

## CONTENIDO

<b>Primera parte : Generalidades</b>	<u>Página</u>
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Agradecimientos	3
4. Nota sobre la presentación	3
 <b>Segunda parte : Evaluación del desastre y de los peligros residuales en el volcán Casita</b>	
5. Volcán Casita	4
5.1 Antecedentes	4
5.2 Contexto geológico	4
5.3 Tipificación del proceso	4
5.4 Hipótesis sobre el mecanismo de ocurrencia	5
5.5 Comentario sobre algunas hipótesis	6
5.6 Derrumbes anteriores	7
5.7 Peligro residual	7
5.8 Flujo de detritos y peligros residuales en la vertiente norte del Casita	8
5.9 Peligros latentes en algunos frentes del volcán san Cristóbal	8
5.10 Recomendaciones	9
 <b>Tercera parte : Evaluación preliminar de peligros por inestabilidades en el norte y este de Nicaragua</b>	
6. Región de Esquipulas	10
6.1 Naturaleza del fenómeno	10
6.2 Morfometría	10
6.3 Evaluación del peligro	11
6.4 Otros deslizamientos observados en la zona	11
6.5 Recomendaciones	11
7. Cinco Pinos y San Pedro del Norte	12
7.1 Naturaleza de los fenómenos	12
7.2 Morfometría	12
7.3 Evaluación de peligros	13
7.4 Inestabilidades en la localidad de san Pedro del Norte	13
7.5 Problemas derivados de los trabajos de conservación de suelos	13
7.6 Recomendaciones	14
8. Muy Muy y san Pedro	14
8.1 Naturaleza de los fenómenos	14
8.2 Morfometría	15
8.3 Evaluación de peligros	15
8.4 Sobre la posibilidad de existencia de un fenómeno mayor	16
8.5 Otros deslizamientos vecinos	16
8.6 Recomendaciones	16
9. Región de Yalí-Jinotega-Matagalpa	16
9.1 Naturaleza de los fenómenos	17
9.2 Evaluación de peligros	17
9.3 Recomendaciones	17
10. Estelí-Cucamonga	18
10.1 Derrumbes de Cucamonga	18
10.2 Volumetría	18
10.3 Peligro residual	18
10.4 Recomendaciones	18

11	Pantasma	19
12	Isla de Ometepe	19
	12.1 Naturaleza genérica de los fenómenos	19
	12.2 Evaluación de peligros	20
	12.3 Sobre la prevención de peligros ocultos	20
	12.4 Recomendaciones	20
13	Inspecciones en Boaco y región de Carazo	20
14.	El caso del vertedero de excedencias de la presa de Apanás	21
15.	Sobre el curso introductorio al análisis de terrenos inestables	21
<b>Cuarta parte : Conclusiones y recomendaciones generales</b>		<b>22</b>
16.	Conclusiones	22
17.	Recomendaciones generales	23
Bibliografía consultada		25

## LISTA DE FIGURAS

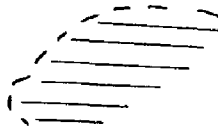
- Fig. 0 Sitios visitados, amenazados por deslizamientos  
 Fig. 1 Vista panorámica del flujo del Casita  
 Fig. 2 Zona de arranque con restos del derrumbe inicial, volcán Casita  
 Fig. 3 Carta preliminar de deslizamientos, zona de Esquipulas  
 Fig. 4 Carta preliminar de deslizamientos, zona de Cinco Pinos  
 Fig. 5 Carta preliminar de deslizamientos, zona de Muy Muy - San Pedro  
 Fig. 6 Carta preliminar de deslizamientos, zona de Yalí  
 Fig. 7 Carta preliminar de deslizamientos, zona de Matagalpa  
 Fig. 8 Derrumbe, bajada de Cucamonga  
 Fig. 9 Carta preliminar de deslizamientos, zona de Boaco

## SIMBOLOGIA

Deslizamiento



Deslizamiento probable



Base topográfica : cartas topográficas 1/50'000, elaboradas por INETER

**AYUDA HUMANITARIA Y CUERPO SUIZO DE SOCORRO  
EN CASO DE CATÁSTROFE (AH + CSS)**

**AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN  
(COSUDE)**

**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER)**

## **INFORME DE CONSULTORÍA**

**EVALUACIÓN DEL DESASTRE Y DE PELIGROS RESIDUALES  
EN EL VOLCÁN CASITA**

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE  
PELIGROS ASOCIADOS A TERRENOS INESTABLES EN  
ALGUNOS PUNTOS DEL NORTE Y CENTRO DE NICARAGUA**

**Presentado a: COSUDE-NICARAGUA  
INETER**

**Por: Raúl CARREÑO COLLATUPA**

### **PRIMERA PARTE**

#### **GENERALIDADES**

##### **1. INTRODUCCIÓN**

Por mandato de la *Ayuda humanitaria y Cuerpo suizo de socorro en caso de catástrofe* (AH + CSS) y a través de COSUDE-Nicaragua, el suscrito fue encargado de realizar una serie de estudios de evaluación de peligros de geodinámica externa en las zonas del volcán Casita, la isla de Ometepe y en las regiones norte y este de Nicaragua. Estas evaluaciones se hacían necesarias para prevenir eventuales desastres derivados de terrenos inestables, como el causado por el derrumbe y la posterior avalancha del volcán Casita, ocurrido el 30 de octubre de 1998.

Igualmente, esta misión debería servir para propiciar la realización de estudios sistemáticos sobre problemas de inestabilidad en Nicaragua, como parte de una estrategia integral de prevención a incorporar como un factor esencial en cualquier programa de desarrollo durable.

La misión de consultoría se realizó entre el 13 de noviembre y el 22 de diciembre de 1998, con una interrupción por ausencia del suscrito entre el 29 de noviembre y el 6 de diciembre. La misión fue decidida para ampliar los resultados obtenidos por una misión preliminar de investigación del Ing. Christophe Bonnard, entre el 6 y el 15 de noviembre de 1998.

**Raúl Carreño C.**

La coordinación del presente trabajo estuvo a cargo de COSUDE-Managua teniendo como contraparte al *Instituto Nicaragüense de estudios territoriales* (INETER), vía su dirección de Geofísica.

Las coordinaciones específicas en INETER se realizaron fundamentalmente con el Dr. Wilfried Strauch y el MSc. Fabio Segura. Para el caso de Ometepe, con la Ing. Martha Navarro.

Por parte del INETER el equipo de trabajo estuvo conformado por los Ingenieros Nelson Buitrago y Jorge Cruz, quienes colaboraron eficientemente en muchas de las labores de campo y de gabinete, así como en trámites administrativos relacionados con la logística y la disponibilidad de información.

Como actividad complementaria, y por iniciativa de AGUASAN-COSUDE (Ing. François Munger), se organizó un curso introductorio sobre terrenos inestables durante dos y medio días. Participaron en él básicamente profesionales y técnicos de INETER y de la empresa de agua potable ENACAL.

El Ing. Christophe Bonnard, adjunto científico del Laboratorio de mecánica de suelos (LMS) de la Escuela politécnica federal de Lausanne (EPFL), se encargó de la supervisión y revisión del presente informe.

## 2. ANTECEDENTES

Un fenómeno complejo de derrumbe y flujo de detritos ocurrido el 30 de octubre de 1998 sobre el flanco sur del volcán Casita, departamento de León, causó la muerte de alrededor mil ochocientos a dos mil personas, según diferentes fuentes, especialmente de los poblados de Rolando Rodríguez y Augusto C. Sandino. Este desastre y muchos otros provocados por inundaciones, flujos de lodo y de detritos, derrumbes y deslizamientos, causaron grandes daños y pérdidas en Nicaragua y países vecinos y fueron consecuencia del paso del huracán Mitch.

Las excepcionales precipitaciones causadas por el Mitch provocaron innumerables deslizamientos rápidos, coladas y derrumbes aparentemente súbitos. Sin embargo, debe dejarse en claro que la gran mayoría de los mismos corresponden a la reactivación o aceleración de deslizamientos y zonas de derrumbe pre-existentes o donde había muy favorables condiciones de susceptibilidad geológica y geomorfológica como para desencadenar procesos geodinámicos y torrenciales de gran magnitud.

En alguna medida, de haber existido un trabajo previo de evaluación -o por lo menos de detección-, pudo haberse previsto la ocurrencia de buena parte de aquéllos, lo cual no necesariamente habría significado evitarlos, pero sí habría permitido atenuar algunos de sus efectos. Así, por ejemplo, desde años anteriores, algunos grandes deslizamientos como los de Esquipulas y Muy Muy mostraban ya signos de fuerte actividad (desarrollo de grandes grietas, asentamientos importantes del suelo, disturbios en el régimen hidrogeológico, etc.). Otros deslizamientos, como los Cinco Pinos y Boaco, también muestran evidencias de actividad continua desde tiempo atrás, aun cuando las mismas no fueron detectadas, seguramente por las características morfométricas, la dinámica lenta y la escasa ocupación humana de estos terrenos inestables.

En la cadena volcánica de Maribios la ocurrencia de flujos detríticos, lahares y derrumbes localizados es relativamente frecuente. En algunos casos se han reportado daños importantes y víctimas humanas pero ninguno de la magnitud y con tal efecto devastador como los provocados por el Mitch.

Hay muchas lecciones para aprender de este desastre extendido, sobre todo para desarrollar una efectiva conciencia de riesgo y prevención y entender que en Nicaragua existen amenazas naturales poco conocidas que están asociadas a problemas de inestabilidad de masas y cuyo conocimiento y evaluación se hacen indispensables para el diseño y ejecución de cualquier programa de prevención y desarrollo.

### **3. AGRADECIMIENTOS**

El autor desea expresar su agradecimiento a Beat Künzi y Christophe Bonnard, del Cuerpo suizo de socorro, y al equipo de COSUDE-Managua por su apoyo para la realización de esta misión.

Igualmente deseo agradecer al personal de la Dirección de Geofísica del INETER, en especial a Wilfried Strauch. A Nelson Buitrago y Jorge Cruz, quienes me acompañaron durante las visitas de campo, una especial mención de gratitud por su ayuda, camaradería e interés. La paciencia y buena voluntad de los diversos conductores (Alejandro, Israel y Juan) nos facilitó y permitió ampliar el área de trabajo; para ellos mi agradecimiento.

### **4. NOTA SOBRE LA PRESENTACIÓN**

El presente informe está estructurado según una secuencia que comprende una introducción general, la caracterización geodinámica y la descripción de los fenómenos, concluyendo con una sección de recomendaciones específicas. En muchos casos, por la rapidez de las visitas (en especial las realizadas por vía aérea), o por tratarse de observaciones sobre ruta, sólo se ha delimitado aproximadamente algunos de los deslizamientos. En todos los casos las cartas presentadas tienen carácter preliminar, no exhaustivo, y deberán servir como base para trabajos más precisos en el futuro.

Los detalles geológicos han sido obviados en este informe, para no recargar su contenido. La información pertinente puede encontrarse en diferentes documentos especializados existentes en la biblioteca del INETER, al igual que la información meteorológica publicada por esta misma institución.

Las exigencias sociales (llamados urgentes, incluso a nivel de Presidencia de la República, a causa de temores por posibles desastres similares al del Casita, en especial por la aparición de grandes grietas en muchas laderas, que en realidad corresponden, en su gran mayoría, a la reactivación de grandes deslizamientos), nos obligaron a variar el programa inicial, dando mayor incidencia a las regiones norte y este del país, en detrimento de Ometepe, que, de todos modos, merece un tratamiento especial, por la complejidad y extensión de sus peligros.

## SEGUNDA PARTE

### EVALUACIÓN DEL DESASTRE Y DE LOS PELIGROS RESIDUALES EN EL VOLCÁN CASITA

#### 5. VOLCÁN CASITA

##### 5.1 Antecedente

Alrededor de las 11.00 hs. del día viernes 30 de octubre de 1998, un fenómeno complejo causó la muerte de unas 1800 a 2000 personas en dos localidades situadas cerca al volcán Casita. Es evidente que el desastre tuvo relación directa con las precipitaciones excepcionales causadas por el huracán Mitch, pero su impacto fue tan fuerte y extenso que, al inicio, dio lugar a interpretaciones y análisis extravagantes

Este evento tuvo características únicas, como resultado de la combinación de diferentes procesos de inestabilidad e hidrológicos, por lo que su caracterización e interpretación resultan difíciles. A pesar de las evidencias, debemos reconocer que en nuestras hipótesis subsisten varias incógnitas por resolver y que tal vez no sea posible arribar a una conclusión definitiva en lo referente a la génesis y desarrollo del fenómeno causante.

##### 5.2 Contexto geológico

El desastre, desde un punto de vista del contexto geológico o pasivo, estuvo condicionado, en orden de importancia, por factores estructurales y litológicos.

En el aspecto estructural, el mapa geológico del complejo volcánico san Cristóbal proporcionado por el INETER, muestra el condicionante estructural que indujo el desastre: el graben Casita, delimitado por dos fallas paralelas de rumbo N35°E y una falla de rumbo N20°O, aproximadamente. La intersección de ambos accidentes estructurales al sur del cráter Ollada define una cuña de roca muy fracturada con acantilados muy empinados. Es ahí donde se ubica la zona de arranque del derrumbe inicial. Así mismo, se ha constatado la ocurrencia en el pasado de continuos derrumbes y caídas de bloques. Los bloques de roca dispersos en los bosques que cubren esta zona testimonian este hecho.

En lo litológico, los materiales afectados por la alteración hidrotermal representan, por su consistencia, un frente de debilidad, siendo, igualmente, por su fuerte grado de fracturación, un importante nivel de circulación de aguas, lo cual ayudó, sin duda alguna, a provocar el derrumbe del 30 de octubre.

Igualmente debe indicarse que el cuerpo hipoabisal de carácter intrusivo situado cerca a la cumbre ha jugado algún rol en la separación y debilitamiento de bloques.

En lo referente a la cubierta edáfica puede decirse que la capa de suelo no es muy potente; rara vez sobrepasa el metro de profundidad. Son suelos con un alto contenido orgánico.

##### 5.3 Tipificación del proceso

Resulta difícil encasillar lo ocurrido dentro de determinada clasificación de fenómenos de inestabilidad y/o torrenciales. En realidad hubo una rara yuxtaposición y combinación de procesos sucesivos que dieron al fenómeno un carácter excepcional, tanto desde el punto de

vista geológico como del desastre subsecuente. En cierto modo se dio un proceso inverso al de una lava torrencial, pues el flujo de detritos que sucedió al derrumbe, en lugar de realimentarse con más sólidos sufrió, al parecer, una suerte de drenaje con retención de su caudal sólido en una platea morfológica situada en la zona superior del proceso, liberando el agua que formaría una parte de la tromba devastadora causante del desastre, reforzada por procesos de drenaje violento de suelos sobresaturados.

#### 5.4 Hipótesis sobre el mecanismo de ocurrencia

En resumen, según nuestra opinión, la sucesión de procesos fue la siguiente: primero ocurrió un derrumbe; luego se produjo un flujo de detritos y, finalmente, al ser refrenado este flujo en una zona con relativa contrapendiente, se formó una tromba de agua con menor contenido de sólidos, posiblemente debido a que ocurrió una especie de retención de sólidos en la platea que fija el límite entre el edificio volcánico actual y la llanura inferior. Esta liberación de aguas por retención de sólidos en un área de cambio de pendiente fue seguramente reforzada por un proceso de drenaje violento y generalizado que se dio en los frentes erosionados, donde los suelos, prácticamente en estado tixotrópico, resultado de la sobresaturación causada por las intensas lluvias, liberaron grandes cantidades de agua de manera rápida.

El fenómeno desencadenante fue, sin lugar a dudas, un derrumbe, cuyo volumen debió variar entre los 130,000 m<sup>3</sup> y los 200,000 m<sup>3</sup>. El factor desencadenante fue el agua, cuyo peso y mayor circulación tras las lluvias del Mitch incrementó en gran medida la presión intersticial, cuyo empuje causaría finalmente la ruptura. Este fenómeno precursor (descrito por los supervivientes como el ruido de varios helicópteros) ocurrió a eso de las 11.00 hs. y se dio en una zona de intersección de las dos fallas ya mencionadas, es decir particularmente susceptible a provocar fenómenos rápidos tipo derrumbe, e involucró materiales del domo dacítico y otros de los niveles afectados por la alteración hidrotermal ubicados en la parte cercana al cráter Ollada. En esta zona la pendiente del terreno supera, en ciertos tramos, los 55°.

La existencia de otra colada en dirección de la localidad de Argelia, o sea al sureste, fue explicada inicialmente como producto de un salto de la masa derrumbada hacia esa zona. En realidad los dos frentes de ruptura que dieron lugar a las dos coladas (la primera, mayor, orientada en dirección de Posoltega, y la segunda hacia Argelia) corresponden a un solo y único episodio de derrumbe. La doble dirección de los flujos se explica por la morfología anterior al desastre: una especie de espolón poco desarrollado, con dos paredes en cuña orientadas respectivamente hacia ambos cauces de flujo. Al momento de la desintegración del acantilado rocoso, el frente suroriental se desmoronó hacia el sureste, mientras que la masa mayor descendía hacia el sur.

Inmediatamente después se formó el flujo de detritos con los materiales liberados por el derrumbe más la capa de suelo. Esta colada descendió por un corredor relativamente estrecho, formando frentes de erosión lateral de hasta unos 30 metros de altura. Luego el flujo llegó a una especie de platea de baja pendiente, donde, aparentemente, hubo sectores en contrapendiente poco pronunciada, donde pudo darse un efecto de disipación (efecto similar al del «cajón japonés» que sirve para disipar lavas torrenciales) que permitió la retención de sedimentos en un frente bastante amplio. En esta zona de cambio de pendiente -que forma un escalón geomorfológico-, se inicia, de manera brusca, el ensanchamiento del frente de flujo que, desde este punto, fue de carácter hídrico, con poco gasto sólido, es decir lo que denominaremos como una tromba de agua.

Otra prueba favorable a esta hipótesis es el cambio de coloración y la naturaleza granulométrica de los depósitos sedimentarios productos del desastre. Hasta el escalón geomorfológico antes citado (zona de acción del flujo de detritos), la coloración tiende al gris claro, correspondiente al color de la roca aflorante en la zona de arranque, con abundancia de grandes bloques rocosos aportados por el derrumbe, mientras que aguas abajo, donde actuó la tromba de agua, los sedimentos son rojizos a pardos, con una granulometría en general más fina, provenientes

básicamente de la cubierta edáfica barrida por la ola. Los bloques de roca (que superan incluso los tres metros de diámetro adscrito) ubicados en el trayecto del flujo no pertenecen al fenómeno derivado del Mitch sino a una colada similar pero más antigua, seguramente prehistórica y de mayor magnitud, que se originó en el mismo acantilado del Casita, hacia el oeste.

Casi al mismo tiempo que se daba ese efecto de disipación del flujo inicial con retención de sólidos en la platea, se producía la desaturación violenta que realimentó la gran ola, causante de los mayores daños. Este drenaje violento de los suelos en estado tixotrópico debió darse gracias a la vibración causada por el *débris flow* y a la formación de amplios frentes laterales de erosión (que representan frentes de diferencia de potencial hidráulico). Esta tromba contenía una cantidad de sedimentos mucho menor a la del flujo intermedio, pero con mayor proporción de finos, levantados de los suelos agrícolas. Esto explica el porqué la erosión sobre los terrenos devastados es casi inexistente, mientras que los cauces fluviales que transportaban los restos del flujo de detritos se ensanchaban más aún. Por esta misma razón tampoco convendría clasificar esta masa final como un flujo de detritos. La evidencia de este drenaje violento de suelos se da por la existencia e numerosos huecos situados generalmente en la base de la capa edáfica, al límite de la zona de alteración de las rocas. Estos huecos (cuyos diámetros promedio alcanzan unos 20 cms.) actuaron como cañones de agua, por donde salió el agua a presión.

Sólo una combinación de ambos procesos (retención del flujo inicial y drenaje violentos) podría explicar, en cierta medida, la gran cantidad de agua que se requiere para explicar la fuerza destructora de la tromba que causó el desastre. Además de que, muy posiblemente, las precipitaciones en la cima del macizo debieron ser más abundantes que en el resto de la cuenca, debido al factor orográfico.

### 5.5 Comentario sobre algunas hipótesis

Dos hipótesis de interpretación se dieron para comprender las excepcionales características de este fenómeno: la primera, formulada por tres expertos que visitaron el lugar a inicios de noviembre 1999 (prof. M. Sheridan, Prof. C. Siebe y Ch. Bonnard) se refiere a la formación de un represamiento temporal al pie del macizo volcánico (platea geomorfológica) y, la otra, al posible aporte de agua desde el cráter. Ambas hipótesis buscan explicar el origen de la gran cantidad de agua almacenada y luego liberada violentamente necesaria para explicar la magnitud del desastre así como su enorme fuerza destructiva relacionada con su energía potencial inicial transformada en energía cinética.

Las evidencias de terreno y las condiciones geológicas del lugar no permiten confirmar satisfactoriamente estas interpretaciones. Entre las razones que podemos invocar se tiene:

- Los testimonios de los sobrevivientes de R. Rodríguez y A.C. Sandino, y de pobladores de Posoltega y vecindades indican unánimemente que la tromba de agua llegó a los poblados destruidos eso de las 11.00 de la mañana, o sea pocos minutos (tres a cuatro) después de haber ocurrido el derrumbe y no horas después, en la tarde. Casi todos indican que la ola de agua llegó cerca a Posoltega menos de diez minutos después de haberse escuchado el ruido del derrumbe.
- Las fuertes pendientes del cauce y de esta parte del volcán no son favorables para la formación de un dique, sobre todo en condiciones tan especiales de precipitaciones intensas y de fuerte escorrentía. En estas condiciones la permanencia de una masa transversal a la pendiente por mucho tiempo era prácticamente imposible.
- De haber existido la presa, su ruptura no habría sido total, debiendo haber quedado al menos algunos restos. De otro lado, la ruptura en sí debía haber liberado y arrastrado más allá de la platea al menos parte de los bloques aguas abajo, lo cual no se observa.



- Tal como se indicó, los grandes bloques que se ven en buena parte del trayecto del aluvión no fueron transportados por el fenómeno reciente sino que corresponden a un proceso similar más antiguo y de mayor magnitud. Corroboran esta afirmación el grado de alteración que muestran los bloques, la existencia de muchos de ellos semienterrados dentro de terrenos que no sufrieron erosión y donde tampoco hay pruebas de impacto balístico. En los cauces de circulación del *debris flow*, los restos del antiguo flujo fueron cascados por la carga sólida de la corriente, como lo demuestran las muescas que barrieron con la capa de alteración pero sólo en su parte superior y no así en la encajada dentro de los depósitos sedimentarios.

Con referencia al probable aporte de agua desde el cráter (que también habría contribuido a provocar el derrumbe), las observaciones *in situ* y el análisis del nicho de arranque permiten asegurar que esto no sucedió, como ya lo indicaron los tres expertos antes mencionados.

La acumulación de agua dentro del cráter alcanzó entre unos cuatro a seis metros de profundidad, aproximadamente. La cantidad de arcillas que cubren el fondo del cráter ha reducido mucho su permeabilidad. Tras el desastre (y según testimonio de la familia que tiene vivienda al interior) el nivel de agua prácticamente no cambió. El agua sigue bajando de nivel hasta la fecha pero por efecto de la evapotranspiración y, seguramente, pero en mucha menor medida, por infiltración. De otro lado, la cota del fondo del crater está muy por debajo del nivel de derrumbe.

En el nicho de arranque no existen indicios de exurgencias de agua.

## 5.6 Derrumbes anteriores

Existen numerosos conos coluviales y rocas dispersas que indican la generación casi regular en el pasado de derrumbes y caídas de bloques en las laderas media y superior del macizo volcánico.

En la zona de recubrimiento del flujo de detritos y de la tromba de agua se han encontrado depósitos aluviales y otras expresiones morfológicas que denuncian la ocurrencia en el pasado de por lo menos un evento similar y de mayor magnitud. Sería interesante realizar estudios de datación de dicho flujo probablemente prehistórico, por cuanto la memoria colectiva no guarda recuerdo de algún proceso semejante.

El frente de arranque de este fenómeno posiblemente prehistórico se ubica a la derecha del actual, en dirección al san Cristóbal y el cauce inicial de transporte está señalado por una quebrada paralela a la reciente. Ambos frentes de arranque se ubican, por el contrario, sobre el acantilado correspondiente a un mismo espejo de falla.

## 5.7 Peligro residual

Es previsible que durante los meses y años venideros continuarán los derrumbes y caídas de bloques en la zona del nicho de arranque, aunque su avance será amortiguado por los restos del último evento. La erosión de riberas ha desencadenado varios deslizamientos laterales poco profundos a lo largo de los cauces de evacuación, los que, muy probablemente, serán erosionados durante los siguientes periodos de lluvias.

El acantilado definido por las fallas somitales del Casita muestra importantes masas inestables a subestables que provocarán nuevos derrumbes. Por la ubicación de estos acantilados y el estado de la roca, cualquier trabajo de estabilización (tipo anclaje) sería técnica y económicamente poco aconsejable, por lo que son recomendables básicamente los trabajos de auscultación y vigilancia continua, así como el traslado de las antenas cercanas al borde hacia la parte de atrás. No debe descartarse la reubicación del conjunto de antenas en otro cerro, puesto que los problemas de acceso por interrupción de la ruta serán más frecuentes.

Tampoco se descarta la ocurrencia de nuevas coladas de detritos pero de efecto restringido. Es probable que cualquier nueva colada será disipada por la morfología accidentada de los depósitos aluvio-coluviales actuales y por los grandes cauces abiertos o ensanchados durante el reciente evento catastrófico. En cualquier caso la ocupación o uso de estos cauces para vivienda o como carreteras implica un peligro real en temporadas de lluvia.

La escala de las cartas topográficas existentes sólo permite un cálculo aproximado de las masas rocosas que representan un peligro latente en el frente de fallas del Casita. En total subsisten alrededor de 300'000 a 400'000 metros cúbicos de roca del domo dacítico y parte de rocas alteradas hidrotermalmente que, en el futuro, son susceptibles de provocar nuevos derrumbes y flujos en las cercanías del nicho de arranque. A esto habría que agregar unos 600'000 metros cúbicos de roca fracturada sobre el espejo de falla correspondiente al nicho de arranque prehistórico, al oeste de la zona de arranque actual. Sin un episodio lluvioso excepcional o sin sacudidas sísmicas importantes, dichas masas tienen pocas probabilidades de derrumbarse y extenderse más allá de la platea antes mencionada, donde se acumuló la mayor parte del material antes derrumbado.

En dirección suroeste, al pie del pequeño cráter situado al oeste del cráter Ollada, existen acantilados muy empinados, inaccesibles, donde se producen pequeños derrumbes. La pendiente del cono aluvio-coluvial situado al pie de estos farallones es suficientemente suave como para amortiguar fenómenos masivos, por lo que el peligro en esta zona es menor. Esto se condice con el hecho de que durante el Mitch se dieron en esta zona muy pocos flujos de detritos, con un alcance también restringido.

### **5.8 Flujo de detritos y peligros residuales en la vertiente norte del Casita**

Como es sabido, en esta vertiente norte del volcán Casita se produjo otro flujo de detritos de menor magnitud que las anteriores, pero que también se extendió a varios kilómetros aguas abajo en dirección a la Colonia Santa Cruz. La fuente corresponde al espejo de la falla norte que limita el graben Casita. El frente de arranque es de más de 400 metros de largo.

El proceso fue al parecer similar: al principio un derrumbe a lo largo de la escarpa de falla, implicando roca muy fracturada, y luego evolución hacia un flujo de detritos. En este caso no hubo tromba de agua. El frente de arranque fue aquí mucho mayor que en la vertiente sur, pero, al parecer, se trató de derrumbes sucesivos y no de un proceso concentrado, lo que redujo su impacto.

La colada originada estuvo básicamente concentrada en el cauce pre-existente. La franja de desborde-inundación de esta colada supera pocas veces los cien metros como máximo, en las cercanías de la carretera secundaria.

En vista de las condiciones de extrema fracturación de la roca y de la amplitud de la zona de arranque, es previsible que seguirán ocurriendo derrumbes y flujos de detritos en esa quebrada.

### **5.9 Peligros latentes en algunos frentes del volcán San Cristóbal**

Las observaciones hechas a distancia sobre las vertientes sur y suroriental del volcán San Cristóbal permiten designar la existencia de zonas y franjas de erosión que indicarían potenciales fuentes de derrumbes y de coladas. Según lo visto, estos frentes se dan en zonas de flujos recientes. En el caso del frente sur, los flujos han comenzado a invadir el bosque situado al pie; cerca al cráter se nota el hundimiento de un bloque que podría degenerar en un movimiento rápido. En el flanco oriental, existe un área de acumulación aluvio-coluvial en forma de lengua dirigida hacia el flanco del Casita. En la parte superior existe una franja afectada por cárcavas en proceso de desarrollo.

En vista de que el hundimiento y las cárcavas estén ligadas genéticamente a la intercalación de horizontes cineríticos a lapílicos entre capas de roca lávica, existe el peligro de generación de derrumbes o deslizamientos planos y coladas en estas áreas, por lo que es aconsejable que se inicie un programa de vigilancia. En cualquier caso, el san Cristóbal merece estudios más detallados. Sin embargo, el hecho de que no se haya desarrollado fenómenos más marcados durante el episodio excepcional del Mitch demuestra, en cierta medida, la baja probabilidad de ocurrencia de procesos de gran magnitud.

Con respecto al flanco norte del Casita, ya se indicó en el ítem anterior que subsiste el peligro de producción de derrumbes y coladas.

### 5.10 Recomendaciones

- Se hace necesario diseñar y poner en marcha un programa de vigilancia continua de los acantilados rocosos próximos al cráter del volcán Casita, frente sur, en especial en la zona de las antenas. Aparte de las observaciones visuales continuas sobre la formación y evolución de grietas, podrían instalarse extensómetros simples.
- Realizar, en lo posible, un desquinche de los nichos de arranque en los acantilados somitales (zona del domo afectado por cruce de fallas) y a lo largo del eje de la carretera que conduce a las antenas. Esto para evitar accidentes por caída de bloques y derrumbes.
- Realizar un programa de reforestación y recuperación de la cubierta vegetal en los cauces torrenciales y zonas de depósito, para reducir procesos de erosión extendidos que puedan degenerar en coladas de lodo. Debe prohibirse la construcción de viviendas a menos de cincuenta metros de los cauces de escorrentía mayores.
- Al menos una parte de las antenas situadas cerca al acantilado debe ser reubicada más atrás que su actual emplazamiento, para evitar su eventual destrucción en caso de nuevos derrumbes. Debe plantearse la posibilidad, a mediano plazo, de trasladarlas a otro cerro, al menos parcialmente.
- Es inevitable que la zona devastada por el desastre (llanura ubicada en dirección a Posoltega) vuelva a ser explotada agrícolamente. La recomendación respectiva es que se permitan explotaciones agrarias razonables pero sin implantaciones de viviendas y señalando zonas de refugio, a la par que un sistema de monitoreo continuo basado sobre la observación de los movimientos en las escarpas y de las cantidades de lluvia, para establecer umbrales de alerta. La otra posibilidad sería la de programar plantaciones de tipo permanente, es decir que no requieran siembra anual. Esto disminuiría la presencia humana en la zona sin perder del todo los beneficios económicos de la tierra.
- En general no debe alentarse la implantación ni el desarrollo de asentamientos humanos al norte de la carretera panamericana. Poblados como Pikin Guerrero, Juan José Briceño, Carlos Espinoza, Argelia, Rigoberto López y alrededores, están amenazados, en diferentes grados, por eventuales flujos provenientes tanto del san Cristóbal como del Casita, así como por flujos piroclásticos del Telica. En general, aunque el nivel de peligro es bajo y la probabilidad de ocurrencia de desastres como el del Casita en un futuro próximo es muy baja, es siempre aconsejable que se tomen medidas preventivas, en especial de auscultación, tras realizar evaluaciones específicas de peligros para cada caso. Todo ello deberá ir acompañado por programas de sensibilización y educación preventiva dirigidos a la población en general.

## TERCERA PARTE

### EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PELIGROS POR INESTABILIDADES EN EL NORTE Y ESTE DE NICARAGUA

#### 6. REGIÓN DE ESQUIPULAS

Durante el huracán Mitch, la vertiente ubicada al oeste del pueblo de Esquipulas, departamento de Matagalpa, mostró signos de una fuerte actividad geodinámica, presentando varias coladas y deslizamientos rápidos, con hundimientos muy importantes (incluso de más de diez metros). Sin embargo, este no fue un problema reciente; ya en años anteriores los pobladores señalaban el desarrollo de grandes fisuras y hundimientos, cerca de la zona del cementerio, por lo que personal de INETER realizó evaluaciones en 1997, reconociendo al menos parcialmente la existencia del deslizamiento.

##### 6.1 Naturaleza del fenómeno

El de Esquipulas corresponde al tipo de un gran deslizamiento lento, permanente y profundo que afecta a toda una vertiente de rocas volcánicas, donde alternan niveles rígidos de roca basáltica con capas de materiales finos y niveles de alteración. Aunque la relación genética es de tipo estructural, no se descarta que los horizontes de material fino y más plástico hayan jugado un rol importante a nivel de la ruptura original. No ha sido posible determinar precisamente sobre el terreno el límite inferior o pie del deslizamiento por la existencia de una antigua terraza fluvial del río Grande de Matagalpa, que podría cubrir el pie del deslizamiento inicial.

Este deslizamiento, denominado como Es-A en el mapa adjunto, está dividido en varios cuerpos o deslizamientos secundarios de los cuales el oriental, al oeste de la quebrada Rota, es el que ha sufrido el más importante proceso de aceleración y en el cual son visibles grandes frentes de coladas y erosión. Prácticamente todos los daños se concentran en esta zona, donde se han perdido varias hectáreas de terreno agrícola y franjas arbustivas.

Hacia el extremo noroeste del pueblo de Esquipulas existe otro deslizamiento (Es-B), más pequeño, que llega hasta la quebrada Grande, y donde se dieron algunos flujos y derrumbes que interrumpieron temporalmente la carretera que va a Muy Muy y san Dionisio.

##### 6.2 Morfometría

Las características morfométricas de estos deslizamientos Es-A y Es-B (fig. 3) son:

<u>Deslizamiento</u>	<u>Es-A</u>	<u>Es-B</u>
Largo máximo:	2,5 km.	1.1 km.
Ancho máximo:	~1.6 km.	0.25 km.
Profundidad estimada:	50-60 m.	~10-15 m.
Superficie total aproximada:	~3.6 km <sup>2</sup>	25 has.

### 6.3 Evaluación del peligro

El gran deslizamiento permanente Es-A representa en sí un nivel de peligro bajo, tanto por sus características dinámicas como por la escasa presencia humana y de infraestructura en esta vertiente, ocupada casi íntegramente por bosques y terrenos agrícolas.

Existe aquí una pequeña probabilidad de retroceso de la zona de arranque hacia el sur, es decir hacia el pueblo y el cementerio de Esquipulas, lo cual podría comprometer el camino que recorre la corona del deslizamiento, y, eventualmente, algunas casas del asentamiento Villa Libertad.

En cambio, el deslizamiento Es-B representa una amenaza moderada en un tramo de algo más de un kilómetro de la carretera Esquipulas-san Dionisio, donde, como se indicó, ocurrieron derrumbes y coladas últimamente.

### 6.4 Otros deslizamientos observados en la zona

En la ruta san José de los Remates-Esquipulas (comarca El Cerro), vertientes suroeste y sur del cerro santa María, se han identificado por lo menos tres grandes deslizamientos subactivos similares al de Esquipulas, los mismos que están indicados en el plano adjunto. Igualmente sobre la vertiente norte del mismo cerro (comarca La Pita) existen otros dos grandes deslizamientos (el mayor de unos 4 km<sup>2</sup>).

Todos estos deslizamientos han sufrido diversos grados de aceleración relativamente poco importantes durante el Mitch, a causa de precipitaciones mucho más fuertes que en la zona del Casita. Como en otros lugares, la incidencia de coladas de barro y de detritos es visible sobre las escarpas superiores de estas masas inestables.

Las someras observaciones realizadas sobre estos deslizamientos, así como la constatación de su baja tasa de ocupación humana permiten calificarlos como fenómenos de peligro bajo a moderado, aunque se requiere realizar evaluaciones más precisas en el futuro, y llevar a cabo algún programa de auscultación geodésica, sobre todo en la vertiente norte, donde hay cierto peligro de represamiento de la quebrada Grande y sus tributarios.

### 6.5 Recomendaciones

- No es conveniente incrementar la densidad poblacional cerca al borde del deslizamiento de Esquipulas, en especial en el asentamiento Villa Libertad. El desarrollo del pueblo debe darse hacia el suroeste.
- Todos los terrenos afectados por el deslizamiento deberían mantener su uso agrícola y forestal, aunque es recomendable que se ejecuten trabajos de drenaje y acondicionamiento de las quebradas de evacuación de escorrentía, así como una zanja de coronación, con pendiente longitudinal de más de 2%, para reducir la infiltración.
- La escarpa principal del deslizamiento muestra rechazos verticales de hasta unos ocho metros y grietas abiertas de hasta un metro de luz, por lo que el acceso a esta zona debe ser restringido para evitar accidentes, sobre todo de niños. Sería idóneo que en este borde se plante vegetación arbustiva densa y se instale una señalización de peligro o una baranda frente a la mencionada urbanización de Villa Libertad.
- Los pequeños derrumbes y coladas sobre el deslizamiento Es-B y que se dieron a lo largo del tramo de salida de la ruta Esquipulas-Muy Muy deben ser limpiados y luego reforzados mediante trabajos de enrocado o gaviones. No se recomienda su ensanchamiento para evitar mayores cortes en el talud.

Con referencia a los otros deslizamientos observados en la región se requiere hacer evaluaciones más detalladas y, de ser posible, instalar una red de control geodésico para analizar anualmente el comportamiento y evolución de estos fenómenos.

## 7. CINCO PINOS Y SAN PEDRO DEL NORTE

Las insistentes noticias periodísticas y pedidos de las autoridades locales de Cinco Pinos, en el sentido de que en esta zona existían graves problemas de inestabilidad que hacían temer un desastre similar al del Casita, llevaron a INETER a programar dos visitas al lugar, solicitándonos realizar la evaluación correspondiente.

La visita a la localidad de Cinco Pinos fue valiosa pues el alcalde y el íntegro de los municipales participaron en la visita de campo y en una conferencia que se dio para informarles sobre la naturaleza del problema y darles las recomendaciones técnicas para mitigar sus efectos. Este tipo de experiencia y contacto directo con autoridades y población es muy valioso, pues permite, de un lado, explicar la naturaleza de los peligros y, de otro, sensibilizarlos e instruirlos para desarrollar acciones de prevención.

### 7.1 Naturaleza de los fenómenos

El cerro Cinco Pinos está afectado por varios deslizamientos de profundidad media, de carácter lento y genéticamente relacionados a fallas y a niveles de rocas con alteración hidrotermal (fig.4).

Estos deslizamientos lentos o subestabilizados sufrieron episodios de reactivación y aceleración durante el Mitch y sus efectos deben extenderse por algunos años más. Existen evidencias de aceleraciones anteriores (grietas actualmente cubiertas) lo que corrobora la actividad continua de estas masas.

Durante la crisis del Mitch se produjeron algunos deslizamientos rápidos superficiales que degeneraron en coladas de lodo y de detritos de alcance limitado, y que causaron problemas de erosión en los cauces de evacuación y destrucción parcial de bosques. A lo largo de la carretera a San Pedro del Norte, se dieron muchos derrumbes y pequeños deslizamientos-colada, que requieren limpieza y, luego, trabajos de protección y estabilización de taludes, evitando agrandar los cortes de talud interiores.

Respecto a las orilla derecha del río las Lajitas, los llamados deslaves corresponden a flujos muy localizados de escombros y no están relacionados a procesos mayores de inestabilidad ni representan mayor peligro en el futuro.

### 7.2 Morfometría

Los siete deslizamientos principales identificados durante esta misión en las colinas de Cinco Pinos y El Cerro (CP-A a CP-G) tienen superficies estimadas que varían entre las seis y las 40 hectáreas aproximadamente. Las profundidades podrían alcanzar los 40 a 50 metros (caso del deslizamiento noroccidental) aunque el promedio debe situarse, para los demás, entre los 10 a 20 metros.

#### *Superficie estimada de los principales deslizamientos de Cinco Pinos*

Deslizamiento	CP-A	CP-B	CP-C	CP-D	CP-E	CP-F	CP-G
Superficie (estimación preliminar en Ha)	40	10	9	8-9	28	26	10

### 7.3 Evaluación de peligros

El peligro en esta zona puede considerarse, en términos generales, como bajo debido a la poca presencia humana y de infraestructura, aunque no se descartan lugares con peligros moderados, en especial a lo largo de la carretera y parte del deslizamiento El Cerro (CP-G). El pueblo mismo de Cinco Pinos no está realmente amenazado por uno de los grandes deslizamientos, aunque algunas casas situadas al oeste y este se ubican sobre zonas inestables, habiendo incluso sufrido daño. Igualmente existe un peligro moderado por derrumbes y coladas a lo largo de la carretera a San Pedro del Norte.

Sin embargo, es preciso tomar medidas precautorias con respecto al desarrollo urbano del poblado para no ocupar terrenos inestables, en especial hacia el norte y oeste de la localidad.

### 7.4 Inestabilidades en la localidad de San Pedro del Norte

Ante las noticias de que en este pueblo había alguna amenaza de derrumbes, se hizo una visita que incluyó parte del valle del Torondano en la frontera con Honduras.

Poco antes de llegar al poblado, en la vertiente oeste de la loma San Ignacio, se encuentra una zona rocosa y empinada afectada por lo que al parecer es un deslizamiento rocoso con tendencia a provocar derrumbes, los mismos que afectarían básicamente a la carretera de acceso. El pie de este deslizamiento no ha podido ser determinado, aunque no es probable que alcance el fondo del valle. Su superficie estimada es de unas 12 a 15 hectáreas.

En la quebrada Paso de los Caballos, montaña de la Hoya, se han identificado someramente y sin mayor evaluación dos deslizamientos de talla similar al anterior, señalados en el plano respectivo (fig.4).

Existen más deslizamientos en esta región, aunque al parecer no revisten mayor grado de peligro. A pesar de ello es necesario hacer una evaluación de toda esta cuenca, pues la estrechez de las quebradas podría favorecer eventuales represamientos en caso de ocurrir un evento mayor, provocando coladas violentas de detritos.

### 7.5 Problemas derivados de los trabajos de conservación de suelos

En Cinco Pinos, y en otros lugares del norte de Nicaragua, se ha podido apreciar que muchos de los deslaves (deslizamientos rápidos superficiales, coladas de lodo y de detritos) han sido, si no consecuencia, al menos favorecidos por ciertos trabajos de conservación de suelos, como son zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta, cercos vivos, etc. La razón de ello es la horizontalidad y el deficiente drenaje de tales obras que favorecieron la mayor infiltración, en especial dentro de terrenos con pendientes superiores a los 20° y con regular contenido de arcillas. Como el horizonte edáfico no es muy profundo, entonces, los procesos erosivos son acentuados.

En general, debería hacerse evaluaciones sobre la pendiente, la cohesión y la permeabilidad de suelos antes de realizar dichos trabajos. Se ha recomendado que se dé cierta inclinación lateral a esas zanjas, terrazas y cercos, con evacuadores laterales reforzados. Según nuestra experiencia, ciertas prácticas de conservación de suelos han demostrado ser contraproducentes, no sólo en Nicaragua sino en otros países montañosos, si son ejecutadas en zonas de deslizamiento, por lo que es indispensable realizar una identificación previa de inestabilidades y una evaluación agrostológica de los suelos, antes de realizar ese tipo de trabajos.

El paso del Mitch ha dejado grandes áreas descubiertas que, de no realizarse trabajos inmediatos de protección de suelos, reforestación y control de cárcavas, pueden degenerar en amplios frentes de erosión generalizada, más teniendo en cuenta el nivel de precipitaciones de la zona.

## 7.6 Recomendaciones

- La idea de convertir el cerro de Cinco Pinos en una especie de reserva ecológica es buena y contribuirá a reducir el peligro potencial que representan los deslizamientos en caso de aceleración catastrófica.
- La mayor parte de cortes en la ruta que pasa por los cerros Cinco Pinos, el Cerro, loma la Pava hacia Matapalo. deben ser objeto de trabajos de limpieza y de reacomodo de taludes, con reforzamiento al pie, mediante enrocados o gaviones, siempre con buen drenaje. En cortes recientes sobre límites de terreno agrícola es urgente realizar trabajos de conservación mediante cercos vivos de rápido crecimiento (que estén aptos antes de la siguiente temporada de lluvias) y pilotes o tablestacas para retener el lavado de suelos. No es aconsejable realizar mayores cortes en las zonas de roca fracturada.
- El deslizamiento de El Cerro merece un programa de vigilancia para evaluar su evolución a mediano plazo, pues se encuentra en franco proceso de reactivación. Las viviendas ubicadas sobre esta masa deberían ser reubicadas en el futuro. Son necesarios trabajos de drenaje y conducción segura del agua hacia el exutorio natural, cuyo cauce debe ser consolidado mediante encauzamiento con mampostería seca y limpieza continua.
- Los trabajos de conservación de suelos deben evitar la horizontalidad y las contrapendientes, para no favorecer la infiltración. Es razonable darles inclinaciones laterales de hasta unos 7°, con evacuadores consolidados donde se reduzca al máximo la erosión lateral.
- Como medida general, se recomienda realizar trabajos extensos de drenaje, según un diseño dendrítico o en "espina de pescado" que evacúe las aguas hacia los cauces existentes, los mismos que deben ser consolidados con empedrados o mediante pastos.
- Dado que buena parte de las quebradas naturales de evacuación han sufrido el efecto erosivo de flujos, sería razonable tratar de restablecer la vegetación protectora y así disminuir la fuerza erosiva del agua mediante diques secos escalonados (disipadores), utilizando las mismas piedras que las corrientes han dejado dentro de los cauces.
- En el caso de san Pedro del Norte, deslizamiento de la Loma san Ignacio, los derrumbes potenciales pueden ser prevenidos mediante una zanja de amortiguación construida al pie del acantilado rocoso que delimita la parte superior de la masa inestable, por encima de la carretera.

## 8. MUY MUY Y SAN PEDRO

En la zona de Muy Muy, personal de INETER identificó en años anteriores, un deslizamiento que mostraba serios indicios de actividad. En 1997 este deslizamiento presentó fuertes movimientos, formando grietas importantes y escarpas vivas. Los reconocimientos realizados en ese entonces (Buitrago, 1997) permitían vislumbrar un fenómeno de gran magnitud por la extensión y dispersión de las manifestaciones de movimiento.

### 8.1 Naturaleza de los fenómenos

El deslizamiento de Muy Muy (vertiente noreste hacia la caldera del Corozo) es un caso de fenómeno de gran magnitud, lento, permanente y profundo. Este deslizamiento se encuentra en una fase avanzada de evolución y ha debido sufrir importantes procesos erosivos a lo largo de su historia. Esto hace difícil definir sus contornos. Lo mismo ocurre con otros deslizamientos