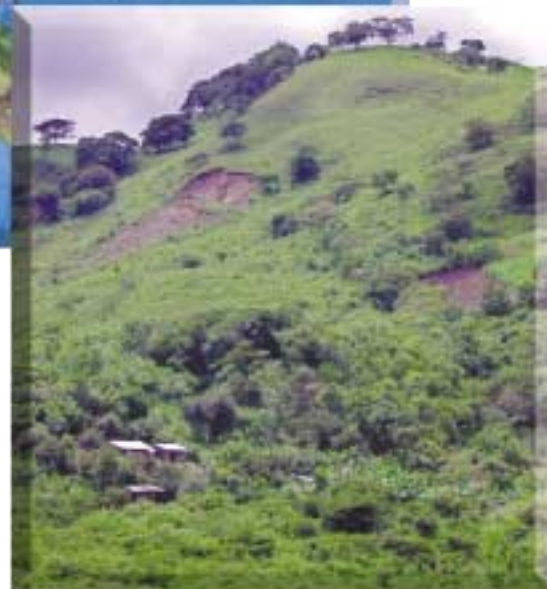


Respuesta a los Desprendimientos de Tierra Ocasionados por las Lluvias Torrenciales del Huracán Mitch en Siete Áreas de Estudio de Nicaragua

Open-File Report 01-412-B





Respuesta a los Desprendimientos de Tierra Ocasionados por las Lluvias Torrenciales del Huracán Mitch en Siete Áreas de Estudio de Nicaragua

Por *Susan H. Cannon*¹, *Kathleen M. Haller*¹, *Ingrid Ekstrom*¹, *Eugene S. Schweig III*¹,
*Graziella Devoli*², *David W. Moore*¹, *Sharon A. Rafferty*¹, y *Arthur C. Tarr*¹

Open-File Report 01-412-B
2001

¹ U.S. Geological Survey

² Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER

Este es un reporte preliminar y no se ha revisado su cumplimiento con los estándares editoriales de la U.S. Geological Survey o del Código Estratigráfico Norteamericano. Cualquier uso de los nombres comerciales, de productos o de empresas sólo tiene finalidades de descripción y no implica patrocinio por parte del gobierno de los Estados Unidos

La cobertura ARC/INFO y el archivo PDF de este mapa están disponibles en: <http://geology.cr.usgs.gov/greenwood-pubs.html>

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
U.S. GEOLOGICAL SURVEY

Índice de materias

	Página
Introducción	1
Propósito y planteamiento	1
Métodos	3
Limitaciones	4
Precipitación pluvial del huracán Mitch	4
Jinotega/San Rafael del Norte	5
El Sauce/San Nicolás	8
Sébaco/San Nicolás	9
La Fundadora	11
Matagalpa	13
Dipilto	16
Cinco Piños	17
Resumen, conclusiones y recomendaciones	18
Agradecimientos	19
Referencias	19

Figuras

1	Mapa en el que se muestra la localización de las siete áreas de estudio de Nicaragua	2
2	Mapa de las isoyetas de la precipitación pluvial ocasionadas por el huracán Mitch y principales estaciones meteorológicas de Nicaragua	5
3	Depósito de cantos rodados de Quebrada Grande, en el área de estudio de El Sauce/San Nicolás	8
4	Área fuente y depósitos de flujo de escombros cerca de La Caña	10
5	Estructuras destruidas por los flujos de escombros detrás del hospital de La Trinidad	10
6	Desprendimientos de tierra a lo largo del camino a Jinotega, en el área de estudio La Fundadora	12
7	Flujo de tierra profundo, de lento desplazamiento, en el camino a Jinotega	13
8	Grieta frontal de un desprendimiento de tierra que ocasionó un flujo de escombros que avanzó hasta el poblado de San Francisco	14
9	Grieta frontal de un desprendimiento de tierra en materiales muy meteorizado, en el norte de área de estudio de Matagalpa.	14
10	Punta del flujo de tierra en San Simón de Paicila	15
11	Vista de la pendiente del flujo de tierra en San Simón de Paicila	15

Ilustraciones

- 1 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes de los cuadrángulos de Jinotega y San Rafael del Norte, en Nicaragua
- 2 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes de los cuadrángulos de El Sauce y San Nicolás, en Nicaragua
- 3 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes de los cuadrángulos de Sébaco y San Nicolás, en Nicaragua
- 4 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes de los cuadrángulos de La Fundadora, en Nicaragua
- 5 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes de los cuadrángulos de Matagalpa, en Nicaragua
- 6 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes del cuadrángulo de Dipilto, en Nicaragua
- 7 Mapa de desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos de canales pendiente abajo ocasionados por el huracán Mitch en diversas partes del cuadrángulo de Cinco Piños, Nicaragua

Tabla

- 1 Por cada área de estudio: litología y extensión de cada unidad geológica, el número de lugares en los que se inició un desprendimiento de tierra dentro de cada unidad geológica y el índice de susceptibilidad geológica correspondiente7

Fotografías de la portada: El huracán Mitch aproximándose a Centroamérica el 26 de octubre de 1998 a las 13:15 UTC (Tiempo Universal Coordinado, por sus siglas en inglés) (07:15 hora local). En ese momento el huracán se encontraba en la mitad norte de Nicaragua. La imagen se obtuvo con datos de satélites; se le añadió color y se procesó para mostrar al huracán en perspectiva. Obtenida modificando la imagen producida por Hal Pierce, Laboratorio de la atmósfera, NASA Goddard Space Flight Center.

Desprendimiento de tierra en las pendientes de las colinas cercanas a Matagalpa, Nicaragua ocasionado por el huracán Mitch. Fotografía de Eugene Schweig, 25 de septiembre de 1999.

Respuesta a los Desprendimientos de Tierra Ocasionados por las Lluvias Torrenciales del Huracán Mitch en Siete Áreas de Estudio de Nicaragua

Por Susan H. Cannon, Kathleen M. Haller, Ingrid Ekstrom, Eugene S. Schweig III, Graziella Devoli, David W. Moore, Sharon A. Rafferty, and Arthur C. Tarr

Resumen: Presentamos mapas de siete áreas de estudio de Nicaragua en las que se muestran las secuelas de los desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos pendiente abajo ocasionados por el paso del huracán Mitch, entre el 21 y 31 de octubre de 1998. La mayoría de los desprendimientos de tierra cartografiados (95%) corresponden a flujos de escombros. En los mapas se muestran áreas fuente de flujo de escombros que cubren extensiones de unos cuantos metros cuadrados y escasos metros de profundidad. Estas fuentes dieron lugar a flujos de escombros; algunos de éstos sólo avanzaron unas decenas de metros pendiente abajo. Sin embargo hubo también desprendimientos de tierra que cubrieron aproximadamente 80,000 m² y produjeron flujos de escombros que avanzaron por lo menos 3 km por canales pendiente abajo. El 5% restante de los desprendimientos de tierra cartografiados correspondió a flujos de tierra, cuyo lento desplazamiento se inició con la llegada del huracán Mitch, y el cual continuó por lo menos durante un año.

Las áreas de estudio de El Sauce/San Nicolás, Dipilto y Cinco Piños, y algunas de partes Sébaco/San Nicolás y Matagalpa mostraron una actividad de desprendimientos de tierra particularmente generalizada: los desprendimientos de tierra llegaron a cubrir hasta el 80% del terreno. Por otra parte, en las áreas de estudio de La Fundadora y Jinotega/San Rafael del Norte, así como en partes de Sébaco/San Nicolás y Matagalpa se observaron concentraciones de desprendimientos de tierra significativamente menores.

Los índices de susceptibilidad permiten identificar aquellas unidades geológicas en las que, como respuesta a las lluvias torrenciales del huracán Mitch, se produjeron la mayoría de los desprendimientos de tierra en cada una de las áreas de estudio. En el área de estudio de

Jinotega/San Rafael del Norte, el material coluvial de edad cuaternaria que recubre las elevaciones de esta área fue el más susceptible a la actividad de los desprendimientos de tierra. En el caso del área de estudio de El Sauce/San Nicolás las rocas dacíticas del grupo Coyol Inferior fueron las más susceptibles a la actividad de los desprendimientos de tierra. Las ignimbritas del grupo Coyol Superior fueron las más susceptibles en el área de estudio de Sébaco/San Nicolás; la unidad Tmmi-b (litología desconocida) fue la más susceptible en el área de estudio de La Fundadora; el basalto del grupo Coyol Superior y la andesita y el material coluvial cuaternario fueron los más susceptibles en el área de estudio de Matagalpa; el granito descompuesto y la granodiorita fueron los más susceptibles en el área de Dipilto; en el área de Cinco Piños; el granito descompuesto y la granodiorita así como los materiales volcánicos en los grupos indiferenciados de Matagalpa y Coyol Inferior mostraron altas susceptibilidades. Los desprendimientos de tierra se produjeron generalmente en áreas donde los materiales se alteraron debido a la meteorización o a la alteración hidrotermal. Además, la profundidad de las grietas parece estar controlada por la profundidad del suelo meteorizado.

En este documento se presenta un registro de la actividad de desprendimientos de tierra ocasionada por una tormenta sin precedentes, en áreas con geología, geomorfología, microclimas y vegetación diversas. Estos inventarios pueden proveer una base para la elaboración de precisos y significativos mapas de susceptibilidad, cuando se combinan la información sobre las características físicas de los materiales que constituyen los suelos (incluyendo la profundidad de meteorización), con la forma y gradiente de la ladera, las características de la precipitación pluvial y la distancia recorrida.

Introducción

Propósito y planteamiento: A su paso por Centroamérica durante los meses de octubre y noviembre de 1998, el huracán Mitch provocó inundaciones y desprendimientos de tierra difusos y devastadores. En este trabajo se documentan los

desprendimientos de tierra ocasionados por las lluvias torrenciales que acompañaron el huracán Mitch en Nicaragua. Se elaboraron mapas a una escala de 1:50,000 de las siete áreas de estudio en Nicaragua, que muestran las áreas afectadas

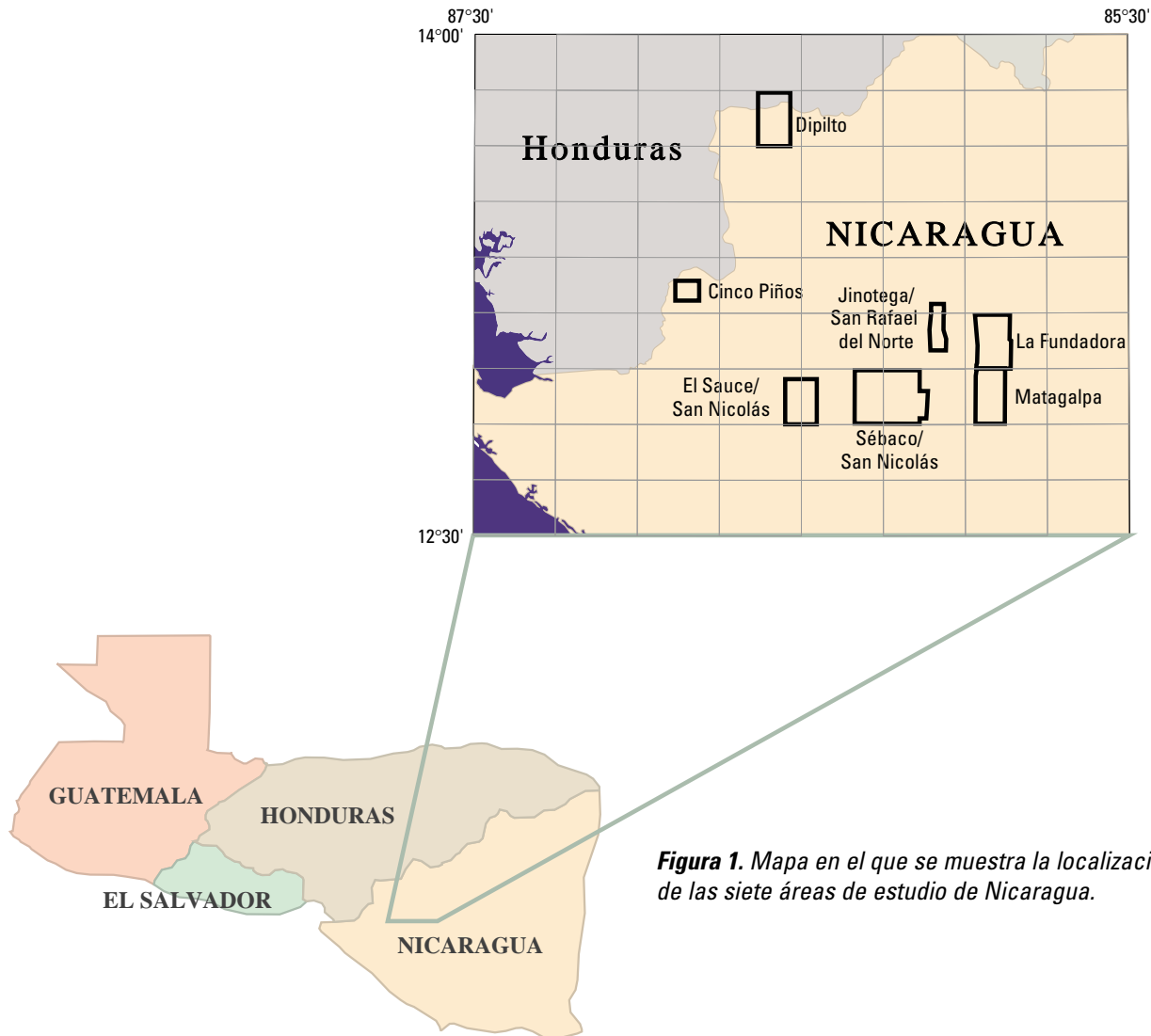


Figura 1. Mapa en el que se muestra la localización de las siete áreas de estudio de Nicaragua.

por los desprendimientos de tierra y los correspondientes efectos ladera abajo (figura 1).

En primer lugar se presenta un resumen de lo que aprendimos en relación con las lluvias torrenciales ocasionadas por el huracán Mitch en Nicaragua. Después se describen las condiciones fisiográficas, geológicas y culturales de cada una de las áreas de estudio y se mencionan datos sobre la precipitación pluvial total medida entre el 22 y el 31 de octubre de 1998 en cada una de las áreas de estudio, o en las cercanías de éstas. En el caso de las áreas para las que se contaba con el dato correspondiente, se indica también la desviación de la precipitación pluvial total producida por el huracán Mitch comparada con la precipitación pluvial normal correspondiente a los últimos diez

días de los meses de octubre. Por último se presentan los resultados obtenidos en el levantamiento cartográfico de los desprendimientos de tierra, incluidos la forma y magnitud de los desprendimientos y se comenta brevemente la relación entre unidades geológicas y la susceptibilidad a los desprendimientos de tierra de cada una de las áreas de estudio.

La Agencia para el Desarrollo Internacional de los EE.UU. (USAID, por sus siglas en inglés) aportó los fondos necesarios para la realización de este estudio. Este trabajo se realizó con la colaboración del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, U. S. Geological Survey).

El término "desprendimiento de tierra" se refiere a todo tipo de fallas en las pendientes, como son los flujos de tierra lentos, los desprendimientos de traslación y de rotación (Cruden y Varnes, 1996; Varnes, 1978) y los flujos rápidos de escombros. La mayoría de los desprendimientos de tierra que cartografiamos (95%) son flujos de escombros. El flujo de escombros es un rápido desplazamiento pendiente abajo de lechada viscosa formada por materiales cuyo tamaño es como máximo el de un canto rodado contenidos en una matriz de lodo (Varnes, 1978; Pierson y Costa, 1987). Los flujos de escombros se originan en desprendimientos de tierra de traslación o rotación que al desplazarse se convierten en lechadas lodosas. Se forman también por la erosión concentrada de material que se encuentra en la superficie debida al escurrimiento. El flujo de escombros generalmente se presenta después de periodos de lluvias intensas. Debido a su recorrido por las laderas y canales pendiente abajo, los flujos de escombros pueden aumentar considerablemente su volumen al ir incorporando material coluvial, material que rellena el canal y agua. La adición de un volumen de agua abundante en relación con su contenido de sedimentos también puede dar como resultado la disolución del flujo de escombros, el cual adquiere así la consistencia de un proceso aluvial. Los flujos de escombros dan pocas señales de advertencia y tienen capacidad para transportar materiales de grandes dimensiones, por largos recorridos en pendientes relativamente moderadas, así como la de generar cantidades de movimiento y fuerzas de impacto que pueden causar una destrucción considerable. Debido a

estas características, la mitigación de los riesgos del flujo de escombros puede resultar más difícil que la mitigación de los riesgos de las inundaciones. La mayoría de los daños y muertes ocasionados por los desprendimientos de tierra durante el paso del huracán Mitch fueron consecuencia de los flujos de escombros.

Los flujos de tierra lentos son el otro tipo de desprendimiento de tierra que se describe en este informe. Los flujos de tierra son movimientos masivos que se producen en pendientes moderadas, cuando existe la humedad adecuada en suelos plásticos de grano fino, así como en suelos rocosos que están sobre una matriz de limo-arcillosa. Este tipo de desprendimiento de tierra podría ser uno de los principales agentes de la erosión de diversas áreas y aportan grandes cantidades de sedimentos a arroyos y ríos. Los flujos de tierra se desplazan durante breves periodos de movimientos esporádicos, pero también lo hacen en periodos de movimiento permanente y relativamente constante, por lo general como consecuencia de precipitaciones pluviales por arriba del promedio; son también consecuencia de otras perturbaciones tales como temblores, graduación e irrigación (Keefer y Johnson, 1983; Skempton y otros, 1989). El desplazamiento de la mayoría de los flujos de tierra lentos se produce básicamente como un deslizamiento sobre una superficie de cizalla basal bien definida, acompañada por una deformación interna del material del flujo de tierra. Si bien estos profundos desprendimientos de tierra tienen la capacidad para producir daños a infraestructura y casas, normalmente no fallan de manera catastrófica.

Métodos: En siete áreas de estudio se llevó a cabo un levantamiento cartográfico de los desprendimientos de tierra y sus efectos relativos en los drenajes corriente abajo y en las zonas aledañas a éstos, producidos por las lluvias torrenciales del huracán Mitch a su paso por Nicaragua entre el 22 y 31 de octubre de 1998: Jinotega/San Rafael del Norte, El Sauce/San Nicolás, Sébaco/San Nicolás, La Fundadora, Matagalpa, Dipilto; y Cinco Piños (figura 1 e ilustraciones adjuntas). Si bien los desprendimientos de tierra también se presentaron en otras áreas de Nicaragua durante el paso del huracán Mitch, la elección de estas áreas de estudio se hizo tomando en cuenta la diversidad de sus condiciones geológicas, su cercanía a áreas pobladas y la disponibilidad de fotografías aéreas. Para el levantamiento cartográfico de los

desprendimientos de tierra mostrados en los mapas se utilizaron fotografías aéreas tomadas entre el 4 y 19 de diciembre de 1998, como parte del programa "Open Skies" de la Agencia de la Defensa para la reducción de amenazas (de los EE.UU.) (<http://mitchnts1.cr.usgs.gov/data/aerial.html>). La escala de las fotografías aéreas es de 1:60,000 y 1:30,000; se contó además con fotografías adicionales para algunas partes de las áreas de estudio de Matagalpa y Jinotega/San Rafael del Norte. Como mapas base para el levantamiento cartográfico se utilizaron imágenes digitalizadas de mapas topográficos (DRG por sus siglas en inglés, Digital Raster Graphics) a escala de 1:50,000, los cuales fueron proyectados al sistema Mercator Transversal. Para realizar el levantamiento cartográfico de los desprendimientos de tierra y sus correspondientes

efectos corriente abajo, primero se identificaron éstos en las fotografías aéreas utilizando un estereoscopio de espejo; a continuación se procedió a graficar manualmente cada uno de los desprendimientos y las áreas afectadas, mediante una inspección de los mapas base. En algunos casos, para facilitar el levantamiento cartográfico, se agrandaron los mapas base a una escala de 1:25,000. La ubicación de los desprendimientos de tierra cartografiados mediante este procedimiento tienen una precisión de unos 200 m.

En un reconocimiento de campo realizado del 25 de abril al 6 de mayo del 2000 se llevó a cabo una verificación limitada del levantamiento cartográfico de los desprendimientos y sus correspondientes efectos. Debido a la gran extensión de las áreas de estudio y a lo difícil del acceso a éstas, sólo fue posible visitar algunas áreas pequeñas. En ciertas áreas de estudio sólo pudimos observar un 5% de los desprendimientos de tierra; en otras, como un 40% máximo. Durante el reconocimiento se cartografió la ubicación y la extensión de algunos desprendimientos que se encuentran afuera del área cubierta por las fotografías aéreas. Este levantamiento cartográfico muestra sólo aspectos que pudimos observar, por lo que no se le puede considerar como representativo de la totalidad de la actividad de los desprendimientos de tierra del área.

Una vez concluida la verificación de campo, toda la extensión de las áreas de los desprendimientos cartografiados se digitalizó y quedó registrada en los mapas base DRG. También se digitalizó un punto que indica la ubicación del inicio de cada uno de los desprendimientos. Los mapas finales tienen una escala de 1:50,000.

INETER proporcionó datos de mapas geológicos con escala de 1:50,000, tanto en archivos digitales como en papel, los cuales fueron digitalizados por nosotros. La compilación de los datos digitales forma parte de una investigación hidrológica de amplio alcance sobre Nicaragua que aún no ha sido publicada. Por cada área de estudio se calculó el índice de susceptibilidad relativa de cada una de las unidades geológicas. Para ello se dividió el número de ubicaciones en donde se originaron los desprendimientos de tierra en las unidades

geológicas, entre la extensión aérea de la unidad del área de estudio respectiva. Para describir los gradientes de la pendiente en las que se originaron la mayor parte de los desprendimientos de tierra, se midieron los gradientes en mapas topográficos con escala de 1:50,000.

Limitaciones: La reducida escala de las fotografías aéreas impide la identificación de la ubicación en donde tuvo lugar la transición entre las áreas fuente del flujo de escombros y las trayectorias del flujo, así como la ubicación de las transiciones entre flujo de escombros y procesos aluviales. Por esta razón, se cartografiaron los flujos de escombros extendiéndose desde las áreas fuente hasta el punto más distante corriente abajo afectado por los procesos de flujo, tanto por procesos aluviales como por el flujo de escombros. Asimismo, aunque es posible diferenciar entre los flujos de escombros y los flujos de tierra lentos, la escala de las fotografías aéreas utilizadas para el levantamiento cartográfico no permite distinguir los diversos tipos de desprendimientos de tierra que se convirtieron en flujos de escombros. En los mapas se indican también aquellas áreas que aparecen oscurecidas por nubes en las fotografías aéreas. Aún cuando existe la posibilidad de que en estas áreas se hayan producido desprendimientos de tierra, no fue posible cartografiarlas. Cuando un desprendimiento de tierra quedó parcialmente oscurecido por la presencia de árboles, sombras o nubes, se cartografió únicamente lo que estaba visible. Finalmente, el área afectada por cada desprendimiento de tierra se representó en el mapa rellenando un polígono de color que permitiera representar lo mejor posible su forma y tamaño. Como cada una de las características se representa con una línea que tiene el grosor de la mina de un lápiz, es posible que las dimensiones de características pequeñas resulten un poco exageradas.

Precipitación pluvial del huracán Mitch

El huracán Mitch puede considerarse como una tormenta sin precedentes en Nicaragua. Las acumulaciones pluviales medidas

en 14 de 16 pluviómetros distribuidos por todo el país fueron significativamente mayores durante el paso del huracán Mitch que las registradas durante 10 huracanes y tormentas tropicales a partir de 1971 (INETER, 1998). Las acumulaciones de lluvia medidas durante los 10 días, que el huracán Mitch asoló a Nicaragua, oscilaron entre 50 mm registrados en la región sudeste del país, junto a la costa caribeña, hasta más de 1,600 mm registrados en el extremo noroeste del país, junto a Honduras (figura 2). Durante los últimos diez días de octubre los totales anteriores oscilaron entre -72% de la precipitación pluvial normal en el caso del pluviómetro Bluefields ubicado en el sureste del país (la cifra normal fue mayor a la precipitación registrada durante el huracán Mitch), y el 2793% de la precipitación normal en el caso del pluviómetro de San Isidro (INETER, 1998).

Jinotega/San Rafael del Norte

El área de estudio Jinotega/San Rafael del Norte (figura 1) pertenece al Departamento de Jinotega y a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañosas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 80 km² y se localiza de 6 a 11 km al oeste de la ciudad de Jinotega y de 3 a 8 km al oeste del Lago de Apanás (ilustración 1). En los cuadrángulos de los mapas geológicos aún no publicados de Jinotega y San Rafael del Norte (escala de 1:50,000) de G.H. Valrey y R.L. Williams, se indica la geología de esta área se compone por materiales volcánicos de la Era Terciaria, así como por depósitos aluviales y coluviales indiferenciados de la Era Cuaternaria. Los materiales volcánicos contienen dacita,

Figura 2. Mapa de las isoyetas de la precipitación pluvial (en mm) ocasionadas por el huracán Mitch (21 al 31 de octubre de 1998). Los puntos amarillos indican las principales estaciones meteorológicas de Nicaragua. Mapa adaptado de INETER (1998).



andesita ignimbrita, andesita y aglomerado del grupo Coyol Inferior (unidades Tmcd y Tmca) cubierto por diversas lavas basálticas del grupo Coyol Superior (unidad Tmcb). Estos materiales volcánicos forman un plano elevado que ha sido cortado por la red fluvial actual. Este plano se inclina ligeramente hacia el sur; sus elevaciones van desde 600 m en el sur, hasta 1100 m en el norte. La estructura geomórfica del área consiste en tierras altas ligeramente onduladas rodeadas de empinados frentes formados por unidades de flujo resistentes a la erosión y pendientes ligeras que se extienden hasta el Río Viejo y el Río San Gabriel y los tributarios de éstos. El Río Viejo fluye aproximadamente de este a oeste, a través de la mitad sureña del área de estudio; la mayor parte del tramo fluye por un canal aluvial ancho. El Río San Gabriel fluye aproximadamente del extremo noroeste del área de estudio al este, desembocando en el Lago de Apanás. En esta área se encuentran diseminados numerosos poblados pequeños y viviendas aisladas. Una carretera pavimentada primaria atraviesa la parte norte del área de estudio; una derivación secundaria de esta vía se dirige al interior.

Durante el periodo del 21 al 31 de octubre de 1998, el área de estudio recibió entre 700 y 800 mm de lluvia; un pluviómetro ubicado en Jinotega registró una precipitación de 767 mm, es decir, 1352% de la precipitación normal correspondiente a los últimos días de octubre (INETER, 1998).

Con base en las fotografías aéreas, en esta área se cartografiaron 90 desprendimientos de tierra (ilustración 1). La mayoría de los flujos de escombros cartografiados iniciaron como pequeños desprendimientos que tenían como máximo un área de unas decenas de metros cuadrados y escasos metros de profundidad; estos flujos recorrieron unos cientos de metros pendiente abajo, y por lo general fueron detenidos por la falda de material coluvial ligeramente inclinada pendiente abajo de la unidad de flujo resistente (ilustración 1). No obstante su tamaño relativamente pequeño, los desprendimientos de tierra fueron capaces de bloquear y dañar caminos y afectaron estructuras y tierras de cultivo. Uno de los desprendimientos de tierra que no correspondió a la escala anterior se localiza al oeste del Cerro del Zaraguasca y se procedió a

cartografiarlo de inmediato (ilustración 1). Este flujo de escombros se inició con un desprendimiento de tierra que abarca un área de aproximadamente 40,000 m², llegando a recorrer casi 1 km por la ladera de una colina poblada con una densa vegetación. Los rasgos de erosión que pudieron observarse en las fotografías aéreas indican que el flujo de escombros aumentó significativamente de volumen a su paso por la ladera. Se ignoran cuáles fueron las consecuencias de este desprendimiento de tierra ya que su trayectoria quedó cubierta por la vegetación cuando dicho desprendimiento logró alcanzar un drenaje de primer orden.

La mayoría de los flujos de escombros cartografiados en esta área se originaron en las empinadas unidades de flujo resistentes a los frentes de erosión (20° a 27°), en la dacita y andesita ignimbrita del grupo Coyol Inferior (unidad Tmcd, ilustración 1). Cuando el número de los puntos de inicio, en cada unidad geológica, ha sido normalizado a partir de la extensión areal de dicha unidad dentro del área de estudio, se pudo determinar que el material aluvial y coluvial indiferenciados que se cartografiaron a lo largo del Río Viejo fueron los más susceptibles al desprendimiento de tierra ocasionado por las lluvias torrenciales del huracán Mitch (tabla 1). Como todos los desprendimientos de tierra cartografiados en esta unidad se localizan en la pendiente de las colinas adyacentes a las planicies de inundación del Río Viejo, es razonable suponer que se hayan generado dentro del material coluvial que constituye el manto de las laderas. La dacita y andesita ignimbritica del grupo Coyol Inferior (unidad Tmcd) y la andesita ignimbrita, la andesita y el aglomerado (unidad Tmca) resultaron ligeramente menos susceptibles al desprendimiento de tierra; el basalto del grupo Coyol Superior (Tpbc) mostró una susceptibilidad muy baja (tabla 1).

A lo largo de su curso, el Río Viejo mostró evidencias de erosión y deposición significativas causadas por el huracán Mitch. Como los tramos superiores del Río Viejo quedan fuera del área cubierta por las fotografías aéreas, se ignora si estos efectos fueron consecuencia de los desprendimientos de tierra causados por el huracán Mitch, o de las inundaciones.

Tabla 1. Por cada área de estudio: litología y extensión de cada unidad geológica, el número de lugares en los que se inició un desprendimiento de tierra dentro de cada unidad geológica y el índice de susceptibilidad geológica correspondiente. El índice de susceptibilidad se calcula dividiendo el número de lugares en los que se inició un desprendimiento de tierra entre la extensión de una unidad de una determinada área de estudio. En este cálculo se incluyeron sólo los lugares de inicio de desprendimientos de tierra identificados mediante fotografías aéreas y la extensión de unidades geológicas que no fueron ocultadas por las nubes.

Área de Estudio y Unidad Geológica	Litología	Área (km ²)	Número de Sitios de Inicio	Índice de Susceptibilidad Geológica
Jinotega/San Rafael del Norte				
Q	Aluvi3n y coluvi3n indiferenciados	2.6	8	3
Tpcb	Basalto	29.32	10	0.3
Tmcd	Dacita y ignimbrita andesita	23.88	56	2
Tmca	Andesita ignimbrita, andesita y aglomerado	15.50	16	1
El Sauce/San Nicolás				
Q	Aluvi3n y coluvi3n indiferenciados	32.23	14	0.4
Tmcd	Dacita	122.29	3664	30
Tmca	Andesita y/o aglomerado	14.43	120	8
Sebaco/San Nicolás				
Q	Aluvi3n y coluvi3n indiferenciados	153.3	0	--
Tpcl	Andesita, dacita y aglomerado	1.8	8	4
Tpci	Ignimbrita	48.6	286	6
Tpcb	Basalto	137.5	196	1
Tpca	Aglomerado	14.5	28	2
Tmcd-Ag	Aglomerado y brecha	4.0	0	--
Tmcd	Ignimbrita dacita y toba	75.4	137	2
Tmca	Andesita y aglomerado	0.53	0	--
La Fundadora				
Q	Aluvi3n y coluvi3n indiferenciados	8.63	0	--
Tpcb	Basalto	0.98	0	--
Tmcd	Dacita	50.27	2	0.04
Tmca	Andesita ignimbrita, andesita o aglomerado	1.21	0	--
Tpc	Aglomerado, lava andesítica, basalto, dacita, andesita y ignimbrita riolita	27.62	14	0.5
Tmmi-b	se desconoce su litología	124.83	143	1
Matagalpa				
Q	Aluvi3n y coluvi3n indiferenciados	8.84	15	2
Tpci	Ignimbrita y toba	3.1	3	1
Tpcb	Basalto y andesita	45.2	99	2
Tmcd (Ag)	Brecha y aglomerado	9.3	2	0.2
Tmcd	Dacita ignimbrita y toba	43.4	42	1
Tmcd (A)	Andesita ignimbrita	22.75	25	1
Tmca	Aglomerado y/o andesita	90.9	88	1
Dipilto				
Q	Aluvi3n y coluvi3n indiferenciados	5.62	0	--
Tot	se desconoce su litología	2.38	0	--
Ka	Granito y granodiorita	117.97	449	4
Ptm	Esquisto de filita y otras rocas metam3rficas	28.63	8	0.3
Cinco Piños				
Tmca	Andesita ignimbrita y aglomerado	0.13	0	--
Tmci	Flujos piroclásticos, lahares, ignimbrita, andesita y aglomerado	45.04	1067	24
Ka	Granito y granodiorita	10.86	360	33

El Sauce/San Nicolás

El área de estudio El Sauce/San Nicolás (figura 1) se encuentra en la parte norte del Departamento de León y pertenece a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañosas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 170 km². El poblado de El Sauce se encuentra casi al centro de esta área y el de Río Grande un poco más adelante del extremo noroeste (ilustración 2). En los mapas geológicos aún no publicados de El Sauce y San Nicolás con escala de 1:50,000 de J.L. Garayar y R.L. Williams, aparecen cuadrángulos en los que se indica que debajo de esta área hay materiales volcánicos de la Era Terciaria, así como material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. Los materiales volcánicos están compuestos de dos unidades, ambas incluidas en el grupo de Coyol Inferior: dacita (unidad Tmcd) y andesita y/o aglomerado (unidad Tmca). Estos materiales forman tierras altas escarpadas y empinadas que se elevan al este y al norte de El Sauce. Las elevaciones van desde los 200 m en El Sauce, hasta los 1100 m de la cima más alta. Una red de canales que drenan al oeste ha sido incisa en las tierras montañosas y el poblado de El Sauce está asentado sobre una llanura aluvial de la Era Cuaternaria. El Río Petaquí fluye a través del extremo superior nordeste del área de estudio; este río ocupa también una extensa llanura aluvial. Además del pueblo de El Sauce, en el área se encuentran diseminados pequeños poblados y viviendas aisladas. Una carretera pavimentada primaria y un ferrocarril atraviesan el centro del área; se dirigen principalmente del norte al sur. Un camino secundario serpentea al norte del El Sauce, pasando por las regiones montañosas.

El mapa del total de precipitación pluvial ocasionada por el huracán Mitch muestra que durante el periodo comprendido entre el 21 y el 31 de octubre de 1998 el área recibió entre 800 y 900 mm de lluvia (INETER, 1998).

Esta área resultó severamente afectada por los flujos de escombros y efectos corriente abajo de las lluvias producidas

por el huracán Mitch. Cartografiamos 3798 desprendimientos de tierra dentro del área de estudio de 170 km²; todos los canales de la corriente que drenan hacia el este de las tierras montañosas evidenciaron una erosión y deposición considerables (ilustración 2, figura 3). En la parte nordeste del área, en el Río Petaquí se pudo observar cierta erosión y deposición, aunque no de la misma magnitud de la que aparece cartografiada en la parte occidental del área de estudio. La mitad norte del área de estudio resultó particularmente afectada por los desprendimientos de tierra; éstos ocuparon más del 80% del terreno y diversos sitios y caminos del área resultaron gravemente afectados en muchos lugares. En esta área se cartografió una amplia gama de actividad de flujo de escombros: desde áreas fuente de apenas unos cuantos metros cuadrados y escasos metros de profundidad que produjeron flujos de escombros que avanzaron apenas unas decenas de metros pendiente abajo, hasta desprendimientos de tierra que cubrieron aproximadamente 80,000 m² y flujos de escombros que recorrieron más de 2 km corriente abajo. Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que las grietas dejadas por los desprendimientos de tierra por lo general se presentaron en áreas de materiales alterados por la meteorización e alteración hidrotermal. Además, la profundidad de las grietas parece haber sido controlada por la profundidad



Figura 3. Depósito de cantos rodados de Quebrada Grande, en el área de estudio de El Sauce/San Nicolás.

del manto meteorizado; los desprendimientos de tierra muy superficiales se produjeron en donde el manto meteorizado era delgado; en cambio, grietas de hasta varios metros de profundidad se presentaron en áreas en las que el manto meteorizado también tenía varios metros de espesor.

La gran mayoría de los desprendimientos de tierra cartografiados tuvieron lugar en materiales que cubren laderas debajo de las cuales hay dacita del grupo Coyal Inferior (unidad Tmcd, ilustración 2). Descubrimos que la dacita de la unidad Tmcd era casi cuatro veces más susceptible a los desprendimientos de tierra que la andesita y/o el aglomerado (unidad Tmca, tabla 1). Note que en la ilustración 2 algunos de los desprendimientos de tierra aparecen cartografiados como si se hubieran iniciado dentro del material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. Como la mayoría de estos desprendimientos de tierra han sido cartografiados en las laderas adyacentes al relleno aluvial del valle, estamos suponiendo que se originaron en el material coluvial que constituye el manto de dichas laderas.

Sébaco/San Nicolás

El área de estudio Sébaco/San Nicolás (figura 1) se encuentra en la parte sur del Departamento de Estelí y en la parte noroeste del Departamento de Matagalpa y pertenece a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañosas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 450 km² e incluye a los poblados de Sébaco, situado al sureste, de San Isidro, al centro y de La Trinidad, al noroeste (ilustración 3). En los mapas geológicos de San Nicolás y Sébaco, con escala de 1:50,000 de R.L. Williams, G.H. Valrey y Carlos Birbuet, indican que debajo de esta área hay materiales volcánicos de la Era Terciaria, así como material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. Los materiales volcánicos contienen dacita, dacita ignimbrita, andesita, aglomerado, brecha, y toba del grupo Coyal Inferior (unidades Tmca, Tmcd y Tmcd-Ag) cubiertos por el grupo Coyal Superior que contiene aglomerado y diversas lavas basálticas de grado ascendente hasta la ignimbrita

(unidades Tpca, Tpcb y Tpci). Aparecen cartografiados afloramientos localizados de andesita, dacita y aglomerado (unidad Tpcl) que cubren las ignimbritas del extremo noroeste del área de estudio. Estas rocas volcánicas forman un plano elevado que ha sido cortado por la red fluvial actual. Las elevaciones oscilan entre los 500 m, en las proximidades de los poblados de Sébaco y San Isidro, hasta 1,200 m, en la cima más alta del área de estudio. La estructura geomórfica del área consiste en tierras altas ligeramente onduladas, rodeadas de empinados frentes formados por unidades de flujo resistentes a la erosión y pendientes leves que se extienden hasta el extenso plano aluvial ocupado por el Río Viejo y sus tributarios. Es común ver en los frentes empinados depresiones que adoptan la forma de grietas frontales arqueadas en la parte superior de áreas con una topografía caracterizada por montículos. El Río Viejo fluye de norte a sur, pasando casi por el centro del área de estudio; el Río La Trinidad fluye de oeste a este, pasando por el pueblo de La Trinidad. Ambos ríos ocupan extensos planos aluviales. Además de los pueblos antes mencionados, en el área se encuentran diseminados pequeños poblados y viviendas aisladas. La Carretera Panamericana pasa por Sébaco, en el extremo sudeste del área de estudio y por La Trinidad, situada en la parte noroeste. Hay otra carretera pavimentada que parte de Sébaco en dirección al norte.

Durante el periodo del 21 al 31 de octubre de 1998, el área de estudio registró entre 700 y 800 mm de lluvia; un pluviómetro ubicado en San Isidro registró una precipitación de 784 mm, es decir 2,793% de la precipitación normal correspondiente a los últimos 10 días de octubre (INETER, 1998). La anterior fue la mayor desviación de la norma registrada entre las 16 principales estaciones meteorológicas localizadas en Nicaragua (INETER, 1998).

Con base en las fotografías aéreas se cartografiaron 655 desprendimientos de tierra en esta área de estudio (ilustración 3). La mayoría de los flujos de escombros inicialmente fueron desprendimientos que ocupaban como máximo un área de unas decenas de metros cuadrados y tenían escasos metros de profundidad; recorrieron menos de 1 km pendiente abajo, y por lo general fueron



Figure 4. Área fuente y depósitos de flujo de escombros cerca de La Caña.



detenidos por la falda de material coluvial de ligera inclinación pendiente, pendiente abajo de la unidad de flujo resistente. Sin embargo, en comparación con el resto del área de estudio, la densidad del desprendimiento de tierra fue especialmente elevada y los desprendimientos de tierra particularmente grandes en las empinadas laderas que delimitan las mesetas que están arriba de los pueblos de San Francisco y La Trinidad, en la parte noroeste del área de estudio (ilustración 3). El material de los desprendimientos de tierra que llegaron a tener una extensión de hasta 20,000 km²

recorrieron por lo menos 3 km de la falda de material coluvial y llegaron hasta las planicies de inundación de Quebrada Seca y La Rancho. Entre los poblados de San Isidro y La Trinidad, un desprendimiento de tierra que se inició en la ignimbrita de Coyol Superior se desplazó hasta convertirse en un flujo de escombros que descendió aproximadamente 1 km en un canal empinado, erosionando volúmenes considerables de material (figura 4). El material de otros flujos de escombros atravesó la carretera que une a La Caña y a La Trinidad en diversos puntos.

Inmediatamente al sur de La Trinidad, varias estructuras que se encontraban detrás del hospital resultaron dañadas o destruidas por una serie de flujos de escombros que se unieron, los cuales se originaron en las empinadas pendientes que están detrás del pueblo (figura 5).

La mayoría de los flujos de escombros cartografiados en esta área se originaron en frentes empinados (gradientes entre 20° y 27°) de unidades de flujo resistentes a la erosión, en la ignimbrita del



Figure 5. Estructuras destruidas por los flujos de escombros detrás del hospital de La Trinidad.

grupo Coyol Superior (unidad Tpci, ilustración 3, tabla 1). En esta unidad se encontró también el índice de susceptibilidad más elevado (tabla 1). Los desprendimientos de tierra se iniciaron también en las pendientes de inclinaciones más leves, en la andesita, dacita y aglomerado del grupo Coyol Superior (unidades Tpcb, Tpca, Tpcl) y en la dacita, dacita ignimbrita y toba del grupo Coyol Inferior (unidad Tmcd, tabla 1). Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que las grietas dejadas por los desprendimientos de tierra por lo general se presentaron en áreas de materiales alterados por la meteorización y alteración hidrotermal. Además, la profundidad de las grietas estuvo en función de la profundidad del manto meteorizado. Desprendimientos de tierra muy superficiales se produjeron donde el manto meteorizado era delgado; en cambio, grietas de hasta varios metros de profundidad se produjeron en áreas en las que el manto meteorizado tenía varios metros de espesor.

A lo largo de su recorrido, el Río Viejo, el Río La Trinidad y el Quebrada Seca mostraron evidencias de erosión y deposición significativas causadas por el huracán Mitch (ilustración 3). Como los tramos superiores del Río Viejo y del Río La Trinidad están ubicados fuera del área cubierta por las fotografías aéreas, se ignora si estos efectos fueron consecuencia de los desprendimientos de tierra causados por el huracán Mitch, o de las inundaciones. El río Quebrada Seca fluye en el área en la que se produjo una amplia actividad de flujo de escombros, detrás del pueblo de San Francisco. Sin embargo, a partir de las fotografías aéreas no fue posible determinar la magnitud de las trayectorias del flujo de escombros debido a su escala.

La Fundadora

El área de estudio de la Fundadora (figura 1) está ubicada en la parte sur del Departamento de Jinotega y en la parte norte del Departamento de Matagalpa y pertenece a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 215 km² y se encuentra de 3 a 15 km al este de la ciudad de Jinotega

(ilustración 4). El Lago Apanás está ubicado en el extremo noroeste del área de estudio. Los datos geológicos digitales aún no publicados del cuadrángulo con escala de 1:50,000 de La Fundadora y que fueron proporcionado por INETER indican que debajo del área hay materiales volcánicos de la Era Terciaria y material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. Los materiales geológicos y la estructura geomórfica del área de estudio se dividen en dos regiones bien diferenciadas: la mitad noroeste y la mitad sureste. Los materiales volcánicos de la región noroeste contienen aglomerado, lava andesítica, basalto, dacita, andesita y ignimbrita riolita del indiferenciado grupo Coyol (unidad Tpc) y dacita del grupo Coyol Inferior (unidad Tmcd). La estructura geomórfica del área consiste en tierras altas ligeramente onduladas rodeadas de empinados frentes formados por unidades de flujo resistentes a la erosión y pendientes más leves que se extienden hasta el Valle Dantalí, al este del Lago de Apanás. Este plano de tierras altas se inclina ligeramente hacia el noreste; sus elevaciones oscilan entre 1,600 m en el suroeste, hasta 1,200 m en el noreste. Numerosos arroyuelos inciden en plano de flujo de las tierras altas en el Valle Dantalí, abundante en aluvi6n. La unidad geológica Tmmi-b (de litología desconocida) y una pequeña secci6n de los basaltos del grupo Coyol superior (unidad Tpcb) se encuentran debajo de la mitad sureste del área de estudio. Una ramificada y sinuosa red de pequeños arroyos ha incidido en estos materiales, lo que ha traído consigo una topografía empinada y escarpada. Las elevaciones oscilan entre 1,200 m y 1,500 m. En el área de estudio se encuentran diseminados muchos poblados pequeños y viviendas aisladas. Una carretera pavimentada primaria atraviesa el extremo suroeste del área de estudio; una derivaci6n secundaria de esta vía se dirige al interior.

Durante el periodo del 21 al 31 de octubre de 1998, el área de estudio recibió entre 700 y 800 mm de lluvia; un pluvi6metro ubicado en Jinotega registr6 una precipitaci6n de 767 mm, es decir, 1352% de la precipitaci6n normal correspondiente a los 6ltimos d6as de octubre (INETER, 1998).



Figura 6. Desprendimientos de tierra a lo largo del camino a Jinotega, en el área de estudio La Fundadora. Se puede observar la amplia escala de la respuesta. (A) Una falla de menos de un metro de profundidad y con una extensión de unos 40 m². El material de la falla se desplazó aproximadamente 20 m en una pendiente de colina abierta. (B) Falla aproximadamente de 5 m de profundidad en material erosionado. Este desprendimiento de tierra cubrió un área aproximada de 3,000 m² y descendió por lo menos 100 m por un canal.

Mediante fotografías aéreas y reconocimiento de campo se cartografiaron 164 desprendimientos de tierra comprendidos dentro de los 215 km² que abarcó el área de estudio (ilustración 4). Si bien los desprendimientos de tierra que se produjeron en esta área de estudio fueron relativamente escasos, caminos, arroyos y estructuras resultaron dañados por estos eventos. Durante el reconocimiento de campo se observaron amplias variaciones en cuanto a la magnitud de los desprendimientos de tierra. Los flujos de escombros se iniciaron como pequeños desprendimientos de tierra, algunos de apenas unos metros cuadrados; en cambio, otros llegaron a cubrir áreas hasta de 3,000 m², con profundidades que variaron entre 1 y 5 m. Los flujos de escombros recorrieron entre unas decenas de metros, hasta unos 2 km. Los desprendimientos de tierra que se muestran en la figura 6 ilustran el amplio margen de respuesta en cuanto a los desprendimientos ocurridos en esta área. En la mitad noroeste del área de estudio la mayoría de los desprendimientos de tierra se iniciaron en frentes empinados que delimitaban un plano elevado. Aún cuando la densidad de los desprendimientos de tierra de la región sureste fue considerablemente menor que la de los producidos en el noroeste, los desprendimientos del sureste mostraron una tendencia de mayor magnitud, por



lo que los flujos de escombros resultantes se desplazaron más lejos. Por ejemplo, un grupo de desprendimientos de tierra del extremo sureste del área de estudio se inició en la parte superior de la pendiente de una colina; los desprendimientos se unieron hasta formar un flujo de escombros que recorrió corriente abajo una distancia total de unos 2 km (ilustración 4). Además de la actividad del desprendimiento de tierra, un tramo de 3 km del Río Jigüina localizado en la parte central del área de estudio evidenció una erosión y deposición significativas en sus bancos como consecuencia del paso del huracán Mitch (ilustración 4).

Durante el reconocimiento de campo, cartografiamos un amplio complejo de flujo de tierra lento a lo largo del camino a Jinotega (Carretera 3), aproximadamente a 3.5 km de los



Figura 7. Flujo de tierra profundo, de lento desplazamiento, en el camino a Jinotega. El camino que atravesaba este accidente quedó interrumpido en varios sitios y fue sometido a una reparación total.

límites sur del mapa (ilustración 4, figura 7). Una grieta frontal arqueada y grietas laterales de casi 2 metros de altura rodeaban un área de tierra resquebrajada, en un área de unos 6 km². El camino que pasaba por este accidente se encontraba en reparación total. Pudimos observar una activa filtración en el extremo sur de la pendiente que está debajo del camino. Este desprendimiento de tierra se originó en la fractura de la pendiente, entre las empinadas pendientes de las colinas de la parte de arriba y la falda de coluvión de la parte inferior.

En esta área de estudio, la unidad geológica Tmmi-b (cuya litología se desconoce) fue dos veces más susceptible a la actividad del desprendimiento de tierra que la mezcla de materiales volcánicos que forman parte del grupo Coyol indiferenciado (unidad Tpc, tabla 1). Los materiales del grupo Coyol indiferenciado fueron casi 10 veces más susceptibles a la actividad del desprendimiento de tierra que la dacita de la unidad Tmcd (tabla 1). En las unidades geológicas restantes de esta área de estudio no se produjeron desprendimientos de tierra. Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que las grietas dejadas por los desprendimientos de

tierra por lo general se presentaron en áreas de materiales alterados por la meteorización y alteración hidrotermal. Además, la profundidad de las grietas estuvo en función de la profundidad del manto meteorizado. Desprendimientos de tierra muy superficiales se produjeron donde el manto meteorizado era delgado; en cambio, grietas de hasta varios metros de profundidad se produjeron en áreas en las que el manto meteorizado tenía varios metros de espesor.

Matagalpa

El área de estudio Matagalpa (figura 1) pertenece al Departamento de Matagalpa y a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 220 km². La ciudad de Matagalpa se encuentra casi en el centro de esta área (ilustración 5). El pueblo de San Ramón se encuentra justo al oeste del área de estudio y queda fuera de la ilustración 5, ocho kilómetros al oeste de Matagalpa. La cartografía geológica aún no publicada del cuadrángulo a una escala de 1:50,000 de R. L. Williams indican que debajo del área hay materiales volcánicos de la Era Terciaria y material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. Los materiales volcánicos incluyen aglomerado y/o andesita, andesita ignimbrita, dacita ignimbrita, toba, aglomerado y brecha del grupo Coyol Inferior [unidades Tmca, Tmcd(A), Tmcd y Tmcd(Ag)] cubiertos con basalto, andesita, ignimbrita y toba del grupo Coyol Superior (unidades Tpcb y Tpci). El basalto, la andesita ignimbrita y el aglomerado del grupo Coyol Inferior se encuentran debajo de las laderas más pronunciadas del área. La red fluvial actual drena al Río De Matagalpa, tanto desde el norte como desde el sur. En esta área se encuentran diseminados numerosos poblados pequeños y viviendas aisladas. Una carretera pavimentada primaria atraviesa el centro del área de estudio, de



Figura 8. Grieta frontal de un desprendimiento de tierra que ocasionó un flujo de escombros que avanzó hasta el poblado de San Francisco causando la muerte de una persona. Nótese el profundo perfil de erosión de una grieta frontal de aproximadamente 5 m de altura.

este a oeste, a la ciudad de Matagalpa, en donde cambia su dirección al norte. Un ramal secundario mejorado de este camino se extiende desde Matagalpa hasta San Ramón.

El mapa del total de precipitación pluvial ocasionada por el huracán Mitch muestra que durante el periodo comprendido entre el 21 y el 31 de octubre de 1998 el área recibió entre 500 y 700 mm de lluvia (INETER, 1998).

Mediante fotografías aéreas y el reconocimiento de campo se cartografiaron 283 desprendimientos de tierra en el área de estudio de Matagalpa (ilustración 5). La mayoría de los desprendimientos de tierra se produjeron en las pendientes pronunciadas de las colinas (20° a 27°) debajo de las cuales se encuentra basalto y andesita del grupo Coyol Superior (unidad Tpcb); esta unidad fue la que mostró la mayor susceptibilidad (tabla 1). El material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria mostraron un índice de susceptibilidad similar. Como todos los desprendimientos de tierra cartografiados en la unidad cuaternaria indiferenciada se produjeron en las pendientes, suponemos que éstos se

iniciaron dentro del coluvión del manto de dicha pendiente. La ignimbrita y la toba del grupo Coyol Superior (unidad Tpci) y la dacita ignimbrita, la toba (unidad Tmcd), la andesita ignimbrita [unidad Tmcd(A)] y el aglomerado y/o la andesita (unidad Tmca) del grupo Coyol Inferior también mostraron cierta susceptibilidad al desprendimiento de tierra (tabla 1). La brecha y el aglomerado [unidad Tmcd(Ag)] de los grupos Coyol Inferior fueron los que mostraron la susceptibilidad más baja (tabla 1).

La mayoría de los flujos de escombros se iniciaron como desprendimientos de tierra con una extensión de hasta varias decenas de metros, y profundidades de 1 a 5 metros, descendiendo decenas de metros pendiente abajo. Los flujos de

escombros que se desplazaron por canales bien desarrollados fueron los que más lograron avanzar; en un caso, hasta 2 km. Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que las grietas dejadas por los desprendimientos de tierra por lo general se presentaron en áreas de materiales alterados por la meteorización y alteración hidrotermal (figuras 8 y 9). Además, la



Figura 9. Grieta frontal (de unos 8 m de altura) de un desprendimiento de tierra en materiales muy meteorizado, en el norte del área de estudio de Matagalpa.

profundidad de las grietas estuvo en función de la profundidad del manto meteorizado. Desprendimientos de tierra muy superficiales se produjeron donde el manto meteorizado era delgado; en cambio, grietas de hasta varios metros de profundidad se produjeron en áreas en las que el manto meteorizado tenía varios metros de espesor.

Un corredor con un ancho comprendido entre 4 y 5 km a lo largo de la carretera en dirección norte que sale de Matagalpa resultó particularmente afectado por los desprendimientos de tierra; se produjeron múltiples desprendimientos tanto en las pendientes que la carretera corta a su paso, como en las pendientes naturales del corredor. Además, el Río Molino Norte, el cual fluye paralelamente a la carretera en la parte norte del área de estudio, mostró erosión y deposición considerables a lo largo de su recorrido.

Durante nuestro reconocimiento de campo también cartografiamos numerosos desprendimientos de tierra a lo largo de los caminos que se encuentran al este de Matagalpa. El flujo de escombros del extremo occidental, cartografiado en el camino del norte, se inició aproximadamente a 20 m de la cresta de la cordillera, atravesó la carretera y descendió hasta un drenaje, en donde se dice que ocasionó la muerte de una persona en el pueblo de San Francisco (figura 8). El desprendimiento de tierra del extremo oriental de la carretera que está al este de La Rema formó una grieta frontal de aproximadamente 5 m de altura y el material desprendido se

acomodó de manera escalonada pendiente abajo, en una serie de grietas. El dueño de estas tierras informó que el accidente se formó con motivo del huracán Mitch y que desde entonces ha seguido desplazándose.

Durante el reconocimiento de campo se pudo observar un flujo de tierra que se formó en un pastizal de San Simón de Paicila (parte noroeste del área de estudio) (figuras 10 y 11). El



Figure 10. Punta del flujo de tierra en San Simón de Paicila. El movimiento del flujo de tierra destruyó la casa que está a la izquierda. Un lóbulo activo del flujo de tierra choca con la casa que está a la derecha.



Figure 11. Vista de la pendiente del flujo de tierra en San Simón de Paicila. Nótese la topografía caracterizada por montículos, las grandes grietas y resquebrajaduras del primer plano y la grieta frontal situada detrás de las vacas.

desplazamiento del flujo de tierra destruyó una casa y una iglesia. El flujo de tierra tiene 40 m de ancho, 200 m de longitud, y su topografía se caracteriza por montículos y las típicas crestas laterales que distinguen a los flujos de tierra. Los granjeros cuya casa fue destruida informan que el primer movimiento del flujo de tierra se produjo durante la presencia del huracán Mitch; sin embargo, el movimiento más significativo se ha ido presentando durante un prolongado periodo, después del paso del huracán. Este flujo de tierra se produjo dentro de una falda de depósitos que bordean la cresta. Los depósitos dan evidencia de movimientos ocasionados por desprendimientos de tierra producidos en el pasado.

Aunque el Río Molino Norte evidencia inundaciones relacionadas con el huracán Mitch, así como transporte de material en el tramo norte de Matagalpa, no fue posible con base en las fotografías aéreas concluir estos efectos en el canal que pasa por Matagalpa.

Dipilto

El área de estudio de Dipilto (figura 1) pertenece al Departamento de Nueva Segovia y a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 150 km² y se localiza entre 2 y 13 km al oeste del pueblo de Dipilto, al norte de Nicaragua, a lo largo de la frontera con Honduras (ilustración 6). Datos geológicos digitales aún no publicados del cuadrángulo de Dipilto (escala de 1:50,000) proporcionados por INETER indican que debajo de la mayor parte del área se encuentra granito y granodiorita del Cretácico (unidad Ka), así como esquistos de filita y otras rocas metamórficas (unidad Ptm). En el extremo suroeste del área de estudio se cartografió una pequeña área de conglomerado terciario en la Formación de Totogalpa (unidad Tot cuya litología se desconoce). En los drenajes primarios se cartografiaron material aluvial y coluvial indiferenciados de la Era Cuaternaria. El Río Las Manos drena en el extremo nordeste del área de estudio, fluye en dirección sureste y llega al pueblo de Dipilto. El Riachuelo Sipilde drena la

parte restante del área de estudio y fluye de nordeste a suroeste. La topografía es empinada y escarpada; las elevaciones oscilan entre unos 800 m en los valles del río, y 1,400 m en las regiones montañosas que colindan con la frontera con Honduras. En esta área se encuentran diseminados numerosos poblados pequeños y viviendas aisladas. Carreteras pavimentadas corren paralelas al Río Las Manos y el Riachuelo Sipilde; un camino se tiende de norte a sur, a lo largo del límite oeste del área de estudio.

Durante el periodo comprendido entre el 21 y el 31 de octubre de 1998, el área registró una precipitación pluvial entre 550 y 600 mm. Un pluviómetro ubicado en Ocotal, unos 10 km al sur del pueblo de Dipilto, registró una precipitación de 560 mm, 1394% más de la precipitación normal correspondiente a los 10 últimos días de octubre (INETER, 1998).

Se cartografiaron 457 ubicaciones de iniciación de los desprendimientos de tierra, dentro de un área de 150 km² (ilustración 6). La magnitud de los desprendimientos de tierra varió considerablemente; las grietas fueron muy distintas: desde unos cuantos metros cuadrados hasta 25,000 m². Durante el reconocimiento de campo se observó que las grietas más pequeñas podían tener una profundidad de menos de 0.5 m; cartografiamos flujos de escombros que se desplazaron apenas unas decenas de metros pendiente abajo. Como la mayoría de los flujos de escombros avanzaron hasta corrientes de orden superior, no fue posible determinar una distancia de recorrido máxima. En esta área de estudio el granito descompuesto y la granodiorita (unidad Ka) resultaron ser 13 veces más susceptible al desprendimiento de tierra que las rocas metamórficas (unidad Ptm, tabla 1). En la Formación Totogalpa no se cartografiaron desprendimientos de tierra (unidad Tot). Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que las grietas dejadas por los desprendimientos de tierra por lo general se presentaron en áreas de materiales alterados por la meteorización o por alteración hidrotermal. Además, la profundidad de las grietas estuvo en función de la profundidad del manto meteorizado. Desprendimientos de tierra muy superficiales se produjeron donde el manto meteorizado era delgado; en cambio, grietas de

hasta varios metros de profundidad se produjeron en áreas en las que el manto meteorizado tenía varios metros de espesor.

Además de los múltiples desprendimientos de tierra, las lluvias torrenciales del huracán Mitch también produjeron escurrimientos extremos y la erosión de las laderas y canales (ilustración 6). Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que los granitos y las rocas metamórficas que se encuentran debajo del área están considerablemente descompuestos; asimismo, que la mayoría de los cortes de carretera y las pendientes tenían una erosión y fisuración extrema. Aún los canales de tributarios pequeños evidenciaron una significativa erosión así como un transporte de grandes volúmenes de arena y de materiales del tamaño de la grava. En los drenajes de alto orden se pudieron observar lechos planos y amplios, de hasta 40 metros; también pudimos observar el transporte de cantos rodados de hasta 5 m de diámetro a través del agua. Las carreteras y los caminos de esta área resultaron severamente dañados.

Cinco Piños

El área de estudio de Cinco Piños (figura 1) pertenece al Departamento de Chinandega y a la provincia fisiográfica de las Tierras Montañas del Centro (Merrill, 1994). El área de estudio abarca aproximadamente 60 km², y se localiza en la parte noroeste de Nicaragua, a lo largo de la frontera con Honduras (ilustración 7). El pueblo de Cinco Piños se encuentra muy cerca de la parte central del área de estudio. Caminos pavimentados atraviesan de este a oeste el área de estudio, pasando por Cinco Piños, y hacia el norte, de Cinco Piños a Honduras. Datos geológicos digitales aún no publicados (escala 1:50,000) de Cinco Piños proporcionados por INETER indican que debajo del área hay granito y granodiorita (unidad Ka) del Cretácico, Grupo Matagalpa de la Era Terciaria y/o grupo Coyol Inferior indiferenciado (unidad Tmci). Estas unidades están formadas por flujos piroclásticos, lahares, ignimbrita, andesita, lava basáltica y aglomerado. En el extremo nordeste del área de estudio se

cartografió una reducida área de andesita ignimbrita y aglomerado del grupo Coyol Inferior (unidad Tmca). La topografía es empinada y escarpada; las elevaciones oscilan entre 300 m a lo largo de los valles del río, hasta 700 m, al norte del área de estudio. La Quebrada las Lajitas fluye en dirección sureste, desde el pueblo de Dipilto; el Río el Gallo Quebrada los Canoas drena en el lado este del área de estudio; la Quebrada la Carreta atraviesa el extremo suroeste del área de estudio; y la Quebrada el Chaparral atraviesa el extremo nordeste del área de estudio. En esta área se encuentran diseminados numerosos poblados pequeños y viviendas aisladas.

El mapa del total de precipitación pluvial ocasionada por el huracán Mitch muestra que entre el 21 y el 31 de octubre de 1998 el área recibió de 800 a 900 mm de lluvia (INETER, 1998).

Esta área resultó gravemente dañada por las lluvias torrenciales del huracán Mitch; se cartografiaron 1,427 desprendimientos de tierra dentro de un área de 60 km² (ilustración 7). Si bien la mayoría de los flujos de escombros no afectaron la integridad de las personas ni de las estructuras, en cambio las áreas agrícolas de las laderas empinadas sí sufrieron daños de consideración. La magnitud de los desprendimientos de tierra que cartografiamos oscila entre menos de 100 m² hasta 800,000 m². Aunque la mayoría de los flujos de escombros descendieron unos cuantos cientos de metros por pendientes o canales, algunos lograron desplazarse hasta un kilómetro antes de entrar a un drenaje de orden superior. Además de los desprendimientos de tierra, el Río el Gallo, la Quebrada los Canoas, la Quebrada la Carreta y la Quebrada el Chaparral evidenciaron erosión y deposición significativas producidas por el huracán Mitch (ilustración 7).

Tanto el granito descompuesto y la granodiorita de la unidad Ka, como los materiales volcánicos que forman parte de los grupos Matagalpa y Coyol Inferior indiferenciados en la unidad Tmci mostraron índices de susceptibilidad al desprendimiento de tierra muy elevados (33 y 24, respectivamente, tabla 1). La unidad Tmca no produjo desprendimientos de tierra en esta área de estudio.

Durante el reconocimiento de campo pudimos

observar numerosas grietas producidas por los desprendimientos de eventos anteriores, de lo cual se deduce que los desprendimientos ocasionados por el huracán Mitch no representaron un fenómeno aislado en esta área.

Resumen, conclusiones y recomendaciones

Hemos presentado mapas de siete áreas de estudio de Nicaragua en los que se muestran desprendimientos de tierra y sus correspondientes efectos corriente abajo ocasionados por el paso del huracán Mitch, una tormenta sin precedentes, entre el 21 y el 31 de octubre de 1998. Los inventarios (elaborados transfiriendo información manualmente de las fotografías aéreas de escala 1:60,000 a mapas base de escala 1:50,000 y 1:25,000 y una verificación de campo limitada) documentan la amplia gama, tanto en procesos como en magnitud, de los desprendimientos de tierra que se produjeron. La mayoría de los desprendimientos de tierra que cartografiamos (quizás el 95%) correspondieron a flujos de escombros. Cartografiamos áreas fuente de flujo de escombros que abarcan unos cuantos metros cuadrados y con profundidades de escasos metros, los cuales dieron lugar a flujos de escombros que descendieron apenas unas cuantas decenas de metros pendiente abajo, y por la otra parte cartografiamos desprendimientos de tierra que llegaron a cubrir áreas de aproximadamente 80,000 m² y que produjeron flujos de escombros que descendieron por lo menos 3 km corriente abajo. Estos desprendimientos de tierra, de rápido desplazamiento y muy destructores, mataron personas y ganado, destruyeron puentes, caminos, casas y demás tipos de estructuras e inundaron tierras agrícolas. También cartografiamos los flujos de tierra lentos que iniciaron su movimiento con la presencia del huracán Mitch y continuaron dicho movimiento por lo menos durante de un año; por lo general ocasionaron la destrucción de estructuras y la afectación de tierras agrícolas.

Las áreas de estudio de El Sauce/San Nicolás, Dipilto y Cinco Piños, y partes de Sébaco/San Nicolás y Matagalpa mostraron una actividad especialmente generalizada en cuanto a desprendimientos de tierra: los desprendimientos de tierra llegaron a cubrir hasta el 80% del

terreno; sus repercusiones por lo que se refiere a vidas humanas, caminos, puentes y estructuras fueron considerables. Por otra parte, en las áreas de estudio de La Fundadora y Jinotega/San Rafael del Norte, y en partes de San Nicolás, Dipilto y Matagalpa se observaron concentraciones de desprendimientos de tierra significativamente menores. Además, en las áreas de estudio de El Sauce/San Nicolás y Cinco Piños se observaron flujos de escombros originados a partir de desprendimientos de tierra numerosos, pequeños, con intervalos cortos, en un área extensa, en tanto que en las demás áreas de estudio se observaron menos desprendimientos de tierra, aunque por lo general más grandes.

Para poder analizar la relación entre unidades geológicas y la susceptibilidad al desprendimiento de tierra, se calculó un índice de susceptibilidad al desprendimiento de tierra por cada unidad geológica de cada una de las áreas de estudio. Para obtener dicho índice se dividió el número de ubicaciones en donde se iniciaron los desprendimientos de tierra de una determinada unidad, entre la extensión del área de dicha unidad del área de estudio. Los índices así obtenidos permitieron identificar las unidades más susceptibles a los desprendimientos de tierra de cada una de las áreas de estudio, suponiendo condiciones de precipitación pluvial similares a las del huracán Mitch. En el área de estudio Jinotega/San Rafael del Norte, el material coluvial que forma el manto de la ladera, que data de la Era Cuaternaria fue el más susceptible a la actividad de los desprendimientos de tierra. La dacita del grupo Coyol Inferior resultó ser la más susceptible a los desprendimientos de tierra en el área de estudio de El Sauce/San Nicolás; una ignimbrita del grupo Coyol Superior demostró tener la susceptibilidad más alta del área de estudio de Sébaco/San Nicolás; la unidad Tmmi-b (cuya litología se desconoce) fue la más susceptible en el área de estudio de La Fundadora; el basalto y la andesita del grupo Coyol Superior y el material coluvial cuaternario fueron los más susceptibles del área de estudio de Matagalpa; los granitos descompuestos y la granodiorita de la unidad Ka resultaron ser altamente susceptibles dentro del área de Cinco Piños. Como en las unidades geológicas que comparten los mismos nombres de otras unidades con frecuencia se implican litologías distintas en las diversas áreas de estudio, y debido a que las condiciones

pluviométricas no fueron las mismas entre un área de estudio y otra, no es posible establecer una comparación entre los índices de susceptibilidad al desprendimiento de las distintas áreas de estudio.

Durante el reconocimiento de campo pudimos observar que los desprendimientos de tierra por lo general se presentaron en áreas de materiales alterados por la meteorización o por la alteración hidrotermal. Además, la profundidad de las grietas estuvo en función de la profundidad del manto meteorizado. Desprendimientos de tierra muy superficiales se produjeron donde el manto meteorizado era delgado; en cambio, grietas de hasta varios metros de profundidad se produjeron en áreas en las que el manto meteorizado tenía varios metros de espesor.

En este documento se presenta un registro de la actividad de desprendimientos de tierra ocasionados por una tormenta sin precedentes, en áreas con geología, geomorfología, microclimas y vegetación diversas. Para determinar el origen de las variaciones en cuanto a las respuestas de desprendimiento de tierra documentadas aquí, y para poder elaborar mapas de susceptibilidad que sean precisos y significativos, es necesario combinar este registro con información sobre las propiedades físicas de los materiales del manto que cubre las pendientes (incluida la profundidad de la meteorización), sobre la forma y gradiente de las pendientes de las colinas, la intensidad y duración de la precipitación pluvial y el comportamiento en cuanto a distancia de desplazamiento.

Referencias

Cruden, D.M. and Varnes, D.J., 1996, Landslide types and processes, *in* Turner, A.K., and

Schuster, R.L., eds., *Landslides — Investigations and mitigation: Transportation Research Board Special Report 247*, p. 36-75.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER, 1998, *Las Lluvias del Siglo en Nicaragua – El Huracán Mitch, las lluvias y otros eventos ciclónicos y su recurrencia en Nicaragua 1892-1998: Managua, Diciembre de 1998*, 159 p.

Keefer, D.K., and Johnson, A.M., 1983, *Earth flows — Morphology, mobilization and movement: U.S. Geological Survey Professional Paper 1264*, 56 p., 3 plates.

Merrill, T.L., 1994, *Nicaragua — A country study: Federal Research Division, Library of Congress, Area Handbook Series, 3rd edition*, 300 p.

Pierson, T.C., and Costa, J.E., 1987, A rheologic classification of subaerial sediment-water flows, *in* Costa, J.E., and Wieczorek, G.F., eds., *Debris flows/avalanches — Process, recognition, and mitigation: Geological Survey of America, Reviews in Engineering Geology*, v. 7, p. 1-12.

Skempton, A.W., Leadbeater, A.D., and Chandler, R.J., 1989, The Mam Tor landslide, north Derbyshire: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A329, p. 503-547.

Varnes, D.J. 1978, Slope movement types and processes, *in* Schuster, R.L., and Krizek, R.J. eds., *Landslides — Analysis and control: National Academy of Sciences, Transportation Research Board Special Report 176*, p. 12-33.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento por las gráficas y experiencia en diseño proporcionados por Margo Jonson y Eleanor M. Omdahl, así como por las revisiones de William Savage y Rex Baum. Richard Dart aportó su pericia para la compilación de los datos digitales de la versión final.