicación. Tiene conectores seriales, de USB, de Ethernet.

Un ejemplo son las tarjetas TS de la empresa Technologic Systems  
<http://www.embeddedarm.com/products/board-detail.php?product=TS-7260> .

### **2. Transmisión o comunicación de datos para monitoreo**

Savvaïdis (2003) escribe: *“El método actual de comunicación entre las estaciones de medición y estación de control puede ser diferente dependiendo de la ubicación geográfica y los requisitos específicos del proyecto de monitoreo. Cuando una infraestructura de telefonía celular está disponible y la aplicación es acrítica, tanto en el tiempo y el nivel de seguridad, una conexión a través de un módem celular es ideal. Algunos ejemplos son el largo plazo, el monitoreo semanal de un hundimiento del terreno, o la medición diaria de un escollera de protección. Un enlace de radio UHF es una buena opción cuando la aplicación es tal que la independencia de las infraestructuras de telecomunicaciones existentes es deseable o esencial. Este puede ser el caso de derrumbe o deslave de vigilancia, donde el mismo o un evento catastrófico posiblemente no puede causar sobrecarga o interrupción de la infraestructura de telefonía celular, por lo que el sistema de monitoreo y vigilancia inutilizables cuando su funcionamiento se necesita. Con un enlace de radio, el costo de una sola comunicación es insignificante en comparación con la solución celular, pero la inversión en el equipo necesario puede ser mayor cuando las distancias a kilómetros de distancia debe ser un puente entre el lugar de medición y la estación base, lo que requiere la instalación de radio enlaces estaciones. Como tercera posibilidad, los datos están disponibles a través de sitios de Internet. De esta manera, todos los elementos de un red de monitoreo se puede acceder de forma local o remota desde cualquier parte del mundo. Esto facilita el diagnóstico a distancia, así como las aplicaciones en más de un sitio pueden ser monitoreados desde una ubicación centralizada.”*

### **3. Comunicación de datos, telemetría para SATD**

Dado que las zonas fuentes de los deslizamientos se encuentran frecuentemente lejos del sitio de impacto es necesario transmitir las mediciones de las lluvias como de otros parámetros que se monitorean.

En los sistemas sencillos se encarga una persona que lee el dato, lo anota y lo lleva al centro de monitoreo, o lo transmite por teléfono celular o radio Walkie-Talkie. Cuando se usan estaciones digitales sin telemetría se copian los datos en una memoria USB y se transportan al centro de acopio o procesamiento y alerta. Esto tiene sentido para zonas de deslizamientos lentos donde no es necesario transmitir en tiempo real y las lecturas se hace diario, o semanalmente, o en períodos aún más largos.

Un sistema automático sencillo, de contacto, puede tener transmisión por alambre eléctrico por distancias de centenares de metros hasta varios kilómetros y controlar por ejemplo una sirena. Los sistemas con alambre son muy susceptibles al robo o vandalismo

Muchos pluviómetros electrónicos, inclusive equipos baratos, tienen como opción la transmisión de datos por distancias de algunos centenares de metros hasta varios kilómetros. Los equipos son pequeños y se pueden esconder fácilmente para minimizar robo y vandalismo.

Sobre distancias largas se pueden usar sistemas inalámbricas WLAN/Wifi, el sistema de telefonía celular, el Internet vía celular o en zonas densamente pobladas también el INTERNET vía líneas terrestres y fibra óptica. El INTERNET se está expandiendo rápidamente y el acceso es cada vez más fácil inclusive en zonas remotas. El uso de telefonía celular o Internet vía red celular es barato y rápido en la instalación pero se paga una mensualidad. Pero, a veces, las compañías de telefonía celular den rebaja o permiten el uso gratis del medio considerando la importancia social de la alerta temprana, considerando también el ancho de banda muy pequeño que los pluviómetros requieren. Transmisión vía Wifi es más cara en la instalación pero no se paga mensualidad. Por otro lado los equipos de telemetría requieren de cierto mantenimiento.

Es posible combinar los métodos, para minimizar costos. Por ejemplo se puede transmitir vía Wifi desde la zona de fuente del deslizamiento a una casa cercana que tiene teléfono. Desde allí se usa el Internet (ASDL, fibra óptica) para transportar los datos al centro de monitoreo.

Hay muy pocos ejemplos de SATD en Centroamérica que usan transmisión o comunicación digital. Por lo tanto lo siguiente se basa en experiencias obtenidas con las redes sísmicas de los países de la región que tienen una amplia experiencia en este campo, específicamente en el INETER-Nicaragua, MARN – El Salvador y OSOP-Panamá.

#### **4. Equipos de transmisión por WIFI (WLAN)**

Trabajan en el rango de frecuencias de 2.4 a 5.8 GHz, y trabajan similar como la conexión WIFI que usan los café INTERNET o los router inalámbricos caseros.

Como equipos sencillos baratos se mencionan los radios de Ubiquity por ejemplo

**NanoStation** <http://ubnt.com/nanostation> , o

**BulletM** <http://ubnt.com/bulletm>

Se usan para transmisión sobre varios kilómetros con su antena interna, vista directa entre los puntos de conexión. Se conectan con la computadora del campo con un cable Ethernet. Este cable lleva también la alimentación al equipo (Power over Ethernet, PoE) cuando se instala en un mástil). Gastan poca energía. Para un enlace se necesitan dos unidades.



Hay varios modelos y el precio por unidad es de entre 50 y 100 dolares. Ver por ejemplo <http://www.microcom.us/browse-by-brand--ubiquiti-networks.html>

Si se conecta una antena externa de alta ganancia (p.ej. 24 dB) el alcance puede ser de varias decenas de kilómetros, entre puntos con vista directa. Cada antena tiene un precio de entre 70 a 100 dólares. Estas antenas tienen un ángulo de sensibilidad muy estrecho y sirven en general solamente para conexión punto a punto.

Hay radios WIFI internos que se pueden montar directamente en una tarjeta electrónica, por ejemplo un dispositivo construido en el laboratorio de universidad o institución geocientífica. Se conecta con la antena externa con un cable coaxial. Estos radios tienen precios de algunos 50 dólares.



En vez de transmitir directamente a la central de monitoreo se puede hacerlo vía una estación de retransmisión o punto de acceso. Un punto de acceso (AP) tiene un equipo de mayor capacidad que puede servir a decenas de estaciones de medición. Un buen punto de acceso puede tener un precio de algunos 200 dólares. Como antena se usaría en el AP una antena de mayor ángulo de sensibilidad, or ejemplo 90 grados, y en el sitio de medición una antena d alta ganancia.

Es también posible transmitir a una casa o empresa que tenga acceso al INTERNET y aprovechar para retransmitir los datos a la central de procesamiento y alerta.

Antes de diseñar el sistema de comunicación hay que consultar las leyes correspondientes en los países porque hay ciertas diferencias sobre los permisos de usar las frecuencias de 2.4 a 5.8 GHz.

## **5. Comunicación satelital**

Existe la posibilidad de usar transmisión satelital que puede ser una opción donde ninguno de los demás métodos funciona. Existen actualmente posibilidades de transmisión por satélite de muy bajo costo, si la cantidad de los datos es baja. Por ejemplo para un deslizamiento lento en un lugar muy remoto de donde se quiere solamente transmitir una vez por semana un valor del movimiento en mm. El precio puede ser debajo de 20 dólares al mes por un sitio. Se puede programar un estado de emergencia en que transmite con mayor velocidad, con un costo adicional solamente para este período.

Para mayores velocidades de algunos 32 kilobits por segundo (ancho de banda) se tiene que presupuestar un costo de más de 250 dólares al mes por sitio.

## **6. Procesamiento central**

Para el procesamiento central se requiere de sistema computarizado de una o varias computadoras con un paquete de programas de cómputo (software) que realiza las siguientes tareas:

- 1) Registro de las señales de las estaciones de monitoreo
- 2) Verificación de la calidad de las señales, del buen funcionamiento de las estaciones y de los equipos de transmisión de datos
- 3) Visualización de la situación del sistema de monitoreo, de las estaciones de monitoreo y del subsistema de comunicación de datos.

- 4) Alerta visual y acústica de mal funcionamiento, presentación de recomendaciones al operador sobre posibles medidas de
- 5) Evaluación de los datos registrados según los métodos empleados para la detección de situaciones peligrosas; comparación con los umbrales definidos
- 6) Visualización de los datos en comparación con los umbrales
- 7) Alerta acústica y visual cuando se sobrepasan los umbrales
- 8) Presentación de recomendaciones al operador sobre la actuación necesaria según plan de emergencia.
- 9) Envío de mensajes de alerta y/o activación de dispositivos de alarma (sirenas) según comando del operador o automáticamente si el operador no actúa.
- 10) Visualización de datos sobre el desarrollo del evento peligroso, por ejemplo registros sísmicos, video de cámaras Web. Esto da al operador/los tomadores de decisión la posibilidad de variar las medidas de prevención o rescate según la situación real.
- 11) Grabación de todos los datos e informaciones sobre acciones y decisiones tomadas.

## **7. Seguridad de datos y redundancia**

Por la importancia de los SATD para salvar vidas se deben tomar medidas adecuadas para asegurar que el sistema funcione con alto grado de seguridad. Se debe prever que el fenómeno peligroso, por ejemplo la lluvia fuerte, el propio movimiento del deslizamiento puede afectar el sistema o partes de él. Lluvias prolongadas y la densa nubosidad durante días y semanas pueden hacer que los paneles solares no carguen bien las baterías y los equipos de monitoreo dejen de funcionar. El deslizamiento puede cambiar la topografía y la señal del radio puede quedar obstruida. Las estaciones de monitoreo y equipos de radio pueden ser afectadas por robo o vandalismo. La computadora central del sistema puede tener algún problema de software o hardware. Por eso se debe tener un alto grado de redundancia. Todos los sistemas importantes deben existir al menos dos veces y funcionar en paralelo. No debe existir un solo elemento una mal función del cual haría que se caiga todo el sistema. Por ejemplo, es mejor tener dos computadoras de suficiente desempeño en que corren en paralelo los programas de monitoreo y alerta en la central de procesamiento que un solo servidor de alto rendimiento. Esto incluye también a los operadores del sistema y los tomadores de decisión.

## **Anexo 22. Alimentación de energía para SATD**

### **1. Electricidad comercial**

En algunos casos, por ejemplo si el deslizamiento se ubica cerca puede ser posible aprovechar de la red de electricidad comercial y alimentar los equipos. No obstante, se requiere de un respaldo de baterías para que el sistema funcione también cuando se de un corte de energía.

### **2. Baterías**

#### **Baterías de baja capacidad AA y AAA**

Para equipos que no tienen un consumo permanente de electricidad por ejemplo alarmas con Switches Reed (ver Anexo 13) se pueden usar las baterías convencionales que se compran en el supermercado o la ferretería. Las baterías de buena calidad mantienen su carga por varios meses, inclusive años. Se debe revisar en ciertos períodos si la batería todavía tiene carga. Entre los productos de las diferentes fábricas hay grandes diferencias en la capacidad y confiabilidad de las baterías. Revistas de electrónica realizan de vez en cuando investigaciones sobre este tema y sus resultados se puede revisar en el Internet.

#### **Baterías recargables convencionales**

Estas baterías no son adecuados para equipos que requieren que la batería mantenga su carga por mucho tiempo porque se descargan muy rápido, dentro de días o semanas.

#### **Baterías de carro**

Porque no se usan baterías de vehículo? Porque se descargan bastante rápido aun sin usarlas. En dos meses ya pueden estar descargadas. Son pesadas y es difícil llevarlas a un sitio en el monte con mucha pendiente. Si se visita el sitio con bastante frecuencia se pueden usar baterías de motocicleta de 6 o 12 voltios que son relativamente pequeñas y ligeras. También se descargan rápidamente entonces se debe llevar en cada visita una batería cargada y se cambia con la batería que estuvo en el dispositivo.

Se puede usar un pequeño panel solar, solamente para mantener el voltaje. Un panel de 5 o 10 Watt y 12 voltios es suficiente para mantener el voltaje de una batería de vehículo. Para un panel tan pequeño no se requiere de un regulador que normalmente es indispensable cuando se usan paneles solares con baterías de plomo. Pero, se debe considerar que el panel solar tiene una superficie brillante y podría llamar la atención de maleantes o curiosos.

#### **Baterías de Lithium-Ion**

Estas baterías que se usan por ejemplo en Laptops tienen una alta densidad de energía. Pero requieren también conexión con un cargador o panel solar porque pierden su carga bastante rápido.

### **3. Sistemas solares**

Hay una gran variedad de paneles solares. Paneles de 5 o 10 Watios con costos de unos 100 a 200 dólares se pueden usar para mantener la carga de una batería por ejemplo para una sirena pequeña. Hay paneles que consisten de varias partes y se pueden doblar lo que es muy cómodo para

transportarlos por ejemplo a una estación en terreno difícil. Sistemas de paneles solares mayores de 50 a 200 W que tienen un costo entre 200 y 700 dólares se usan para equipos que tienen un consumo permanente de electricidad en el rango de 1 a 10 W. El panel carga una batería de 12 V que alimenta el equipo aún en la noche o en las horas de alta nubosidad cuando el panel ya no da carga suficiente. . En la zona de Centroamérica se estima que la capacidad del panel debe ser 20 veces mayor la el consumo promedio de los equipos para tener reserva suficiente. La batería debe ser del tipo ciclo profundo (y no una batería de carro) tendría una capacidad de 30 a 100 Ampere-horas, con un costo de 100 a 200 dólares. Un controlador de carga, costo de 100 dólares, evita que la batería se sobrecarga o que se descargue demasiado.

Una descripción muy buena y extensa sobre el uso de baterías y paneles solares se encuentra en el libro de Jens Havskov y Gerardo Alguacil sobre “Instrumentation in Earthquake Seismology” <http://www.verdurumu.org/makaleler/documents/instrument.pdf> .

#### **4. Sistemas eólicos**

En tiendas especiales de energía alternativo o en buenas ferreterías pequeños se venden pequeños generadores eólicos con una capacidad de unos cientos de Watios que cuestan menos de 1000 dólares. Estos pueden ser usados para mantener la capacidad de una batería de ciclo profundo. Pero necesitan velocidades del viento apreciables para generar energía eléctrica suficiente. Para sistemas de alta confiabilidad se puede usar una combinación de panel solar y generador eólico con un banco de baterías.

Una combinación de paneles solares y generador eólico se usó, por ejemplo, en el SATD de Dipilto, Nicaragua (ver Anexo 7d).

## Anexo 23. Equipos sísmicos y acústicos para el monitoreo de deslizamientos

### I. Registro Sísmico

Deslizamientos en movimiento rápido se pueden detectar con sismógrafos. En Centroamérica hay muchos ejemplos del registro de estos eventos especialmente de los grandes flujos o lahares que ocurren frecuentemente en la cadena volcánica. El mayor número de muertos por deslizamientos en la región resulta de los flujos y lahares.

Una vez en movimiento el lahar o la avalancha pueden ser detectados por geófonos (altas frecuencias hasta en el rango acústico, ver Acoustic Flow Monitor del USGS, en Anexo 16) o sismómetros (frecuencias debajo de 20 Hz), ver Anexos 16 y 17.

El uso de geófonos y sismómetros se ofrece en Centroamérica porque generalmente la sismología es bastante avanzada en los países de la región, con excepción de Honduras. Hay buenas redes sísmicas mantenidas por personal experimentado. Esta capacidad se puede aprovechar para el tema de los deslizamientos.

Las frecuencias acústicas (mayores de 20 Hz) se atenúan más rápido en la tierra que las frecuencias bajas. Con geófonos de frecuencias altas se pueden detectar movimientos hasta distancias de algunos centenares de metros. En las frecuencias más bajas de menos de 20 Hz los flujos o caídas de rocas se pueden detectar hasta distancias de algunos kilómetros, fuertes caídas de rocas hasta decenas de kilómetros. En algunos casos, estos movimientos pueden ser registrados por redes sísmicas locales e inclusive se pueden localizar el lugar del evento y determinar la magnitud sísmica.

Una variedad de geófonos se ofrece en

<ftp://ftp.sercel.com/pdf/brochures/Analog%20Seismic%20Sensors%20Brochure.pdf>

#### 1. Geófonos de 4.5 Hz

Estos geófonos registran normalmente frecuencias mayores de 4.5 Hz, frecuencias más bajas se pueden detectar pero muy atenuadas (si no se usan filtros electrónicos especiales).

Son muy comunes en la búsqueda de petróleo con prospección sísmica, se producen en grandes cantidades con precios relativamente bajos. Un geófono como se ve en foto 1 puede tener un precio de unos **100 a 150 dólares**. Se puede encontrar en la Web ofrecimientos de geófonos usados por un precio de aproximadamente 30 dólares.

Los geófonos se pueden conectar directamente con un datalogger con una tarjeta de digitalización de 24 bit para el registro de los movimientos sísmicos.



Foto 1. Geófono de 4.5 Hz

La empresa italiana SARA ofrece desde hace varios años sismógrafos digitales baratos con estos sensores que incluyen tarjetas de digitalización y computadoras del campo que registran los sismos y transmiten la información vía inalámbrica o Internet.

( [http://www.sara.pg.it/index.asp?par\\_lingua=in](http://www.sara.pg.it/index.asp?par_lingua=in) ).

Estos sensores son puramente electrodinámicos es decir no tienen amplificadores ni filtros electrónicos.

## 2. Sismómetros de 1 Hz

Un ejemplo muy reconocido de este tipo de sensores es el sismómetro L-4 de Marc Products, distribuido por la compañía SERCEL. El costo es de aproximadamente 1500 US\$ por componente. Se puede usar para la detección de lahares a distancias de varios kilómetros, pero el precio es relativamente alto. Estos sensores tampoco tienen circuitos electrónicos.



**Foto 2. Sismómetros L-4**

Componentes horizontal (izquierda) vertical (centro), de 3 componentes (derecha);

[http://www.rsuw.daleh.id.au/Mark\\_Products\\_L4.pdf](http://www.rsuw.daleh.id.au/Mark_Products_L4.pdf)

## 3. Sismómetros con rango extendido de frecuencia

Con ciertos circuitos electrónicos relativamente sencillos se puede bajar el límite de frecuencia de los geófonos o sismómetros por un factor 5 para construir sismómetros electrónicos de baja frecuencia (ver p.ej. Ulmann (2005), [http://www.vaxman.de/publications/teach\\_gp.pdf](http://www.vaxman.de/publications/teach_gp.pdf) ). Así, con un geófono de 4.5 Hz se puede construir un sismómetro electrónico de 0.5 Hz que tienen características similares como los sismómetros electrodinámicos pero con un precio considerablemente más bajo, y con un peso más bajo y dimensiones mucho más pequeños.

El ejemplo más reconocido de estos equipos son los sismómetros de la empresa alemana Lennartz ([http://lennartz-electronic.de/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=1:seismometers-brochure&id=1:seismometers&Itemid=57](http://lennartz-electronic.de/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=1:seismometers-brochure&id=1:seismometers&Itemid=57) ). Desafortunadamente, estos equipos son relativamente caros (alrededor de 7,000 US\$, puesto en Centroamérica).

Otro ejemplo es el **sismómetro electrónico Caldera** de la empresa panameña OSOP ([www.osop.com.pa](http://www.osop.com.pa)), que tiene un precio de aprox. 1500 US\$. Tiene 3 componentes. Ver detalles en el prospecto más abajo.

Otro equipo con sensores de 4.5 Hz extendidos es el **sismógrafo digital Sixaola** de OSOP. Es decir no solamente un sensor como el sismómetro sino un equipo que registra datos. Con un precio de **5,000 US\$** es relativamente barato si se considera que incluye sensores, ampliación del rango de frecuencia, sincronización del tiempo mediante GPS, digitalización, registro interno, detección de sismos y transmisión de datos a un centro de monitoreo. Detalles ver en el prospecto más abajo.

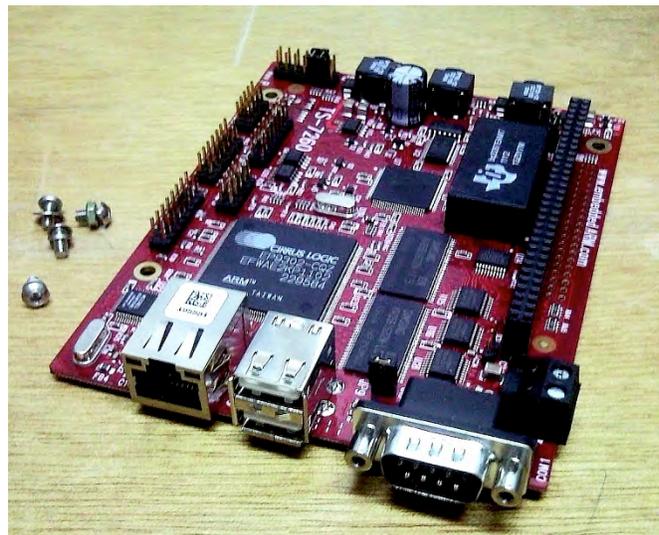
Un equipo que combina un sismómetro de 3 componentes con un acelerógrafo de 3 componentes es el Itamut de la empresa OSOP. Dado que usa digitalizadoras de 16 bit el precio es relativamente bajo con aprox. **3000 US\$**.

El equipo de movimientos fuertes **Darién ( 1,500 US\$)** de OSOP es la combinación de un sismómetro de una componente vertical extendido a 20.5 Hz con un acelerómetro de 3 componentes. Permite detectar flujos y lahares a larga distancia con el sismómetro y registrar con el acelerómetro las fuertes vibraciones durante el paso de la masa del lahar por el sitio de instalación del equipo.

#### **4. Registro de los datos con dataloggers y computadoras de campo**

Un datalogger de 24 bit alta calidad es el EDR-209 de Earthdata <http://www.earthdata.co.uk/edr-209.html>. Tiene un precio de aproximadamente **5000 dólares**. Registra internamente y envía los datos por medio de un conector de Ethernet vía comunicación digital a un centro de datos.

En los sismógrafos digitales de las empresas SARA y OSOP se encuentran tarjetas de digitalización de SARA y computadoras muy pequeñas de la serie TS-7200 fabricadas por la empresa Technologic Systems <http://www.embeddedarm.com/products/board-detail.php?product=TS-7260> . Consisten de una pequeña tarjeta electrónica y tienen un consumo de menos de 1 W. Tiene el sistema operativo Linux integrado. El precio es de unos 250 dólares.



**Foto 3. Computadora TS-7260**

## II. Sensores acústicos para la detección del inicio de deslizamientos

El funcionamiento de sistemas para detectar flujos y lahres por medio de sus emisiones acústica se referencia en Anexo 16.

Desde hace algunos años se busca posibilidades de detectar el comienzo de movimientos lentos de masas antes de que entre en un movimiento rápido y catastrófico. La siguiente técnica ha sido desarrollada por investigadores de la Universidad de Loughborough, en colaboración con el British Geological Survey. <http://www.epsrc.ac.uk/newsevents/news/2010/Pages/landslideprediction.aspx>

La guía de onda (palo de metal) se encuentra dentro de un pozo lleno de grava que se mueve en respuesta a cualquier tensión o deformación en el talud. El movimiento de la arena crea un ruido que se transmite a la superficie, y el transductor, a través del tubo de acero. La longitud de la guía de onda es determinada por la distancia del subsuelo inestable en la superficie y por lo tanto pueden ser decenas de metros de largo, si es necesario. El monitoreo se llevó a cabo en frecuencias demasiado altas para el oído humano para detectar, lo que garantiza el ruido de fondo no da lugar a falsas alarmas.

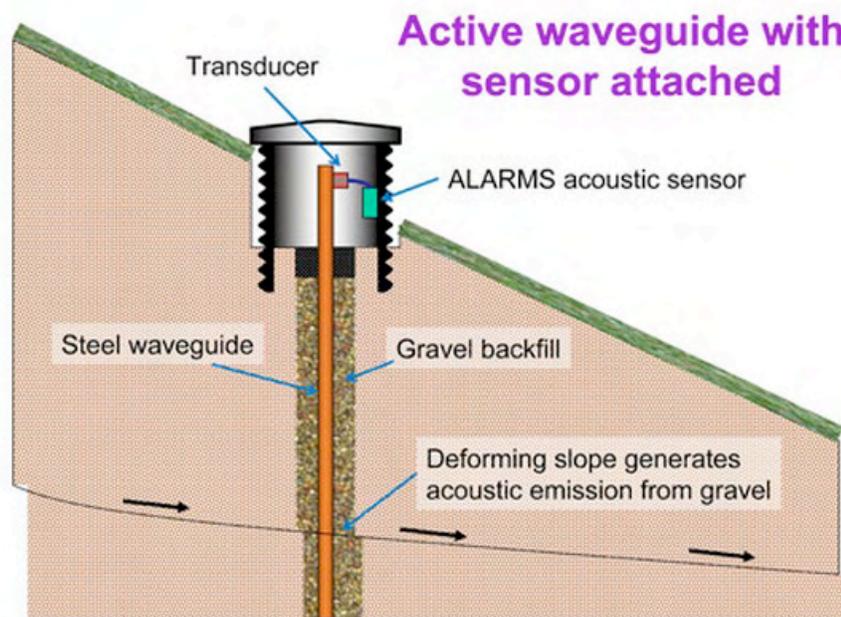


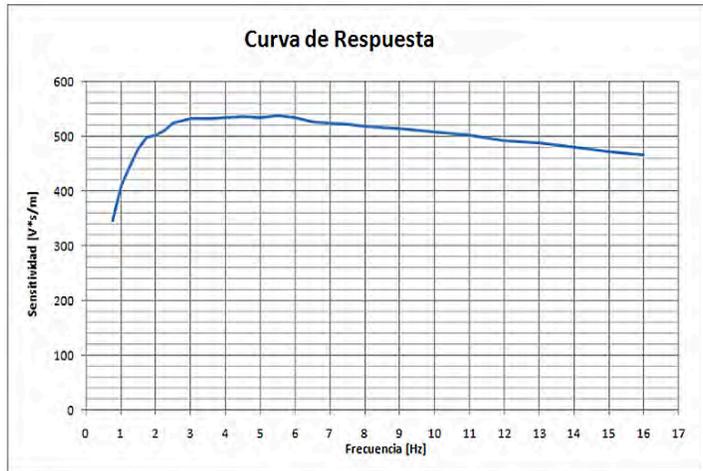
Figura 1. Esquema del método acústico para detección de deslizamientos

## Proyecto 1

Ofrecido por:  
OSOP, Volcán, Chiriquí, Panamá Apdo 0424-0027  
email: info@osop.com.pa  
telefax: (+507) 771-5428  
skype: osopsk web: www.osop.com.pa

# Caldera<sup>1</sup> – sismómetro de período corto con 3 componentes

Rango de frecuencia de 50 a 0.5 Hz (2 s); Opción de señal de aceleración



### Aplicaciones

Monitoreo sísmico local y regional; Monitoreo volcánico; Monitoreo de campos geotérmicos; Mediciones del ruido sísmico y de la amplificación del suelo.

### Características

**Sensores:** 3 Componentes (geófonos) de 4.5 Hz

**Procesamiento electrónico:**

Tarjeta de ampliación del rango de frecuencia a 0.5Hz (2 segundos) y generación de señal de aceleración

**Alimentación:** 9-18 V DC

**Consumo:** aprox. 0.3 W (24 mA con 12 V)

**Caja:** Plástico sellado que ofrece protección total en ambientes húmedos y agresivos (p.ej. gases volcánicos).

La tapa transparente permite observar los LED de la tarjeta electrónica y el nivel de burbuja

**Salidas:** 3 canales de velocidad; opcional 3 canales de aceleración

**Conector:** Opciones son 1) compatible con conector de Lennartz LE-D lite; 2) Conector Samtec; 3) otro conector que solicite el cliente

**Dimensiones:** 120x90x82(altura) mm

**Peso:** 900 g

**Montaje auxiliar:** Con el sismómetro se entrega un montaje auxiliar de aluminio que permite atornillar el equipo en el piso y/o nivelarlo con tornillos

**Opciones:**

- Salida de señal acelerográfica; - Cable de conexión con el datalogger

<sup>1</sup> Caldera es un río que nace del volcán Barú, en la provincia de Chiriquí, Panamá, cerca de la sede del OSOP.

| #  | Parámetros                             | Especificaciones  |
|----|--|---|
| 1  | Frecuencias esquina de respuesta       | 50.0, 0.5 Hz (2 segundos)   |
| 2  | Aplicación recomendada                 | Monitoreo sísmico local y regional; Monitoreo volcánico; Monitoreo de campos geotérmicos; Mediciones del ruido sísmico y de la amplificación del suelo.   |
| 3  | Sensores                               | Geófonos 4.5 Hz   |
| 4  | Ampliación del rango de frecuencia     | Si, a 0.5 Hz (2 segundos)   |
| 5  | Número de componentes                  | 3 (Vertical, Norte-Sur, Este-Oeste)   |
| 6  | Sensibilidad                           | 400 V/m/s; otros valores posibles según solicitud del cliente   |
| 7  | Salida                                 | +/- 10 V  |
| 8  | Carcasa                                | Plástico resistente: Norma impacto IK08; Norma ambiental IP67; adecuado para ambientes agresivos y/o húmedos como campos geotérmicos, cráteres volcánicos; La tapa transparente permite verificar el funcionamiento del equipo sin abrirlo. |
| 9  | A prueba de agua 1 m                   | Carcasa, cables, conectores (Norma IP67)  |
| 10 | Temperatura de funcionamiento          | -15 a +60 ° C   |
| 11 | Dimensiones                            | 120x90x82 mm  |
| 12 | Peso                                   | 900 gramos (sin el montaje auxiliar de aluminio)  |
| 13 | Voltaje de alimentación                | 9-18 V DC   |
| 14 | Consumo energía                        | Aprox. 0.3 W; 24 mA (12v)   |
| 15 | Protección de corriente inversa        | Si  |
| 16 | Fusible auto-resetable                 | Si  |
| 17 | Verificación rápida del funcionamiento | Si, 1 LED por canal, y otros LED para diversas funciones, La tapa transparente del equipo permite observar el funcionamiento de los LED   |
| 18 | Anclaje rápido                         | Si, un solo punto con un montaje de anclaje de aluminio.  |
| 19 | Nivelación                             | Con el montaje de anclaje, facilitado por la burbuja de nivel   |

### Especificaciones

Para la opción de la salida acelerográfica:

|    |                    |        |
|----|--------------------|--------|
| 20 | Aceleración máxima | 0.25 g |
|----|--------------------|--------|

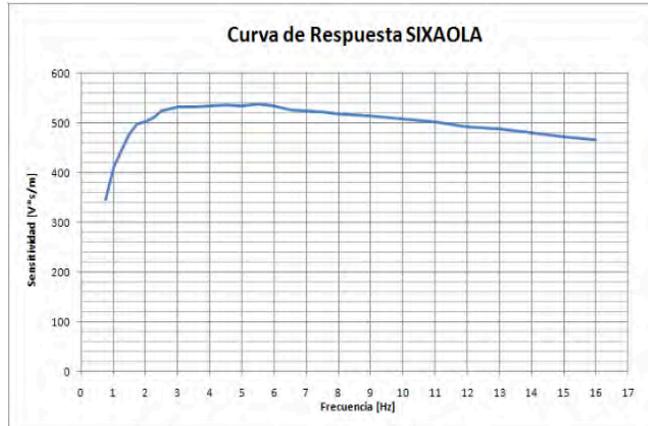


Fotos: Sismómetro Caldera

## Prospecto 2

### Sixaola<sup>2</sup>

Sismógrafo digital de período corto, con un rango de frecuencia extendido a 0.5 Hz (2 s), digitalización con una dinámica de 24 bit, detección y registro local, comunicación digital al centro de datos



#### Aplicaciones

Monitoreo sísmico local y regional; Monitoreo volcánico; Monitoreo de campos geotérmicos; Mediciones del ruido sísmico y de la amplificación del suelo.

#### Características principales

**Sensores:** 3 Componentes (geófonos) de 4.5 Hz (extendido electrónicamente a 0.5Hz (2 segundos))

**Digitalizador:** SARA 24 bit, 3 canales

**Sincronización del tiempo:** GPS, (el equipo puede ser usado sin GPS, p.ej. para mediciones del ruido sísmico)

**Procesador:** TS-7260, 128 Mbyte RAM, Linux

**Software:** Seismonux/Seedlink. Alternativas: SeisComp/Seedlink, Earthworm/Export, Seislog/LISS

**Ajuste de los parámetros de comunicación y adquisición de datos:** por medio de GUI (Web), SSH o Telnet

**Registro interno de datos:** según software de adquisición

**Almacenamiento de datos:** Memoria USB 8Gb

**Acceso remoto:** vía Ethernet, TCP/IP; opcional: adicionalmente con WiFi

**Alimentación:** 8-30 V DC; opcional con batería interna

**Consumo:** menos de 3 W

**Caja:** Plástico sellado que ofrece protección total en ambientes húmedos y agresivos (p.ej. gases volcánicos).

La tapa transparente permite observar los LED de las tarjetas electrónicas y el nivel de burbuja

**Conectores sellados:** Ethernet, GPS, Alimentación 12 V

**Montaje auxiliar:** Con el sismógrafo se entrega un montaje auxiliar de aluminio que permite atornillar el equipo en el piso y/o nivelarlo con tornillos

**Soporte técnico:** remotamente, por INTERNET

**Sensores externos:** se eliminan los sensores internos y se instala un conector adicional; el cliente pone los sensores. **Wifi:** Comunicación adicional con WIFI, con antena interna o externa. **Batería interna:** Batería de 12 V integrada, se usa una caja más grande.

<sup>1</sup> Sixaola es un Río en el Noroeste de Panamá

## Especificaciones

| #  | Parámetros                                | Especificaciones del SIXAOLA  |
|----|---|---|
| 1  | Frecuencia esquina de la respuesta        | 0.5 Hz (2 segundos)   |
| 2  | Aplicación recomendada                    | Sismos tectónicos locales, regionales y lejanos, sismos volcánicos  |
| 3  | Compatibilidad con software sismológico   | SeisComP, Earthworm, Seisan   |
| 4  | Sensores                                  | Geófonos 4.5 Hz   |
| 5  | Ampliación del rango de frecuencia        | Si, a 0.5 Hz (2 segundos)   |
| 6  | Formato de datos                          | Seedlink (con Seismonux o SeisComP), LISS (Seislog), Export (Earthworm)   |
| 7  | Modos de grabación                        | 1) Eventos, 2) continuo, 3) eventos y continuamente combinado, 4) manual  |
| 8  | Disparo                                   | Selección de amplitud, STA / LTA o manual   |
| 9  | Tarjeta de digitalización                 | SARA 24 bit sigma-delta   |
| 10 | MPU de la tarjeta de digitalización       | AVR RISC processor@11.592MHz  |
| 11 | Número de canales                         | 3 (tres)  |
| 12 | Convertidor A / D                         | 24 bits (SD)  |
| 13 | Rango dinámico                            | 124dB @ 100SPS  |
| 14 | Muestreo                                  | simultáneamente en tres canales   |
| 15 | Frecuencias de tomar muestras             | 10, 20, 25, 50, 100, 200  |
| 16 | Impedancia de entrada                     | 300 kOhm  |
| 17 | Sensibilidad                              | 2V pp (119nV/count) (4V PP con puentes internos)  |
| 18 | Almacenamiento masivo                     | Memoria USB de 8 Gb   |
| 19 | Sistema de archivos                       | ext2  |
| 20 | Datalogger                                | TS-7260   |
| 21 | Sistema Operativo                         | Linux   |
| 22 | Protocolos de comunicación pre instalados | TCP / UPD / Web Server Apache / FTP / SSH / Telnet  |
| 23 | Conectores de datos                       | Externo: Ethernet 10/100, interno: RS232 en tarjeta TS-7260   |
| 24 | Reloj en Tiempo Real                      | +/-10ppm (-20 a +50 ° C)  |
| 25 | Sincronización del reloj en tiempo real   | modulado por el GPS para PSP  |
| 26 | Precisión del UTC                         | 5ppm at 20°   |
| 27 | Antena GPS                                | 10m amplificado con cable y conector Bulgin (IP68 a prueba de agua)   |
| 28 | Carcasa                                   | Plástico  |
| 29 | Temperatura de funcionamiento             | -30 / +60 ° C   |
| 30 | Dimensiones                               | 200x150x130 mm  |
| 31 | Peso con sensores 4.5Hz                   | 2200 g (con montaje auxiliar, de aluminio)  |
| 32 | Consumo energía                           | <3.0 W  |
| 33 | Voltaje de alimentación                   | 8-30 V dc   |
| 34 | Protección de corriente inversa           | Si  |
| 35 | Fusible auto-resetable                    | Si  |
| 36 | A prueba de agua 1 m (IP67)               | Carcasa, cables, conectores   |
| 37 | Verificación rápida del funcionamiento    | Si, 1 LED por canal, y otros LED para diversas funciones, La tapa transparente del equipo permita observar el funcionamiento de los LED |
| 38 | Verificación de forma de onda             | Si, por medio del interface Web y GUI   |
| 39 | Anclaje rápido                            | Si, un solo punto   |
| 40 | Nivelación                                | Con el montaje de anclaje, facilitado por la burbuja de nivel   |
| 41 | Soporte técnico                           | Si, remotamente por Internet. Duración según contrato   |

## **Anexo 24 SATD Regional Experimental para Centroamérica**

*(Tomado de Strauch W., Castellón A. (2009) Contribution to Early Warning on landslides in Central America using precipitation estimates from meteorological satellites, Lateinamerika-Kolloquium, Kiel, 2009)*

### **Resumen**

Se desarrolló un sistema de software y un sitio Web para presentar mapas de precipitación en tiempo real. El sistema hace uso del Hydroestimator (NESDIS/NOAA) que se basa en datos de satélite meteorológicos. Mapas a nivel regional, nacional y local, listas de precipitación, y curvas de la precipitación versus tiempo representan el comportamiento de la lluvia acumulada en 1, 3, 6 12 y 24 horas in sitios bajo amenaza de deslizamientos. También, se presentan los datos en tiempo real de las estaciones pluviométricas existentes en la región. El acceso fácil y veloz a esta información es de uso práctico para las instituciones responsables para el monitoreo meteorológico y el manejo de desastres en Centroamérica.

Fuertes precipitaciones relacionadas con tormentas tropicales causan, frecuentemente, deslizamientos e inundaciones en América Central. En la región hay pocas estaciones meteorológicas y no existen radares de tiempo. Por eso, información alterna es altamente apreciada.

Se considera la posibilidad inminente de la ocurrencia de deslizamientos en algún sitio cuando la lluvia acumulada en este lugar sobrepasa un determinado umbral. En este caso el sistema envía un mensaje de correo electrónico a una lista de destinatarios.

Se presentan estudios de casos para ilustrar la utilidad del sistema.

La evaluación de los datos se realiza mediante GrADS, un sistema básico de procesamiento y visualización de información geográfica que contiene procedimientos específicos para meteorología y geociencias.

El sitio Web del sistema es <http://georiesgos-ca.ineter.gob.ni/lluvia/nesdis/gif/index.html> .

### **1. Introducción**

Huracanes, ondas tropicales, tormentas u otras situaciones meteorológicas pueden provocar fuertes y prolongadas lluvias que suelen causar o desencadenar fenómenos peligrosos como deslizamientos de tierra, crecidas de ríos, corrientadas rápidas e inundaciones. Entre las amenazas naturales, estos fenómenos hidro-meteorológicos son los que más frecuentemente afectan a la población en Centroamérica. La detección temprana de zonas con intensas y/o prolongadas lluvias puede ayudar de salvar vidas antes de que se desate un desastre. Eventos recientes como el Huracán MITCH (1998), el Huracán FELIX (2007), la tormenta tropical ALMA (2008), las ondas tropicales en la temporada lluviosa, del 2008, evidenciaron en Centroamérica la falta de información objetiva y fácilmente accesible sobre intensidad, distribución y duración de las precipitaciones. La red de estaciones meteorológicas no es muy densa en la región y no hay radares meteorológicos (con excepción del Canal de Panamá (Panamá, 2009).



**Foto 1. Deslizamiento desastroso del Volcán Casita, Nicaragua,**  
Provocado por las lluvias extremas del Huracán Mitch. Octubre de 1998.  
El evento causó más de 2000 muertos.



**Foto 2. Deslizamiento en El Suptal, Corquín, Honduras,**  
Provocado por lluvias de la onda tropical No.16, en octubre de 2009.  
Se destruyeron más de 20 casas.

Se desarrolló un método alternativo de apoyo a la alerta temprana de deslizamientos que se basa en estimaciones de precipitación obtenidas de imágenes satelitales y proporcionadas por NESDIS/NOAA. Con el método se puede visualizar y evaluar cuantitativamente - antes, durante y después de las emergencias - la intensidad de las lluvias ocurridas. Esta información puede servir para pronosticar - a base científica - la posibilidad del impacto por deslizamientos e inundaciones. Subrayamos que el método no reemplaza a las estaciones meteorológicas sino es una herramienta adicional.

Este producto se basa en el [Hydro-Estimator](#) de NESDIS/NOAA, ver [descripción](#). Se menciona que existe otra aplicación del Hydroestimator para Centroamérica que se dedica a la alerta temprana de inundaciones - Central American Flash Flood Guidance (CAFFG), pero el acceso a sus productos es restringido (<https://cds.imn.ac.cr/> , ver algunas explicaciones en <http://www.hrc-lab.org/CAFFG/CAMI> ).

## 2. Estimación de precipitación - Hydroestimator

Lo siguiente fue tomado de Vicente (2001). Traducción al español y ligera adaptación: W.Strauch)

*"Las estimaciones de precipitaciones en tiempo real utilizando los datos (imágenes) obtenidos por satélites geo-sincrónicos tienen varias aplicaciones en la meteorología, hidrología y la prevención de desastres. Aunque estas estimaciones son indirectas - por la alta frecuencia y buena resolución espacial de las mediciones satelitales, así como por la amplia zona que cubren, complementan de forma única los datos obtenidos de estaciones pluviométricas y las mediciones por radar. Por otra parte, los perfiles de la liberación de calor latente inferidos de estas estimaciones en tiempo real pueden ser utilizados para obtener pronósticos cuantitativos de la precipitación en tiempo real.*

*También puede proporcionar una valiosa ayuda a los meteorólogos, hidrólogos y geólogos para la emisión de advertencias de inundaciones rápidas y de deslizamientos, sobre todo cuando varios sistemas de tormenta deben ser analizados simultáneamente. El uso de las mediciones convencionales de lluvia en estas aplicaciones es limitado debido a que la distribución de las estaciones es escasa y no están disponibles en montañas y zonas escasamente pobladas. El radar meteorológico en muchas áreas no está disponible y tiene además sus propias limitaciones.*

*Sin embargo, las precipitaciones derivadas de satélite se disponen cada 15 minutos a 30 minutos en la resolución espacial de 4 kilómetros y, por tanto, pueden ayudar en la detección fuertes precipitaciones y la predicción de inundaciones rápidas (flash flood) en tiempo real.*

*Uno de los más importantes hechos acerca de las nubes de lluvia utilizados en el desarrollo de Estimadores de precipitación es que las nubes que aparecen con techo frío en las imágenes infrarrojas producen más precipitaciones que las con techos más cálidos. La Comparación de la temperatura en la superficie superior de la nube obtenidas de IR imágenes e imágenes visibles con imágenes de radar ha demostrado que las tormentas convectivas se caracterizan por nubes con temperaturas muy bajas (195 a 210 K) en su techo y por rapidez modificaciones espaciales y temporales en la estructura de la cara superior de las nubes. Dado que la lluvia tiende que ser una variable discontinua, el correcto cálculo de las estimaciones depende no sólo de la determinación precisa de las tasas de precipitación instantánea para cada píxel, pero también de la efectiva detección de píxeles donde no llueve. Esto es difícil utilizar un solo canal IR solo porque sólo la cima de las nubes cimas se puede observar. Sin embargo, el análisis estructural de la distribución de la temperatura píxel por píxel, así como la evolución temporal de las sistemas nubes que utilizan dos imágenes ayudan a localizar las zonas con precipitación."*

El método se explica de forma esquemática con los gráficos 1 y 2. El satélite meteorológico GOES mide - desde el espacio - la temperatura de las nubes con un sensor infrarrojo. Las temperaturas tienen una variación de aproximadamente 200 a 290 grados Kelvin (que corresponde a -73 a +17 grados centígrados Celsius).

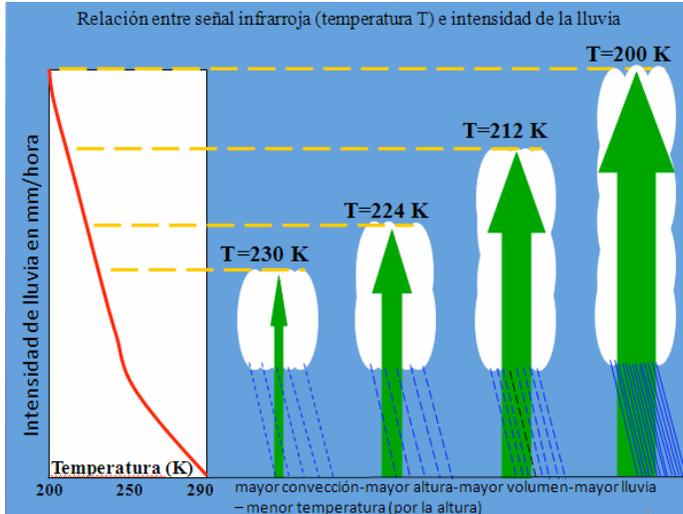


Gráfico 1 Relación temperatura-intensidad de lluvia

En sistemas convectivos, las nubes suben cuando el aire - que el sol previamente calentó durante el día - se expande, reduce su densidad, se pone más ligero. A mayor altura, la temperatura de la atmósfera es menor que cerca del suelo. Más altura corresponde a menor temperatura de la atmósfera. Con una fuerte convección la nube se extiende más hacia arriba y su techo tiene una temperatura más baja. Por otro lado, el volumen de la nube es mayor, ella contiene más humedad y tiene mayor potencial de lluvia.

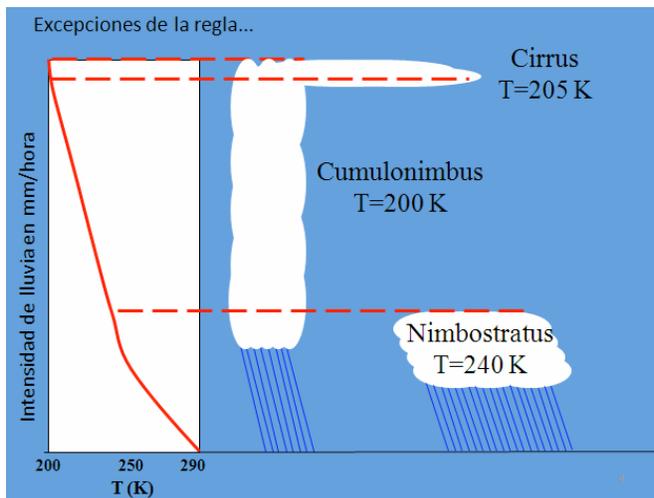
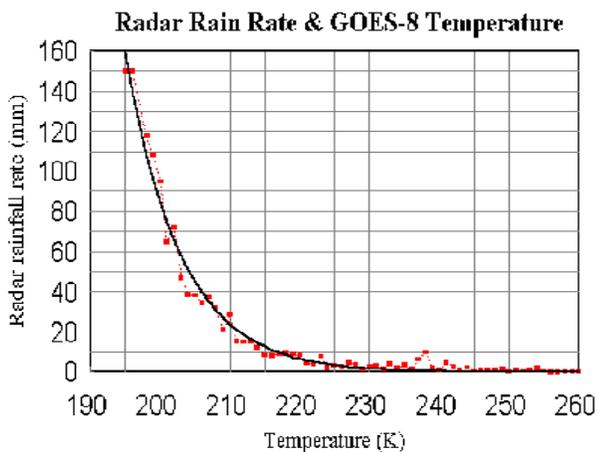


Gráfico 2. Excepciones: Cumulonimbus y Nimbostratus

El procedimiento se complica porque hay algunas situaciones en que fórmula no funciona. Hay tipos de nubes que son excepciones de la regla. La nubes Cirrus se mantienen a gran altura y su temperatura es baja. Pero, contienen muy poca humedad y no pueden generar lluvia. Las Nimbostratus se quedan a baja altura y tienen altas temperaturas pero son repletas de humedad y pueden generar lluvias intensas. El programa de cómputo tiene que identificar estas excepciones y evitar falsas estimaciones de precipitación.



En NESDIS/NOAA se investigó la relación entre intensidad de la lluvia y temperatura del tope de las nubes usando radares meteorológicos. Esta relación, que se presenta gráficamente en figura 1, permite estimar la intensidad de la lluvia en un sitio usando la temperatura de la que mide el satélite para este lugar. Aplicándola a cada punto en las imágenes infrarrojas del satélite se obtiene una imagen de la intensidad de la lluvia como las que se presentan en cap. 4 del presente trabajo. Ver también una descripción de la técnica en Vicente (2009).

Figura 1. Relación de la temperatura del tope de las nubes con la intensidad de la lluvia

El método no es una medición exacta de la lluvia como con pluviómetros sino una estimación indirecta que se basa en otros parámetros del fenómeno que genera la lluvia y que tienen alguna relación con ella. Por eso, el valor de la lluvia determinada con pluviómetros no puede ser idéntico al que se obtiene con el satélite. Hay que considerar que el pluviómetro mide la lluvia en un determinado punto mientras el satélite determina la precipitación para áreas que tienen una dimensión mínima de 4x4 km (tamaño de píxel de la imagen satelital).

Por lo tanto, la estimación de las lluvias mediante satélite no reemplaza las estaciones meteorológicas sino es una herramienta meteorológica adicional.

Hay que anotar que el método fue originalmente elaborado para las condiciones climáticas de los Estados Unidos, pero se ha demostrado que funciona también para la zona del trópico, inclusive con mejores resultados. Pero algunos parámetros del cálculo de precipitación deben ser adaptados para Centroamérica. Por eso, se inició un trabajo de validación que consiste en comparar los valores de precipitación obtenidos con satélite con los datos de las estaciones meteorológicas en Nicaragua, Guatemala, El Salvador y Honduras. Este trabajo se hará al menos durante toda la temporada de lluvias del 2009.

Ejemplos de aplicación y validación del método pueden consultarse en: Ferraro et al. (1999) para Centroamérica (Huracán Mitch), [Wieczorek et al \(2001\)](#) con ejemplos de EEUU y Venezuela, [Cruz González \(2004\)](#) con el ejemplo de Puerto Rico, [Claudinéa \(2006\)](#) con la aplicación en Brasil.

Ferraro et al. (1999) presentan impresionantes datos de precipitación del huracán Mitch que causó grandes pérdidas de vidas humanas y económicas en Centroamérica. Originó miles de deslizamientos especialmente en Nicaragua y Honduras y inundaciones de amplias áreas y correntadas en los ríos.

Los estimados de satélite indican que la lluvia más intensa ocurrió el octubre 31 de 1998 cuando bandas convectivas del Huracán Mitch interactuaron y se mezclaron con la convección orográfica que ya estuvo presente en el Noroeste de Nicaragua. La acumulación total de 3 días indica que las lluvias más fuertes ocurrieron sobre Nicaragua con un valor máximo de 1400 mm (55 pulgadas).

Las estaciones meteorológicas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) reportaron los siguientes valores: Chinandega 1,613 mm, León 1,113mm, Masatepe 663mm, Managua 545mm, Rivas 495mm. Esto coincide aproximadamente con los valores del satélite.

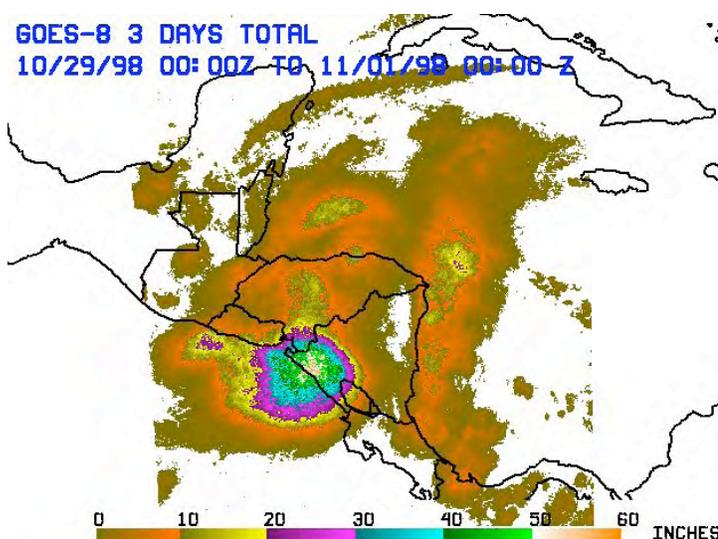


Figura 2. Precipitación acumulada durante el huracán Mitch (octubre de 1998). Estimada de imágenes satelitales. Tomado de Ferraro et al. (1999)

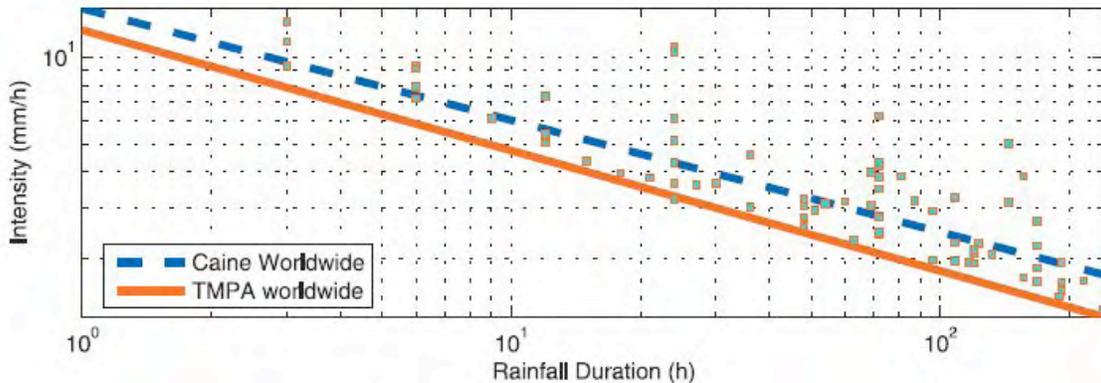
Desafortunadamente, la población no recibió alertas adecuadas y en el momento del impacto las autoridades no estuvieron conscientes de la magnitud del problema lo que agravó el desastre.

## 5. Umbral de precipitación para el posible desencadenamiento de deslizamientos

Deslizamientos son procesos complejos y su desarrollo depende de condiciones múltiples como grado de pendiente, geología, suelo, presencia de agua. Si todas las condiciones están dadas es suficiente el impacto de un fenómeno desencadenante como la sacudida por un sismo o una lluvia fuerte para que deslice la tierra. Intensidad

y duración de la lluvia son los parámetros que más frecuentemente inciden en el desencadenamiento de los deslizamientos en sitios propensos (Dévoli (2006)). La probabilidad de que ocurra el deslizamiento aumenta drásticamente cuando la intensidad de la precipitación sobrepasa un cierto umbral. El umbral depende de las condiciones locales del sitio propenso pero requiere de mucha investigación de mediano o largo plazo para conocer estos umbrales locales y para un nuevo sistema de alerta temprana al inicio normalmente no queda otro remedio que usar la experiencia de otros sitios.

Hasta tener umbrales locales usamos para Centroamérica la siguiente curva intensidad-duración obtenida de varios estudios de ocurrencia de deslizamientos después de fuertes y prolongadas lluvias.



**Figura 3. Curva de Intensidad-duración para el desencadenamiento de deslizamientos.**  
Tomada de [Huang \(2007\)](#)

Según la curva, deslizamientos pueden ocurrir si la intensidad de la lluvia excede el valor de aproximadamente 15 mm acumulado en una hora, 19 mm en 2 horas, 24 mm en 3 horas, 36 n 6 horas, 60 en 24 horas. Esto corresponde con las experiencias obtenidas en los volcanes de Nicaragua donde deslizamientos (Lahares) suelen a ocurrir cuando la precipitación alcanza valores alrededor de 80 mm acumulados durante 24 horas (Navarro, 2009).

Para Centroamérica se comenzó a trabajar en la investigación de los umbrales locales del disparo de los deslizamientos por la lluvia. Muchas veces, cuando ocurre un deslizamiento, no se sabe exactamente la cantidad de precipitación que hizo que se deslizará o derrumbara la tierra. Normalmente, no hay estación meteorológica cerca de un sitio afectado. Con el método satelital, se tiene al menos un estimado del comportamiento de la lluvia en la zona del deslizamiento en las semanas, días y horas antes del fenómeno. Se espera que esto permita mejorar la eficiencia del sistema de alerta temprana de deslizamientos con el tiempo.

## 2. Realización técnica para el sitio Web

1. Cada 30 minutos, NOAA/NESDIS procesa las imágenes de satélite GOES, y estima la precipitación acumulada para cada pixel de 4x4 km de tamaño.

2. Un programa de actualización de datos está instalado en un servidor local ubicado en el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Managua. Este programa descarga desde NESDIS cada 30 minutos los archivos actualizados para Centroamérica en formato GrADS.

3. Se generan copias de los archivos en varios formatos que son compatibles con programas de SIG, especialmente ArcGIS.

4. Un programa de procesamiento genera imágenes específicas de precipitación para cada país de Centroamérica.

5. El programa determina para cada país

si la precipitación para sitios conocidos de deslizamientos sobrepasa un cierto umbral - en caso afirmativo, se envía automáticamente por email un mensaje de alerta a una lista de destinatarios correspondiente al país.

6. El programa determina los valores de precipitación para las cabeceras municipales de cada país.

7. El programa determina los valores de precipitación para los volcanes de cada país.

8. Los valores de precipitación de los sitios de deslizamientos, ciudades y volcanes se publican en listados.

La evaluación de los datos, preparación de mapas, listados y mensajes de alerta se realiza mediante GrADS, un sistema básico de procesamiento y visualización de información geográfica que contiene procedimientos específicos para meteorología y geociencias (GrADS, 2009). Para la realización del sistema se requería de insumos y conocimientos de meteorología, geología, Sistemas de Información Geográfica, procesamiento de imágenes, tecnología Web, comunicación de datos. El Sitio Web del sistema es: <http://georiesgos-ca.info/lluvia/nedis/gif/index.html>. Datos locales fueron proporcionados por instituciones geo-científicas INETER (Nicaragua), Insivumeh (Guatemala), SNET (El Salvador), y por COPECO en Honduras.

#### 4. Visualización de la precipitación

Con los datos obtenidos de NESDIS/NOAA se elaboran cada 30 minutos mapas de precipitación regionales, nacionales y locales, ver figuras 4 y 5. Se presentan también animaciones en formato GIF de la precipitación de las últimas 24 horas. Manteniendo pequeño el tamaño de los archivos en formato GIF se procura garantizar que el acceso a estos productos gráficos sea rápido aún con un ancho de banda reducido como es el caso de muchos usuarios en Centroamérica.

Otro producto es un servidor de mapas a base de ArcIMS. Este mapa interactivo permite presentar los mapas de precipitación con mayor detalle geográfico. Adicionalmente, se pueden apreciar elementos derivados del modelo de terreno, como mapa de pendientes que tiene relación con el desencadenamiento de deslizamientos por lluvias o la ubicación de deslizamientos anteriores (Dévoli et al. 2007). El mapserver presenta también datos de las estaciones meteorológicas telemétricas de Centroamérica. El acceso a este producto es algo más dilatado y requiere de mayor acostumbramiento que a los mapas sencillos en formato GIF.

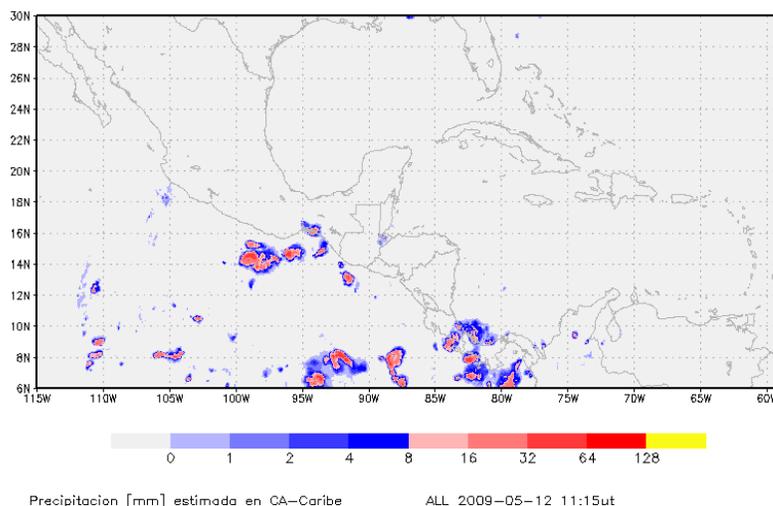


Figura 4. Ejemplo de mapa de precipitación para Centroamérica y el Caribe

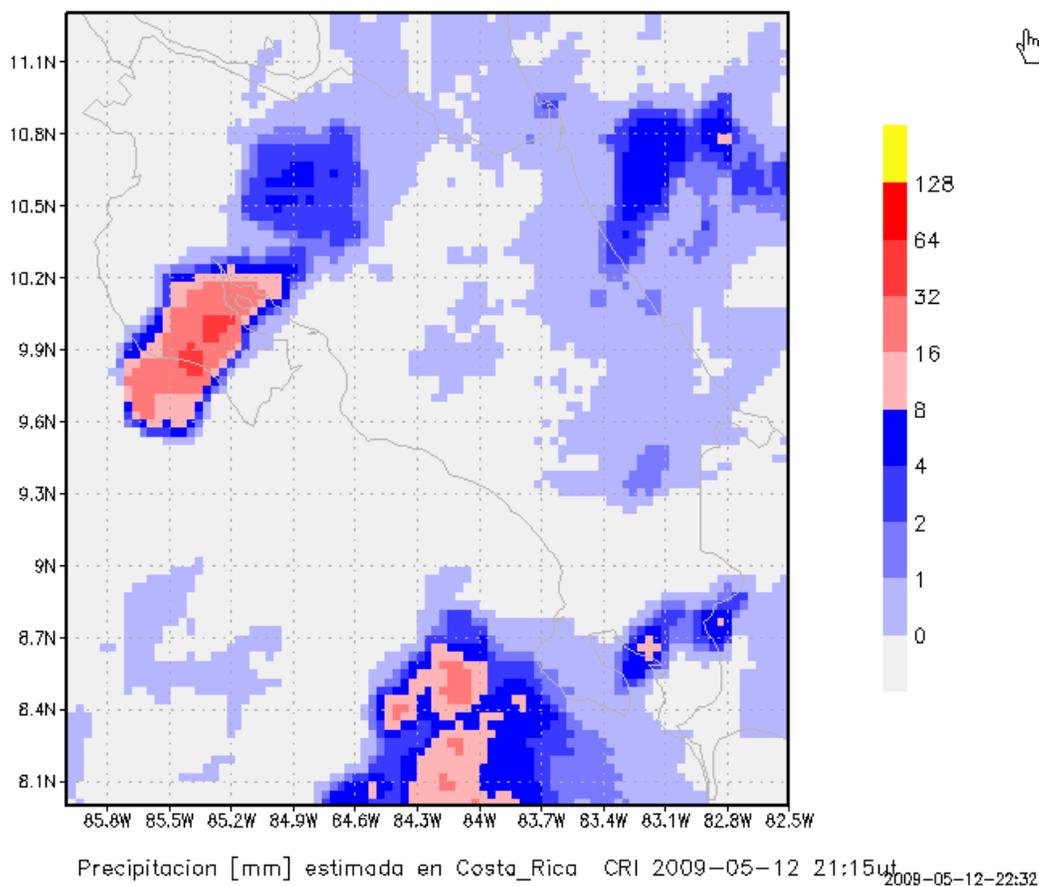


Figura 5. Ejemplo de mapa de precipitación para Costa Rica

## 6. Aporte a alerta temprana de deslizamientos

La visualización e información numérica sobre la distribución de la precipitación en tiempo real ya representa un progreso en el monitoreo de la lluvia en Centroamérica. El aviso sobre la intensidad de las lluvias en las zonas de deslizamientos conocidos significa para la mayoría de los sitios el comienzo de un monitoreo sistemático. Muy pocos sitios ya tienen pluviómetros u otra instrumentación instalada. En caso de recibir un aviso de alerta por el sistema las autoridades pueden comunicarse con las comunidades locales y averiguar la situación, dar recomendaciones e iniciar la preparación de medidas de prevención. Con el tiempo será posible verificar la ocurrencia de deslizamientos determinar los valores de precipitación correspondientes y mejorar los umbrales locales.

## 7. Prueba del sistema y usuarios de la información

El sistema fue desarrollado a partir de finales de 2008 y, actualmente, se considera todavía experimental. Durante toda la época lluviosa de 2009, se está realizando una prueba en todos sus componentes de descarga de datos desde NESDIS/NOAA, evaluación de la información, preparación de productos gráficos, listados alfanuméricos y mensajes de alerta, envío de los mensajes y recepción de los mismos por los destinatarios.

Se realizaron reuniones de especialistas en Meteorología, Geología y Sistemas de Información Geográfica de los países centroamericanos para coordinar el uso y la prueba del sistema. Aún siendo experimental, sus productos ya

se pueden usar en la práctica de los observatorios meteorológicos y en las Comisiones de Emergencia. Durante el proceso de prueba se espera recibir propuestas y críticas de los usuarios que pueden servir para mejorar el programa.

Además de estar públicamente accesible en la página Web, el sistema está en uso rutinario por las siguientes instituciones en su labor de monitoreo de los fenómenos peligrosos:

Nicaragua: INETER, Defensa Civil, SINAPRED.

El Salvador: SNET, Protección Civil.

Guatemala: INSIVUMEH, CONRED.

Honduras: COPECO, CERNA, UNAH.

Costa Rica: Comisión Nacional de Emergencia, Instituto Meteorológico Nacional.

Panamá: SINAPROC, Instituto Geofísico (UPA), Canal de Panamá, OSOP.

Personal de estas instituciones recibe mensajes de información y alerta que produce el sistema.

Además existe un número de ONG que trabaja en proyectos de prevención de desastres que también están interesados en el sistema.

En un futuro se podría informar también a las autoridades de municipios principalmente afectados por las lluvias. En caso de la afectación de Centroamérica por huracanes, ondas tropicales o fuertes tormentas se espera también un mayor interés de la población general en el sistema.

## Referencias

Claudinea et al [http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP\\_23/trabalhos\\_2006-1/Claudin%C3%A9ia.ppt](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP_23/trabalhos_2006-1/Claudin%C3%A9ia.ppt)

Cruz B. (2006). Validación del Algoritmo Hidroestimador en la Región de Puerto Rico, Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario Mayagüez, Julio de 2006, <http://grad.uprm.edu/tesis/cruzgonzalez.pdf>

Devoli , Strauch , Chávez , Høeg (2007) A landslide database for Nicaragua: a tool for landslide-hazard management, Landslides DOI 10.1007/s10346-006-0074-8

Devoli , Morales & Høeg (2006) Historical landslides in Nicaragua—collection and analysis of data, Landslides, DOI 10.1007/s10346-006-0048-x

Ferraro, R., G. A. Vicente, M. Ba, A. Gruber, R. Scofield, Q. Li and R. Weldon (1999) Satellite Techniques Yield Insight into Devastating Rainfall from Hurricane Mitch. EOS, Transaction, AGU, Vol. 80, No. 43, 10/26/1999, 512-514

GrADS (2009) <http://www.iges.org/grads/>

Hong Y., Adler R.E., Huffmann G.J. (2007). Satellite Remote Sensing, for Global Landslide Monitoring, Eos, Vol. 88, No. 37, 11 September 2007

[Huang \(2007\)](#) Satellite Remote Sensing for Global Landslide Monitoring, Eos, Vol. 88, No. 37, 11 September 2007

Hydroestimador (2009). <http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/autoreadme.html>

Nadim, F., O. Kjekstad, P. Peduzzi, C. Herold, C. Jaedicke (2006), Global landslide and avalanche, hotspots, *J. Landslides*, 3(2), 159–173, doi:10.1007/s10346-006-0036-1.

Navarro, Martha (2009) INETER, Nicaragua, comunicación personal

Panamá (2009). Información del Radar meteorológico del Canal de Panamá: <http://www.hidromet.com.pa/sp/radar1.htm>

Vicente, G.A. Scofield R. A. and Menzel, W.P. (1998) The Operational GOES Infrared Rainfall Estimation Technique, edition of the Bulletin of American Meteorological Society, September 1998

Vicente G. A. (2001) Satellite rainfall estimation for flash flood application European basic Auto Estimator within the frame of the SAFNWC, Madrid, 2001

Vicente G.A. (2009) THE AUTO-ESTIMATOR: Technique Description,

<http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/ff/technique.html>

Wieczorek G.F., McWreath H.C., Davenport C., (2001) Remote Rainfall Sensing for Landslide Hazard Analysis, U.S. Geological Survey OPEN-FILE REPORT 01-339, <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-339/01-339.pdf>

Centroamérica es una región afectada por múltiples tipos de fenómenos naturales que tienen severas consecuencias para la región y sus habitantes. El conocimiento sobre la situación de los Sistemas de Alerta Temprana es un requisito fundamental para el planteamiento de estrategias y articular esfuerzos tanto a nivel nacional como regional.

El objetivo de los SAT es el salvar vidas mediante el suministro oportuno de información. Sin embargo, todos los esfuerzos realizados pueden ser inútiles si los usuarios a quienes están dirigidos los SAT no saben qué hacer con la información suministrada.

Este proyecto busca integrar los avances en cuanto al fortalecimiento de las instituciones con mandato SAT en la región, así como un rol predominante en el área educativa buscando instaurar esta temática dentro de las currículas escolares junto a los ministerios de educación en la región.

COMISION EUROPEA



Ayuda Humanitaria



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

UNESCO, San José  
Representación para  
Costa Rica, El Salvador,  
Honduras, Nicaragua  
y Panamá



CEPRENAC

