

# **INFORME PROYECTO MIZAV IDENTIFICACIÓN Y EL ESTABLECIMIENTO DE ZONAS DE ALTA VULNERABILIDAD A DESLIZAMIENTOS E INUNDACIONES**

**Leonidas Rivera A., MSc  
Facultad de Ing. Civil-Universidad Tecnológica de Panamá**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos e inundaciones son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control (Suárez, 2001).

Durante muchos años la información real de los eventos naturales adversos y su impacto en la comunidad de la República de Panamá, se ha encontrado dispersa y documentada de forma adecuadamente en diferentes instituciones haciendo muy difícil su ubicación y uso. Esto ha ocasionado que las labores de mitigación y planificación se han afectado de manera sistemática.

La mayoría de los eventos adversos ocurridos en nuestro país que han ocurrido en los últimos años, catalogados como desastres, han sido del tipo meteorológico. Como consecuencia de estas perturbaciones meteorológicas, los deslizamientos de tierra e inundaciones han producido pérdida de vidas así como el deterioro de las economías de las personas que han sido afectadas.

En este proyecto se evalúan las cuencas de los ríos Chiriquí Viejo, provincia de Chiriquí y La Villa en la península de Azuero con el propósito de elaborar sendos mapas de amenaza a los deslizamientos e inundaciones.

La zonificación de amenazas y riesgos es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente en las primeras etapas de planeación de un proyecto; la zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas, de acuerdo al grado real o potencial de amenaza o de riesgo.

Por otra parte, el análisis de la amenaza a los deslizamientos de tierra e inundaciones requiere de la modelación de interacciones complejas entre un gran número de factores y de la evaluación de las relaciones entre varias condiciones del terreno y ocurrencia de deslizamientos e inundaciones.

Para la realización de este estudio se utilizó un sistema de información geográfica que permitió zonificar la amenaza a los deslizamientos e inundaciones mediante la combinación de diferentes capas de datos. En este estudio se utilizó el programa ILWIS (Integrated Land and Water Information System) desarrollado por el Instituto Internacional para Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) de Holanda.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El crecimiento poblacional desproporcionado en zonas de alto riesgo, así como el mal uso del suelo, han contribuido al aumento de la vulnerabilidad de la población ante situaciones de desastres.

Por otra parte, existe poca o ninguna información de registros sistemáticos y homogéneos que son necesarios para el análisis de la gestión del riesgo sobre la ocurrencia de eventos amenazantes como son las inundaciones y los deslizamientos de tierra.

En la República de Panamá no existe un programa de prevención, preparación y mitigación en desastres que pueda hacerle frente a los fenómenos naturales adversos.

## 3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.

- Contribuir al proceso de reducción de desastres en la República de Panamá, a partir del análisis, investigación y desarrollo de una base de datos y planes

de contingencia ante las amenazas de inundaciones y deslizamientos de tierra.

- Identificar y establecer zonas de alta vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos de tierra y desarrollo de planes de contingencia en la República de Panamá.
- Elaborar un mapa de amenazas a los deslizamientos e inundaciones en las cuencas de los ríos Chiriquí Viejo y La Villa.

#### 4. INFORMACION GENERAL SOBRE LOS DESLIZAMIENTOS EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS CHIRIQUÍ VIEJO Y LA VILLA

##### 4.1 Cuenca del Río Chiriquí Viejo

La cuenca del Río Chiriquí Viejo tiene un área de drenaje de 788 km<sup>2</sup>. Esta cuenca se ha caracterizado por una abundante presencia de deslizamientos debido a numerosas causas.

La cuenca se encuentra emplazada en un sistema montañoso cuyos valores de pendiente varían de manera brusca desde la cota 1400 metros hasta 3474 metros sobre el nivel del mar en una distancia no mayor a los 10 km. La región es afectada por una alta pluviometría, con un promedio de lluvia para los últimos diez años de 4283 mm por lo que sumado a los valores promedios de pendiente que afectan al sistema montañoso (39<sup>0</sup>) y las características geomorfológicas en general, ha propiciado la generación de nuevos suelos, la degradación de los mismos y de otros. Además, las malas prácticas agropecuarias han contribuido a que se acelere el proceso de degradación de los suelos residuales, aumentando la erosión en los taludes naturales; ésta es una de las causas que propician la inestabilidad en el área.

##### 4.1.1 Caracterización del medio físico de la cuenca baja

La geología de esta sección está formada por aluviones, sedimentos no consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados, lutitas carbonosas y deposiciones tipo delta que corresponden a la Formación Las Lajas del grupo Aguadulce. Esta formación

corresponde geológicamente a la época reciente del período Cuaternario con una antigüedad de 10000 años aproximadamente.

En la margen oeste del Río Chiriquí Viejo afloran Vulcanitas provenientes del Volcán Colorado pertenecientes al Pleistoceno Medio Inferior.

En algunos sectores afloran los lahares antiguos y flujos piroclásticos pertenecientes al Holoceno-Pleistoceno Superior

El suelo está compuesto de cantos rodados de diferente composición litológica dentro de una matriz arcillo arenosa que corresponde a los sedimentos transportados por la corriente a lo largo de su historia geológica. No se aprecia el horizonte orgánico en el perfil del suelo aflorante. El espesor del suelo varía entre 1.5 y 3.0 metros.

Esta zona presenta, además, un grado moderado de erosión observándose en algunos sectores de corte reciente el inicio de la formación de cárcavas.

En la carretera hacia Altos de Chiriquí no se observan afloramientos abundantes en la misma. Los fragmentos de rocas observados corresponden a rodados (boulders) de rocas intrusivas muy meteorizadas in situ que se encuentran cementados por una matriz arcillo arenosa.

Los horizontes de suelo a lo largo de la carretera principal muestran suelos residuales de contenido arcillosos de color chocolate claro proveniente de la meteorización de las rocas intrusivas ácidas transportadas por la corriente. Por encima de estos suelos residuales no se observa ningún horizonte orgánico. En algunos sectores se observan materiales de caída o piroclastos y flujos piroclastos que varían entre 4 a 6 metros de espesor.

La topografía predominante corresponde a pequeñas colinas muy erosionadas observándose en algunos sitios formación de cárcavas.

Las actividades ganaderas corresponden al principal uso del suelo de la zona visitada así como al asentamiento de algunas poblaciones como Celmira, Sueco y San Pedro.

No se observan deslizamientos históricos ni recientes en el área de estudio.

En las márgenes afloran lutitas y conglomerados depositados por corrientes durante las crecidas históricas de este río. Hay mucha acumulación de suelos transportados que es típico de drenajes con caudales de esta magnitud

Los conglomerados aflorantes en las márgenes del río tienen espesores de hasta 4 metros en algunos sitios. La llanura de inundación se extiende hasta dos kilómetros en poblados como Quebrada Grande, Jacú Arriba, Canoa Abajo y Capacho. Se observan en estas comunidades restos de inundaciones históricas.

En algunos sitios, el horizonte del suelo tiene unos 5 centímetros de suelo orgánico.

#### 4.1.2 Caracterización del medio físico de la cuenca media

En esta sección del río afloran rocas piroclásticas o lahares y conglomerados muy meteorizados in situ. Esta meteorización produce los suelos residuales de coloración chocolate claro a lo largo de las márgenes del río y de la carretera.

En esta sección se observan, además, deslizamientos recientes e históricos (traslacionales, rotacionales y de desprendimiento) en Altos y Bajos de Chiriquí, Cerro La Potra, Salsipuedes y Loma Zapatero. En los taludes más peligrosos de estos lugares los árboles están inclinados evidenciando movimientos de masas activos.

Las pequeñas colinas presentan un grado de erosión relativamente elevado debido a la deforestación de los mismos así como a la fuerte actividad ganadera en las zonas visitadas. El principal uso del suelo en esta parte de la cuenca es la ganadería con los mismos cubiertos de pastizales.

En la parte media alta del Río en la intersección de la carretera hacia la comunidad de Monte Lirio, afloran sedimentos actuales correspondientes a los materiales transportados y luego depositados por el río en esta sección del mismo.

Estructuralmente el área de interés visitada está constituida por fracturas y fallas la mayoría de las cuales tienen un rumbo preferencial Noroeste Sureste. Esta dirección corresponde a las fallas de mayor magnitud. Se observan algunas fallas de menor

longitud con dirección Noreste Suroeste. Al lado de la carretera que conduce hacia la comunidad de Cerro Punta se observa un escarpe de falla de aproximadamente diez kilómetros de longitud con dirección Este Oeste y se inclina hacia el Sur con una altura de más de 200 metros. Este escarpe morfológico corresponde al antiguo aparato volcánico del Barú.

#### 4.1.3 Caracterización del medio físico de la cuenca alta

La geología de esta sección de la cuenca se caracteriza por Vulcanitas silicificadas del Terciario, Vulcanitas del Volcán Colorado correspondientes al Pleistoceno Medio Inferior, Flujos piroclásticos del Holoceno y Pleistoceno Superior, Flujos de lava especialmente andesitas con cobertura piroclástica del Holoceno y Pleistoceno Superior, Lahares Surge del Holoceno. En esta sección de la Cuenca se observan materiales de caída como cenizas, bombas y arenas volcánicas pertenecientes al Holoceno y Pleistoceno Superior. Las bombas y boulders se presentan en bloques de diversos tamaños que varían en función de sus distancias al volcán.

En esta parte de la Cuenca se observan deslizamientos y derrumbes del antiguo cono. En las márgenes del río Chiriquí Viejo, en su parte superior, se observan deslizamientos históricos y recientes en taludes que sobrepasan los 60 metros de altura. Los árboles en estos taludes se encuentran inclinados indicando movimientos lentos que pueden acelerarse por las lluvias intensas que se dan en la zona y el mal uso del suelo característico. Esto es evidente, especialmente en las comunidades de Bambito, Cerro Punta, Nueva Suiza entre otras, donde la mayoría de las actividades antropogénicas se realizan sobre los materiales depositados por antiguos y recientes deslizamientos. Los deslizamientos observados en esta sección son de tipo rotacional y traslacional en su gran mayoría. También se dan, en algunos sitios pero de menor magnitud, los desprendimientos de rocas y de suelo. En la comunidad de Nueva Suiza se ha cortado la comunicación terrestre varias veces producto del flujo masivo de lodos.

Los perfiles de suelos realizados están formados por suelos y paleosuelos entre 1.30 a 2 metros de espesor, piroclastos o materiales de caída entre 2.0 a 4.5 metros y en el fondo se encuentran los flujos piroclastos como lahares y surge.

Los horizontes de suelo a lo largo de la carretera principal muestran suelos residuales de contenido arcillosos de color chocolate claro proveniente de la meteorización de las rocas intrusivas ácidas transportadas por la corriente. Por encima de estos suelos residuales no se observa ningún horizonte orgánico. En algunos sectores se observan materiales de caída o piroclastos y flujos piroclastos que varían entre 4 a 6 metros de espesor.

La comunidad de Volcán se asienta sobre lahares y flujos piroclásticos provenientes de la última actividad del Volcán Barú aproximadamente en el año 1300 D.C.

La mayoría de los pobladores del área se dedican a actividades ganaderas y agrícolas. Algunas poblaciones asentadas en la misma son: Buena Vista, Cuesta de Piedra, Hato de Volcán, Nueva California, Bambito y Cerro Punta entre otras.

La principal actividad agrícola es el cultivo de hortalizas, legumbres, cafés y frutales la cual se da en los taludes de los cerros. Estas actividades han producido una notable y avanzada deforestación en toda la zona dejando al descubierto los taludes aumentando de esta manera la escorrentía superficial. Además, se puede acelerar el proceso de movimiento de masas producto de la deforestación y el uso del suelo en las laderas de los cerros que limitan la cuenca. También se da dentro del área las grandes extensiones de pastizales.

Geomorfológicamente el área predominante se caracteriza por tener una topografía elevada e irregular y frecuentemente se encuentran elevaciones entre los 1,000 y 3,000 metros sobre el nivel del mar. La máxima elevación la tiene el volcán Barú con 3474 metros sobre el nivel del mar, Cerro Punta con 2375 metros sobre el nivel del mar y Cerro Respingo con 2807 metros sobre el nivel del mar.

Las montañas presentan, generalmente, pendientes escarpadas a causa del tectonismo. En estas escarpas se observan materiales del basamento Terciario y lavas correspondientes a flujos del volcanismo Cuaternario que caracteriza la región. En algunos sectores de la cuenca el proceso erosivo está avanzado observándose la formación de cárcavas.

#### 4.1.4 Características hidrometeorológicas

##### 4.1.4.1 Clima

El clima en el área de estudio se caracteriza por ser húmedo y muy húmedo con temperaturas que varían en promedio de 26° C a 30° C en las zonas de poca elevación y de 18° C a 21° C en las cotas altas. Estas temperaturas son relativamente constantes a través de todo el año notándose variaciones entre el día y la noche.

La estación lluviosa se extiende desde mayo hasta diciembre, durante la cual se registran precipitaciones que alcanzan hasta los 5026 mm anuales. La estación seca va desde el mes de enero hasta el mes de abril. De acuerdo a ETESA (2001), esta cuenca es la más lluviosa de la vertiente del Pacífico de la República de Panamá y la segunda más lluviosa en todo el país.

La Tabla 1 resume las precipitaciones medias mensuales así como las totales anuales para un período de 10 años.

Tabla 1. Precipitación media mensual (mm) en la Estación Gómez Arriba, Cuenca Chiriquí Viejo (ETESA, 2001)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual
1 992	34	70	44	367	454	186	337	456	296	391	451	91	3.177
1.993	193	29	173	355	540	316	418	464	640	532	357	137	4.153
1 994	120	82	30	187	573	459	670	672	628	650	578	141	4.790
1 995	0	25	312	436	408	578	476	661	509	525	286	184	4 398
1 996	345	114	155	272	592	681	517	485	755	644	394	73	5 026
1.997	143	70	180	124	292	320	218	437	356	481	319	42	2 983
1.998	0	175	26	243	352	562	418	453	483	575	657	521	4 465
1 999	81	114	123	169	480	550	344	771	695	359	590	312	4 587
2.000	125	50	91	188	560	610	347	309	936	629	411	290	4.546
2 001	99	63	112	97	667	362	550	549	600	787	680	144	4 709
Promedio Total Anual													4.283

##### 4.1.4.2. Hidrografía

La red de drenaje de la cuenca se caracteriza por ser dendrítica, rectangular y anular o radial. Este patrón es dominado por la influencia tectónica que da lugar al

fallamiento en el área y por la presencia del complejo volcánico. El área se caracteriza, en la cuenca alta, por la frecuencia de ríos torrenciales.

Las diferencias notables en su curso alto medio y bajo dependen de la geomorfología, del tectonismo y la influencia humana. Son frecuentes los saltos de agua y los drenajes con secciones transversales en forma de “V”. La presencia de cañones o gargantas profundas indica la velocidad con que las corrientes buscan su perfil de equilibrio, proceso que está muy influenciado por el neotectonismo y la poca cohesión de los materiales que atraviesan.

En la cuenca alta del río, éste se abre en forma de abanico aluvial. Los drenajes cortan los materiales volcánicos del área y la mayoría presentan valles angostos con perfiles transversales en forma de “V” con pendientes muy abruptas en sus cursos altos. Los mismos transportan grandes volúmenes de materiales entre los cuales se encuentran frecuentes cantos rodados de grandes tamaños que se depositan en la cuenca media y baja del río Chiriquí Viejo.

La Tabla 2 resume los caudales del río Chiriquí Viejo en la estación de Paso Canoas.

Tabla 2. Caudales promedios mensuales del Río Chiriquí Viejo en Paso Canoas (ETESA, 2001).

<b>CHIRIQUÍ VIEJO, PASO CANOAS</b>													<b>TIPO DE ESTACIÓN: Limnigráfica</b>	
<b>LATITUD: 08° 32' N</b>													<b>ELEVACIÓN: 85 msnm</b>	
<b>LONGITUD: 82° 50' O</b>													<b>AREA DE DRENAJE: 788 km<sup>2</sup></b>	
<b>PROVINCIA: Chiriquí</b>														
<b>CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)</b>														
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM ANUAL	
1987	21,8	16,5	15,6	17,1	42,7	69,8	63,7	94,6	86,1	101	59	43,3	52,6	
1988	25,9	19,7	19,5	17,5	30,8	64,1	80,6	151	151	182	92,1	45,5	73,3	
1989	31,8	25	23,7	19,9	36,7	56,4	82,1	74,1	120	101	78,5	57,8	58,9	
1990	31,1	18	19	15,5	53	70,4	76,5	64,7	58,5	120	114	79,8	60,0	
1991	41,3	22,9	17,9	25,1	103	116	63	77,2	118	116	81,6	74,2	71,4	
1992	31,1	20,8	16,5	18,5	35,7	51,9	48,8	55	76	89,6	63,7	61,7	47,4	
1993	38,5	25,7	28,1	25,7	63,4	75,2	57,3	86,4	110	104	58,1	44,1	59,7	
1994	35,6	19,4	16,8	17,7	44,1	64,4	61,6	54,3	96,5	138	131	65,2	62,1	

1995	24,9	19,7	19,9	27,8	74,4	112	103	131	121	132	86,3	54,4	75,5
1996	57,1	31	25,6	20,6	65,1	87,9	114	97,9	122	146	92,4	64	77,0
1997	35	30,1	17,2	24	48,5	68,8	38,6	35,4	66,4	94,1	98,1	55,6	51,0
1998	35	24	20,9	22	57,2	79,5	72,5	87	109	126	92,3	63,6	65,8
1999	46,6	40,1	31,7	33,3	92,1	121	81,4	126	192	194	153	118	102,4
PROMEDIO DEL PERÍODO DE MEDICIÓN:													65,93

De la tabla anterior se observa que el caudal promedio anual para este período es de 65.93 m<sup>3</sup>/s.

Según la clasificación de climas de Copen, en la zona se identifican cinco tipos de clima. Al noreste, específicamente en el Volcán Barú, el clima es templado húmedo de altura (Cwh), al noroeste es templado muy húmedo de altura (Cfh), mientras que hacia la parte media es tropical húmedo (Ami). Al sur predomina el clima tropical de sabana.

#### 4.2 Cuenca del Río La Villa

La cuenca del río La Villa se encuentra ubicada en la vertiente del Pacífico, en la Península de Azuero, entre las coordenadas geográficas 7° 30' y 8° 00' de latitud norte y 80° 12' y 80° 50' de longitud oeste. Su forma es alargada y bastante ancha en la parte alta y más angosta a medida que se aproxima al mar.

La cuenca del Río La Villa tiene un área de drenaje de 1,284 km<sup>2</sup> y una elevación media de 170 msnm. El punto más alto de la cuenca es el Cerro Cacarañado con una elevación de 997 msnm. Su río principal, La Villa, tiene una longitud de 117 kilómetros.

En esta cuenca habitan más de 70,543 personas. Su población activa es de 34,997 personas de las cuales el 93.3% están ocupadas. Se dedican, en mayor proporción, a desarrollar actividades económicas referidas principalmente al sector primario: agricultura, ganadería, caza y silvicultura. De esta forma el 92% de la superficie total de la cuenca es utilizada en actividades agropecuarias (48.6% usada en agricultura y 43.6% usada en actividades pecuarias). Se destacan los cultivos de arroz, maíz, sorgo, guandú, tomate, pepino, coco, sandía y melón entre los más importantes. En la actividad pecuaria se da con predominancia la cría de ganado vacuno.

Esta cuenca se caracteriza por presentar un alto grado de deterioro ambiental sobre todo en la cubierta vegetal dentro de la misma. La deforestación es alta debido al mal uso del suelo, siendo la causa principal la ganadería pastoril.

La cuenca se encuentra emplazada en un sistema de montañas en la parte sur de la misma y colinas suaves que buzan hacia el norte. Las pendientes varían de manera brusca desde la cota 800 metros hasta 1000 metros sobre el nivel del mar en una distancia no mayor a los 15 km. Los valores promedios de pendiente varían desde 39° hasta 18° en la parte sur de la cuenca. La región tiene una pluviometría baja con un promedio de lluvia para los últimos diez años de 1068 mm. Las características geomorfológicas, en general, han propiciado la generación de nuevos suelos y la degradación de los mismos. Además, las malas prácticas agropecuarias han contribuido a que se acelere el proceso de degradación de los suelos residuales, aumentando la erosión en los taludes naturales y de allí la inestabilidad en el área.

#### 4.2.1 Caracterización del medio físico de la cuenca baja y media

La geología de esta sección de la cuenca está compuesta de tobas continentales, areniscas y calizas pertenecientes a la Formación Pesé correspondiente al período Terciario y a la época Oligoceno medio de 30 millones de años de antigüedad aproximadamente. También afloran en la cuenca basaltos y andesitas del Grupo y formación Playa Venado del Cretácico superior.

No hay afloramientos abundantes en esta sección de la cuenca. Los fragmentos de rocas observados corresponden a rodados (boulders) de rocas tobáceas muy meteorizadas in situ. Los horizontes de suelo a lo largo de la carretera principal muestran suelos residuales de contenido arcillosos amarillentos provenientes de la meteorización de las tobas continentales. Por encima de estos suelos residuales no se observa ningún horizonte orgánico.

En los cortes de la carretera hacia Macaracas afloran andesitas y basaltos sin meteorizar del Grupo y formación Playa Venado. Las texturas de estas rocas son afaníticas de coloración oscura. Los horizontes de suelo a lo largo de la carretera principal muestran suelos residuales de contenido arcillosos amarillentos provenientes

de la meteorización de las rocas andesíticas y basálticas; en algunas muestras se observa la alteración a cloritas de los minerales ferromagnésicos. La roca presenta algunas fracturas paralelas con drenajes que corren a lo largo de estas zonas de debilidad estructural geológica.

La falla principal, conocida como Falla Ocú, se extiende de este a oeste con varios kilómetros de extensión. Existen otras fallas menores principales con dirección NO-SE que hacen parte de la falla Pedasí.

La geomorfología se caracteriza por pequeñas colinas muy erosionadas observándose en algunos sitios formación de cárcavas. Afloran, además, rasgos geomorfológicos tipo “hummocky” producto del modelado de las aguas superficiales y el transporte de los sedimentos hacia los drenajes cercanos. Toda el área presenta un alto grado de deforestación apreciándose en algunos cortes nuevos de la carretera la formación avanzada de cárcavas.

Las rocas piroclásticas tobáceas se han meteorizado in situ. Esta meteorización produce suelos residuales de coloración amarillenta rojiza a lo largo de las márgenes del río y de la carretera principal.

El perfil del suelo muestra espesores de suelo residual de hasta 3 metros sin distinguir en el mismo el horizonte orgánico. La coloración típica del suelo es rojiza en todo el suelo residual.

La principal actividad en esta sección de la cuenca es la ganadera. Aproximadamente el 90% del área está cubierta de pastizales observándose el suelo muy compactado como resultado del pastoreo del ganado

En las márgenes de la parte baja del río La Villa afloran pocas Tobas continentales pertenecientes al Grupo y formación Pesé y las que aparecen están fuertemente meteorizadas. Se observan, además, gran cantidad de rodados o boulders que forman conglomerados depositados por corrientes durante las crecidas históricas de este río. Hay mucha acumulación de suelos transportados que es típico de drenajes con caudales de esta magnitud.

El perfil del suelo en esta sección se caracteriza por limos arcillosos expansivos de hasta 5 metros de espesor. En la desembocadura del río se tiene 30 cm de arena orgánica, 1.7 metros de arcilla limosa y en el fondo limo de coloración oscura muy saturados de agua.

La anchura del río en esta zona es de 60 metros y la planicie de inundación tiene hasta 1 km en la parte más extensa. En el puerto de Chitré las crecidas llegan hasta 25 metros dentro de la zona urbanizada

La vegetación característica es de manglares con algunos árboles frutales.

La actividad característica en esta sección del río es la de viviendas. En la planicie de inundación habitan gran cantidad de personas que no tienen los servicios básicos. Predominan en algunos sitios del área visitada las praderas sembradas de pastizales para ganado.

Históricamente ha habido inundaciones en esta sección del río debido a la impermeabilización de las planicies de inundación como resultado del pastoreo del ganado, y deforestación de la zona. Esto provoca el aumento de la escorrentía superficial y de esta manera el aumento de los caudales del río. Además, hay un aumento en la erosión y transporte de sedimentos del río que disminuye la capacidad de descarga de su cauce. Las inundaciones son el resultado, entre otros, de todos estos factores.

En las márgenes del río La Villa en su parte baja afloran pocas Tobas continentales y las que aparecen están fuertemente meteorizadas. Se observan, además, gran cantidad de rodados o bolders que forman conglomerados depositados por corrientes durante las crecidas históricas de este río. Hay mucha acumulación de suelos transportados típico de drenajes con caudales de esta magnitud.

El uso del suelo en esta sección del río es la ganadería de pastoreo. Predominan en el área las praderas sembradas de pastizales para ganado; el resto, se utiliza para las actividades agrícolas como lo es la siembra de granos, principalmente el arroz

#### 4.2.2 Caracterización de la cuenca alta del río

La geología de la cuenca alta está compuesta de tobas continentales, aglomerados y materiales volcánicos andesíticos-basálticos pertenecientes a la Formación Pesé que corresponde al período Terciario y a la época Oligoceno medio de 30 millones de años de antigüedad aproximadamente.

A lo largo de la carretera Pesé, Los Pozos y Macaracas se observan afloramientos de andesitas sin meteorizar, además de basaltos y tobas muy fracturadas. La textura de la roca es afanítica de coloración oscura. Los horizontes de suelo a lo largo de la carretera principal muestran suelos residuales de contenido arcillosos amarillentos provenientes de la meteorización de las rocas andesíticas y basálticas; en algunas muestras se observa la alteración a cloritas de los minerales ferromagnésicos.

La roca presenta algunas fracturas paralelas con drenajes que corren a lo largo de estas zonas de debilidad estructural geológica.

Paralelo a la quebrada Los Gómez se extiende la falla principal con dirección NO-SE y que tiene varios kilómetros de extensión.

En esta sección de la cuenca se observan algunos rasgos geomorfológicos tipo “hummocky” producto del modelado de las aguas superficiales y el transporte de los sedimentos hacia los drenajes cercanos. La erosión es intensa y se manifiesta en forma de cárcavas, algunas de las cuales están en su etapa de formación y la mayoría están en un estado muy avanzado. La deforestación y el mal uso del suelo es el detonante de este proceso erosivo.

La capa de suelo residual tiene espesores de hasta 5 metros con un contenido de humedad relativamente alto; no se distingue en el mismo ningún horizonte orgánico. La coloración típica del suelo es rojiza clara en todo el suelo residual.

En esta sección de la cuenca la principal actividad es la ganadera. El suelo se presenta muy compactado como resultado del pastoreo del ganado. Como consecuencia de esta compactación, los suelos se presentan impermeabilizados, disminuyendo así la infiltración del agua precipitada e incrementando el coeficiente de escorrentía

superficial. Los resultados son el aumento en la carga de sedimentos y la disminución de la capacidad de descarga del cauce de río para transportar sus caudales. Estos factores, entre otros, ocasionan las principales inundaciones en la cuenca baja del río La Villa.

Toda esta zona presenta un índice muy alto de deforestación producto de la tala de los bosques para la conversión de las áreas forestadas a potreros; en este sentido, se aprecia que apenas un 10% del área está cubierta de bosques primarios y secundarios. Esto incide, también, en la escorrentía superficial, aumento de la erosión y la formación de cárcavas.

En esta zona hay evidencias de movimientos de masas antiguas con algunos desprendimientos de rocas y deslizamientos recientes. Los deslizamientos se dan a lo largo de planos de contacto entre las capas de suelos residuales y la roca más fresca. La mayoría de estos deslizamientos son de rotación y traslación. Los deslizamientos se dan, además, a lo largo de las fracturas de las rocas volcánicas. Las siguientes figuras o diagramas ilustran este hecho.



FIGURA 1. DESLIZAMIENTOS A LO LARGO DE PLANOS DE FRACTURAS.



FIGURA 2. DESLIZAMIENTO A TRAVÉS DEL PLANO DE CONTACTO ENTRE EL SUELO RESIDUAL Y LA ROCA MÁS DURA.

#### 4.2.3 Características hidrometeorológicas

##### 4.2.3.1 Clima

El clima en esta área se caracteriza por ser húmedo y muy húmedo con temperaturas máximas, medias y mínimas anuales para un período de 20 años de 33° C, 27° C y 22° C. Estas temperaturas son relativamente constantes a través de todo el año notándose variaciones entre el día y la noche.

La estación lluviosa se extiende desde mayo hasta diciembre y durante ésta se registran precipitaciones que alcanzan hasta los 1684 mm anuales. La estación seca va desde el mes de enero hasta el mes de abril. De acuerdo a ETESA (2001), esta cuenca representa una de la menos lluviosa de la vertiente del Pacífico de la República de Panamá. El promedio total anual para el período de 10 años es de 1068.4 mm siendo uno de las más bajos en todo el país.

La evapotranspiración potencial promedio es de 3.50 mm/día para una serie de datos de 10 años.

La Tabla 3 resume las precipitaciones medias mensuales así como las totales anuales para un período de 10 años.

Tabla 3. Precipitación media mensual (mm) en la Estación de Los Santos, cuenca Río La Villa (ETESA, 2001)

TOTAL DE MENSUAL DE LLUVIA mm													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total anual
1992	0	0	0	0,1	91,2	133,1	65,7	38,3	113,5	157,7	74,8	13,8	688,2
1993	48	0	0,4	15,5	151,6	30,1	88,7	210,2	239,6	97,6	71,9	67,7	1021,3
1994	0	0	0,1	24,9	100,6	39,4	62,6	142,1	158,1	318,3	207,1	31,3	1084,5
1995	0	0	1	101,9	70,3	205,7	109,2	254,1	222,3	91,8	47,6	75	1178,9
1996	13,1	11,2	0	3,4	267,5	121,4	95,1	141,3	264,2	172,5	140,1	75,1	1304,9
1997	0,6	0,7	0	5,7	5	157,7	83,3	60,7	98,1	105,3	127,7	0	644,8
1998	0	1,8	0	0	137,6	69,9	88,4	147,6	110,3	248,5	146,6	241,1	1191,8
1999	10,3	2,7	0,6	8,8	104,6	169,7	73,5	199,1	381,8	468,2	146	119,6	1684,9
2000	11,9	0,3	0	0,3	48,5	190,5	230,4	201,5	162,1	166,5	76	52,5	1140,5
2001	6,4	0	0	0	47,9	74,7	144,9	21,8	115,9	216,2	40,9	75,1	743,8
PROMEDIO TOTAL ANUAL													1068,4

#### 4.2.3.2 Hidrografía

La red de drenaje de la cuenca se caracteriza por ser dendrítica, subdendrítica y rectangular. Este patrón es dominado por la influencia tectónica que da lugar al fallamiento en el área y por la presencia del complejo volcánico. El área se caracteriza, en la cuenca alta, por la frecuencia de ríos relativamente maduros.

Las diferencias notables en su curso alto medio y bajo dependen de la geomorfología, del tectonismo y la influencia humana. La presencia de cañones o gargantas profundas indica la velocidad con que las corrientes buscan su perfil de equilibrio, proceso que está muy influenciado por el neotectonismo y la poca cohesión de los materiales que atraviesan.

En la cuenca alta del río, al suroeste y sureste, éste se abre en forma de abanico aluvial. Los drenajes cortan los materiales rocosos y residuales; la mayoría presentan

valles angostos con perfiles transversales en forma de “V” con pendientes algo abruptas en sus cursos altos. Los mismos transportan grandes volúmenes de materiales entre los cuales se encuentran frecuentes cantos rodados de grandes tamaños que se depositan en la cuenca media y baja. La cuenca media y baja presentan llanuras aluviales que actúan como acuíferos superficiales que alimentan al río principal durante la estación seca y en la lluviosa cuando las precipitaciones son muy bajas.

Según la clasificación de climas hecha por Köppen, el clima tropical de sabanas (Awi) es el que predomina en la cuenca, mientras que en la parte alta se destaca el clima tropical húmedo. La humedad relativa promedio es de 77%.

La Tabla 4 resume los caudales del río La Villa en la estación de Atalayita.

Tabla 4. Caudales promedios mensuales del Río La Villa en Atalayita (ETESA, 2001)

<b>RÍO LA VILLA, ATALAYITA</b>													
<b>LATITUD: 07°52' N</b>							<b>NÚMERO: 128-01-03</b>						
<b>LONGITUD: 80° 32' O</b>							<b>PROVINCIA: Los Santos</b>						
<b>ELEVACIÓN: 25 msnm</b>							<b>AREA DE DRENAJE: 1000 km<sup>2</sup></b>						
<b>TIPO DE ESTACIÓN: Limnigráfica</b>													
<b>CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>PROM ANUAL</b>
1987	7,86	4,48	3,25	3,98	7,95	8,85	11,8	22,2	25,3	60,9	34,2	22,3	17,8
1988	8,62	4,76	3,13	2,39	9,02	39,4	36,7	90,2	101	136	83	31,6	45,5
1989	13,2	7,07	4,37	2,85	3,83	9,8	10,4	25,2	68	56	51,2	72,2	27,0
1990	15,2	7,47	4,94	4,29	13,2	17,9	34	44,3	47,9	96,7	78,5	37,7	33,5
1991	13,7	6,55	4,77	3,26	7,65	13,8	16,7	13,7	46,8	59,9	23,7	11,5	18,5
1992	7,37	4,84	4,04	3,58	6,01	9,74	13,5	16,4	62,2	54,9	25,1	15,3	18,6
1993	9,9	4,48	2,95	4,77	10,3	24,2	28	25,8	33,2	48,8	40,7	21,4	21,2
1994	10,1	5,66	4,83	4,1	13	18,6	20,9	16,4	60,8	91,8	117	24,7	32,3
1995	12,2	7,42	5,24	8,61	11,2	31,9	33,6	102	91	141	66,9	28,5	45,0
1996	17,8	8,14	4,06	2,6	21,2	22,3	25,4	42,8	73,1	78,7	64,2	47,2	34,0
1997	17,9	8,24	3,82	3,26	2,56	9,73	7,69	6,26	20,2	36,4	56	25,1	16,4
1998	20,8	14,9	8,73	23,8	24,5	50,8	57,6	91,1	186	195	141	136	79,2
1999	21	13	7,78	6	15,2	33,1	34	60,4	88,3	125	104	51,1	46,6
<b>TOTAL</b>													<b>435,6</b>

De la tabla anterior se observa que el caudal promedio anual para este período es de  $33.51 \text{ m}^3/\text{s}$  y el total es de  $435.6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El coeficiente de escorrentía es de 0.46.

## 5. ANALISIS DE LA AMENAZA A LOS DESLIZAMIENTOS

### 5.1 Concepto.

Los deslizamientos son definidos como el movimiento de masas de las rocas o flujos de tierra que se desplazan pendiente abajo, cuando el esfuerzo cortante excede a la resistencia al corte del material.

Las causas que generan los deslizamientos son.

- a) Incremento del esfuerzo cortante que es producido por
  - remoción del soporte lateral y de base;
  - incremento de la carga;
  - incremento de la presión lateral;
  - esfuerzos transitorios;
  - movimientos tectónicos regionales.
- b) Disminución de la resistencia al corte
  - disminución de la resistencia del material;
  - cambios en las fuerzas intergranulares provocada por las presiones del agua en los poros;
  - cambios en la estructura.

Otros factores que juegan un papel importante en la generación de deslizamientos son:

- tipo de material;
- atributos geomorfológicos (pendiente);
- tipos de movimientos;
- clima;
- agua;
- mecanismo de disparo (sismos, lluvias, actividad humana, etc.).

## 5.2 Metodología

Para la zonificación de las amenazas a los deslizamientos se aplicaron dos métodos:

- Método Determinístico
- Método Indirecto.

### 5.2.1 Método Determinístico

El modelo determinístico está basado en la Amenaza Absoluta, y da valores absolutos para la amenaza como por ejemplo, el Factor de Seguridad. Para esto se utiliza el Modelo de Caja Gris que se basa parcialmente en un modelo físico y estadístico (Carrara *et al.*, 1988 en GISSIZ, 2000).

Este modelo no fue posible aplicarlo en estas cuencas debido a la poca o ninguna información existente estadísticamente confiable. Además, para la caracterización de las variables requeridas para la realización del modelo físico se requiere una serie de pruebas en laboratorio que el proyecto por razones presupuestarias no las incluía.

### 5.2.2 Método Indirecto

Este método consiste en el levantamiento de una gran cantidad de parámetros y el análisis de todos los factores posibles que contribuyen a la ocurrencia del fenómeno de inestabilidad de los taludes; de esta manera, se determina la relación entre las condiciones del terreno y la ocurrencia de los deslizamientos. Las condiciones bajo las cuales ocurre la falla de un talud se establecen basadas en los resultados de estos análisis.

Este método fue el aplicado en las dos cuencas estudiadas.

Hartlen y Viberg (1988 en GISSIZ, 2000) establecen otra técnica muy útil para la evaluación de la amenaza por inestabilidad de taludes y la denominan amenaza relativa.

La técnica de evaluación de la amenaza relativa se diferencia en la manera de ocurrencia del movimiento de masas para diferentes áreas en el mapa sin asignar valores exactos. De acuerdo a la división de Carrara *et al.* (1988 en GISSIZ, 2000), para el análisis del área se utilizó el Modelo de Caja Negra que no está basado en un modelo físico, sino en una clasificación estadística.

Para la elaboración del mapa de amenazas se utilizó el programa ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*, ITC, Enschede, Holanda), versión 3.0 Academic para Windows 3.1x y 9x.

ILWIS es un programa de los Sistemas de Información Geográficos con capacidad para el procesamiento de imágenes, que permite introducir, manejar, analizar y presentar datos geográficos; a partir de estos datos se puede generar información sobre patrones espaciales y temporales y de los procesos sobre la superficie terrestre (*ILWIS-User's Guide*, 2001).

El mapa de amenazas a los deslizamientos fue elaborado utilizando como datos bases:

- modelo de elevación digital del terreno (DEM), generado a partir de las curvas de nivel de las áreas seleccionadas;
- mapas de drenajes.
- mapas geológicos y geomorfológicos

A partir de estos datos se generaron los siguientes mapas:

- Mapa de pendientes;
- Mapa de concavidad y convexidad;
- Mapa de distancias hasta la red de drenajes

Se procedió a la asignación de peso a cada uno de estos mapas, en los cuales los valores más altos corresponden a la mayor influencia que éstos puedan ejercer en el mecanismo de disparo del deslizamiento. Estos pesos fueron multiplicados y sumados para obtener el Mapa de Amenaza a los Deslizamientos. Finalmente, este mapa fue reclasificado asignándole los valores cualitativos de Amenaza Alta (3), Amenaza Moderada (2) y Amenaza Baja (1).

### 5.3 Trabajos de Campo

El trabajo de campo se dividió en dos fases:

- fotointerpretación de fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:20.000.
- giras de campo a los diferentes objetivos previamente seleccionados con la finalidad de corroborar la existencia o no de deslizamientos actuales e históricos.
- giras de campo para validar los resultados obtenidos después de la modelación de las dos cuencas.

Durante el recorrido se ubicaron una serie de deslizamientos (ver Tabla 5) que se localizaron posteriormente en el mapa topográfico y en las fotos aéreas. Además, se estableció cuáles de estos son activos, pasivos y/o críticos, se clasificó el tipo de deslizamiento, determinando las causas que los generaron, así como los daños provocados en el área y los posibles daños que se dieran en caso de dispararse los deslizamientos no activos al momento del levantamiento.

Los mismos se verificaron con entrevistas a los residentes.

Tabla 5. Deslizamientos actuales e históricos en las cuencas de los Ríos Chiriquí Viejo y La Villa.

Nº	LUGAR	TIPO	ACTIVIDAD	CAUSAS	DAÑOS
D1	La Villa	Traslacional	Activo- Reciente	Uso Del Suelo (Pastoreo, cortes en la base del talud)	Zona peligrosa para la carretera y otras actividades económicas
D2	La Villa	Traslacional	Activo- Reciente	Uso del suelo (Tubería de aguas, cortes en la base del talud)	Tubería de agua para las comunidades aledañas, carretera de acceso
D3	Chiriquí Viejo	Flujo de lodo- Proceso erosivo intenso	Activo- Reciente	Uso del suelo (cultivo de legumbres, cortes en la base del talud)	Zona de peligro para las actividades económicas, vía de acceso
D4	Chiriquí Viejo	Combinado- Traslacional y rotacional	Activo- Reciente	Uso del suelo (Sembradíos de legumbres, cortes en la base del talud)	Actividades agrícolas, vía de acceso
D5	Chiriquí Viejo	Trasnacional- Flujo de lodo	Activo- Reciente	Corte del talud sin protección-Cárcavas desarrolladas	Carretera de acceso a Nueva Suiza, Cerro Punta, Chiriquí
D6	Chiriquí Viejo	Rotacional	Activo-no estabilizado	Modificaciones de la topografía, cortes en la base	Zona peligrosa para la carretera principal hacia Río Sereno, Chiriquí
D7	Chiriquí Viejo	Rotacional	Activo- Reciente	Reactivado por cortes en las bases de los taludes- Uso de suelo (sembradíos de cafetales)	Zona peligrosa para la carretera principal hacia Río Sereno y actividades económicas agrícolas
D8	La Villa	Combinado- Rotacional / Trasnacional	Inactivo- Estabilizado	Uso del suelo (Torres de comunicación arriba del talud)	Actividades económicas, torres de comunicaciones, carretera principal hacia Las Minas, Herrera
D9	La Villa	Rotacional	Pasivo- activo	Drenaje-Uso del suelo	No
D10	La Villa	“	Activo	“	Zona de peligro para carretera
D11	Chiriquí	Proceso	“	Erosión fluvial	Puede causar daños a

	Viejo	erosivo intenso			viviendas
D12	Chiriquí Viejo	Rotacional (viejo)	Reactivado	Drenaje, usos del suelo	Zona de peligro para viviendas
D13	Chiriquí Viejo	Rotacional	Activo	“	No
D14	Chiriquí Viejo	Rotacional (derrumbe)	“	“	Infraestructura industrial
D15	Chiriquí Viejo	“	“	“	“
D16	La Villa	Rotacional (derrumbe viejo)	No activo	“	No
D17	La Villa	Rotacional (viejo)	Pasivo	“	“
D18	La Villa	Rotacional (derrumbe viejo)	No activo	“	“
D19	La Villa	“	“	“	“
D20	Chiriquí Viejo	Rotacional (derrumbe)	Activo	“	Viviendas desestabilizadas

#### 5.4 Resultados

Producto de la evaluación y modelación ejecutadas obtuvimos como resultado la definición de los distintos tipos de movimientos de masas en las cuencas analizadas.

Se determinó que los dos tipos fundamentales de movimientos existentes en las cuencas son:

- deslizamientos de tierras rotacionales-traslacionales (slump);
- deslizamientos de tierras rotacionales-flujo de lodo (derrumbes).

Con la modelación y la ayuda de la observación de campo se estableció la zonificación del área de estudio; basándose en la clasificación de las amenazas debido a la inestabilidad de los taludes. Esta inestabilidad se define como el levantamiento de áreas con una probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en un período específico de tiempo (Varnes, 1984 en GISSIZ 2000).

El mapa de amenazas a los deslizamientos que se obtuvo en el estudio muestra las siguientes categorías:

- amenaza alta, referida a las áreas potenciales con alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos por presentar pendientes elevadas, alta convexidad, rocas y suelos alterados.
- amenaza media o moderada, referida a las zonas que pueden verse potencialmente afectadas, en caso de alterarse las condiciones actuales de las pendientes por un mal manejo del suelo.
- amenaza baja, referida a las áreas que no presentan ningún peligro.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el mapa de amenazas a los deslizamientos, podemos concluir que:

- la mayoría de los deslizamientos activos y recientes se deben básicamente al mal uso del suelo en las zonas donde los mismos han ocurrido.
- las poblaciones ubicadas en la cuenca alta de los ríos Chiriquí Viejo y La Villa; éstas se caracterizan por fuertes pendientes, rocas y suelos alterados, taludes cercanos a los drenajes principales, presentan una amenaza alta a los deslizamientos; además, estas áreas están afectadas por el mal uso actual del suelo. La cuenca más amenazada es la del río Chiriquí Viejo.
- existen numerosos deslizamientos clasificados como de amenaza media que pueden afectar las vías de acceso a las diferentes comunidades dentro de las cuencas si se alteran los usos actuales del suelo, sometiendo las áreas a actividades que tiendan a desestabilizar los taludes.
- se localizaron algunas zonas de deslizamientos potencialmente peligrosos para las comunidades que habitan estas áreas y para las actividades que se desarrollan en las mismas.
- algunas poblaciones se encuentran ubicadas en áreas con pendientes casi verticales y presentan serias amenazas de colapso.

- de acuerdo al modelado realizado para este proyecto, las partes norte y central de la cuenca del río Chiriquí Viejo, sureste y suroeste de la cuenca del río La Villa son las menos estables. Las más estables corresponden a la parte sur de la cuenca del río Chiriquí Viejo y la parte central y norte de la cuenca del río La Villa.
- las comunidades asentadas en las zonas más bajas de las dos cuencas y en sus desembocaduras son las más amenazadas por eventos hidrometeorológicos de cierta magnitud. Históricamente éstas y otras zonas han sufrido este tipo de eventos que han causado pérdidas humanas y materiales.
- la erosión, como resultado del mal uso del suelo, es uno de los factores que afectan el estado de equilibrio de los taludes en la zona de estudio. Gran parte del área de las cuencas está afectada por la erosión en cárcavas que constituyen el estado más avanzado de erosión. Las mismas se caracterizan por su profundidad que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes con pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

## 6. RECOMENDACIONES

Con relación a los resultados obtenidos en la modelación del área de estudio, se recomienda:

- realizar estudios de detalle en aquellos deslizamientos que constituyan peligro para las actividades humanas y económicas.
- realizar cambios en los usos del suelo en las zonas con amenaza alta.
- evitar los cambios en los usos del suelo en las zonas con amenaza media.
- estabilizar algunas de las zonas en donde haya amenaza alta para la población y sus actividades y que no es posible realizar los cambios en los usos actuales del suelo.
- implementar medidas de mitigaciones en las comunidades que viven en las áreas potenciales de ocurrencia a los deslizamientos para bajar los riesgos a los mismos.

- no construir casas en las formas cóncavas del relieve ya que el agua subterránea se mueve en esa dirección y se acumula creando inestabilidad en las laderas.
- planificar actividades humanas y económicas en las zonas con amenaza baja.
- diseñar buenos sistemas de drenaje superficial en las áreas dedicadas a viviendas, actividades agropecuarias, carreteras y vías de acceso a las diferentes comunidades.
- controlar el agua subterránea y sus efectos en las zonas de mayor peligrosidad para la vida de las personas y sus actividades.
- construir estructuras de contención en las zonas de amenaza alta y de mayor vulnerabilidad.
- aumentar la resistencia del suelo para aumentar su cohesión.
- remediar las zonas donde la erosión por cárcavas es muy intensa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Brabb, E. & B.L. Hrod. Landslides: Extent and economic significance. Balkema. Rotterdam, The Netherlands. 1989.
- ETESA, Proyecto Centroamericano sobre cambio climático. Panamá. 1995.
- ETESA. Informe hidrometeorológico anual. Panamá. 2001.
- IGNTG. Mapa geológico de la República de Panamá. 1985.
- IGNTG. Hojas Topográficas de las cuencas seleccionadas. Escala 1:50,000. 1985.
- IGNTG. Fotografías aéreas de las cuencas seleccionadas. Escala 1:20,000. 1988.
- ITC. ILWIS. User's Guide. Enschede, The Netherlands. 2001.
- ITC GISSIZ. Landslide Lectures, versión 2. Enschede, The Netherlands. 1999.
- Suárez, J. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga, Colombia. 2001.
- Van Asch, T. W.J. *A Combined Hydrological-Slope Stability Model*. Utrecht University, The Netherlands. 2000.
- Utrecht University. *PCRaster versión 2 Manual*. The Netherlands. 1999.