

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA
Y LA CULTURA
(UNESCO)

INSTITUTO AEROESPACIAL DE LEVANTAMIENTOS AEROESPACIALES Y
CIENCIAS TERRESTRES
(ITC)

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE DELFT
UNIVERSIDAD DE UTRECHT
(THE NETHERLANDS)

CENTRO DE COORDINACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES
(CEPREDENAC)

SECRETARIA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(REPUBLICA DOMINICANA)

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS A
DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DEL RIO
SAN JUAN, REPUBLICA DOMINICANA**

**PLAN DE ACCION REGIONAL PARA CENTRO AMERICA
(PARCA)
CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES PARA LA REDUCCIÓN DE
DESASTRES NATURALES
(CBNDR)**



NOVIEMBRE, 2000

Para mayor información contactar:

Dr. Cees van Westen
International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC)
P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands
E-mail: westen@itc.nl

Informacion sobre los resultados del proyecto RAPCA pueden ser obtenidos en la pagina de internet referenciada a continuación:

<http://bb.itc.nl>

Username: UNESCO

Password: RAPCA

Seleccione: Organizations in which you are participating: UNESCO RAPCA

CONTENIDO

	Pag.
Antecedentes.	
1. Introducción.	1
2. Objetivos.	2
2.1. Objetivos Generales.	2
2.2. Objetivos Específicos.	2
3. Descripción General del Area de Estudio.	2
3.1. Localización Geográfica.	2
3.2. Geología y Geomorfología.	3
3.3. Tectónica.	4
3.4. Clima e Hidrología.	4
3.4.1. Clima.	4
3.4.2. Hidrología.	5
3.4.3. Infraestructuras Hidráulicas.	5
3.4.3.1. Presa de Sabaneta.	5
3.4.3.2. Sistema de Riego San Juan.	6
3.4.3.3. Sistema de Riego Hato del Padre.	6
3.4.3.4. Sistema de Riego Juanito - San Juan.	7
3.4.3.5. Sistema de Riego Mijo.	7
3.5. Suelos.	7
3.6. Usos del Suelo.	8
3.7. Capacidad Productiva de la Tierra y Pendientes.	9
4. Materiales Usados y Metodología.	10
4.1. Análisis y Elaboración del Mapa de Amenazas a Deslizamientos.	10
4.1.1. Generalidades.	10
4.1.2. Metodología Utilizada.	10
4.1.2.1. Método Determinístico o Físico - Estadístico.	10
4.1.2.2. Descripción del Modelo. Principios Básicos.	11
4.1.2.3. Creación de los Escenarios de Precipitación por Intervalos de Recurrencia y Tipos de Cobertura.	12
4.1.3. Método Indirecto.	13
4.1.4. Resultados.	14
4.2. Análisis y Preparación del Mapa de Vulnerabilidad a Deslizamientos.	17
4.2.1. Concepto.	17
4.2.2. Metodología.	17
4.2.3. Resultados.	20
4.3. Metodología para el Análisis de Riesgo a Deslizamientos.	20
4.3.1. Resultados.	21
5. Análisis de Amenazas a Inundaciones por Períodos de Recurrencia.	22
5.1. Amenazas a Inundaciones Aplicando un Modelo Hidrológico con el Programa PCRaster.	22
5.2. Amenazas a Inundaciones Aplicando un Modelo para un Evento Ciclónico (Adaptado) con el Programa ILWIS.	23
5.3. Resultados.	25
5.4. Análisis de Vulnerabilidad a Inundación para 2, 5, 10 y 20 Años Aplicando un Modelo de Inundación Súbita con ILWIS.	27
5.4.1. Resultados	28
5.5. Análisis de Riesgo a una Inundación Súbita para una Frecuencia de 20 Años.	29
5.5.1. Resultados.	30
6. Conclusiones.	31
7. Recomendaciones.	32
8. Bibliografía Consultada.	34

Gráficas.

1. Ubicación del Area de Estudio.	3
2. Diagrama de Flujo del Modelo Determinístico.	12
3. Amenazas por Deslizamientos en la Cuenca del Río San Juan.	17
4. Elementos Analizados para la Vulnerabilidad a Deslizamientos.	19
5. Ilustración del Decrecimiento de la Altura de Inundación a Partir de la Línea del Río.	24
6. Superficie Inundada para Intervalo de 2 Años. Modelo PCRaster.	25
7. Superficie Inundada para Intervalo de 20 Años.	26
8. Areas Susceptibles a Inundarse para 2 Años. Modelo Ciclónico (ILWIS).	26
9. Amenaza de Inundación para 20 Años.	27
10. Vulnerabilidad a Inundación.	29

Cuadros.

1. Características de la Presa de Sabaneta.	6
2. Principales Canales de Riego en la Cuenca del Río San Juan.	7
3. Tabla Bidimensional para el Análisis de Riesgo.	21
4. Tipos y Porcentajes de Riesgo por Comunidad.	21
5. Datos Utilizados en el Modelo Hidrológico.	23
6. Superficie Inundada para Intervalo de 2 Años.	25
7. Superficie Inundada para Intervalo de 20 Años.	26

Antecedentes

A principios del año 1999, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Cultura y la Ciencia (UNESCO, por sus siglas en inglés) estableció un convenio de soporte financiero con una duración de cuatro años, con el objetivo de fortalecer capacidades en los países centroamericanos para la zonificación de amenazas y riesgos, que sirviera en la toma de decisiones para la reducción de los desastres, tanto naturales como ocasionados por el hombre, a través del uso de informaciones técnicas y científicas y el desarrollo de metodologías participativas.

Esta iniciativa de cooperación, denominada Regional Action Program for Central America -RAPCA-, en el que fueron involucrados como miembros activos el Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales - CEPREDENAC-, The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences -ITC- y las universidades de Utrech y Delft -Holanda-.

En el año 2000, un grupo de técnicos de algunos países centroamericanos y de República Dominicana participamos en un entrenamiento con duración de tres meses en Holanda y Costa Rica, en la zonificación de amenazas y riesgos haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica, con el compromiso de que al retornar a su país cada miembro o equipo del país participante implementaría un proyecto piloto en un área que por las características naturales fuera adecuado para el desarrollo y validación de los conocimientos adquiridos y que a la vez, los resultados obtenidos sirvieran de herramienta en los planes de desarrollo futuros a nivel local tomando como norte la gestión de riesgos.

1. Introducción

La República Dominicana, al igual que muchos países en vías de desarrollo periódicamente es afectada por eventos de origen natural o inducidos por el hombre, que ocasionan graves daños en el orden social, ambiental y económico.

Nuestro país está localizado dentro de la Cuenca del Caribe, en una zona de intensa actividad ciclónica, por lo que cada año, durante el período conocido como temporada ciclónica, desde principios de junio hasta finales de noviembre, es amenazado o impactado por eventos atmosféricos tales como ondas tropicales, tormentas y disturbios con gran poder destructivo como son los huracanes.

El seguimiento que se le ha venido dando a los fenómenos atmosféricos, evidencia que las trayectorias medias de los huracanes que atraviesan el Caribe pasan muy próximo al país, llegando a ser afectado en una media de cada dos años por fenómenos de moderada a elevada intensidad.

Según la Cepal (1998), en un trabajo realizado por el PNUD, se detallan cinco eventos que han impactado con severidad a la República Dominicana en el siglo recién pasado: San Zenón (3 de septiembre de 1930, con un saldo de 4,500 muertos, 20, heridos y pérdidas directas por más de US\$ 15 millones), Flora (octubre de 1963, con 400 muertos y pérdidas directas de más de US\$ 60 millones), Inés (29 de septiembre de 1966, con 70 muertos y por lo menos US\$ 10 millones de pérdidas directas), Beulah (11 de septiembre de 1967, que afectó severamente la provincia de Pedernales y ocasionó severos daños a la agricultura de la región sur del país), David (31 de agosto de 1979, con 2000 personas muertas y daños materiales estimados por la Cepal en US\$ 829 millones, incluyendo pérdidas cuantiosas en la producción).

El caso más reciente fue el paso del huracán Georges (22 y 23 de septiembre de 1998), que afectó el 70 % (48, 442 km²) del territorio nacional con fuertes ráfagas de viento, lluvias torrenciales que provocaron extensas inundaciones y deslizamientos de lodo, provocando unas 235 muertes, 595 heridos y 59 desaparecidos, y produjo daños directos de US\$ 1,337 millones e indirectos de US\$ 644.5 millones en todas las áreas del sistema productivo nacional.

Este último evento nos hizo reflexionar sobre la necesidad de instalar capacidades tanto humanas como estructurales, así como del establecimiento de políticas y estrategias con miras a la reducción o mitigación de las vulnerabilidades y los riesgos de las poblaciones expuestas.

El presente trabajo contiene los resultados obtenidos de la aplicación de diferentes metodologías para la zonificación de las amenazas y riesgos ante inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río San Juan a partir del uso de los programas ArcView, ILWIS y PCRaster de los Sistemas de Información Geográfica, desarrollado dentro del programa de Acción Regional para Centro América, el cual fue auspiciado por UNESCO, el ITC, Holanda y el CEPREDENAC, Panamá.

2. Objetivos.

2.1 Objetivos Generales.

- ❖ Desarrollar una metodología que posibilite el análisis y la zonificación de amenazas y riesgos a inundaciones y deslizamientos en un área piloto del territorio nacional, haciendo uso de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica.
- ❖ Identificar las áreas potenciales a ser afectadas por inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río San Juan y los elementos que se encuentran bajo riesgo en las comunidades de Sabaneta y San Juan.
- ❖ Contribuir al ordenamiento en el uso del suelo que evite los asentamientos en cauces y zonas con pendientes de alto riesgo.

2.2 Objetivos Específicos.

- ❖ Elaborar los mapas de amenazas a inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río San Juan.
- ❖ Identificar los elementos bajo riesgo en las comunidades de Sabaneta y San Juan
- ❖ Proveer una herramienta que posibilite la toma de decisiones para la gestión de riesgo en las comunidades de San Juan de la Maguana y Tamayo.
- ❖ Identificar áreas prioritarias para planes de manejo.
- ❖ Intentar el involucramiento de las comunidades que integran el área de estudio en el proceso de identificación de amenazas y de los elementos bajo riesgo.

3. Descripción General del Area de Estudio.

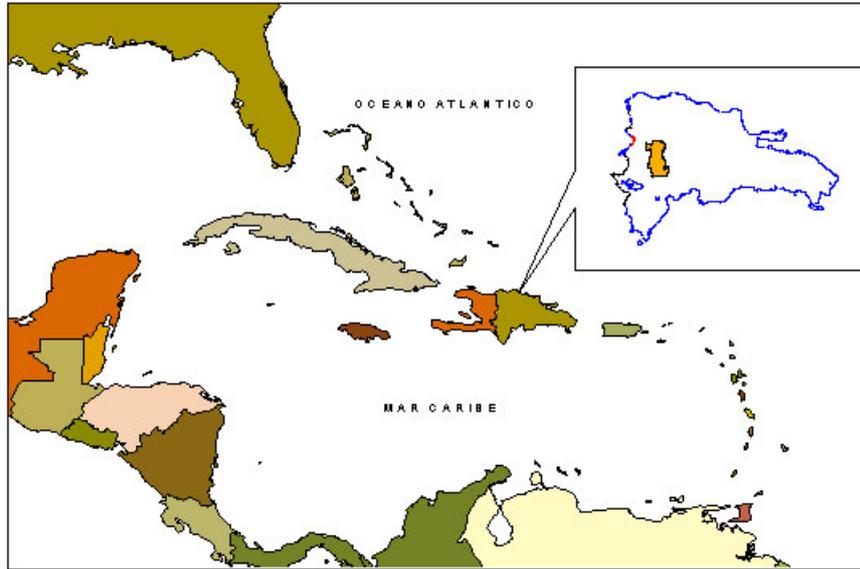
3.1 Localización Geográfica.

El área de estudio está localizada en la región suroeste, dentro de la cuenca del río Yaque del Sur, segunda cuenca de importancia del territorio nacional. Posee una superficie aproximada de 1,601 km² y está caracterizada por ser una de las de menor desarrollo en el país, ya que según el estudio “Focalización de la Pobreza en la República Dominicana” (ONAPLAN, 1998), más del 75% de los hogares viven en la pobreza, teniendo como actividad productiva principal la agricultura y actividades relacionadas.

Sus límites son al norte las provincias Santiago Rodríguez y Santiago, al sur la provincia de Bahoruco, al este la provincia de Azua, al noroeste la provincia de Elías Piña y al oeste el municipio de Las Matas de Farfán, siendo sus coordenadas UTM X: 284000 mt.- Y: 2122500 mt. al norte y X: 242000 mt. - Y: 2058000 mt. al este, en la zona 19.

Dentro de la cuenca del río San Juan está la provincia de San Juan de La Maguana, la cual incluye 6 distritos municipales y 29 secciones rurales y que según el censo de 1998 tiene una población total de 268,149 habitantes.

Gráfica 1. Ubicación del área de estudio.



3.2 Geología y Geomorfología.

Según el Atlas Geológico y Mineralógico de la República Dominicana, elaborado por la Dirección General de Minería, en 1992, en la cuenca se localizan diferentes materiales geológicos.

En la parte alta y media predominan rocas volcánicas, principalmente tobas, rocas sedimentarias indiferenciadas, calizas, además de conglomerados, areniscas y esquistos arcillosos. La cuenca media está constituida además por areniscas calcáreas y esquistos arcillosos e incluye depósitos de terrazas y aluviones.

La parte baja está formada por areniscas, esquistos arcillosos y calizas, así como también por depósitos de terrazas bajas, abanicos y aluviones.

Como se puede observar en el cuadro--, en la parte alta de la cuenca predominan (por superficie ocupada) las unidades geológicas K'mgm con 296.82 km²; Ks-tpg'to, con 126.11 km² y Ks-tol'Fl, con 113.59 km².

En la parte media, la unidad que mayor superficie ocupa es tpl-qp-mc, con 135.07 km², presente también en la parte baja. Otras unidades de importancia en la cuenca baja son: tmim-s'm+car con 190.01 km² y q'f con 181.00 km², provenientes de rocas sedimentarias.

Las unidades geomorfológicas presentes son: la vertiente sur de la Cordillera Central, parte de la Sierra de Neiba y el Valle de San Juan que incluye llanos aluviales, terrazas bajas y altas, abanicos aluviales y colinas bajas.

3.3 Tectónica.

En vista de que la República Dominicana se encuentra ubicada entre el borde de interacción de las placas tectónicas de Norteamérica y del Caribe, y que una de las 12 grandes fallas regionales, la Falla de San Juan, está localizada en la zona de estudio, son un indicativo de un alto tectonismo en la misma.

Según investigaciones realizadas por Cordero (2000), en el período transcurrido desde el 1562 al 1979 se han registrado 11 fuertes sismos, 6 de los cuales han ocurrido en la región donde se encuentra el área de estudio, por lo que es evidente la susceptibilidad a la ocurrencia de un evento sísmico que ocasiona pérdidas de vidas y daños cuantiosos.

3.4 Clima e Hidrología.

3.4.1 Clima.

De acuerdo al Sistema de Clasificación de Holdridge, predominan 4 zonas de vida o zonas ecológicas:

En la parte alta se destacan básicamente el Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) y el Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) con superficie de 374.13 km² y 233.80 km², respectivamente.

El bh-MB aparece en el principal sistema montañoso del territorio nacional, la Cordillera Central, en donde está ubicada el área protegida Parque José del Carmen Ramírez. Se caracteriza por presentar vegetación natural arbórea, destacándose la presencia de coníferas. La pluviometría supera los 1000 mm/año, que aunque distribuida de forma irregular, logra mantener la humedad en el terreno durante gran parte del año. Las temperaturas oscilan entre los 25°C y los 27°C.

El bmh-MB presenta precipitaciones promedio por encima de los 2000 mm/año; con vegetación natural arbórea mixta (conífera-latifoliada), de fácil regeneración natural y crecimiento moderado. Esta zona por sus características naturales son de gran importancia como fuentes productoras de agua para riego y energía hidráulica, ya que cerca del 50 % del agua de lluvia no es evapotranspirado, por lo que llevan agua gran parte del año. Esta zona, en las estribaciones de la Cordillera Central fue afectada en un 30 % de su superficie durante el paso del huracán Georges.

En la cuenca media y parte de la cuenca alta, cubriendo el Valle de San Juan y estribaciones de la Sierra de Neiba, predomina el Bosque húmedo subtropical (bh-S), con superficie total de 323.59 km². La precipitación varía de 1000 a 2000 mm/año y las temperaturas de 18°C a 24°C. La vegetación natural es arbórea y heterogénea, de crecimiento moderado y regeneración natural buena. La evapotranspiración se estima en un 60 % por debajo de la precipitación media total anual.

En la parte baja de la cuenca, la unidad climática que prevalece es el Bosque seco subtropical (bs-S), localizado principalmente en las estribaciones de la Sierra de Neiba, con suelos de topografías variables, que van desde plano hasta accidentado. Esta unidad se caracteriza por presentar días claros y soleados, durante la época seca y parcialmente nublados durante la época de lluvia. La precipitación promedio es de 980 mm/año y la temperatura de 26⁰C, siendo la evapotranspiración potencial superior al total de precipitación durante todos los meses del año. Las áreas que componen esta unidad fueron afectadas por impactos directos secundarios de inundaciones en las zonas pobladas, las cuales fueron devastadas. Hubo además impactos por deslizamientos y avalanchas de gran consideración.

3.4.2 Hidrología.

El río principal de esta cuenca es el río San Juan, que a su vez constituye uno de los afluentes más importantes del río Yaque del Sur, segundo sistema hídrico de importancia en República Dominicana. Nace en la parte noroeste del Pico Duarte, en la Cordillera Central. Su longitud es de aproximadamente 119 Km

Sus tributarios principales son el río Mijo, río Los Baos, Arroyo Loro y río Al Medio.

El río Mijo nace en la Cordillera Central. Tiene un caudal estable desde hace años, beneficiado por las óptimas condiciones de la cuenca en el nacimiento.

El río Los Baos o Vallejuelo, nace en la Sierra de Neiba; con una longitud de 32.95 km, su caudal es pequeño comparado con su área de aporte (335 km²), que indica baja posibilidad de utilización del agua superficial para el sistema del río.

El Arroyo Loro, localizado aguas arriba de la toma de Guanito, en San Juan. El caudal de este río se estabilizó luego de la construcción de la Presa Sabaneta y el sistema del canal José Joaquín Puello, importantes infraestructuras de riego en la zona.

Otros afluentes importantes son el río Al Medio (río Grande), que nace al suroeste de Alto Bandera y el Arroyo Limón, con 17.19 km de longitud.

3.4.3 Infraestructuras Hidráulicas.

3.4.3.1 Presa de Sabaneta.

Es la principal infraestructura hidráulica en la cuenca. Fue construida en los años 70s. y está localizada aguas arriba del río San Juan, alrededor de unos 16 km al norte de la ciudad de San Juan. Tiene área de aporte de 464 km² y una capacidad total de almacenamiento bruto de 78 millones de metros cúbicos, que representa el 31 % del caudal promedio anual en el sitio de la presa. Los propósitos de su construcción fueron el suministro de agua potable, suministro

y regulación de agua para riego, uso doméstico y generación eléctrica y control de inundaciones. Las características de la presa pueden observarse en el cuadro siguiente.

Cuadro 1. Características de la Presa de Sabaneta.

Área de la cuenca	464 km ²
Almacenaje bruto	78 MMC
Almacenaje neto	67.5 MMC
Nivel de agua de anegada	652 m
Nivel de agua de máxima operación	643 m
Nivel de agua baja	612 m
Tipo de presa	De tierra con núcleo impermeable de arcilla.
Caudal de presa	5,830,000 m ³
Altura de presa	70 m (máx.)
Nivel de cresta de la presa	656 m
Longitud de cresta	800 m
Capacidad del canal de desagüe	920 m ³ /seg.
Tipo de canal de desagüe	Vertedor de emergencia: inundación
Capacidad	5,000 m ³ /seg.
Generación máxima de la presa hidroeléctrica	6,853 kw

Fuente: JICA - INDRHI, 1998.

La cuenca no regulada del río San Juan (aguas debajo de la Presa Sabaneta) aporta una porción considerable de los caudales de inundación en las partes media y baja de zona de estudio.

3.4.3.2. Sistema de Riego San Juan.

En la zona de estudio existen varios sistemas de riego que usan el agua del río San Juan o de sus afluentes, pero el más importantes es el canal de riego José Joaquín Puello, que alimenta un área aproximada de 11,000 ha.

La construcción de este canal fue completada en 1978, conjuntamente con la presa y está localizado a unos 300 m aguas debajo de la salida de la misma. El canal principal tiene unos 25 km de longitud, corre por la falda de una montaña con corte abierto y pasa por terrenos elevados mediante un túnel de 2 km de longitud. Fue construido para la ampliación del área de riego.

La provincia de San Juan de la Maguana es irrigada por la presa de Sabaneta, posee un total de 44 canales que llevan un caudal de 31.5 m³/seg. y una longitud total de 106.6 km, que benefician a unos 9,926 agricultores. Esta zona de riego está entre los 378 y 745 m.s.n.m.

3.4.3.3 Sistema de Riego Hato del Padre.

Los canales principales están revestidos de concreto, los canales terciarios son del tipo de caños prefabricados de concreto elevado.

3.4.3.4. Sistema de Riego Guanito-San Juan.

Construido en los años 60s., localizado en el extremo aguas abajo, entre los sistemas de riego que están beneficiados por el río San Juan. Tiene una longitud total de 20 km; 11.9 de concreto y 8.1 de tierra.

3.4.3.5. Sistema de Riego Mijo.

Es uno de los canales de riego más viejo de la cuenca. La obra de cabecera es una estructura típica de derivación compuesta de una toma equipada de dos compuertas. La mayoría de los canales principales son del tipo de tierra que no retienen su forma original.

Cuadro 2. Principales Canales de Riego.

Nombre	Río que lo alimenta	Area de Irrigación (ha)	Longitud del canal (km)	Capacidad (m ³ /seg.)
José Joaquín Puello	San Juan	10,986	25.0	8.00
San Juan	San Juan	5,526	10.2	6.00
Hato del Padre	San Juan	2,059	7.6	4.25
Guanito-San Juan	San Juan	1,000	20.0	3.00
Otros pequeños sistemas alimentados	San Juan	499		
Por río San Juan	Mijo	2,390	5.3	4.00
Mijo				

Fuente: JICA – INDRHI, 1998.

3.5. Suelos.

La zona de estudio está conformada por diferentes tipos de suelos, dentro de los que se encuentran algunos de los más productivos del territorio nacional, así como también, suelos de escaso valor productivo, aptos solo para cobertura boscosa en algunas áreas o para pastizales.

Tomando como base el mapa de Asociaciones de Suelos (OEA, 1967) a escala nacional y complementado por el mapa de Unidades de Recursos para Planificación (URP), elaborado por DIGEORTE en 1985; en la cuenca alta predominan los terrenos escabrosos no calizos y calizos (URP02), con superficie de 868.47 km² que incluye las áreas montañosas de la Cordillera Central con abundancia de zonas escarpadas y montañosas, así como zonas de relieve muy ondulado, con suelos muy superficiales y rocosos, altamente susceptibles a la erosión, con fertilidad baja, por lo que son recomendables para foresta, recreación producción de agua y en algunos casos, para cultivos que ofrezcan protección al suelo, como es el caso del café y el cacao tradicional.

Los suelos en estas zonas se caracterizan por tener drenaje de bueno a excesivo, con textura muy variable.

En orden de importancia, le siguen los suelos de la Asociación Guamá, con una superficie aproximada de 325.51 km², derivados de materiales básicos de deposición coluvial, particularmente calizas y areniscas calcáreas, dando por

resultado texturas arcillosas y arenosas. La topografía en algunos tramos es ondulada y en otras partes plana. Presentan abundantes fragmentos de rocas calizas. Están caracterizados por bajo potencial agrícola, salvo en las áreas más planas.

Tenemos además, los suelos de la Asociación San Juan Hatico que ocupan la porción central del Valle de San Juan y constituyen una de las zonas más productivas del territorio dominicano, tanto por las características físicas y químicas del suelo, como por el alto nivel de manejo empleado en su explotación. El material que los origina son los depósitos de terrazas y terrazas gravilosas altas, que por efecto de la proximidad con los ríos San Juan y Mijo, así como la presencia de numerosos arroyos han facilitado la aplicación de riego. La superficie ocupada es de 127.61 km².

Otra unidad importante dentro de la cuenca son los Suelos Aluviales Recientes Indiferenciados (104.93 km²), que agrupa los suelos del primer plano aluvial de los ríos San Juan, Mijo, así como los numerosos arroyos y cañadas que forman parte del sistema de drenaje del valle. Estos suelos son muy productivos, con fertilidad de buena a mediana, generalmente planos y profundos, limitados por el alto riesgo a inundación. La textura varían de arcillosa a arenosa, dependiendo de la ubicación, pero la mayoría son franco-limosa. El drenaje interno variará, según la textura y la posición en el terreno.

3.6. Usos del Suelo.

Según el mapa de Uso y Cobertura de la tierra elaborado por DIGEORTE (1996), a escala 1:250,000, en la parte alta de la cuenca predomina la vegetación de tipo boscosa, siendo la superficie ocupada de aproximadamente 426.83 km², de los cuales 212.7 km² están concentrados hacia la porción norte, en el área protegida Parque José del Carmen Ramírez.

Hacia la parte noroccidental de la cuenca alta se destacan las extensas superficies ocupadas por cultivos de subsistencia o pastos (agricultura migratoria), cuya superficie (582.57 km²) supera la de bosques (ver mapa anexo), trayendo como consecuencia conflictos de uso por sobre utilización, lo que se refleja en el alto grado de deterioro existente, debido a la escasa profundidad de sus suelos y las pendientes que superan el 30 % en la mayoría de los casos; esto acompañado de la deforestación producto del corte de árboles para aprovechamiento forestal y la obtención de leña y carbón, además del mal manejo (escasa o ninguna práctica de conservación) por parte de los usuarios del suelo y el efecto de los constantes incendios han provocado procesos erosivos por acción de las lluvias torrenciales. Los cultivos más utilizados en estas laderas por los agricultores son habichuelas rojas (fríjol), guandul y yautía, entre otros, además de la práctica de pastoreo extensivo.

La parte media y baja que comprende el Valle de San Juan, es una zona muy importante en cuanto a la producción agrícola nacional, ya que aporta gran parte de los productos de la canasta básica que consume la población. Según el mapa de conflictos de uso, esta zona se encuentra bajo uso adecuado, por estar dedicados a la agricultura intensiva de cultivos básicos, principalmente de

arroz; otros cultivos importantes son la habichuela (fríjol) y los plátanos. La superficie ocupada es de aproximadamente 285.4 km², lo que representa el 18 % del total del área.

3.7. Capacidad Productiva de la Tierra y Pendiente.

Según la clasificación por Capacidad Productiva de la tierra (ver mapa en el anexo), los suelos que predominan son los de clase VII (Cordillera Central), aptos solo para el desarrollo y explotación racional con prácticas de conservación.

Estos suelos presentan zonas con relieve de colinas altas y baja con pendientes que varían desde 15 % hasta 30 % y zonas con relieve montañoso cuyas pendientes pueden superar el 60 %.

Dentro de estas áreas pueden aparecer pequeños valles intramontanos los cuales son aprovechados por los agricultores para el establecimiento de pequeñas parcelas de cultivos.

Hacia el extremo suroccidental se encuentra parte de la Sierra de Neiba, limitada al norte y al sur por grandes fallas tectónicas. Presenta relieve ondulado suave, con pendientes que oscilan de 15 % a 30 %.

Entre la Cordillera Central y la Sierra de Neiba se encuentra el segundo valle de importancia en el territorio nacional, el Valle de San Juan, que constituye la gran llanura aluvial de esta cuenca y es donde está localizada la provincia de San Juan.

Esta llanura está ubicada en alturas comprendida entre los 400 y 450 metros sobre el nivel del mar, con presencia de terrazas altas y bajas y colinas con relieves que van desde plano hasta ondulado. Los rangos de pendientes van desde 3 % hasta 15 % en la cuenca media.

Según el mapa de capacidad productiva, en el valle predominan los suelos de alto potencial agrícola, siendo la clase II los de mayor extensión, ya que la superficie ocupada es de aproximadamente 387 km². En orden de importancia, por superficie ocupada le siguen los suelos clase IV con unos 151.61 km² y los suelos clase V con aproximadamente 95.61 km², aptos solo para producción intensiva de cultivos como el arroz.

4. Materiales Utilizados y Metodología.

4.1 Análisis y Elaboración del Mapa de Amenazas a Deslizamientos.

4.1.1. Generalidades.

Al hablar de deslizamientos de tierra nos referimos a los movimientos de masas de suelo o rocas que se desplazan en dirección de la pendiente a consecuencias, en la mayoría de los casos, de un aumento en la presión de los poros en el talud, lo que debilita la resistencia del materia del suelo. Además, la ocurrencia de deslizamientos temporales están relacionados a períodos con alta acumulación de agua como consecuencia de períodos prolongados de lluvia o torrenciales aguaceros (Th. W. J. Van Asch).

Los factores que favorecen la ocurrencia de deslizamientos son: las condiciones previas del material y el terreno, la resistencia del material a los movimientos, la fuerza de gravedad, la presión hidrostática, los terremotos y la intervención humana (Cordero, 2000).

También están relacionados esencialmente a las lluvias de alta intensidad, al tipo de cobertura, geología y la pendiente del terreno. Los terrenos deforestados, con fuertes pendientes son los más susceptibles a deslizamientos o erosión (Cordero, 2000).

Dicho lo anterior, se puede inferir que las zonas de fuertes pendientes son las más proclives a los deslizamientos por topografía y gravedad; si con ello coincide una zona de alta pluviometría, las posibilidades de que ocurra un desprendimiento del suelo son mayores, y si a lo anterior se le agrega una cobertura insuficiente, además de un uso intensivo, sobre presionando su vocación natural, las probabilidades de ocurrencia de deslizamientos, son sin lugar a dudas muy altas (Reynoso et. al, 2000).

Otros factores importantes en la generación de deslizamientos son (RAPCA-CBNDR, 2000):

- Tipo de material
- Atributos geomorfológicos
- Geometría del deslizamiento
- Tipos de movimientos
- Velocidad del movimiento, etc.

4.1.2. Metodología Utilizada.

Para este análisis se aplicaron dos métodos:

4.1.2.1 Método Determinístico o Físico-Estadístico.

Con este método se aplica un modelo que realiza un análisis dinámico - estadístico que calcula la frecuencia espacial y temporal de los deslizamientos.

El procedimiento utilizado es como sigue:

- Trabajo de campo que consistió en la realización de una serie de observaciones en toda la cuenca alta a partir de la Presa de Sabaneta, en donde además de la comprobación del material geológico presente, se identificaron zonas de deslizamientos activos y potenciales, así como el tipo de cobertura presente en los puntos identificados (ver observaciones realizadas en el anexo).
- Se delimitó dentro de la cuenca alta un área aproximada de 173 km² en la porción noreste, en vista de que el recorrido de campo abarcó toda esta zona y esto permitiría la aplicación del modelo.
- Tomando como premisa de condición de escaso desarrollo de los suelos de estas laderas y la vegetación predominante, se asumió que los deslizamientos observados son el resultado de las precipitaciones que ocurren en la zona.
- Para simular condiciones de inestabilidad de la pendiente para la ocurrencia de deslizamientos se aplicó el modelo combinado Hidrológico-Estabilidad de Taludes (Van Asch, 2000), que a través de la creación de diferentes escenarios realiza un análisis físico-estadístico, calculando el Factor de Seguridad (Amenaza Absoluta) de la pendiente.
- El modelo es generado a través del programa PCRaster, versión 2.0, desarrollado por la Universidad de Utrech, Holanda en mayo del 2001, que trabaja con datos espaciales rasterizados y considera que los deslizamientos en la mayoría de los casos se inician por un aumento de la presión de los poros del talud, provocando la disminución de la resistencia de los suelos. En consecuencia, la ocurrencia temporal de los deslizamientos está relacionada con períodos de alta intensidad de lluvias y /o sismos (PARCA-CBNDR, 2000).

Los parámetros que utiliza el modelo son los siguientes:

- Precipitación
- Evapotranspiración
- Modelo de Elevación Digital del Terreno (DEM)
- Pendiente
- Dirección de flujo Subterráneo
- Espesor de la capa del suelo
- Porosidad
- Capacidad de campo (PF>2)
- Conductividad hidráulica
- Angulo de fricción interna del suelo
- Cohesión
- Pérdida de aguas subterráneas en la roca

4.1.2.2. Descripción del Modelo. Principios Básicos.

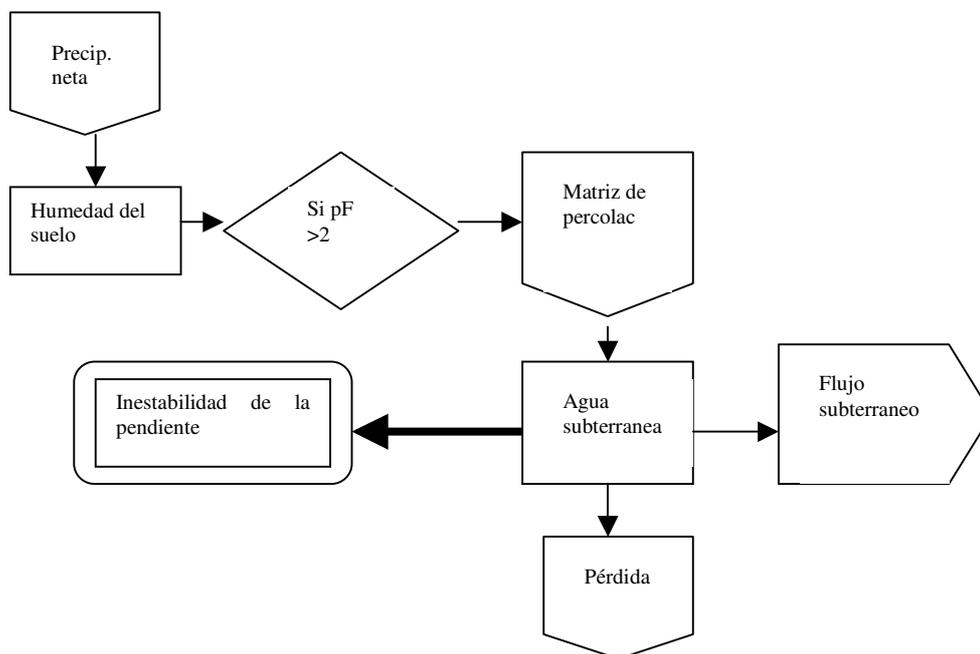
Este modelo requiere como dato de entrada la precipitación neta (ver diagrama de flujo), que no es más que la cantidad de lluvia caída menos la pérdida de

agua por evapotranspiración y por interceptación de la vegetación. Este proceso se desarrolla en cinco fases o módulos dentro del modelo.

Cuando el suelo está saturado, o sea, por encima de la capacidad de campo, el agua fluye hacia las capas más profundas del subsuelo hasta alcanzar la capa freática. Si el suelo no está saturado el agua es mantenida en los poros de las capas superficiales.

La capa freática se desarrolla en el horizonte más profundo del suelo, que es prácticamente impermeable. Parte de esa agua concentrada fluye o se pierde al infiltrarse en la roca y otra parte fluye pendiente abajo hacia el río.

Grafica 2. Diagrama de flujo del Modelo Determinístico.



Para el estudio de caso se utilizaron como datos de entrada:

- Mapa de Elevación Digital (DEM) generado a partir de las curvas de nivel cada 100 metros. Ver mapa en el anexo.
- Mapa de dirección del drenaje local.
- Mapa de cobertura actual.
- Mapa de geología.
- Coeficiente de conductividad hidráulica del suelo (cm/día), las cuales son enlazadas en el modelo con las unidades de cobertura.
- Cantidad de lluvia diaria por intervalo de recurrencia o frecuencia.

4.1.2.3. Creación de los Escenarios de Precipitación por Intervalo de Recurrencia y Tipos de Cobertura.

Para el desarrollo de los diferentes escenarios se tomaron como punto de partida diferentes valores de precipitación diaria en cm. (factor desencadenante), bajo condiciones climáticas normales, para intervalos de 2, 5,

10, 20 y 50 años; se calcularon la estabilidad que representa la pendiente con tres diferentes tipos de cobertura: la actual (mixed en el modelo), boscosa (forest) y pastos (grass). Las variables que se modificaron en el modelo fueron: contenido de humedad inicial del suelo, conductividad hidráulica y cantidad de agua interceptada por la vegetación.

Para cada tipo de cobertura se evaluó el comportamiento de tres áreas de muestreos distribuidas en una zona de fuerte pendiente, en una de pendiente media y el otro punto en una zona plana dentro de la cuenca para así evaluar el comportamiento del agua en el subsuelo y sus efectos en la estabilidad de los taludes.

Como fue señalado, el factor de seguridad no se calculará para toda la cuenca, sino para la parte que corresponde a la cuenca alta, por ser pendientes muy cortas y presentar suelos muy superficiales.

El modelo es ejecutado tantas veces como información nueva vaya a evaluarse. Para el caso que nos ocupa, cada vez que se corre el modelo, un nuevo valor de precipitación diaria es introducida; o sea, el valor inicial es el total de lluvia (en cm) caída ese día en el período de recurrencia seleccionado. A partir de ese momento el modelo inicia la simulación permitiendo que el agua infiltre (fluya) en el subsuelo a través de la pendiente y a través de las rocas por un lapso de tiempo de 8 días.

Concluido ese lapso de tiempo, el proceso se detiene; la resultante son los mapas de probabilidad de fallas (factor de seguridad con valores de 0 - 1) y de áreas de inestabilidad. También se generan los gráficos que muestran las alturas alcanzadas por el agua subterránea durante la simulación (Waterh.tss) y los porcentajes acumulados de las áreas que se tornan inestables (p_unstab.tss; probabilidad de falla mayor que 0.5) para cada tipo de cobertura durante la simulación.

4.1.3. Método Indirecto.

El grado de amenaza a un evento específico en un área dada es determinado por la conjunción de diferentes factores, los cuales pueden ser analizados de forma separada en función de las características que inciden de forma directa en la inestabilidad de los taludes.

Se utilizaron como información base los siguientes mapas temáticos:

- Geología
- Suelos
- Conflictos de uso de la tierra
- Modelo Digital del Terreno (DEM)
- Pendientes
- Zonas de vida (zonas ecológicas)

Los mapas que sirvieron de base para el análisis fueron elaborados con los programas ArcView y Erdas Imagen.

Para la integración y el análisis de los datos se utilizó el programa ILWIS (Integrated Land and Water Information System) Academic, versión 3.1 para Window, desarrollado por el ITC, Holanda.

Cada una de las unidades contenidas en los mapas se analizaron de forma independiente en función de su influencia en la generación o desencadenamiento al deslizamiento; de esta forma se analiza la interrelación entre las características y condiciones en que se encuentra el terreno y la potencialidad de ocurrencia de los derrumbes.

Para esto, se procedió a la asignación de valores de peso (1 hasta 10) a cada una de las unidades contenidas en los diferentes mapas temáticos utilizados, transformando mediante un proceso de reclasificación los mapas de clases en mapas de valores. Posteriormente estos mapas fueron integrados mediante un proceso de adición dando como resultado final el mapa de amenazas a deslizamientos clasificado en 5 categorías: Muy baja, Baja, Moderada, Alta y Muy alta.

En cuanto a los valores de pesos asignados a los mapas, los valores más altos corresponden a la mayor influencia que puedan ejercer en el aceleramiento del mecanismo de disparo del deslizamiento.

Resumen de pasos realizados para obtención del mapa:

- Asignación de pesos a los mapas temáticos
- Transformación de mapa temático a mapa de pesos a través de un proceso de reenumeración.
- Combinación de todos los mapas de pesos mediante un proceso de adición para generar el mapa de amenazas a deslizamientos.
- Reclasificación del mapa final de deslizamientos.

4.1.4. Resultados.

En el recorrido de campo se pudieron observar algunos deslizamientos que actualmente se encuentran inactivos, por lo que no ofrecen peligro a las comunidades allí establecidas; las zonas que presentan deslizamientos activos están ubicadas en áreas donde predominan los materiales de origen volcánico y sedimentario, muy alterados por intemperización, lo que les da muy poca cohesión.

Algunos de los deslizamientos observados son: camino a Dos Bocas, en la margen izquierda de la carretera, al noroeste de la presa hay un derrumbe importante en la carretera, en el firme de la loma El Hato de los Chivos y en la loma La Peñita.

En cuanto al uso del suelo que predomina son cultivos de ciclo corto de habichuelas y guandules en laderas con pendientes muy pronunciadas, incluyendo zonas donde existe cobertura de pino poco densa.

Otro uso que está afectando extensas áreas de bosque es la ganadería. En algunas cañadas y márgenes próximo a los arroyos existen plantaciones de café bajo sombra, que según pobladores entrevistados, las plagas y los bajos precios han provocado que muchas de estas plantaciones hayan sido reemplazadas por cultivos más rentables.

Se pudo observar además una considerable cantidad de zonas que han sido afectadas por incendios desde marzo del año 2000 hasta la fecha, han ocurrido fuertes incendios que han afectado a más del 80 % de los pinos, principalmente los localizados en las zonas de La Cruz de Los negros hasta la loma de La Peñita, y desde el Paso de la Vaca hasta la loma de La Ciénaga; en este caso los pinos afectados no habían alcanzado la etapa adulta.

Cabe resaltar que mucho de estos parajes han sido prácticamente abandonados por los campesinos. Es el caso de las comunidades de Los Chicharrones, que ya no quedan familias y Los Valencios que apenas quedan tres viviendas. La mayoría de estas familias han migrado para Hondo Valle y Sabaneta.

En cuanto a los resultados obtenidos con el **método directo**, en el escenario de cobertura de solo pasto se le dio un bajo valor de capacidad de interceptación de la vegetación (0.4) y un contenido de humedad inicial alto (0.20), lo que sugiere que el suelo se encontraba en condiciones de saturación, ocasionando que parte del agua fluya hacia las capas más profundas y una pequeña parte se almacene en los poros.

En general, bajo cobertura de pasto el suelo se humedece más rápidamente al inicio de la precipitación debido a que la evapotranspiración será menor con vegetación de pasto que con bosque. El tipo de cobertura provoca que haya una menor interceptación de la vegetación, por lo que el agua infiltra rápidamente y como la conductividad hidráulica es más baja que con cobertura de bosque da como resultado que un mayor porcentaje de áreas con pasto se conviertan en inestables (14.1 %) con menos cantidad de precipitación que bajo cobertura de bosque (6.8 %). Por lo que se puede inferir que la cantidad de áreas inestables es mayor para pastos que para bosques bajo iguales cantidades de precipitación.

Con cobertura de foresta el suelo almacena más agua. Esto tiene un efecto en la estabilidad de la pendiente; especialmente para días con poca cantidad de lluvia, puesto que el agua subterránea no se eleva rápidamente, por lo tanto el porcentaje de áreas inestables será menor (6.84 %) en comparación con el escenario original de uso y cobertura (8.8 %). Además, bajo cobertura de bosque habrá más lluvia que será interceptada por la vegetación y que no infiltrará en el suelo, lo que también favorecerá la estabilidad de la pendiente.

Al no tener datos reales sobre Ks (variable dominante más importante), interceptación y humedad inicial del suelo, los valores utilizados son solo supuestos y por eso los resultados no son muy confiables. A partir de este trabajo sabemos qué se puede hacer en posteriores análisis para mejorar los resultados. La utilización de un mapa de densidad de deslizamientos para

algunos eventos de fuertes lluvias como sería un huracán, sería también importante utilizar para así evaluar el comportamiento del modelo.

En el caso de que los valores utilizados hubieran correspondido a la realidad los resultados esperados serían como sigue:

Para el caso de que el suelo estuviera cubierto con foresta se espera que haya un mayor almacenamiento de agua por la vegetación ya que será interceptada por las ramas y las hojas, lo que provocará que menos cantidad de agua de lluvia infiltrará en el subsuelo favoreciendo la estabilidad de los taludes; en días de poca precipitación, el nivel de la capa freática no se elevará tan rápidamente, dando como resultado un bajo porcentaje de áreas inestables.

Los valores altos de conductibilidad hidráulica (Ks) indican que hay una mayor rapidez en la infiltración del agua en el subsuelo y un mayor flujo pendiente abajo, hacia el río, por lo que será menor la posibilidad de provocar inestabilidad, sobre todo si la pendiente es muy pronunciada. El efecto en la estabilidad dependerá de la inclinación de la pendiente.

Bajo cobertura de pasto, en general el suelo se humedece al iniciar las lluvias. Como se supone que el suelo no está saturado el agua es mantenida en las capas superficiales. El almacenamiento de agua es menor por interceptación de la vegetación, así como la conductividad hidráulica, por lo que la infiltración será menos rápida.

Bajo cobertura de pasto se espera que la conductividad hidráulica es más baja que con cobertura de bosque por lo que el movimiento del agua es más lento, lo que provocará una saturación del suelo, dando como resultante una menor cohesión de las partículas del suelo, aumentando la inestabilidad.

- Se espera entonces que para períodos de poca cantidad de lluvia acumulada, las áreas cubiertas de pasto tendrán mayores porcentajes de áreas inestables que en las áreas cubiertas de bosque.

Método Indirecto.

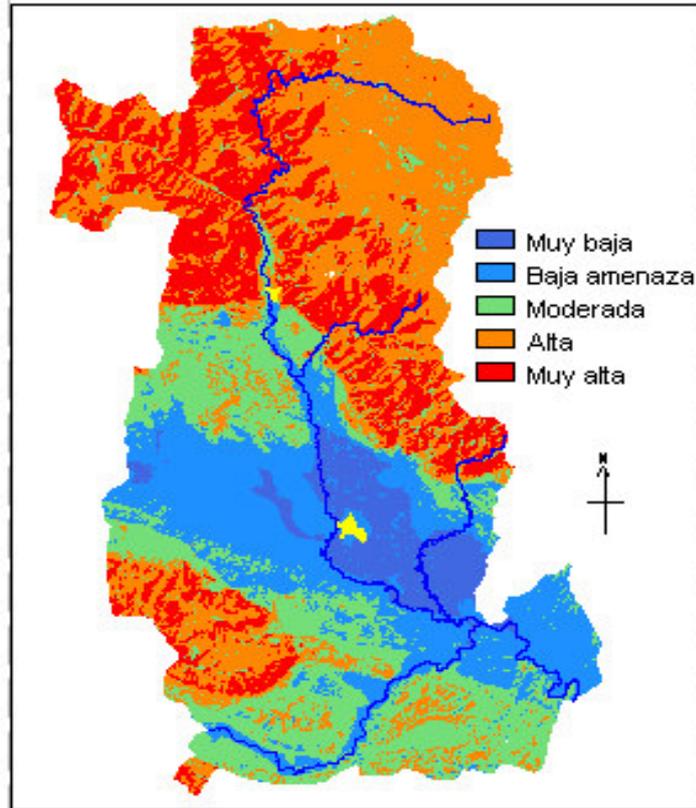
Según los resultados se puede notar que del total de la superficie de la cuenca, 798 Km² presentan una alta amenaza de sufrir deslizamientos.

Estas áreas se encuentran localizadas básicamente en la parte alta, en lo que corresponde a las zonas más degradadas de la Cordillera Central, en toda el área que bordea la presa de Sabaneta y la comunidad de Sabaneta; hacia la porción nororiental de la cuenca media y en el extremo suroeste, en la zona correspondiente al parque nacional, Juan M. García B.

Las áreas correspondientes a amenaza moderada están localizadas básicamente en las zonas de menor degradación, en las partes noroccidental y sur de la cuenca media. El área ocupada es de aproximadamente 362 Km².

Las áreas de amenaza baja y muy baja están localizadas en la parte baja, en toda la zona del Valle de San Juan, aunque dentro de la ciudad de San Juan existen zonas puntuales, susceptibles a sufrir derrumbes, caso de un tramo del Barrio Mesopotamia. La superficie total dentro de estas categorías es de 430 Km². Ver mapa y tabla anexos.

Gráfica 3. Amenazas por Deslizamientos en la Cuenca del Río San Juan.



4.2. Análisis y Preparación del Mapa de Vulnerabilidad a Deslizamientos.

4.2.1. Concepto.

El término vulnerabilidad está referido al grado de pérdidas resultantes de la ocurrencia de un evento de fuerte impacto en una zona determinada y para su análisis se requiere de la identificación de los elementos o sistemas expuestos ante la amenaza.

4.2.2. Metodología.

Al igual que en la identificación de amenazas a deslizamientos, se evaluaron de forma individual cada uno de los elementos expuestos; se procedió a la asignación de valores de pesos (1-10) en función de su importancia relativa con respecto al daño que pudiera ocasionar la ocurrencia del desastre.

Los mapas de pesos creados se integraron en un único mapa dando como resultado el mapa de vulnerabilidad.

Los mapas utilizados fueron importados desde el programa ArcView al programa ILWIS, 3.0, en donde fueron transformados al formato raster para el posterior análisis.

Los elementos evaluados fueron: ciudades principales, líneas de comunicación, infraestructuras de salud, infraestructuras de riego y presas, áreas protegidas y población como sigue:

- **Ciudades principales:** se procedió a darle un valor de peso de 10 por su importancia en la escala de vulnerabilidades. Las ciudades de San Juan y Sabaneta, por ser las comunidades seleccionadas para el análisis de riesgo
- **Líneas de comunicación (vías):** se caracterizó según el tipo de vía en: principales, secundarias camino sin asfalto y camino de herradura. Por ser una estructura de servicios, los valores de peso se asignaron teniendo en cuenta las características de las vías y su importancia en el impacto económico y social que pudieran ocasionar en caso de ser dañadas o destruidas.
- **Infraestructuras de salud (hospitales y clínicas):** esta información se obtuvo del trabajo realizado por la Secretaría de Estado de salud pública y Asistencia Social (SESPAS), 2003. A estas estructuras se les asignó igual valor de peso de 5 en vista de que lo que se tomó en cuenta fue su importancia desde el punto de vista social, ya que para su construcción casi siempre se utilizan los mismos materiales (hormigón, cemento), por lo que ofrecen más o menos la misma capacidad de resistencia ante deslizamientos o inundaciones. Ver mapa anexo (mapa de pesos).
- **Infraestructuras de riego y presas:** las estructuras integradas al análisis fueron el sistema de canales construidos y la Presa Sabaneta por su importancia en la generación de energía, suministro de agua potable y de riego y por el papel que juegan en la regulación de avenidas de los ríos.
Los datos utilizados provienen para el primer caso a partir de la digitalización en pantalla de las hojas topográficas en formato digital 1988 y en el segundo caso del mapa de presas a nivel nacional elaborado en 1987 por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). En cuanto a la asignación de pesos, los mismos fueron dados tomando en cuenta la magnitud de los daños que pudieran ocasionar ante un derrumbe. Es por esto que a la presa se le asignó un valor 10 y a los canales de irrigación un valor 5.
- **Densidad poblacional:** este dato es muy importante para el análisis de vulnerabilidad, dado que a mayor densidad poblacional mayor es la probabilidad de que las personas perezcan o sean lesionadas ante la ocurrencia de un evento de magnitud considerada.

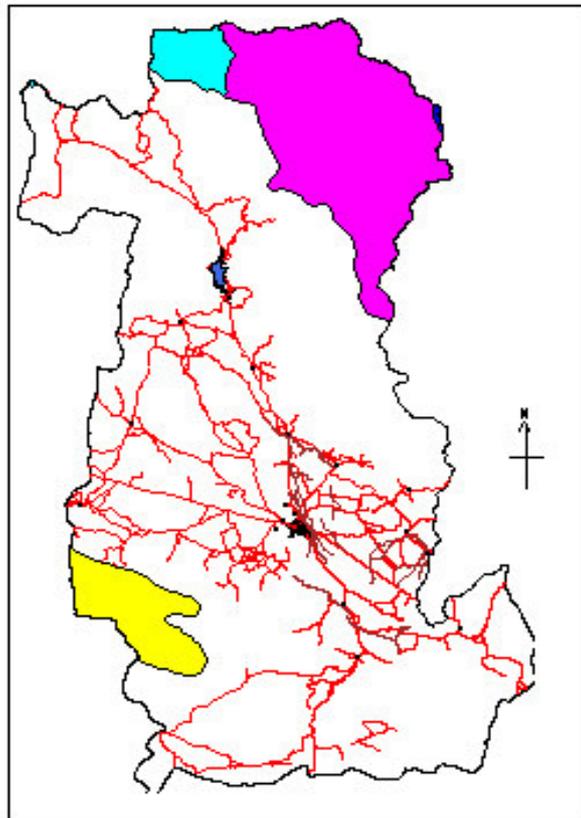
A partir del mapa de municipios se generó el mapa de densidad de población; o sea, la cantidad de habitantes por superficie ocupada (en km^2) en una comunidad o área determinada.

Creado el mapa de densidad poblacional se procedió a darle los pesos (de 0 a 10), correspondiendo el máximo valor a la mayor concentración poblacional por comunidad, según se puede observar en la tabla siguiente: TABL DENSID y PESO

- **Áreas protegidas:** dentro del área de la cuenca se presentan cuatro sistemas de áreas protegidas: Parque Juan U. García B., Armando Bermúdez, José del Carmen Ramírez (de mayor extensión) y el Parque Nacional Nalga de Maco.

Las áreas delimitadas provienen del mapa elaborado por DIGEORTE, según los límites definidos en el decreto 233-96, sobre el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Estos ecosistemas fueron utilizados en el análisis, dada su importancia por el tipo de cobertura que soportan y por ser sistemas productores de agua. El valor de peso asignado fue 8 para todos los casos.

Grafica 4. Elementos Analizados para la Vulnerabilidad a Deslizamientos.



4.2.3. Resultados.

El análisis realizado refleja que las zonas de mayor vulnerabilidad a deslizamientos están ubicadas aguas arriba de la presa de Sabaneta, en las zonas de mayor pendiente donde los suelos están muy degradados, así como toda el área circundante a la presa.

Algunos de los taludes que bordean las vías de acceso en esas zonas están afectadas en varios tramos por los deslizamientos activos, y por el grado de alteración que presentan los materiales que lo componen, ameritan mucha atención.

La comunidad que presenta mayor vulnerabilidad directa es Sabaneta, precisamente por encontrarse aguas debajo de la presa, que de ser afectada por un sismo o una avenida súbita, podría provocar daños graves a esta comunidad.

Así también, tenemos que para la ciudad de San Juan, aunque no se encuentra con una amenaza directa, algunos sectores son vulnerables, sobre todo los marginales, ubicados en los márgenes del río San Juan (sectores Mesopotamia, El Rosario y Guachupita), en vista de que los desprendimientos que suceden aguas arriba serán arrastrados con gran fuerza por todo el curso del río generando graves daños como sucedió en el pasado reciente.

4.3. Metodología para el Análisis de Riesgo a Deslizamientos.

Al hablar de riesgo nos referimos al grado de pérdidas esperada ante la ocurrencia de un fuerte impacto de origen natural o inducido por el hombre. Según Mora, citado por Cordero (2000), es un índice o valor numérico que indica la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en el espacio, tiempo y magnitud según una distribución estadística, que es una combinación de la potencial amenaza y de la vulnerabilidad manifiesta, expresado de la siguiente forma:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

También puede ser expresado como el producto del costo por la vulnerabilidad por intervalo de recurrencia (frecuencia) del evento (ILWIS for education, versión 2.1), según como se muestra:

$$\text{Riesgo} = \text{Costo} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Período de Recurrencia}$$

Para este análisis se procedió a la creación de una tabla bidimensional en la que se combinan el mapa de amenazas con el mapa de vulnerabilidad, estableciendo una relación entre ambos.

Esta relación define una nueva clasificación a partir de todas las posibles combinaciones de las clases involucradas, como puede observarse en la cuadro 3 anexo.

Tabla Bidimensional para el Análisis de Riesgo.

	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
Muy baja	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Baja amenaza	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
Moderada	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Alta	Bajo	Moderado	Alto	Alto
Muy alta	Bajo	Alto	Alto	Alto

Visualmente esta tabla puede verse como un arreglo de filas y columnas, en donde la filas representan las clases contenidas en el mapa de amenazas y la columnas las clases del mapa de vulnerabilidad. La resultante de este proceso es un mapa cualitativo que refleja la relación entre las dos variables.

Este proceso dio como resultado el mapa de riesgo a deslizamientos clasificado en alto, medio y bajo.

Finalmente, para poder identificar las comunidades que presentaban mayores o menores niveles de riesgo, se procedió a realizar una tabulación cruzada entre el mapa de riesgo generado y el mapa de comunidades para determinar en términos porcentuales el tipo de riesgo a que está expuesto cada comunidad. Los resultados arrojados se presentan en términos porcentuales, según puede observarse en el cuadro 4 anexo:

Tipo y Porcentaje de Riesgo por Comunidad.

ID	DENSPOB	Weight	NOMBRE	Porcalto	PorcMod	Porcbajo
1	42.0	7	Carrera de Yeguas	87	13	0
2	38.0	7	Yabonico	43	57	0
3	65.0	10	La Jagua	59	41	0
4	375.0	10	Sabaneta	85	15	0
5	176.0	10	Hato Nuevo	67	33	0
6	212.0	10	Los Montones	73	27	0
7	56.0	10	Sosa	70	30	0
8	835.0	10	Jínova	28	31	41

4.3.1. Resultados.

El análisis reflejó que de las comunidades evaluadas, la comunidad de Sabaneta es la que presenta mayor peligro. Según esto, podemos observar que el 85 % del área se encuentra bajo un riesgo alto, mientras que el 15 % del área se encuentra bajo riesgo moderado. La densidad poblacional de esta comunidad es de 375 / Km².

Para San Juan de la Maguana el riesgo a deslizamiento está entre moderado y bajo.

5. Análisis de Amenazas a Inundaciones por Período de Recurrencia.

La región donde se encuentra localizada la cuenca del río San Juan periódicamente es afectada por inundaciones provocadas por intensas lluvias o por el efecto de fenómenos atmosféricos de baja o alta intensidad.

Dado el fuerte impacto que esto provoca en el orden social, productivo y ambiental, se hace necesario identificar los factores que inciden temporal y espacialmente en el aumento desproporcionado del nivel de las aguas. Esto posibilitará caracterizar las amenazas y predecir el momento en que los elementos o sistemas expuestos presentan riesgo de ser afectados por las crecidas, además de servir de herramienta para identificar acciones que eviten o mitiguen el los daños que pudieran ocasionar.

Para la realización de este análisis fue necesario la utilización de datos e informaciones proveniente de diferentes fuentes y la utilización de supuestos para la creación de los diferentes escenarios, en vista de que los datos hidrológicos disponibles eran dispersos e incompletos, a consecuencias del daño que han sufrido por impacto de eventos extremos, muchas de las estaciones hidroclimáticas distribuidas en el área de estudio.

Para la creación de los diferentes escenarios se realizaron dos enfoques: el primero realiza el análisis partiendo del hecho de que las inundaciones no sean provocadas por las lluvias torrenciales que acompañan a un huracán; el segundo análisis se realiza tomando en cuenta los datos registrados durante los impactos del huracán David y tormenta Federico, en septiembre de 1979 y los registrados cuando el huracán Georges, en septiembre de 1998.

Las metodología utilizada es como sigue:

5.1 Amenazas a Inundaciones Aplicando un Modelo Hidrológico con el Programa PCRaster.

1. Se Importó los datos desde ILWIS para PCRaster en formato ASCII.
2. Se Identificó un punto aguas debajo de la ciudad de San Juan cuyas coordenadas son en X: 264180 – 264210; Y: 2079295 – 2079325.
3. Se definió la cuenca aguas arriba de la ciudad.
4. Con el mapa de ríos se generó un mapa de distancias, calculando todos los puntos de la cuenca hasta el punto directamente aguas debajo de la ciudad.
5. Se definió para cada tiempo de retorno (frecuencia) la pendiente del agua por flujo; es decir, la pendiente de la superficie del plano de inundación y la profundidad en el punto de salida de la cuenca (punto localizado aguas debajo de la ciudad).
6. Se definió un mapa con la superficie del agua; es decir, se sumaron la altura de inundación en el punto aguas debajo de la ciudad con su correspondiente altura sobre el nivel del mar.
7. Se sumó la superficie del agua con el valor de la pendiente del agua (aguas arriba), luego se multiplicó por la distancia desde el punto directamente debajo de la ciudad. Este resultado se multiplicó con el

- DEM; donde el DEM queda por debajo de la superficie del agua quiere decir que hay inundación.
- Se restó la superficie del agua con el DEM y se obtuvo la altura de inundación en todos los lugares inundados.
 - Los valores utilizados por período de recurrencia son como siguen:

Cuadro 5. Datos Utilizados en el Modelo Hidrológico.

Período de recurrencia (años)	Pendiente del agua (m / m)	Altura de inundación (m)
2	0.004	1.14
5	0.004	1.97
10	0.006	2.07
20	0.008	2.13

El modelo (script) escrito en PCRaster es el siguiente:

```
x = xcoordinate(clone_sj.map);
y = ycoordinate(clone_sj.map);
report point_sj.map = x gt 264180 and x lt 264210 and y gt 2079295 and y lt 2079325;
report cuenca_sj.map = catchment(ldd_sj_.map, point_sj.map);
report distant.map = if(cuenca_sj.map then spread(point_sj.map, 0, 1));
```

```
slope = distant.map * 0.004 + 395 + 1.14;
inund = if(cuenca_sj.map then if(slope - dem_sj.map gt 0, slope - dem_sj.map));
report inund002.map = if(dem_sj.map le 417 then inund);
report inund002.bol = inund002.map gt 0;
```

```
slope = distant.map * 0.004 + 395 + 1.97;
inund = if(cuenca_sj.map then if(slope - dem_sj.map gt 0, slope - dem_sj.map));
report inund005.map = if(dem_sj.map le 417 then inund);
report inund005.bol = inund005.map gt 0;
```

```
slope = distant.map * 0.006 + 395 + 2.07;
inund = if(cuenca_sj.map then if(slope - dem_sj.map gt 0, slope - dem_sj.map));
report inund010.map = if(dem_sj.map le 417 then inund);
report inund010.bol = inund010.map gt 0;
```

```
slope = distant.map * 0.007 + 395 + 2.13;
inund = if(cuenca_sj.map then if(slope - dem_sj.map gt 0, slope - dem_sj.map));
report inund020.map = if(dem_sj.map le 417 then inund);
report inund020.bol = inund020.map gt 0;
```

5.2 Amenazas a Inundaciones Aplicando un Modelo para un Evento Ciclónico (adaptado) con el Programa ILWIS.

Para la aplicación de este modelo se calcularon los coeficientes de rugosidad y las alturas de inundación para diferentes años a partir del uso del Modelo de Elevación Digital del Terreno (DEM). Esto permitió la generación de los mapas de amenazas a inundación por período de recurrencia. Los cálculos se realizaron para 2, 5, 10 y 20 años. El modelo utilizado es una adaptación de un modelo de inundación súbita por huracanes en una zona costera que se ejecuta a través del programa ILWIS.

Los datos utilizados para el análisis fueron los siguientes:

1. Registros históricos de fenómenos climáticos que han provocado inundaciones.
2. Modelo de Elevación Digital del Area (DEM) de estudio.
3. Mapa de distancias generado a partir de la red principal de drenaje de la zona.

Pasos realizados para la aplicación del modelo:

1. Creación del mapa de distancia a partir del drenajes principal. El mapa resultante se llama Distancia (ver gráfico en el anexo).
2. Cálculo del coeficiente de rugosidad (SDC) para cada altura de inundación por período de recurrencia. Este valor siempre será diferente para cada altura de inundación y dependerá de la fricción causada por los elementos presentes en la superficie, como lo es el tipo de cobertura, morfología, altura de caminos, infraestructura, etc.).

La formula utilizada para el calculo de este coeficiente es:

$$SDC = HI - Eavg / TIA - IW$$

Donde:

SDC = Coeficiente de rugosidad

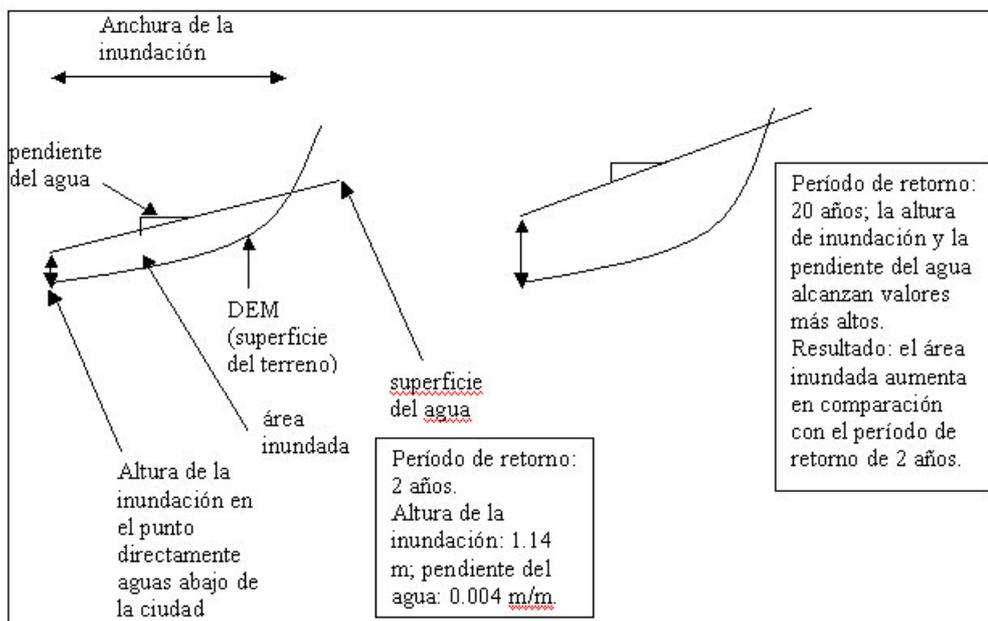
HI = Altura de inundación

Eavg = Altura promedio del terreno al final de la inundación

TIA = Ancho de la superficie total inundada

IW = Ancho de la planicie de inundación

Gráfico 5. Ilustración del Decrecimiento de la Altura de Inundación a Partir de la Línea del Río.



3. Se Calcularon las alturas promedio de inundación para cada período de recurrencia a partir del DEM.
4. Se Calcularon las alturas de inundación haciendo uso de los valores de coeficientes de rugosidad.
5. Obtenidos los datos, se ejecutó el modelo (Script Surge, ILWIS), para generar los mapas de amenazas por intervalo de recurrencia.

El **Script** es un lenguaje de programación que funciona como una serie secuencial de comandos y expresiones internas para la realización de análisis a partir de los sensores remotos o los Sistemas de Información Geográfica. Cada línea en un Script es una operación o mandato que es ejecutado vía los comandos de ILWIS.

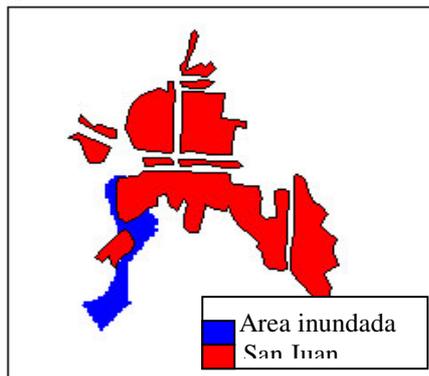
5.3. Resultados.

En vista de que las metodologías utilizadas fueron muy parecidas, los mapas de áreas de inundación generados guardan cierta similitud.

Según estos mapas, cada 2 años se puede esperar que el río inunde parte de la ciudad, sobre todo las que están en el lecho del río, en las partes más bajas de la planicie de inundación..

Para el intervalo de recurrencia de 10 años, el área ubicada por encima de las áreas inundadas es una zona muy plana por lo que significa que inundará con mucha facilidad. La superficie a ser afectada es de aproximadamente 1.15 Km². Ver mapa en el anexo.

Gráfico 6. Superficie Inundada para Intervalo de 2 Años. Modelo PCRaster.



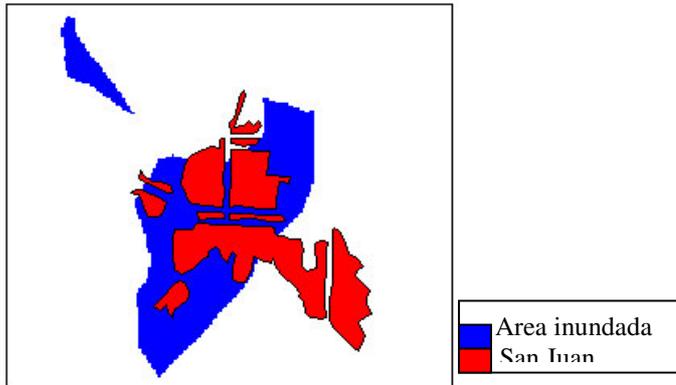
Cuadro 6. Superficie Inundada para Intervalo de 2 Años.

	npix	npixpct	pctnotund	npixcum	npcumpct
1	361	0.01	37.10	361	0.01
2	612	0.01	62.90	973	0.02

Cada 20 años se puede esperar que una considerable área de la ciudad sea afectada en mayor o en menor proporción por la inundación. Según puede

observarse en la tabla, esta superficie es de aproximadamente 2.05 Km² (valor 1), lo que pudiera incrementarse en el tiempo.

Gráfico 7.. Superficie Inundada para Intervalo de 20 Años.

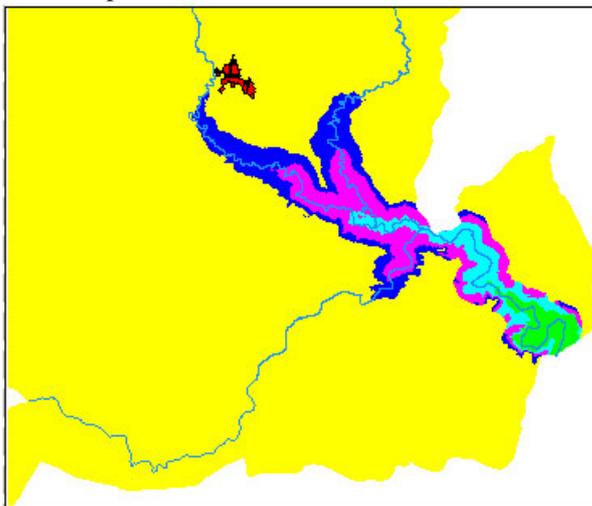


Cuadro 7.. Superficie Inundada para Intervalo de 20 Años.

	value	Area	Sq_km
1	0	145600.0	0.15
2	1	2049600.0	2.05

Según los resultados con la aplicación del modelo adaptado para una inundación súbita provocado por un evento ciclónico, en un período de 2 años se espera que la ciudad de San Juan no sea afectada por las aguas, sin embargo, a partir del intervalo de 5 años ya existe amenaza de inundación, teniendo que aproximadamente 0.7 Km. estarían baja amenaza moderada, mientras 0.8 Km. del área tendrían baja amenaza.

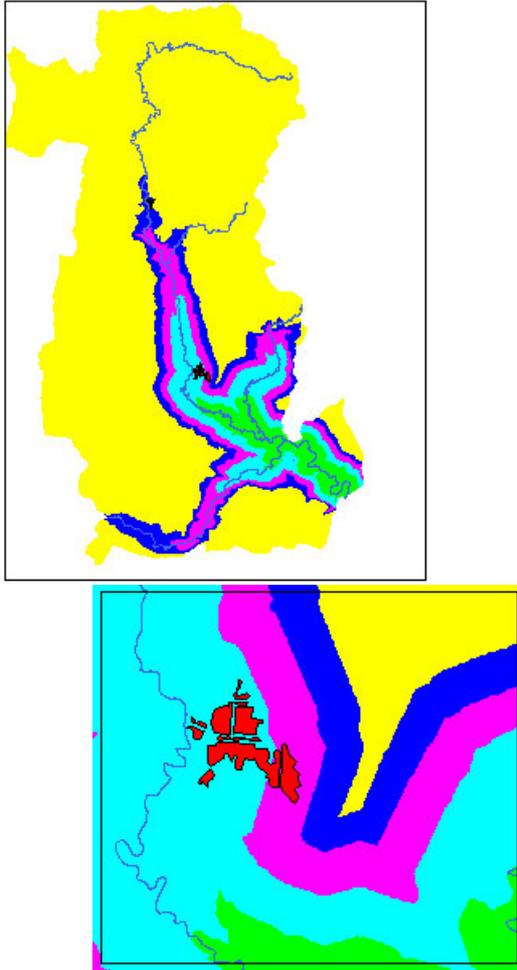
Gráfico 8. Áreas Susceptibles a Inundarse para 2 Años con la Aplicación del Modelo Ciclónico.



Para 10 años se espera que 0.8 Km. tengan alta amenaza, 0.9 Km. tengan amenaza moderada y 0.3 km² presenten baja amenaza.

Para un intervalo de 20 años, 1.5 Km tendrían una alta amenaza, mientras que 0.7 Km. De la ciudad presentarían amenaza moderada.

Gráfico 9. Amenazas de Inundación para 20 Años.



5.4 Análisis de Vulnerabilidad a Inundación para 2, 5, 10, y 20 Años Aplicando un Modelos de Inundación Súbita. Programa ILWIS.

Este análisis se realizó partiendo del hecho de que las informaciones disponibles se encuentran en forma muy general y no posibilitaban involucrar todos los elementos expuestos ante este tipo de eventos.

El documento, “República Dominicana: Evaluación de los Daños Ocasionados por el Huracán Georges, 1998”, realizado por la CEPAL, presenta informaciones importantes que reflejan el nivel de daños provocados con el paso de este fenómeno.

De estas informaciones, la concerniente al total de habitantes afectados por provincias, más los datos generados con los diferentes mapas de amenaza a inundación permitió implementar una metodología para estimar el número de habitantes que pudieran ser afectados como resultado de una determinada altura de inundación en un período de tiempo dado.

Al hablar de vulnerabilidad de una población para ser afectada por una inundación nos referimos al grado de pérdidas esperadas de la población total o de un segmento de la población en un área determinada, resultante de una altura de inundación. Esta deberá ser expresada en una escala del 0 al 1.

Para esto se utilizaron los datos recopilados (alturas que alcanzaron las aguas, superficie total inundada, etc) de los máximos eventos ocurridos durante los últimos 19 años: el huracán David precedido de la tormenta Federico, el 31 de agosto de 1979 y el ciclón Georges, en septiembre de 1998.

Se utilizaron además informaciones de los niveles que alcanzaron las aguas, suministradas por habitantes de las comunidades más afectadas, así como los datos de la población afectada presentados para la comunidad de San Juan en algunos de los trabajos realizados posterior al paso del huracán Georges y expresado en términos porcentuales. En este sentido tenemos:

- Población total: 285,794 habitantes (100 %).
- Población severamente afectada: 9,800 habitantes (3%).
- Población medianamente afectada: 283,621 (83%); referido a la población que no habitaba las comunidades más dañadas.
- Población no afectada: 37,299 (13 %).
- Total de la población que pereció: 74 habitantes (0.03%).

Tomando en cuenta estos datos, la metodología utilizada es como sigue:

1. Se calculó las alturas promedio de inundación en el punto final del área inundada. Para esto se utilizó el modelo Digital del Terreno (DEM), los mapas de inundación por intervalos de recurrencia generados para los diferentes escenarios y el mapa de distancia.
2. Para cada altura de inundación se calculó el Coeficiente de Vulnerabilidad (Vc), que indica la relación directa entre la altura de inundación y la vulnerabilidad. Mostrado en la tabla 1.
3. Se creó un archivo de aplicación o Script (conjunto de operaciones ejecutadas internamente a través de ILWIS) en donde se relacionan las alturas de inundación de los diferentes intervalos de recurrencia con sus respectivos Coeficientes, generando de esta forma los mapas de vulnerabilidad.
4. finalmente, se estimó el número total de pérdidas esperadas para la comunidad de San Juan, a partir de los mapas de vulnerabilidad creados y el mapa de densidad poblacional.

5.4.1. Resultados.

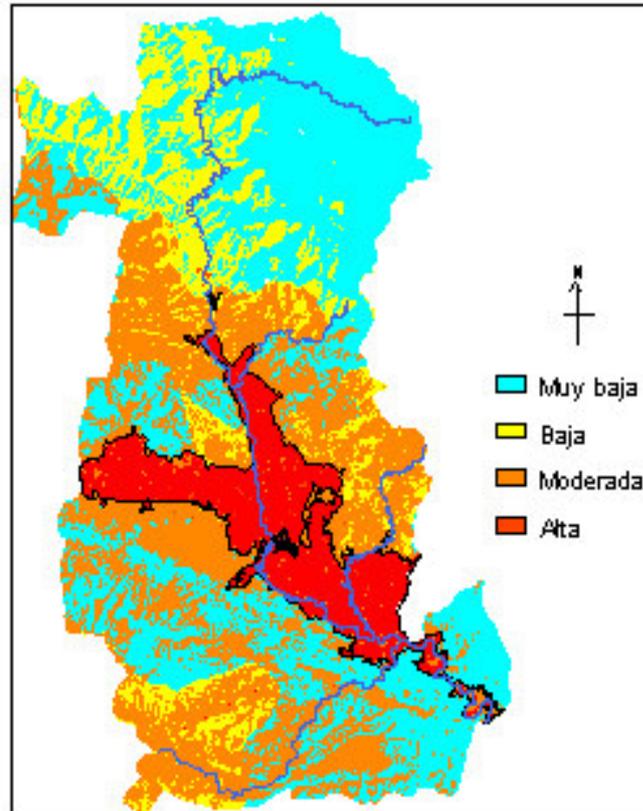
Como puede ser observado en el mapa anexo, el análisis arrojó que la zona más vulnerable es la comprende toda la planicie de inundación, por lo que los elementos localizados en esta área corren el riesgo de ser destruidos o severamente dañados de presentarse una fuerte avenida.

Se deduce entonces que los elementos más expuestos lo constituyen todas las estructuras localizadas en la planicie, como lo son los importantes canales de

riego, las tomas de acueductos, estaciones de bombeo, algunas escuelas, los puentes y vías de comunicación localizados en el curso del río, muchos de los cuales fueron destruidos con el paso del huracán Georges.

Otro elemento muy importante dadas las características de esta zona de ser la segunda en producción agrícola del territorio nacional, lo constituye la considerable superficie dedicada la cultivo intensivo de un producto básico para nuestra alimentación como lo es el arroz, las cuales corren el riesgo de ser arrasadas cada cierto tiempo.

Gráfico 10. Vulnerabilidad a Inundación en la Cuenca del Río San Juan.



5.5. Análisis del Riesgo a una Inundación Súbita para una Frecuencia de 20 Años.

En términos estadísticos, el riesgo a inundación para cierto intervalo de recurrencia en una área determinada es la posibilidad de que miembros de una comunidad perezcan por ahogamiento ante una inundación súbita (evento súbito). Matemáticamente se expresa como el producto de la probabilidad de ocurrencia del evento en un período determinado de tiempo (amenaza), por la vulnerabilidad y por el número de personas que viven en el área afectada. Esto significa que el Riesgo está estrechamente ligado a la frecuencia con que ocurren los eventos, el incremento de la población y casi siempre al tipo de infraestructuras que existan (dikes, presas, refugios, etc.) en esa comunidad.

la pluviometría recibida aguas arriba de la presa Sabaneta (hasta 500 mm) cuando el huracán Georges provocó un rápido aumento de los niveles de la misma, y que el volumen de precipitación ocurrida aguas debajo de la presa fue también de gran intensidad, causando grandes inundaciones en la parte baja de la cuenca.

Las evaluaciones que se han realizado de los eventos que más nos han impactado señalan que el caudal de entrada por inundación a la presa era semejante a los caudales registrados durante el huracán David (19 años de diferencia). Tomando en cuenta esto y sabiendo que la zona evaluada posee una alta concentración de habitantes decidimos calcular el número de personas bajo riesgo para una frecuencia de 20 años.

El procedimiento para la generación del mapa de riesgo para una recurrencia de 20 años fue:

- Se multiplicó el mapa de amenazas para 20 años generado con el modelo para un evento ciclónico por la vulnerabilidad para ese período por la densidad poblacional, a través del programa ILWIS. Al mapa resultante se le llamó Risk20y.

5.5.1. Resultados.

Según los resultados para 20 años, un evento de esta naturaleza en la comunidad San Juan, podría generar pérdidas de vida de hasta 12,000 personas. Los asentamientos localizados en el curso inferior o lecho del río San Juan; tal es el caso de los sectores como el Barrio Mesopotamia, Guachupita los cuales están caracterizados por estar densamente poblados y habitar en estructuras muy frágiles.

6. Conclusiones.

- En la cuenca del río San Juan predominan las zonas de relieve de montaña con topografía muy accidentada, solo adecuado para cobertura forestal o cultivos como el café típico y cacao. La sobreexplotación de estos suelos representa un alto peligro para la región, dada la alta susceptibilidad a erosionarse en gran parte de ellos.
- El análisis de amenazas a deslizamientos reflejó que en general en la porción noroccidental de las cuencas alta, y media, en las estribaciones de la Cordillera Central, en el área que bordea la presa de Sabaneta y hacia el extremo suroccidental en lo que es la Sierra de Neiba, existe una alta amenaza a deslizamientos.
- Las zonas de mayor vulnerabilidad a deslizamientos están localizadas aguas arriba de la presa, en las zonas degradadas y toda el área circundante a la presa.
- De las comunidades analizadas, Sabaneta es la que mayor riesgo tiene de ser severamente afectada como consecuencias del desborde de la presa que pudiera desestabilizarla producto de la erosión del talud o como resultado de un movimiento telúrico puesto que esta es una zona que esta ubicada encima de fallas tectónicas.
- San Juan de la Maguana presenta un riesgo a deslizamiento entre moderado a bajo; hay algunos sectores vulnerables, sobre todo los marginales, ubicados en las terrazas localizadas en las márgenes del río San Juan, cuyos taludes han sido socavados por las crecidas del río.
- De los deslizamientos observados en la cuenca alta, algunos se encuentran inactivos o alejados de los asentamientos por lo que no representan un peligro directo para esas comunidades; de los que están en estado activo, la mayoría se encuentran localizados en los bordes de carreteras, las cuales podrían ser afectadas en cualquier momento.
- La zona aguas abajo de la presa Sabaneta sufrió un fuerte socavamiento a raíz del desbordamiento de la presa cuando el huracán Georges. Esta es un área que amerita una rápida intervención, para disminuir el progresivo deterioro en que se encuentra.
- El análisis de amenazas a inundaciones reveló que para 20 años se espera que una considerable superficie de la planicie de inundación sea afectada por las aguas. Según los resultados de las dos metodologías utilizadas, aproximadamente 2 km² quedarían anegados por el agua, con el consecuente daño a infraestructuras de servicios y producción y a los habitantes más desfavorecido.
- Aguas debajo de la presa de Sabaneta, lo que corresponde a la cuenca no regulada del río San Juan aporta una considerable porción de caudales de inundación en las partes media y baja de la cuenca
- El área dedicada a la producción intensiva de cultivos básicos como el arroz se encuentra dentro de la zona de alta amenaza a inundación, por lo que una fuerte avenida provocaría desabastecimiento a nivel nacional y cuantiosas pérdidas económicas.
- Los sectores de San Juan de La Maguana que mayor peligro presentan ante fuertes inundaciones son La Mesopotamia, Guachupita y El Rosario. Estas comunidades son muy vulnerables por estar ubicadas en el mismo lecho del río, por su alta densidad poblacional y por habitar en

viviendas muy frágiles. Algunas áreas de lo que corresponde al sector de La Circunvalación presentan vulnerabilidad media ya que las edificaciones son más resistentes por el tipo de material del que están fabricados y por estar localizados en una zona de mayor altura, y por lo tanto no son tan afectados por las aguas.

- El cambio en el uso del suelo ha generado una alta degradación de los suelos en la parte alta, a consecuencias de las intensas precipitaciones que suceden en la zona. Esto ha provocado empobrecimiento de los suelos de las laderas por el fuerte arrastre de materiales, además de sedimentación en la presa afectando su vida útil y deposición de materiales en toda la zona cultivable, lo que disminuye la capacidad de infiltración.
- En el país se han realizado trabajos relacionados con la tema de desastres, pero todos están a un nivel muy general.
- La escasez de datos precisos no permitió la adecuada aplicación de algunas de las metodologías por lo que los resultados obtenidos solo presentan un panorama general de lo que podría acontecer.

7. Recomendaciones.

- Existe la necesidad de entrenar los recursos humanos tanto en el orden institucional como comunitario a fin de crear capacidades que posibiliten la identificación de amenazas y riesgos a que estamos sometidos para de esta forma poder tomar acciones que disminuyan o eviten desastres futuros.
- Es necesario buscar los mecanismos para que este tipo de trabajos se realicen de forma interdisciplinaria ya que estos análisis requieren de una visión integral en vista de que son muchos los factores que inciden en la generación de los desastres.
- Estos resultados no son concluyentes y se ameritan de la realización de nuevas evaluaciones.
- A nivel de las comunidades se requiere que las instituciones relacionadas con la gestión de riesgo creen estructuras que posibiliten el levantamiento, integración, procesamiento y análisis de los datos e informaciones, ya que esto les dará un mayor conocimiento y capacidad de acción.
- Se requiere la continuación de acciones coordinadas entre las instituciones ya que esto es fundamental a la hora de manejar emergencias.
- Es necesario la creación de un sistema de alerta ante crecidas en aquellas comunidades que aún no existe.
- Las autoridades deberán contemplar la reubicación de la comunidad de Sabaneta por el inminente riesgo que corre de ser arrasada producto de una ruptura de la presa o de una avenida súbita, como la acontecida con el huracán Georges.
- También deberán contemplar la reubicación de los asentamientos de Mesopotamia, El Rosario y Guachupita de San Juan de la Maguana, localizados en el curso inferior del río San Juan, para así evitar nuevas pérdidas de vida en el futuro.

- Es necesario la implementación de un plan de ordenamiento territorial en las áreas urbanas en donde se tome en cuenta la gestión del riesgo.
- Se requiere de una constante campaña de prevención a nivel de las comunidades y así crear conciencia entre los habitantes para de esta forma empujar a la búsqueda de acciones o alternativas propias que aminoren o eliminen los efectos de un evento que pudiera provocar un desastre.
- En nuestro país existe una legislación que reglamenta el uso del suelo la cual muchas veces es violentada. Las autoridades deberán velar por su estricto cumplimiento, a fin de reducir el progresivo deterioro y evitar que se continúen realizando asentamientos en lugares inadecuados.
- El río San Juan amerita de la realización de obras de mejoramiento de cauce a fin de mitigar los efectos de inundaciones futuras.
- La información existente es muy generalizada, por lo que se requiere de datos e informaciones más precisas que posibiliten la aplicación de metodologías para la zonificación de amenazas y riesgos a niveles locales.
- Crear condiciones de vidas adecuadas en las zonas rurales a fin de evitar que siga la migración hacia las áreas urbanas marginales o a los llamados cordones de miseria..

8. Bibliografía Consultada.

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana. Estudio del Plan Maestro Sobre el Manejo de las Cuencas Altas de la Presa de Sabana Yegua en la República Dominicana. Informe Intermedio. Santo Domingo. Tomo III. Julio, 1999.
- Cordero, V. Breve Diagnóstico de las Areas Geográficas más Expuestas a Fenómenos Naturales y sus Características. Informe Final. Santo Domingo, República Dominicana. Octubre, 2000. 42 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)-Act./ República Dominicana. Departamento de Estados de los Estados Unidos (USDA). Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS). Secretaría de Estado de Agricultura de la República Dominicana (SEA). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). Impactos del Huracán Georges 22-23 Septiembre 1998, Sobre el Agua y el Suelo en la República Dominicana. Santo Domingo. Abril, 1999. 27 p.
- Instituto Internacional de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC). The Integrated Land and Water Information System (ILWIS 2.1). Application Guide. Enschede, The Netherlands. 1997. 352 p.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de República Dominicana (INDRHI). Proyecto para Estudios de Mejoramiento de Infraestructura y Mitigación de Desastres en el Río Yaque del Sur. Informe de Consultoría. Santo Domingo, República Dominicana, Marzo, 2000. 104 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Instituto Internacional de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC). Universidad Tecnológica de Delft (The Netherlands). Universidad de Utrecht (The Netherlands). Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres en America Central (CEPREDENAC). Estudio Integral Preliminar de Amenazas Naturales en la Cuenca del Río Turrialba, Cantón Turrialba. República de Costa Rica Centro América. Julio, 2000.
- Palín, C. Plan de Acción para la Prevención y Mitigación de Desastres Naturales en el Ambito de la Cuenca del Río Yaque del Sur. Informes Preliminar. Fase Dos. Santo Domingo, República Dominicana. Diciembre, 2000. 25 p.
- Presidencia de la República Dominicana. Consejo Nacional de Asuntos Urbanos (CONAU). San Juan de La Maguana. Lineamientos de Políticas de Desarrollo Urbano. Primera Edición. CEUR / PUNCMM. Santiago de Los Caballeros, República Dominicana. Junio, 2000. 153 p.

- Secretariado Técnico de la Presidencia. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe(CEPAL). República Dominicana: Evaluación de los Daños Ocasionados por el Huracán Georges, 1998 (Sus Implicaciones para el Desarrollo del País). Editora Alfa y Omega. Primera Edición. Santo Domingo, República Dominicana. 1999. 110 p.
- Van Asch, Th. W. J. Static and Dynamic GIS Embeded Modelling of Landslide and Runoff Hazard in Catchments. Utrecht Centre for Enviroment and Landscape Dynamics. Utrecht University. The Netherlands. 2000. 28 p.