

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS

Volcán Maderas:

*Identificación de Áreas con Potenciales
Riesgos de Inundación y Deslizamiento
a Través de Geoprocesamiento con SIG*

Tesista:

Ing. Juan Antonio Gómez Navarrete

Directora de Tesis:

Mag. Ing. Viviana Zucarelli

Co-directora de Tesis:

MSc. Ing. Graciela Pusineri

Santa Fe, Agosto de 2009

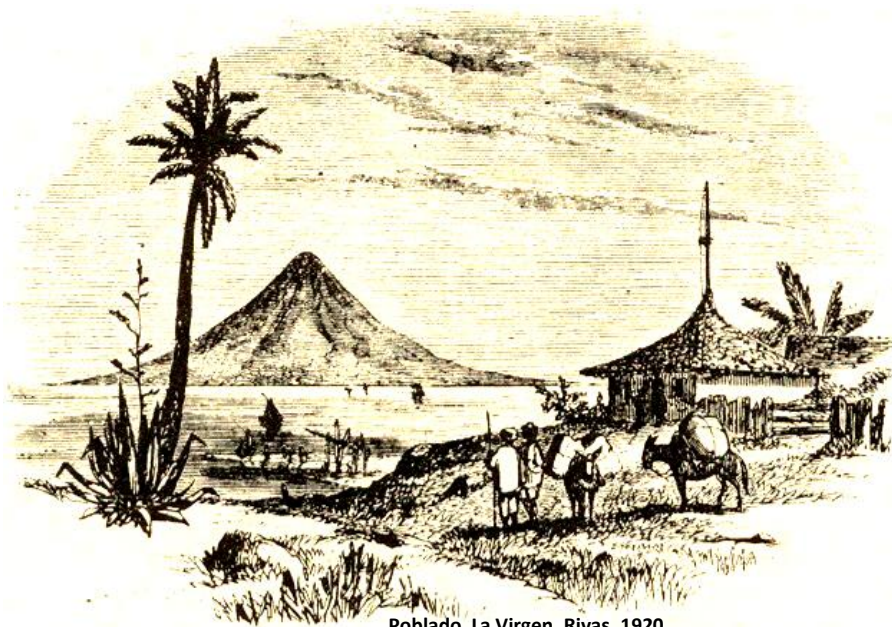
Universidad Nacional del Litoral

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas



FICH
LICH

Volcán Maderas: Identificación de Áreas con Potenciales Riesgos de Inundación y Deslizamiento a Través de Geoprocesamiento con SIG



Poblado La Virgen, Rivas, 1920

Ing. Juan Antonio Gómez-Navarrete.

**Tesis presentada como requisito para
optar al Título de Magister en Inge-
nería de los Recursos Hídricos.**

**Directora: Mag. Ing. Viviana Zucarelli.
Co-directora: MSc. Ing. Graciela Pusineri.**

Santa de Fe, Agosto de 2009.

*«El éxito se construye superando debilidades.
Cada historia de éxito es la historia de un valor,
de un compromiso con algo más elevado...la familia»*

Frederick Harmo

DEDICATORIA

A Papachú, que me ha dado el don de la vida, que me ha hecho tener fe y aprender de los dolores.

A mis padres, Yadhira y Juancho, quienes me han mostrado que vivir se trata de aprender, amar y dar.

A mis hermanos, Jhuyman y Jorge Dimas, mis primeros amigos y compañeros, mis cómplices.

A Vicky, mi inspiración, mi futuro.

AGRADECIMIENTOS

A Papachú, generoso dador de vida, que me ha iluminado y dado las oportunidades para llegar hasta acá.

A la Ing. Ivonne Guardián, por su aprecio y su constancia, por estar siempre cuando le precisé, a Doris Tijerino, por su importante colaboración..

Al Dr. Raúl Pedraza, por su paciencia y confianza desde el primer momento de mi admisión.

A mis tutoras, Mag. Viviana Zucarelli y Msc. Graciela Pusineri, por su apoyo incondicional e incalculable, por su tiempo y su esfuerzo.

A la Lic. Guadalupe Salgado, por las discusiones, y los momentos tensos en que el acuerdo no llegaba, pero sobre todo por su comprensión y cariño.

Al Dr. Miguel Oscar Prado, quien me fortaleció con sus palabras.

Al Dr. Norlan Tercero, por su espacio y su tiempo, por siempre motivarme.

A mis amigos de la Universidad, Julio García Arroyo, Leandro Fernández, Andrés Wehrle, Jhon Jairo Marquez, José Uriarte, Darío Pieck, Leopoldo, Estela Peirano, Daniela, por las noches de trabajo y las comidas prohibidas, por las gestiones que han hecho por mí.

A mis amigos gauchos de Santa Fé, Bruno Dominicone, Luciana Alignani, Josefina Villaroel, Maximiliano Kilgelman, Gabriel Esposito, Diego Santoja.

A mis nuevos familiares argentinos, a doña Marisa Donet, don Raul Acosta y doña Liliana Cottone, don Jorge Dominicone y Olguita, Eduardo Gutiérrez y doña Silvia, Jamishell y Alex.

A mis amigos en Nicaragua, Bayardo Olivas, Félix Rodríguez, Ángel Acuña, Alex Castellón.

A mis compañeros de la maestría, por las buenas palabras.

CONTENIDO GENERAL

1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS DE LA TESIS	4
2.1-	Objetivo General	4
2.2-	Objetivos Específicos.....	4
3.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	5
3.1-	Referencia Histórica	6
3.2	La Problemática Existente	7
4.	ESTADO DEL ARTE EN EL TEMA	10
4.1	Desastre	10
4.2	Inundaciones.....	12
4.2.1	Control de Inundaciones.....	13
4.3	Deslizamientos	15
4.4	Roturas de Presas	17
4.4.1	Peligros por la rotura de presas y Clasificación.....	19
4.5	Sensoramiento Remoto y SIG	21
4.6	Identificación de Riesgos mediante SIG.....	22
4.6.1	Estructura de un SIG en el proceso de Identificación de Riesgos	23
4.6.1	Errores en el procesamiento de riesgos con SIG	25
4.7	Construcción de Mapas de Inundación.....	26
4.7.1	Gestión de Inundaciones en un SIG	27
4.7.2	Gestión de deslizamientos en un SIG.....	28
4.8	Modelación Hidrológica a partir del MDT	28
5.	RECURSOS Y METODOS APLICADOS	32
5.1-	Caracterización de la Zona de Estudio.....	32
5.1.1	Localización, Tamaño e Historia	32
5.1.2	Uso del Suelo y Población.....	33
5.1.3	Geomorfología	35
5.1.4	Condiciones Geológicas	36
5.1.5	Condiciones Edafológicas	36
5.1.6	Condiciones Climáticas	36
5.1.7	Recursos Hídricos	37
5.1.8	Aspectos Socioeconómicos y su Relación con los Recursos naturales.....	42
5.2	Recolección de Datos	42
5.2.1	Datos Geoespaciales.....	42

5.2.2 Puntos de Control.....	44
5.2.3 Información Hidrológica, Hidráulica y Geológica.	44
5.2.4 Datos de Suelos.....	47
5.2 Metodología	48
5.2.1 La relación entre La condición de la laguna y el Modelo de rotura de presas	49
5.2.2 Información Básica	50
5.2.3 Secuencia Metodológica.....	51
5.2.4 Programas Computacionales (Software).....	52
5.3 Desarrollo Metodológico.....	54
5.3.1 Elaboración del Modelo Digital de Terreno (MDT).....	54
5.3.2 Diseño de la Lluvia de Proyecto	58
5.3.3 Desarrollo del Modelo Hidrológico	73
5.3.4 Desarrollo del Modelo de Estabilidad de Laderas	80
5.3.5 Desarrollo del Modelo Hidráulico	84
5.3.6 Elaboración de Mapas Temáticos	96
6. RESULTADOS OBTENIDOS	98
6.1 Mapa de inundación dado una tormenta histórica.....	98
6.2 Mapa de inundación para TR=100 años	99
6.3 Mapa de inundación dada la Precipitación Máxima Probable.	100
6.4 Mapa de inestabilidad de Laderas	101
6.5 Amenazas para los escenarios: evento PMP e Inestabilidad de Laderas.....	102
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	104
7.1 Conclusiones	104
7.2 Recomendaciones.....	108
8. ANEXOS	109
9. GLOSARIO Y SIMBOLOS	122
9.1 Glosario	122
9.2 Símbolos utilizados	126
10. BIBLIOGRAFÍA	128

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Desastres Naturales ocurridos en el mundo y sus respectivos perjuicios. <i>Adaptado de Ayala-Alcántara.</i>	5
Ilustración 3-2: Ubicación del poblado del Corozal, afectado por un Lahar el día 27 Septiembre de 1996. <i>Adaptado del Informe de Meteorológico del INETER.</i>	6
Ilustración 3-3: Trayectorias de los ciclones que han pasado sobre territorio nicaragüense donde se evidencia su desplazamiento la tendencia hacia la línea del Ecuador. <i>Tomado del documento “Lluvias del Siglo del INETER”</i>	8
Ilustración 4-1: Esquema típico de una inundación. <i>Tomado de Tucci.</i>	12
Ilustración 4-2: Diferencia entre inundación gradual y brusca. <i>Tomado de Tucci.</i>	13
Ilustración 4-3: Clasificación de movimientos de Masa. <i>Adaptado de Carson y Kirkby.</i> ...	15
Ilustración 4-4: Tipos de Movimientos de masa. <i>Modificado de Highland.</i>	16
Ilustración 4-5: Presa Minamiaiki, Japón. <i>Cortesía Tokio Electric Power Company.</i>	18
Ilustración 4-6: Vista de la Presa Teton en estado funcional. <i>Tomado de USCE.</i>	18
Ilustración 4-7: Colapso de la Presa Teton, Junio 5 de 1976. <i>Tomado de USCE.</i>	19
Ilustración 4-8: Presa Teton luego del colapso. <i>Tomado de USCE.</i>	19
Ilustración 4-9: Sistema de datos de representación de un SIG. <i>Tomado del sitio web de ESRI.</i>	24
Ilustración 4-10: Esquema de Operaciones de análisis espacial para obtener la red de drenaje. <i>Tomado de Silva e Neto.</i>	29
Ilustración 4-11: Esquema de codificación de las mallas según la dirección del flujo. <i>Tomado de Silva e Neto.</i>	30
Ilustración 5-1: Ubicación geográfica de la Isla de Ometepe y zona de Influencia del volcán Maderas en Centroamérica. <i>Adaptado de maps.google.com</i>	32
Ilustración 5-2: Poblados y asentamientos humanos más importantes en la zona del Volcán Maderas. <i>Adaptado del INIDE.</i>	34
Ilustración 5-3: Mapa de Precipitaciones Madius Anuales en la República de Nicaragua. <i>Tomado de INETER.</i>	37
Ilustración 5-4: Aspecto de la Laguna Maderas, ubicada en el cráter del volcán del mismo nombre. <i>Tomado de Vianica.</i>	38

Ilustración 5-5: Localización de zona con posible dinámica de percolación en una de las laderas del cráter/laguna. <i>Adaptado de testimonios de lugareños, Gómez</i>	39
Ilustración 5-6: Aspecto de canal de avenida en la zona noroeste del Volcán Maderas, entre las cotas 38 y 200 m. Es posible apreciar un lecho pedregoso. <i>Cortesía de T. Salgado de Gómez.</i>	40
Ilustración 5-7: Aspecto de canal de avenida en la zona noreste. Entre las cotas 100 y 250 m. <i>Tomado de vianica.</i>	41
Ilustración 5-8: Salto San Ramón en el sector sur del Volcán Maderas. Sitio donde el flujo es acelerado dada la energía potencial aprovechable. <i>Tomado de UNAN-CIRA.</i>	41
Ilustración 5-9: Imagen SRTM, con resolución de 90 m de la zona del lago de Nicaragua. <i>Tomado de NESDIS.</i>	43
Ilustración 5-10: Esquema de la clasificación de presas. <i>Tomado de NWS.</i>	49
Ilustración 5-11: Imagen 1 Representación de la laguna en el cráter del Volcán Maderas, Imagen 2 representación de una presa tradicional. <i>Tomado de Custodio.</i>	50
Ilustración 5-12: Imagen SRTM delimitada a la Isla de Ometepe. <i>Adaptado de INETER.</i>	54
Ilustración 5-13: Construcción del archivo Shape desde Google Earth, aplicando la técnica de exportación de polígonos. <i>Tomado de Google Earth.</i>	56
Ilustración 5-14: Zona de influencia del Volcán Maderas con las curvas de nivel procesadas desde la imagen SRTM. <i>Gómez.</i>	57
Ilustración 5-15: Imagen del Volcán Maderas modelado en ArcScene, donde es posible visualizar el perfil irregular del mismo. <i>Gómez.</i>	58
Ilustración 5-16: Km en función de la duración de la lluvia y de su valor medio anual. <i>Tomado de D.M. Hershfiel.</i>	61
Ilustración 5-17: Ajuste de la lluvia media anual (X_n) por lluvia máxima observada. <i>D.M. Hershfield.</i>	62
Ilustración 5-18: Ajuste de la desviación típica S_n , de la serie anual de lluvias máximas. <i>D.M. Hershfield.</i>	63
Ilustración 5-19: Ajuste a la media y desviación típica de la serie anual de lluvias máximas. <i>D.M. Hershfield.</i>	64
Ilustración 5-20 : Ajuste por intervalo fijo de observación. <i>L.L. Weiss.</i>	65
Ilustración 5-21: Duración en el tiempo de la Precipitación Máxima Probable (PMP). <i>Tomado de D.F. Campos Aranda</i>	66

Ilustración 5-22: Curvas Área – Reducción para la precipitación Máxima Probable. <i>Tomado de D.F. Campos Aranda.</i>	67
Ilustración 5-23: Hietograma de la Lluvia de Máxima Probable para 2 horas de duración. <i>Gómez</i>	68
Ilustración 5-24: Captura de pantalla del programa Hidrosta. <i>Gómez.</i>	70
Ilustración 5-25: Hietograma de precipitación para un tiempo de Recurrencia de 100 años. <i>Gómez.</i>	71
Ilustración 5-26: Hietograma de precipitación del evento histórico, Huracán Mitch. <i>Adaptado de INETER.</i>	72
Ilustración 5-27: Microcuenca del la Laguna Maderas, en el cráter del volcán del mismo nombre. <i>Gómez.</i>	75
Ilustración 5-28: Captura de pantalla del esquema de la cuenca de la laguna Maderas en HEC-HMS. <i>Gómez.</i>	76
Ilustración 5-29: Relación Elevación –Área para la laguna Maderas. <i>Gómez.</i>	77
Ilustración 5-30: Hidrograma de salida de la cuenca de la laguna Maderas para la PMP. <i>Gómez.</i>	79
Ilustración 5-31: Hidrograma de salida de la cuenca de la laguna Maderas para la precipitación de 100 años de recurrencia. <i>Gómez.</i>	79
Ilustración 5-32: Hidrograma de salida de la cuenca de la laguna Maderas para la precipitación histórica (Huracán Mitch). <i>Gómez.</i>	80
Ilustración 5-33: Captura de pantalla del área del cráter con mayores índices inestabilidad de laderas y su rango de afectación. <i>Gómez.</i>	83
Ilustración 5-34: Captura de Pantalla del procesamiento de la relación q/T con el modelo SHALSTAB. <i>Gómez.</i>	84
Ilustración 5-35: Uso potencial del suelo en la zona de estudio. <i>Adaptado INAFOR.</i>	87
Ilustración 5-37: Captura de pantalla del proceso de parametrización de la simulación en HEC-HMS. <i>Gómez.</i>	89
Ilustración 5-36: Digitalización de bancos, líneas de flujo y áreas de potencial inundación con HEC-GeoRAS. <i>Gómez.</i>	89
Ilustración 5-38: Ajuste de las secciones transversales. Progresiva 865.3 m. <i>Gómez.</i>	90
Ilustración 5-39: Imagen de las laderas del Volcán Maderas, por donde se traza la potencial línea de flujo entre los límites de estudio geográfico establecido. Cortesía <i>T. Salgado de Gómez.</i>	91

Ilustración 5-40: Imagen de uno de los riachos que bajan desde las cumbres del Volcán. <i>Tomado de Vianica.</i>	91
Ilustración 5-41: Aspecto de la zona próxima a la progresiva 5030 por donde la traza de la línea de flujo que se genera en la Laguna Maderas pasa. <i>Cortesía de MARENA.</i>	92
Ilustración 5-42: Captura de Pantalla con la parametrización de la presa de tierra en el HEC-RAS. <i>Gómez.</i>	93
Ilustración 5-43: Resultados de la simulación para la precipitación de 100 años TR en HEC-RAS. <i>Gómez.</i>	93
Ilustración 5-44 : Perfil transversal de la sección 2047 con las velocidades para la precipitación TR 100 años. <i>Gómez.</i>	94
Ilustración 5-45: Velocidades del flujo en el canal y en los dos márgenes del valle de inundación para la . <i>Gómez.</i>	94
Ilustración 5-46: Relación área inundada y longitud de trazo de la línea de flujo. <i>Gómez.</i>	94
Ilustración 5-47: Perfil longitudinal de la línea de flujo en el volcán Maderas por donde se traza la línea de flujo. <i>Gómez.</i>	95
Ilustración 5-48: Captura de pantalla del aspecto de la área inundada del Volcán Maderas en el postproceso. <i>Gómez.</i>	96
Ilustración 6-1: Mapa de Áreas inundadas, profundidad y velocidad de inundación para el evento histórico. <i>Gómez.</i>	98
Ilustración 6-2: Mapa de Áreas inundadas, profundidad y velocidad de inundación para el evento TR 100 años. <i>Gómez.</i>	99
Ilustración 6-3: Mapa de Áreas inundadas, profundidad y velocidad de inundación para el evento PMP. <i>Gómez.</i>	100
Ilustración 6-4: Representación 3D del Área Inundada en para el evento PMP. <i>Gómez.</i>	100
Ilustración 6-5: Representación 3D de la Velocidad en el Área Inundada en para el evento PMP. <i>Gómez</i>	101
Ilustración 6-6: Mapa de Estabilidad del Laderas para el Volcán Maderas. <i>Gómez.</i>	101
Ilustración 6-7: Representación 3D de zonas con potencialidades de deslave. <i>Gómez.</i>	102
Ilustración 6-8: Amenazas Conjuntas para los escenarios extremos, <i>Gómez.</i>	102
Ilustración 6-9: Localización de casas y haciendas próximas al área de afectación. <i>Gómez</i>	103
Ilustración 6-10: Perspectiva 3D de la zona de la costa con las afectaciones a casas para el evento PMP. <i>Gómez.</i>	103

Ilustración 7-1: Establecimientos habitaciones afectados por la Inundación. <i>Gómez</i>	106
Ilustración 7-2: Áreas de afectación para un escenario de afectación simultáneo. <i>Gómez</i>	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Relaciones propuestas para la definición de los parámetros de rotura para una presa de tierra. <i>Tomado de Harrington, Hazard Classifications & Danger Reach Studies for Dams.</i>	20
Tabla 4-2: Principales factores asociados a la sectorización de la susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones. <i>Adaptado de Carrara.</i>	26
Tabla 5-1: Distribución del uso del suelo en la zona del Volcán Maderas. <i>Cortesía del MARENA.</i>	35
Tabla 5-2: Los Puntos de control seleccionados para control de la georreferenciación.	44
Tabla 5-3 : Datos de la Estación Meteorológica Rivas. <i>Datos proporcionados por INETER.</i>	44
Tabla 5-4 : serie de datos de lluvias para distintas duraciones de precipitación, estación Rivas. <i>Tomado de INETER.</i>	45
Tabla 5-5 : Datos de la Estación Limnimétrica Panaloya. <i>Datos proporcionados por INETER</i>	46
Tabla 5-6 : Datos de Niveles Máximos, Medios y Mínimos del Lago de Nicaragua, Estación Panaloya. <i>Datos proporcionados por el INETER.</i>	46
Tabla 5-7 : Datos Medios de Profundidad de Suelo, Angulo de Fricción y Densidad para el suelo del Volcán Maderas. <i>Tomado de apuntes de cátedra Dr. Silvio Gutiérrez.</i>	47
Tabla 5-8 : Programas computacionales utilizados en el desarrollo del estudio.	53
Tabla 5-9 : Lluvia Medias Anuales Máximas Diarias de 25 horas. <i>Dato proporcionado por INETER.</i>	59
Tabla 5-10: Hietograma de precipitación para la PMP. <i>Gómez</i>	67
Tabla 5-11: Precipitación Máxima de 5 minutos de la serie de registros de la estación Rivas. <i>Tomado de INISER</i>	69
Tabla 5-12 : Hietograma para la Precipitación de de 100 Años de Recurrencia. <i>Gómez.</i> ...	70
Tabla 5-13 : Hietograma para la Precipitación Histórica. <i>Gómez.</i>	71
Tabla 5-14 : Tabla de Relación Área-Volumen. <i>Gómez</i>	73

Tabla 5-15 : Parámetros de la cuenca del la Laguna Maderas. <i>Gómez</i>	78
Tabla 5-16 : Comparativo de Hidrogramas de salida en función de los distintos escenarios. <i>Gómez</i>	78
Tabla 5-17: Condiciones de inestabilidad en función de las características paramétricas del suelo <i>Gómez</i>	81
Tabla 5-18: Valores de «n» rugosidad para el canal y el valle de inundación. <i>Tomado de Ven T Chow</i>	87
Tabla 5-19: Parámetros utilizados para la simulación de la rotura.	92

VOLCAN MADERAS: IDENTIFICACION DE AREAS CON POTENCIALES RIESGOS DE INUNDACION Y DESLIZAMIENTO A TRAVES DE GEOPROCESAMIENTO CON SIG

El riesgo es la expectativa de que se produzcan pérdidas, sea en forma de vidas humanas, de bienes materiales o de capacidad productiva.

En Nicaragua, el Volcán Maderas (11.45°N, 85.52°W), un volcán compuesto, muy antiguo y en estado de avanzada erosión y derrumbe; con una altura de 1394 msnm, forma junto al Volcán Concepción la Isla de Ometepe de 276 km².

En el antiguo cráter del Volcán Maderas, se constituye una laguna del mismo nombre que almacena toda la precipitación caída en la zona durante el año. Los índices de pendientes del área van desde 75° a 23° a medida que desciende el cráter. Está ubicado en la zona de convergencia intertropical, lo que propicia el paso de huracanes y fenómenos atmosféricos devastadores, sumado a ello la elevada actividad sísmica de la zona.

Según el Censo Nacional de Población, en la zona de influencia del Volcán Maderas viven permanentemente 9684 personas, más un importante flujo turístico que supone una fuerte inversión en infraestructura turística, establecida y proyectada.

Las condiciones de amenaza y vulnerabilidad están presentes, por lo que se consideran dos componentes de riesgo hídrico respecto a la afectación de los asentamientos humanos e infraestructura: Lahares y Anegamientos. En ambas situaciones, el factor agua condiciona los efectos y alcances de las afectaciones en el territorio de estudio.

Mediante el uso de ArcGIS e imágenes STMR se elaboró un Modelo Digital de Terreno (MDT). Se estableció un escenario de semejanza estructural entre la laguna cratérica del Maderas y una presa tipo de tierra. Contando con este escenario, se realizó un análisis de precipitaciones y mediante los Módulos HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-GeoRAS, HEC-GeoHMS y SHALSTAB para ARCGIS, se parametrizó y se identificó el área potencial de rotura de la ladera que contiene la laguna, así como la trayectoria del drenaje, las áreas inundadas y las zonas propensas a deslaves. Esto llevó a la confección de mapas de Riesgos.

El objetivo de esta tesis fue desarrollar una metodología que bajo la plataforma SIG, permitiera establecer preliminarmente posibles sitios, donde bajo determinadas condiciones hídricas, se presenten áreas con inundaciones/anegamientos y deslizamientos. El desarrollo de esta metodología como herramienta accesible a partir de datos básicos y de rápido acceso, representa una alternativa para la pronta toma de decisiones.

Palabras Clave: SIG, Deslizamiento, Inundación, Volcán Maderas.

MADERAS VOLCANO: IDENTIFICATION OF POTENTIAL RISKY AREAS WHERE FLOODING AND LANDSLIDE CAN OCCUR, THROUGH GEOPROCESSING WITH GIS

Risk is the possibility that a loss can occur, either humans losses, material goods or production capacity.

The Maderas volcano (11.45°N, 85.52°W) is a composed volcano, very old and it is in a very advanced stage of erosion and landslides. It has a height of 1394 msnm. Together with the Concepcion Volcano composed the Ometepe Island that has an area of 276 km².

The old crater of the Maderas Volcano is composed by a lagoon. This lagoon stores the whole year rainfall of the area. The slope indexes of the area being studied range from 75° to 23° as the crater descends. The volcano is located in a vulnerable area where hurricanes and tropical storms can easy attack.

According to the 2005 National Census, the population around the area of influence of the Maderas Volcano is 9684 inhabitants, plus an important number of tourists that requires a high investment in infrastructure.

There are two main components considered of water risk that can affect human settlements and infrastructure of the area, Mudflow and Waterlogging. In both cases, water is what determine the scope of the effects of the area.

The Digital Model of the Terrain (MDT, Spanish acronym) will be made using ARCGIS and satellite images STMR. It was established a scenario of similar structure between the Maderas lagoon and a lake standard dam. Rainfall analysis together with HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS and SHALSTAB for ARCGIS will allow the identification of rainfalls that will cause the crater breakdown, and consequently, will cause flooding, landslides and waterloggins. It let us to the creation of Risk Maps.

The objective of the research is to develop a methodology, that under the GIS platform, allows to identify potential areas, under some specific water conditions, that shows high risk of flooding, landslides and waterloggins occurrence. Developing this methodology through basic data, as a easy access tool, is an alternative for quick decision making.

Key words: GIS, landslides, flooding, Maderas Volcano

1. INTRODUCCION

El riesgo es definido por el Documento sobre Reducción del Riesgo a Desastres del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 2004:98), como «el número de muertes y afectaciones a la propiedad resultantes de un evento peligroso en relación a la población y los bienes totales expuesta a tal evento».

La fórmula $R = V + P$ (riesgo = vulnerabilidad + peligro), así como diferentes versiones más sofisticadas de la misma, han sido usadas para medir riesgos y vulnerabilidades a desastres naturales. (PEDUZZI et al., 2001)(UNDP, 2004); (DILLEY M. et al., 2005); (CARDONA et al., 2005).

La vulnerabilidad a desastres naturales puede ser descrita como la capacidad de una persona, sociedad o grupo poblacional, de evitar el peligro relacionado a catástrofes naturales o la condición de ser forzado a vivir en tales condiciones de peligro (O'RIORDAN, 2002).

Nicaragua es un país que muestra expresiones de sucesos naturales con características destructoras, donde el peligro está vinculado a situaciones como desprendimientos de laderas, inundaciones, terremotos, entre otros. La existencia de estos fenómenos ha revelado, no solamente, las grandes vulnerabilidades a estas amenazas naturales, sino que también ha mostrado la fragilidad de las instituciones del país en el tratamiento de estos problemas.

En el lago de Nicaragua está localizado un territorio con riesgo, la isla de Ometepe, de origen volcánico, y con gran potencialidad sísmica, fenómeno que podría desatar avalanchas de rocas y lodos desde las saturadas laderas deforestadas y partes altas con grandes fallas geológicas del volcán.

La isla la conforman dos volcanes, el Concepción y el Maderas. Este último posee índices de pendientes que van desde 75° a 23° a medida que desciende el cráter, además está ubicada en la zona de convergencia intertropical, lo que propicia que el paso de huracanes, tormentas tropicales, vaguadas, y sistemas de baja presión, la afecten de manera directa o indirecta. Los datos de precipitación, si bien no son escasos, los costos por adquirirlos los vuelven inaccesibles. La precipitación media anual¹ es de 1484 mm contando con una serie de 39 años, misma con la que es posible determinar la Precipitación Máxima Probable (PMP).

El Volcán Maderas es un volcán compuesto, muy antiguo y en estado de avanzada erosión y derrumbe. Sobre sus boscosas laderas sobresalen grandes bloques de basalto (VAN WYK DE VRIES, 1993).

El edificio volcánico está cortado en su centro por una falla orientada de noroeste a sureste, claramente delineada entre Balgüe y la ensenada de San Pedro. El bloque oriental se ha desplazado ligeramente hacia el sureste resaltando la presencia de dos crestas en el perfil del volcán, una hacia el norte de 1127 msnm y la otra de 1395 msnm junto a la pequeña laguna.

La laguna que se encuentra a 1202 msnm de altura, situada en el cono del volcán, cuenta con una pequeña cuenca de aportación de 0.32 km² de área. La condición fisiográfica de la laguna, junto con los múltiples posibles escenarios proclives a la inestabilización de las laderas volcánicas del cráter, desde el desprendimiento por actividad sísmica hasta la elevación de la columna de agua sobre la ladera interna y la saturación del suelo, producto de lluvias extremas, suponen la posibilidad de realizar un análisis desde el tratamiento de una rotura de presa.

¹ Datos de la Estación Rivas, 1968-2007

El lahar es otro fenómeno relacionado con los procesos hidrológicos en que se encuentra el área de estudio.

Se consideran por tanto dos componentes de riesgo hídrico respecto a la afectación de los asentamientos humanos e infraestructura:

Lahares, revenimiento de laderas producto del acumulamiento de agua en el cráter, movimientos telúricos y/o el avance de la frontera agrícola.

Inundación de zona bajas, producto del desborde del cauce y la influencia del nivel del lago de Nicaragua.

La importancia del análisis de estos fenómenos se traduce en la preservación de las vidas humanas, de los bienes que sirven al hombre y en la mejoría de los procesos de gestión ambiental y del uso de la tierra.

El empleo de tecnologías satelitales de libre acceso ha permitido la obtención de datos espaciales y físicos. Mediante estas técnicas y con el uso de programas computacionales especializados es posible la determinación gráfica de los sitios de riesgo potencial a inundación y deslave.

Los datos necesarios para mapear las áreas de inundación y/o deslave son los datos físicos y geométricos de la cuenca, datos sobre precipitación y flujo. Estos datos pueden ser obtenidos de diversas formas, de acuerdo con la disponibilidad económica y de tiempo.

Se trata, por tanto, de establecer un método eficaz que garantice resultados fiables sin que se requiera de grandes gastos en materia de personal y medios para su desarrollo.

2. OBJETIVOS DE LA TESIS

2.1- Objetivo General

Desarrollar una metodología que bajo la plataforma SIG (Sistema de Información Geográfico), permita, mediante el uso de recursos tecnológicos de acceso libre y/o bajo costo, identificar áreas de zonas volcánicas donde mediante determinadas condiciones hídricas, se presenten áreas con inundaciones/anegamientos y deslizamientos.

2.2- Objetivos Específicos

- i. Elaborar el Modelo Digital de Terreno (MDT) del área del Volcán Maderas.
- ii. Identificar la zona del cráter a través de la cual sea potencial la salida de agua por rebasamiento.
- iii. Determinar la Precipitación Máxima Probable (PMP) de la serie de datos existentes para una duración promedio de eventos de la zona.
- iv. Determinar por medio de SIG los sitios bajo amenazas de inundaciones y deslizamientos.
- v. Elaborar una carta única que indique las áreas con riesgos de inundación, deslizamiento y afectación considerando la mayor elevación histórica de nivel del lago Cocibolca.

3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

VANACKER et al. (2003) han mostrado que en países en vías de desarrollo, el peligro debido a desastres naturales está aumentando, como se observa en la Ilustración 3-1, Nicaragua al ser un país con tal característica y por encontrarse en una zona del planeta donde los terremotos² y huracanes son frecuentes, se ve mucho más expuesta. A esto se debe sumar la repercusión que tiene sobre estos fenómenos el cambio climático.

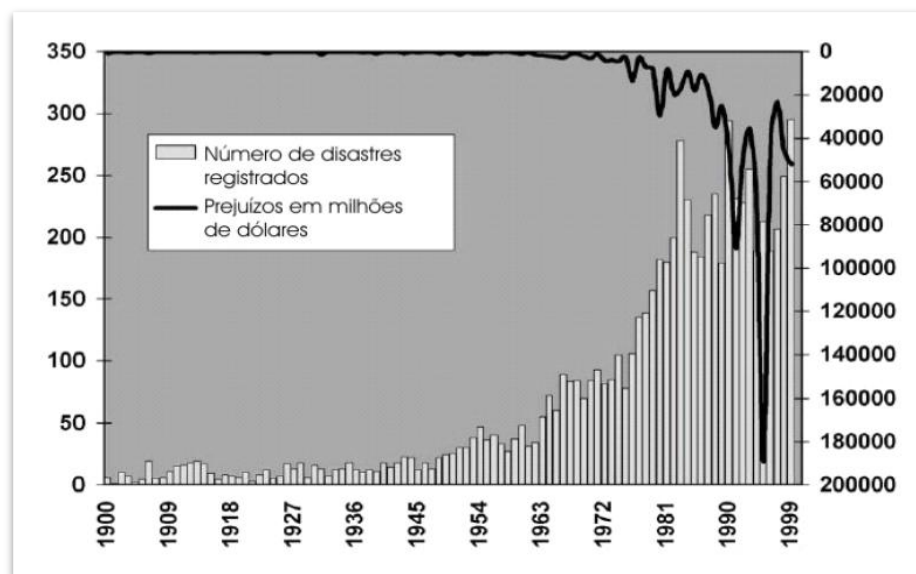


Ilustración 3-1: Desastres Naturales ocurridos en el mundo y sus respectivos perjuicios. Adaptado de Ayala-Alcántara.

Es así que, asumiendo la fragilidad de la realidad nicaragüense se hace la descripción del problema tomando en consideración la naturaleza misma de los eventos catastróficos, los que además de provocar la pérdida de vidas humanas, impactan grandemente desde el punto de vista ambiental y ecológico. De esta manera resulta más claro referirse a la problemática que motiva este trabajo.

² Terremotos generados por la colisión de las placas tectónicas Coco y Caribe

3.1- Referencia Histórica

La noche del 27 de septiembre de 1996, luego de haber precipitado 118.2 mm en 4 días³, ocurrió un Lahar (deslave) en la parte Noreste del Volcán que destruyó el poblado El Corozal, tal como se observa en la Ilustración 3-2.



Ilustración 3-2: Ubicación del poblado del Corozal, afectado por un Lahar el día 27 Septiembre de 1996. Adaptado del Informe de Meteorológico del INETER.

Cinco niños y un adulto fueron víctimas de este evento. Varias personas fueron heridas. La avalancha de rocas, lodo y agua destruyó 36 casas y dañaron los cultivos en una zona grande. Algunas áreas fueron cubiertas con casi dos m de lodo. En total, aproximadamente 250 personas fueron afectadas por el Lahar y evacuadas temporalmente en la escuela local.

³ Datos del Resumen Meteorológico Diario, Estación 69 068.

3.2 La Problemática Existente

El Volcán Maderas es un volcán compuesto, muy antiguo y en estado de avanzada erosión y derrumbe. Sobre sus boscosas laderas sobresalen grandes bloques de basalto (VAN WYK DE VRIES, 1993).

El edificio volcánico está cortado en su centro por una falla orientada de noroeste a sureste, claramente delineada entre Balgüe y la ensenada de San Pedro. El bloque oriental se ha desplazado ligeramente hacia el sureste resaltando la presencia de dos crestas en el perfil del volcán, una hacia el norte de 1127 msnm y la otra de 1394 msnm junto a la pequeña laguna.

La laguna en período seco tiene una profundidad de 5 m. Se ha observado, según afirmaciones de los lugareños que en época lluviosa o en presencia de algunos fenómenos atmosféricos tropicales, se genera una pequeña corriente por filtración desde las inmediaciones de la cota más baja de la boca del cráter, hasta las costas del lago.

La irregularidad de los recorridos de los fenómenos tropicales en los últimos 100 años demuestran que cada vez más esta zona está expuesta a la presencia de grandes precipitaciones.

La Ilustración 3-3 muestra la trayectoria ciclónica en el período de 1892 a 1996. Es posible apreciar la variación cada vez más al sur de las trayectorias.

Según datos del Censo Nacional de Población 2005 de la República de Nicaragua, en el área del Volcán Maderas están asentadas más de 3000 familias, quienes además de usar las altas pendientes del volcán para el cultivo de alimentos, contribuyen con la deforestación, acción directamente vinculada con los procesos erosivos.

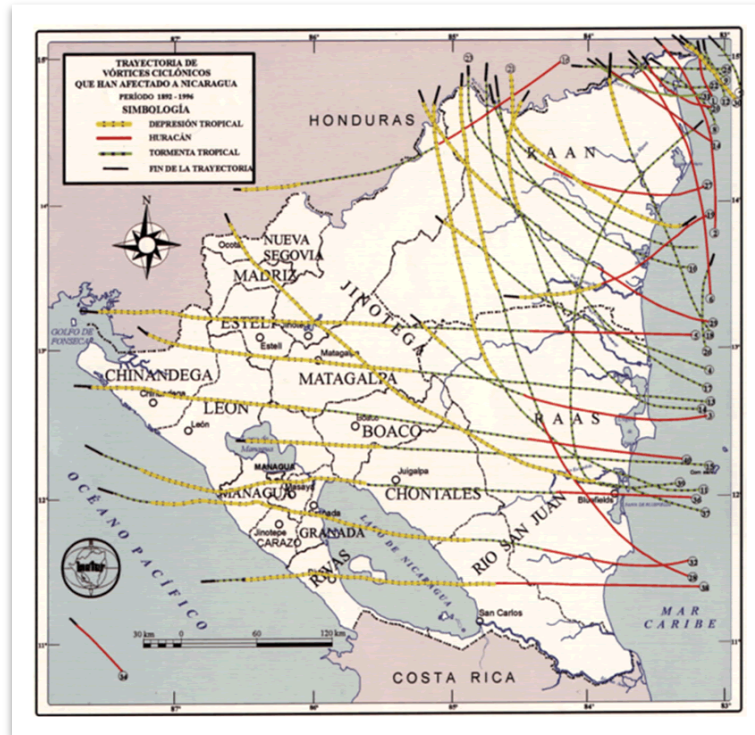


Ilustración 3-3: Trayectorias de los ciclones que han pasado sobre territorio nicaragüense donde se evidencia su desplazamiento la tendencia hacia la línea del Ecuador. Tomado del documento “Lluvias del Siglo del INETER”.

La condición extinta y demolida del volcán Maderas aleja la posibilidad de una re-activación ígnea en su interior. No obstante las múltiples fallas geológicas, la humedad permanente de la laguna y el estado avanzado de erosión en el cono son capaces de provocar derrumbes y deslaves.

Un derrumbe de la ladera cónica del cráter en su parte superior, supone la evacuación del volumen de agua acumulado en la laguna. Esto desencadenaría el transporte de esa masa de agua hacia las partes más bajas del área del Volcán Maderas a grandes velocidades en función de la pendiente, exponiendo al peligro a las familias ahí establecidas y perjudicando sus medios de vida, así como los planes gubernamentales de loteo.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el uso del SIG para el análisis de esta área se justifica al identificar 3 aspectos de sensible razonamiento:

- a.- el análisis espacial, dimensionado al área integral del estudio,

b.-en términos de costos y de tiempo, el acceso a información satelital representa claras ventajas, al considerar entre otras cosas el personal para el levantamiento topográfico y el tiempo que éste se tomaría para el procesamiento de los mismos,

c.-en tiempos de alto riesgo, la rápida toma de decisiones producto de un estudio con información rápidamente asequible, puede salvar miles de vidas.

4. ESTADO DEL ARTE EN EL TEMA

La evolución del análisis de riesgo de inundación y deslizamiento, pasa por el estudio de los puntos más relevantes y necesariamente incluye una revisión de los aspectos y/o conceptos vinculantes con los principios físicos y sociales en el área de estudio.

4.1 Desastre

Los desastres son definidos como el resultado de eventos adversos que causan grandes impactos en la sociedad, siendo distinguidos principalmente en función del origen, es decir, de la naturaleza del fenómeno que el mismo desencadena (TOBIN G. & MONTZB., 1997).

Cuando un desastre aún no ha ocurrido, pero existen condiciones proclives al mismo, se dice que el área está en riesgo, así, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en su informe sobre Reducción del Riesgo a Desastres (UNDP, 2004:98), lo define como «el número de muertes y afectaciones a la propiedad resultantes de un evento peligroso en relación a la población y los bienes totales expuesta a tal evento».

La fórmula $R = V + P$ (riesgo = vulnerabilidad + peligro), así como diferentes versiones más sofisticadas de la misma, han sido usadas para medir riesgos y vulnerabilidades a desastres naturales. (UNDP, 2004; PEDUZZI et al, 2001; DILLEY et al, 2005; CARDONA et al, 2005).

Para O'RIORDAN (2002) la vulnerabilidad a desastres naturales puede ser descrita como la capacidad de una persona, sociedad o grupo poblacional, de evitar el peligro relacionado a desastres naturales, o la condición de ser forzado a vivir en tales condiciones de peligro.

El peligro es, según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la ONU⁴, el/los eventos físicos, potencialmente perjudiciales, fenómenos y/o actividades humanas que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

Inundaciones y deslaves, son peligros que en un entorno tan vulnerable con el del Volcán Maderas, pueden generar un desastre de grandes dimensiones.

JIMENEZ N. (2005) estableció 4 etapas del desastre, haciendo referencia a que ninguna de las etapas es más importante que otra, porque cada una tiene su objeto y su significado. Tanto la mitigación, la preparación, la respuesta y la recuperación constituyen un círculo que se repite, tomando la experiencia de los sucesos y corrigiendo errores para el futuro. Las etapas son:

- i. Mitigación: Conjunto de acciones cuyo objeto es impedir o evitar que sucesos naturales o generados por la actividad humana causen desastre. Esta reducción se hace cuando no es posible eliminarlos.
- ii. Preparación: Medidas y acciones que reducen al mínimo la pérdida de vidas humanas y otros daños, organizando oportunamente y eficazmente las acciones de respuesta.
- iii. Respuesta: Conduce operaciones de emergencia para salvar las vidas y propiedades, atendiendo oportunamente a la población.
- iv. Recuperación: La recuperación es el esfuerzo de restaurar la infraestructura, la vida social y económica de una comunidad a la normalidad, reconstruye las comunidades a corto, mediano y largo plazo.

⁴ Organización de las Naciones Unidas

4.2 Inundaciones

Existe una relación directa entre una crecida y una inundación, de tal manera que es posible que exista una crecida pero no una inundación, pero sí se requiere de una crecida para que se realice una inundación. Una inundación es el aumento del nivel y del caudal de los ríos, ocurriendo el desbordamiento sobre la planicie de inundación, tal como es mostrado en la Ilustración 4-1. En Nicaragua, el CINAPRED⁵ ha realizado una clasificación en función a la magnitud (excepcionales, de gran magnitud, normales y de pequeña magnitud) y en función del patrón evolutivo (inundaciones graduales, inundaciones bruscas).

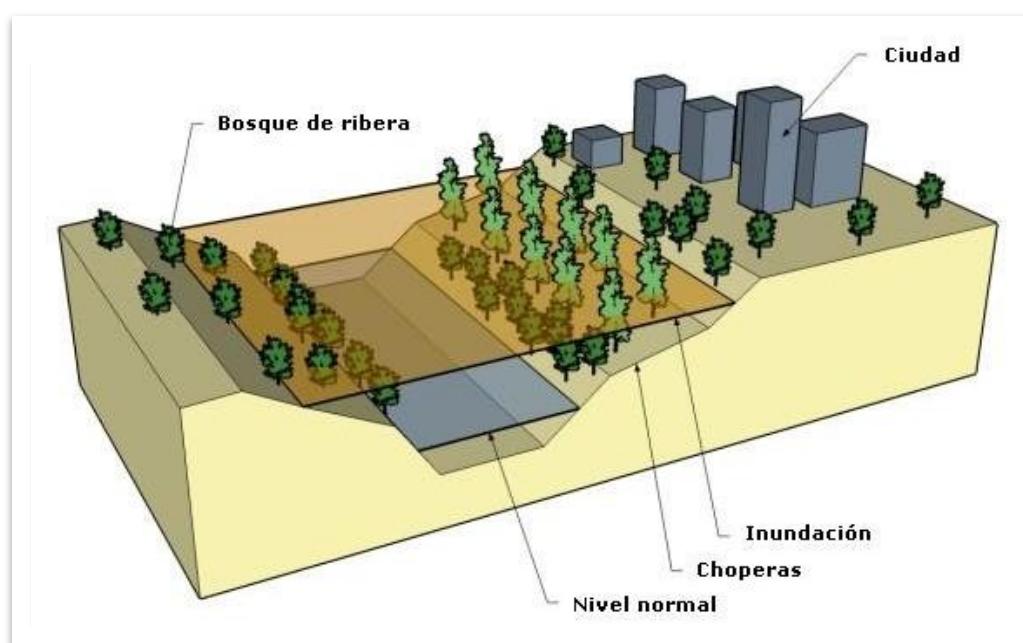


Ilustración 4-1: Esquema típico de una inundación. Tomado de Tucci.

En la práctica el análisis se hace en función del patrón evolutivo, de tal manera que las inundaciones graduales ocurren cuando el agua se eleva de forma lenta y previsible, manteniéndose en situación de crecida durante algún tiempo, para a continuación volver a su estado habitual lentamente.

⁵ Consejo Nacional para la Prevención de Desastres

La inundación brusca ocurre debido a lluvias intensas y concentradas, principalmente en regiones de relieve accidentado. La elevación de los caudales es súbita y su drenaje es violento. Esta ocurre en un tiempo próximo al evento de la lluvia que la causa. La elevación de las aguas ocurre repentinamente, causando más muertos, a pesar de que el área de impacto puede ser menor que la de las inundaciones graduales. La Ilustración 4-2 muestra las curvas de comportamiento para ambos eventos.

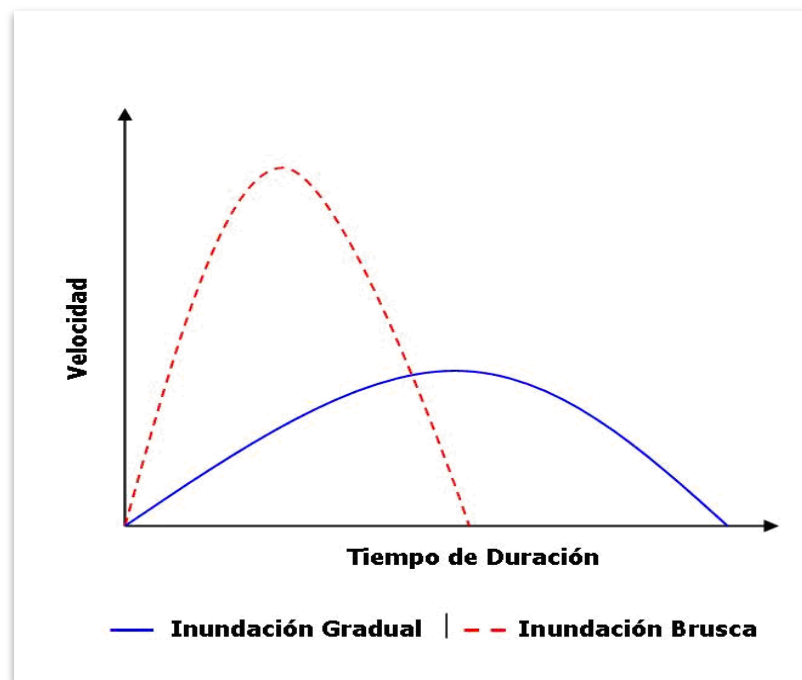


Ilustración 4-2: Diferencia entre inundación gradual y brusca. Tomado de Tucci.

4.2.1 Control de Inundaciones

TUCCI (1995) estableció los principios para el control de inundaciones, las cuales son:

- Considerar la cuenca como un sistema
- Analizar las medidas de control en el conjunto de la cuenca (estructural y no estructural), lo que considera:
 - i. El horizonte de expansión

- ii. El criterio fundamental de no ampliar la crecida natural
- iii. El control permanente
- iv. La educación
- v. El control del mantenimiento
- vi. Las normas

De igual manera TUCCI (1995) definió la manera en que estas medidas de control pueden ser implementadas:

- i. Por infiltración y percolación
- ii. Por almacenamiento
- iii. Por el aumento de la superficie eficiente de flujo
- iv. Diques y estaciones de bombeo

El riesgo de padecer daños se analiza tomando medidas estructurales y no estructurales:

- i. Medidas Estructurales

Las medidas estructurales son obras de ingeniería que modifican el sistema fluvial, estas pueden ser extensivas e intensivas.

- ii. Medidas No Estructurales

Son acciones encaminadas en la gestión de riego mediante la implementación de normas y reglamentos. Es propia de procesos en los cuales se precise definir la convivencia

de la población con las inundaciones. Pueden ser agrupadas en: regulación del uso de la tierra, construcciones a prueba de inundaciones, previsión y alerta de inundación.

4.3 Deslizamientos

Son movimientos colectivos de masa o material sólido en el sentido de la pendiente, como suelos, rocas y vegetación, bajo influencia directa de la fuerza de gravedad (SELBY M.J, 1993).

Estos movimientos pueden ocurrir principalmente con elevados volúmenes de precipitación y/o terremotos. Tanto las lluvias intensas de corta duración, así como las de larga duración desarrollan las condiciones propicias para la disminución de la resistencia del suelo actuando como uno de los dos principales agentes detonadores de deslaves de laderas en ambientes tropicales húmedos (GUIDICINI & O.Y., 1976). CARSON M.A & KIRKBY M.J., (1972), establecieron una clasificación para los movimientos de masas definidas en función a la cinemática del movimiento, al tipo de material, a la geometría y al contenido de agua, esta clasificación esta se muestra en la Ilustración 4-3.

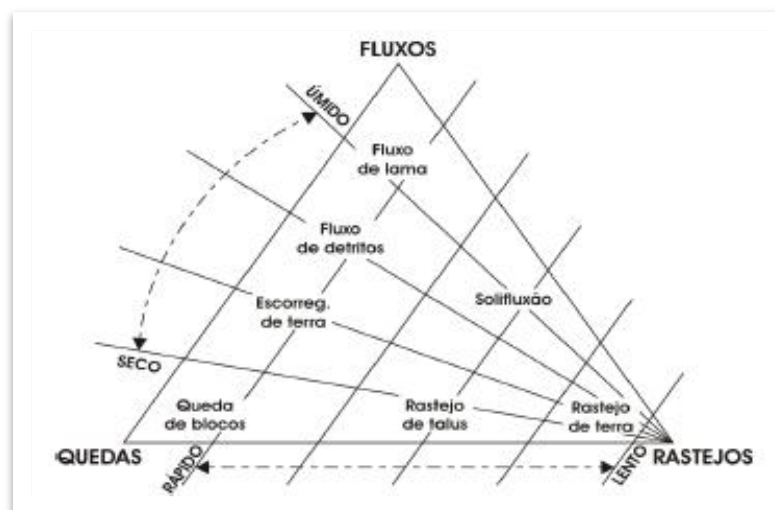


Ilustración 4-3: Clasificación de movimientos de Masa. Adaptado de Carson y Kirkby.

HUNT, (2007) afirmó que las condiciones geológicas, hidrológicas y los factores topográficos, climáticos entre otros, afectan la estabilidad de la ladera pudiendo dar inicio a una remoción de material.

HIGHLAND L., (2004) ilustró los principales tipos de movimiento de masa, mostrado en la Ilustración 4-4.

Las características de los tipos de movimiento están relacionadas directamente con la metodología de clasificación usada.

La realización de análisis previendo deslizamientos futuros tiene que estar fundamentado con información e investigación a fin de definir el modelo fenomenológico (FERNANDES & AMARAL, 1996).

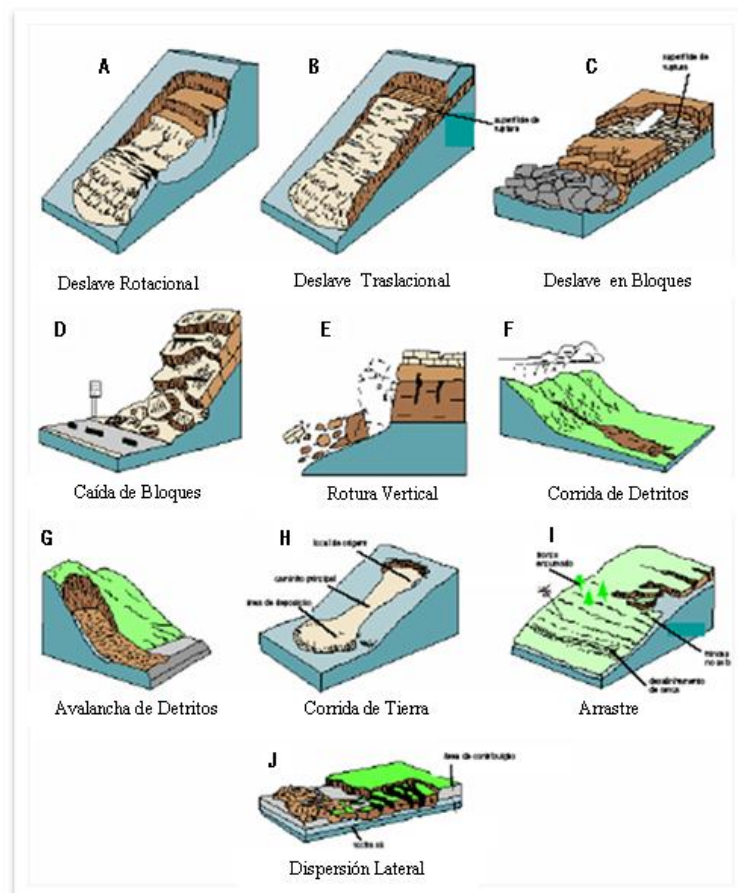


Ilustración 4-4: Tipos de Movimientos de masa. *Modificado de Highland.*

Existen muchas metodologías para investigar estos fenómenos, sin embargo se destacan (ZAPATA MARTÍ, 2006):

- i. Recolección de datos geológicos y geomorfológicos a través de imágenes de satélite y radar
- ii. Procesamiento y tratamiento de datos utilizando Sistemas de Información Geográfica
- iii. Investigaciones de campo a través de métodos directos o indirectos
- iv. Recolección de datos topográficos y geomorfológicos a través de la interpretación de imágenes aéreas

4.4 Roturas de Presas

Una presa es una estructura diseñada para almacenar agua, con fines de regulación, de abastecimiento y/o de generación hidroeléctrica. Cuando esta estructura presenta problemas de estabilidad el riesgo de rotura es inminente.

El BUREU OF RECLAMATION (1988) de los Estados Unidos, define el peligro por rotura de presas como la potencial pérdida de vidas o daños a la propiedad, aguas abajo de una presa, debido a inundaciones producto de la liberación de agua por falla de la estructura.

Una presa puede estar construida con material selecto de hormigón o tierra. La Ilustración 4-5 muestra una presa de montaña construida con material selecto de hormigón. Las Ilustraciones 4-6, 4-7 y 4-8 muestra el la secuencia de la rotura del sector de la presa Teton construido a base de tierra.



Ilustración 4-5: Presa Minamiaiki, Japón. *Cortesía Tokio Electric Power Company.*



Ilustración 4-6: Vista de la Presa Teton en estado funcional. *Tomado de USCE.*



Ilustración 4-7: Colapso de la Presa Teton, Junio 5 de 1976. Tomado de USCE.



Ilustración 4-8: Presa Teton luego del colapso. Tomado de USCE.

4.4.1 Peligros por la rotura de presas y Clasificación

Existe una clasificación sobre los peligros por inundación de las roturas de presas (HARRINGTON B.W, 2003):

Peligro Bajo: Poco probable pérdidas de vidas, poco incremento del nivel habitual del flujo.

Peligro medio: Posible pérdidas de vidas, posible incremento de flujos que ponen en riesgo la circulación en carreteras y afectan no más de 2 casas o 6 vidas son expuestas al peligro.

Peligro alto: Probable pérdida de vidas, gran incremento del nivel del flujo y afectaciones en casas, edificios, calles y carreteras estatales, con más de 6 vidas expuestas al peligro.

La rotura de presa es un fenómeno catastrófico, que requiere de un estudio minucioso. A fin de hacer posible una representación físico-matemático del fenómeno, y con la intención de evaluar el rendimiento de las misma, se ha establecido que 3 parámetros funcionales para describir una rotura: ancho de la rotura, pendiente lateral de la rotura, tiempo de fallo en que se genera la rotura. En la Tabla 4-1 se muestran las relaciones entre la altura de la presa y los parámetros antes mencionados.

Tabla 4-1 Relaciones propuestas para la definición de los parámetros de rotura para una presa de tierra. Tomado de Harrington, Hazard Classifications & Danger Reach Studies for Dams.

ORIGEN	Ancho Promedio de la Rotura (pies)	Pendientes laterales de la Rotura. (1V:ZH)	Tiempo desarrollo de la Rotura(horas)
NWS (1988)	1H a 5H	Z= 0 a 1	0.1 a 2
COE (1980)	0.5 a 4H	Z= 0 a 1	0.5 a 4
FERC (1991)	1H a 5H	Z= 0 a 1	0.1 a 1
USBR (1982)	3H	N/A	0.00333b
Boss Dam Breack (1988)	0.5H a 4H	Z= 0 a 1	0.5 a 4
Harrington (1999)	1H a 8H	Z= 0 a 1	H/120 a H/180

4.5 Sensoramiento Remoto y SIG

El reciente desarrollo de satélites que poseen «sistemas de sensores de observación de la tierra» dispuso una gran cantidad de imágenes sobre la superficie terrestre, datos que poseen un gran potencial de ayuda al hombre para decidir sobre algunos problemas, tal como: controlar y monitorear los niveles de contaminación ambiental, planear el crecimiento ordenado de las ciudades, evaluar el impacto de los cambios ambientales, etc.

El sensoramiento remoto, constituye un proceso que provee formas de entrada de datos en SIG. Es una ciencia que toma la información sobre objetos, a partir de medidas realizadas a una cierta distancia del mismo, es decir; sin entrar en contacto con el mismo. Si bien el sensoramiento remoto no es una nueva tecnología ya que fotografías aéreas vienen siendo utilizadas extensivamente para este propósito, durante los últimos años, la tecnología ha evolucionado utilizando sensores cada vez más sofisticados para el sensoramiento remoto.

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato (PEÑA LLOPIS, 2006).

RICHARDS J.A & XIUPING J., (2006) describen que la cantidad de información para ser manejada en una base de datos que contenga recursos del espacio como las imágenes de satélites son muy grandes, principalmente si los datos cubren una gran región geográfica. El objeto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es almacenar, manipular, retener, analizar y mostrar información georeferenciada.

ROCHA, LOMBARDI NETO y BACELLAR (1995) en sus estudios utilizaron el SIG y a Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo como uno de los parámetros para carac-

terizar, fisiográficamente, una microcuenca hidrográfica, y realizaron un planeamiento agroambiental observando, principalmente, la mejoría cuantitativa y cualitativa del manejo de agua. Hoy hay una serie de software que permiten la manipulación de las informaciones geográficamente, cada cual ofreciendo recursos para trabajar mejor en el formato vectorial o matricial, entre ellos, se destacan el ArcView, ArcInfo, Ermaper, Idrisi, Geomedia Professional, Spring, AutoCad Map, etc.

4.6 Identificación de Riesgos mediante SIG

Para CULLIGAN, EINSTEIN, & ANDREW J., (2003) la evaluación del riesgo mediante SIG permite contar con una visión de conjunto y multivariedad del riesgo, establecer relaciones espaciales y vincular distintos tipos de información, acceder a información digital que permita la consulta directa y realizar actualizaciones que correspondan al dinamismo del problema.

Un SIG en que se evalúen riesgos tiene que prevalecer la idea de que se trata de una herramienta informativa dinámica que permite estar al tanto de los factores de riesgo y los posibles y comprobados perjuicios.

Al usar un SIG para una situación en la que se trata de conocer los riesgos de una determinada zona geográfica, se esta, por tanto, con la tarea de construir un mapa de riesgo, el cual engloba cualquier instrumento informativo que mediante informaciones descriptivas e indicadores adecuados, permita el análisis periódico de riesgos (GARCIA, M., 2000). Se trata entonces, de realizar mediante estos mapas de riesgos una lectura crítica de las informaciones sintéticas que se originan, debiéndose a partir de esta información, el permitir la programación de planes de intervención preventiva y la verificación de su eficacia.

El manejo gráfico de datos estadísticos, hace de los SIG una herramienta poderosa que permite la fácil comprensión.

El NATIONAL CENTER FOR GEOGRAFICAL INFORMATION ANALISYS (NCGIA) considera que un SIG es un sistema constituido por hardware, software y procedimientos establecidos para obtener, gestionar, manipular, analizar, y representar datos relativos a la superficie terrestre.

4.6.1 Estructura de un SIG en el Proceso de Identificación de Riesgos

El Sistema de Información Geográfico se puede componer por:

- i. Entrada de datos
- ii. Almacenamiento y tratamiento de la base de datos
- iii. Transformación de datos y análisis
- iv. Salida de datos

El modelo de capas superpuestas con lo que trabaja un SIG, está basado en un conjunto de operaciones matemáticas entre matrices.

El SIG puede contener varios modelos de datos de los objetos geográficos, vectoriales, raster, modelos numéricos de terrenos y bases de datos (ZEILER, 1999):

- i. Modelos Vectoriales: Representan los fenómenos geográficos por medio de puntos, líneas y polígonos. Los modelos vectoriales son usados particularmente para representar y almacenar características.
- ii. Modelos Raster: Representan las superficies por medio de mallas regulares o grandes de mallas. Los modelos raster son útiles para almacenar datos que son continuos a través de un área.

- iii. Modelo Numérico de Terreno: se define como un modelo matemático que reproduce una superficie real a partir de algoritmos y de un conjunto de puntos (x, y) en una referencia cualquiera, con atributos denotados por «z», que describen la variación continua de la superficie.
- iv. Bases de Datos: Corresponden a las tablas asociadas a las diferentes clases de características o a los modelos raster conteniendo información de los mismos, tales como localización, elevación, área, etc.

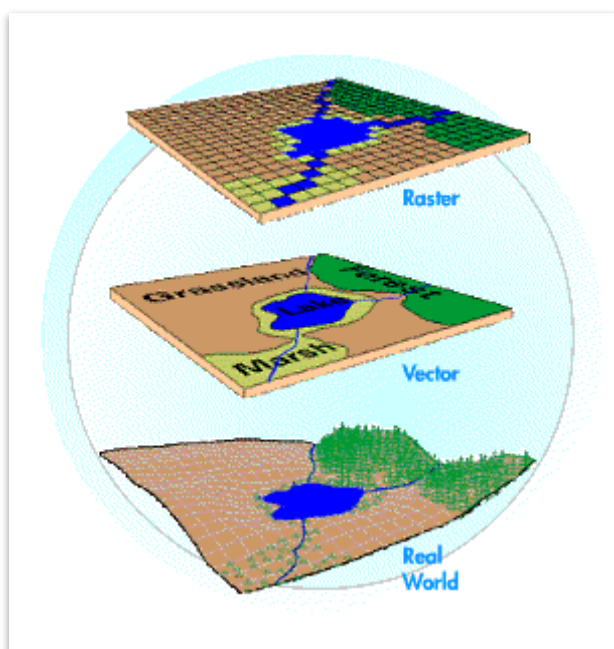


Ilustración 4-9: Sistema de datos de representación de un SIG.
Tomado del sitio web de ESRI.

El SIG provee de una forma de representación de la superficie terrestre: mediante mapas; siendo éstos una herramienta muy poderosa en el control y prevención de inundaciones y deslaves.

La estructura de un SIG aplicado a riesgo tiene además la necesidad de contar con datos hidrológicos, de sismicidad, de pendientes, de números de pobladores, de ocupación

de la tierra y de catástrofes históricas. Es por tanto mucho más sensible el trabajar con datos de riesgos pues se trata ante todo de garantizar la preservación de la vida.

4.6.1 Errores en el Procesamiento de Riesgos con SIG

SANTACANA N., (2001) ha clasificado los errores asociados al procesamiento de datos en un SIG en 3 grupos, para ello ha considerado la gran cantidad de información y operaciones por desarrollar para la generación de datos gráficos y tablas conclusivas, la clasificación es:

Errores en los datos colectados: son errores por interpolación de imágenes y fotografías, o por georeferenciación.

Errores por datos existentes con anterioridad: son errores de la base de datos, en los mapas, teniendo en cuenta que el modelo digital de terreno y los datos que se derivan de él son obtenidos del mapa topográfico, es lógico esperar que este último contenga un error.

Errores en el procesamiento de los datos: son errores por superposición de las capas de información del SIG, tomando riesgo de estar mal de no representar físicamente su verdadero significado.

En general los errores limitan la utilidad de los resultados, de ahí que es importante que mediante el análisis de los grados de peligrosidad de los factores se relacionen estos con los resultados de la simulación (FEMICA, F). En este sentido, la sensibilidad del modelo determina los niveles en que se ve afectado el resultado. La Tabla 4-2 muestra factores y los grados de peligrosidad asociados a la sectorización de la susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones, con ellos es posible formarse un criterio sobre la importancia de la recolección adecuada de los datos y el sentido de predominio de determinado factor para llevar a cabo la simulación según lo descrito por GÓMEZ RIVERA, S. N. (2003).

Tabla 4-2: Principales factores asociados a la sectorización de la susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones. Adaptado de Carrara.

FACTOR	GRADO PELIGRO
Pendiente	Bajo
Aspecto	Bajo
Forma de la pendiente	Bajo
Litología General	Bajo
Tectónica	Bajo
Aceleración Sísmica	Alto
Distribución de la lluvia	Medio
Geomorfología	Bajo
Distribución de los deslizamientos actuales	Medio
Topología de los deslizamientos	Medio
Distribución de los deslizamientos pasados	Alto
Distribución de los tipos de suelo	Bajo
Profundidad de Suelo	Alto
Condición del agua subterránea	Alto
Uso del Suelo	Baja

4.7 Construcción de Mapas de Inundación

En el año 1994 el Ministerio de Construcción de Japón orientó a las municipalidades a publicar mapas Para la Prevención de Desastres (SHIDARAWA, 1998), esto con el fin de minimizar los daños ocasionados a los pobladores, dichos mapas debían contener la siguiente información:

- i. Área y profundidad total inundable
- ii. Advertencias de zonas por deslaves
- iii. Albergues y teléfonos
- iv. Albergues para ancianos, discapacitados y niños

- v. Albergues temporales de emergencia
- vi. Capacidad de albergue y número de residentes por cada región
- vii. Teléfonos de emergencia de instituciones ligadas a la emergencia
- viii. Tipos de sonido de alarma
- ix. Lista de artículos a llevar en casa de emergencia
- x. Historia de principales amenazas en la zona
- xi. Fotografías, histogramas e hidrógrafías
- xii. Características de inundaciones

4.7.1 Gestión de Inundaciones en un SIG

TUCCI (2000), considera que para la construcción de mapas de inundación requiere del levantamiento de la siguiente información:

- i. Nivel del agua a un cero absoluto
- ii. Topografía local
- iii. Niveles de inundación
- iv. Secciones batimétricas a lo largo del cauce
- v. Registro de obstrucciones a lo largo de cauce

El mismo autor establece que hay dos maneras de clasificar los mapas de inundación:

- i. Mapas de Planeamiento: define las áreas inundadas en función a lluvias de diseño, para tiempos de retornos escogidos.

- ii. Mapas de Alerta: Establece puntos de control, de tal manera que sea posible un seguimiento sistemático del comportamiento de la crecida.

4.7.2 Gestión de Deslizamientos en un SIG

Para el análisis y evaluación de riesgos de deslizamiento en un SIG, existen 2 tipos de factores usados, el primero obtenidos de estudios de campo e interpretación de imágenes. (geología, geomorfología, tipo de suelo, uso de suelo y cobertura vegetal, climatología), el segundo factor responde a los derivados del MDT (Modelo Digital de Terreno) tales como elevación, pendiente, aspecto, la forma de la ladera.

4.8 Modelación Hidrológica a partir del MDT

Los elementos básicos de un análisis hidrológico son las líneas de flujo, las cuencas y las sub-cuencas hidrográficas. Así, su caracterización se vuelve indispensable para cualquier estudio de este ámbito. Esa caracterización puede ser realizada a partir del TIN (Triangular Irregular Network) del MDT, sabiendo que contiene información que permite determinar la red de drenaje superficial. Para obtener la red de drenaje superficial será necesario realizar un conjunto y operaciones de análisis espacial de acuerdo con la Figura 4-10.

EL primer paso de la creación de las líneas de flujo con recurso a los SIG consiste en depurar el MDT y así evitar que el modelo forme líneas o puntos sin flujos , esto es, eliminar las depresiones del MDT (Fill Sinks) con el aumento de la cota de los puntos que constituyen esas depresiones. Estas depresiones deben ser removidas del MDT para entonces después ser delineada la red de drenaje. Las depresiones pueden resultar de errores de los datos geográficos de entrada, de los métodos de interpolación o limitaciones de la resolución. La remoción de las depresiones provoca alteraciones en los datos geográficos del

MDT que pueden tener un efecto significativo en la modelación de los parámetros hidrológicos (GISSELQUIST & SRIVASTAVA, 2000).

Así, la corrección de la problemática de las depresiones es un aspecto fundamental para que sea posible utilizar el MDT como fuente de información para la modelación hidrológica.

Luego es necesario calcular la dirección del fluido para todas las celdas de la matriz con base en el MDT. La dirección del flujo fue fundamentada en el principio básico y evidente de que el agua, en su trayecto, se mueve para el menor potencial posible, es decir, es identificada la célula vecina más próxima en relación a la cual el declive es máximo.

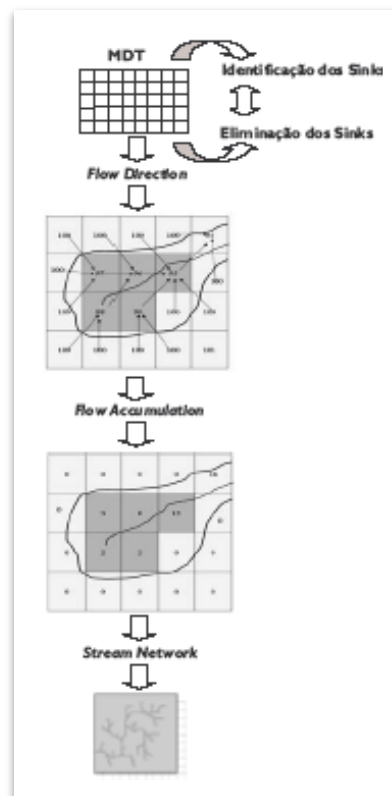


Ilustración 4-10: Esquema de Operaciones de análisis espacial para obtener la red de drenaje.
Tomado de Silva e Neto.

El algoritmo que describe las direcciones del flujo fue desarrollado por O'CALLAGHAN & MARK (1984) y fue conocido como Algoritmo Deterministic 8 (D8).

Esta metodología se basa en el hecho de que el agua se puede desplazar en 8 direcciones posibles, como es demostrado en la Ilustración 4-11.

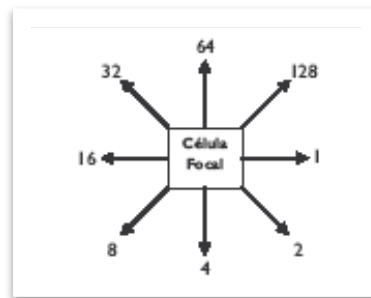


Ilustración 4-11: Esquema de codificación de las mallas según la dirección del flujo. Tomado de Silva e Neto.

El algoritmo que calcula el caudal acumulado en cada celda estima el número de celdas que contribuyen con el caudal para la célula analizada (MAESTRO CANO, 2003).

Teóricamente, este proceso se basa en la consideración de que la presencia de líneas de drenaje como estructuras concretas y definidas, depende de la acción del caudal y del grado de importancia del respectivo caudal.

PUSINERI et al. (2008) consideran que para la obtención de la dirección del drenaje es preciso determinar las redes de drenaje a partir de la acumulación del flujo, considerando aquellas que tengan un determinado valor de acumulación (umbral) a partir del cual la celda comienza a drenar.

De igual manera, encuentran que para delinear la cuenca a partir de la identificación de un punto de salida es preciso determinar el área aportante a un punto de salida o cierre de la cuenca, teniendo en cuenta la red de drenaje calculada en el punto anterior y el concepto de «umbral».

En seguida realizan la división de la cuenca en subcuencas, consistiendo en dividir a la cuenca aportante en subunidades hidrológicas. Existen varios criterios para realizar

esta subdivisión, los que consideran puntos de cierre apoyándose en la red de drenaje y los que usan un área mínima llamada «umbral».

Como última acción calculan las propiedades de la cuenca y de las redes de drenaje, para ésto es necesario realizar una vectorización de los elementos hasta aquí determinados, como son cuenca, subcuencas y redes de drenaje y extracción del MDT para el cálculo de pendientes. Luego se calculan áreas y longitudes.

5. RECURSOS Y METODOS APLICADOS

5.1- Caracterización de la Zona de Estudio

5.1.1 Localización, Tamaño e Historia

La isla de Ometepe se encuentra en Nicaragua, dentro del lago Cocibolca o Nicaragua. Administrativamente la isla pertenece al departamento de Rivas, tal como se muestra en la Ilustración 5-1.

Su área es de 276 km² y es la isla volcánica más grande del mundo de las situadas en el interior de un lago. Su población asciende a aproximadamente 34000⁶ habitantes permanentes y no permanentes. Los núcleos de población más importantes son Moyogalpa y Altagracia, que son también los dos puertos principales de acceso a la isla desde las ciudades de Granada, San Carlos y San Jorge.



Ilustración 5-1: Ubicación de geográfica de la Isla de Ometepe y zona de Influencia del volcán Maderas en Centroamérica. *Adaptado de maps.google.com*

⁶ Censo Nacional de Población 2005, INEC

El nombre de la isla deriva del nahuatl: *ōme* 'dos' y *tepētl* 'montaña(s)', ya que la misma está constituida en su práctica totalidad por los conos de dos volcanes: el volcán Concepción y el volcán Maderas. Llama poderosamente la atención la similitud de formas y orientación cardinal entre Tahiti y Ometepe (ambas tienen forma de ocho). Además ambas son de origen volcánico, separadas en dos secciones por un istmo, y ambas son más pobladas en el lado norte que en el lado sur, con la diferencia que Ometepe tiene dos volcanes bien definidos.

El volcán Maderas tiene una elevación de 1394 msnm y un diámetro máximo en su base de 24 km, está ubicado en 11.45°N, 85.52°W. Su última erupción tuvo lugar hace más de ocho siglos y hoy en día se le considera extinto. Su cráter se encuentra ahora ocupado por una pequeña laguna, la Laguna de Maderas.

5.1.2 Uso del Suelo y Población

La población estimada de la zona del Volcán Maderas es de aproximadamente 3000 personas, las zonas más bajas y con menos pendientes del volcán se caracterizan por una densidad mayor de la población, concentrándose en estas zonas los siguientes poblados:

El Corozal	San Pedro	Santa Cruz	La Magdalena
Mérida	La Palma	El Perú	La Florida
San Ramón	Balgüe	El Limonar	Potrerrillos
Tichana	El Socorro	El Porvenir	El Guineo
Las Cuchillas	El Cairo	Los Ángeles	

La Ilustración 5-2 muestra la ubicación de los núcleos poblacionales más importantes por la cantidad de habitantes.

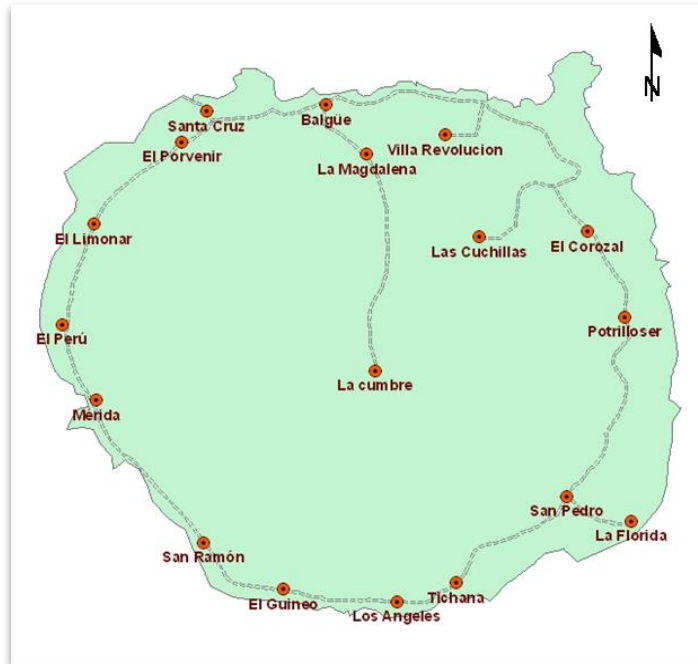


Ilustración 5-2: Poblados y asentamientos humanos más importantes en la zona del Volcán Maderas. Adaptado del INIDE.

En el Volcán se localiza una reserva Natural de 904 ha que inicia a partir de la cota 850 msnm, siguiendo el sentido ascendente.

De acuerdo a las características del uso de suelos, se constituyen las siguientes categorías:

- i. El uso potencial refleja la categoría «Bosque» con una superficie del 37%.
- ii. La categoría de «Área para la Conservación» representa el 20%. Este componente asociado con las «Actividades de Protección del Bosque» conforman el 59.74% del área total.

Estas categorías en su conjunto presentan condiciones para el desarrollo turístico, paisaje, recreación y esparcimiento, además de la conservación y protección de las Reservas Naturales.

- iii. El potencial para el «Desarrollo de la Agricultura» es bajo, un 22%, respecto al área total.

- iv. El «Uso Pecuario» por su parte refleja solo el 17.5%, sin embargo unido al potencial agrícola suman casi el 40% de los suelos pudiendo adoptar la base económica del territorio.
- v. El restante 1.13% es de «Áreas Urbanas» y «Lagunas Interiores».

El uso de suelos y recursos se define como de aprecia en la Tabla 5-1:

Tabla 5-1: Distribución del uso del suelo en la zona del Volcán Maderas. Cortesía del MARENA.

USO	PORCENTAJE
Agrícola	21.64%
Pecuario	17.5%
Bosques	37.59%
Conservación	22.15%
Área Urbana	1.05%
Lagunas	0.07%

5.1.3 Geomorfología

El Maderas es un volcán compuesto, muy antiguo y en estado de avanzada erosión y derrumbe. Sobre sus boscosas laderas sobresalen grandes bloques de basalto. El edificio volcánico está cortado en su centro por una falla orientada de noroeste a sureste, claramente delineada entre Balgüe y la ensenada de San Pedro.

Se caracteriza por la presencia de depósitos de piroclastos y lava fundida, cuyo basamento lo forman materiales piroclastos del grupo «Las Sierras». Este material se localiza cubriendo prácticamente el Volcán Maderas, iniciándose en el oeste, a partir de la costa topográfica. Así como en los alrededores del cráter del Concepción superando la costa del extremo este.

5.1.4 Condiciones Geológicas

La condición extinta y demolida del volcán Maderas aleja la posibilidad de una reactivación ígnea en su interior. No obstante, el estado avanzado de erosión en el cono es capaz de provocar derrumbes y deslaves, especialmente en las áreas donde la agricultura migratoria ha avanzado por la ladera, tal como sucedió hace pocos años. La isla de Ometepe no sólo es volcánica, sino también sísmica, fenómeno que podría desatar potenciales avalanchas de rocas y lodos desde las laderas deforestadas y partes altas del volcán.

5.1.5 Condiciones Edafológicas

Los suelos del volcán Maderas son fértiles pero muy pedregosos. Pequeñas plantaciones de café prosperan en sus laderas hasta cierta altura. Sin embargo la deforestación o el cambio de cultivo en dichas pendientes podrían provocar serios problemas de erosión.

5.1.6 Condiciones Climáticas

La precipitación pluvial anual varía entre los 1600 mm y 1800 mm anuales según la altura del volcán. La Ilustración 5-3 muestra la distribución de la precipitación para el período 1970 al 2000. Buena parte de esta humedad es transportada por los vientos que circulan en el valle del río San Juan y por la depresión lacustre, los que hacen más húmeda la ladera oriental que la occidental y nublan con frecuencia la cumbre del volcán.

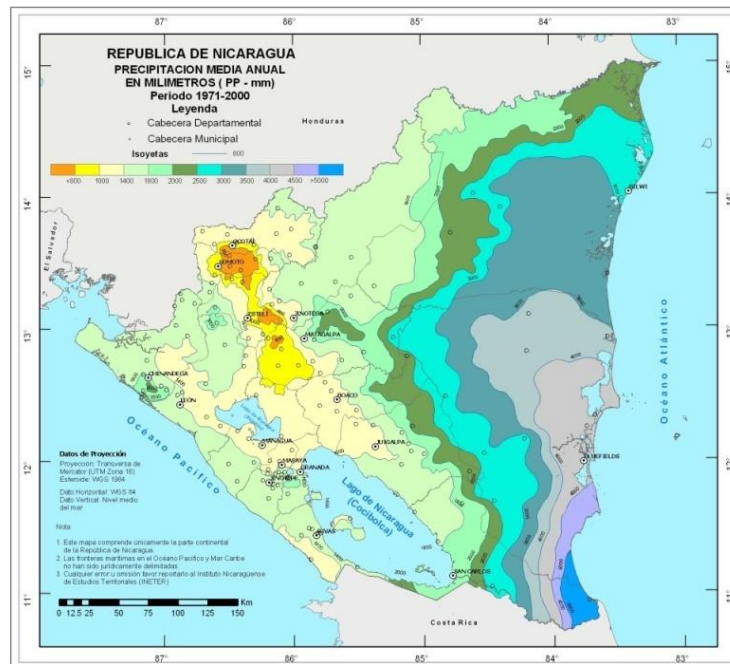


Ilustración 5-3: Mapa de Precipitaciones Medias Anuales en la República de Nicaragua. Tomado de INETER.

La temperatura anual en la base del volcán es de unos 27°C y disminuye aproximadamente en un grado por cada 150 m de elevación.

5.1.7 Recursos Hídricos

La caracterización de fuentes superficiales de agua comprende la evaluación de la estructura de los lechos, estimaciones de potenciales dinámicos de sus aguas así como condiciones de afluencia y descargue de los mismos (GOVERS, L. & VIEIRA, E., 2007).

Los Rios Balgüe y Tichana, son utilizados para el aprovechamiento como agua potable y para riego en la agricultura, sus características morfológicas son iguales tanto en profundidad (0.3-0.8m), como su caudal medio (0.13 m³/s aproximadamente). Actualmente se explotan parcialmente sus aguas para consumo humano.

La Laguna del Maderas está localizada en un antiguo cráter del Volcán Maderas, constituye una laguna del mismo nombre y almacena toda la precipitación caída en la zona durante el año.

Tiene una superficie de aproximadamente 4 ha y una elevación de 1200 msnm. sobre su espejo de agua, tiene una profundidad media de 5 m, su forma es cónica.



Ilustración 5-4: Aspecto de la Laguna Maderas, ubicada en el cráter del volcán del mismo nombre. Tomado de Vianica.

La evaluación de riesgo por colapso sectorial y deslave indica una situación de relativa seguridad, la que en los miles de años transcurridos desde su última erupción ha permitido la consolidación estructural de paredes y el surgimiento de una abundante vegetación. A pesar de ello, el deslave ocurrido en el Corozal en Septiembre de 1996, San Ramón en 1999 y en Junio de 2008 sugieren prestar atención a las zonas de las paredes que presentan índices de cohesión y transmisividad hidráulica fuera de los rangos medios para la zona.

Durante los primeros días del Huracán Mitch⁷, pobladores de la zona subieron hasta el cráter de la Volcán Maderas para identificar el sitio por el cual se abastecía un pequeño cauce. Los lugareños suponían que se trataba del desborde de la laguna, sin embargo encontraron que aproximadamente en la cota 2004 msnm el agua filtraba de una de las laderas del cráter.

⁷ Octubre de 1998

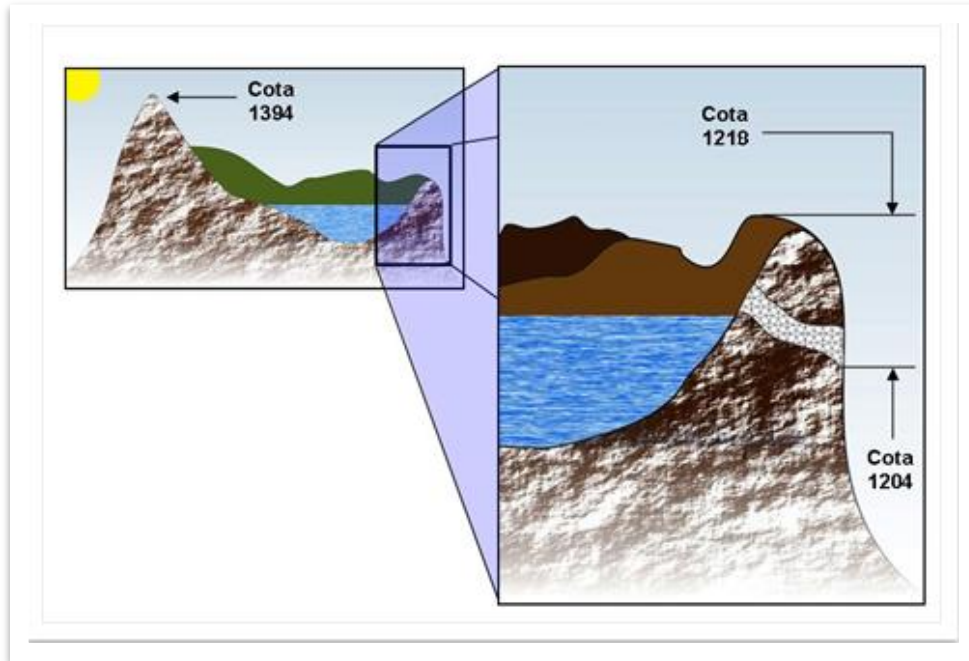


Ilustración 5-5: Localización de zona con posible dinámica de percolación en una de las laderas del cráter/laguna. Adaptado de testimonios de lugareños, Gómez.

El uso de la tierra condiciona en gran medida la rugosidad de los canales, pues al existir una zona de protección ecológica la vegetación es abundante y afecta de manera directa las condiciones con las que se desplaza el agua (MACARIL, E., 2001).

La mayoría de los canales presentan una forma uniforme, casi prismática, con dimensiones que van desde los 4 a 6 m de ancho, y entre 0.5 y 3 m de profundidad. La pendiente promedio es el Volcán Maderas es de 75% desde la cumbre hasta aproximadamente la cota 200 msnm, y de ésta hasta la costa es de 15%.

Las Ilustraciones 5-6, 5-7 y 5-8 muestran la variabilidad de la pendientes, la cobertura vegetal y la forma de los canales en la zona del Volcán Maderas.

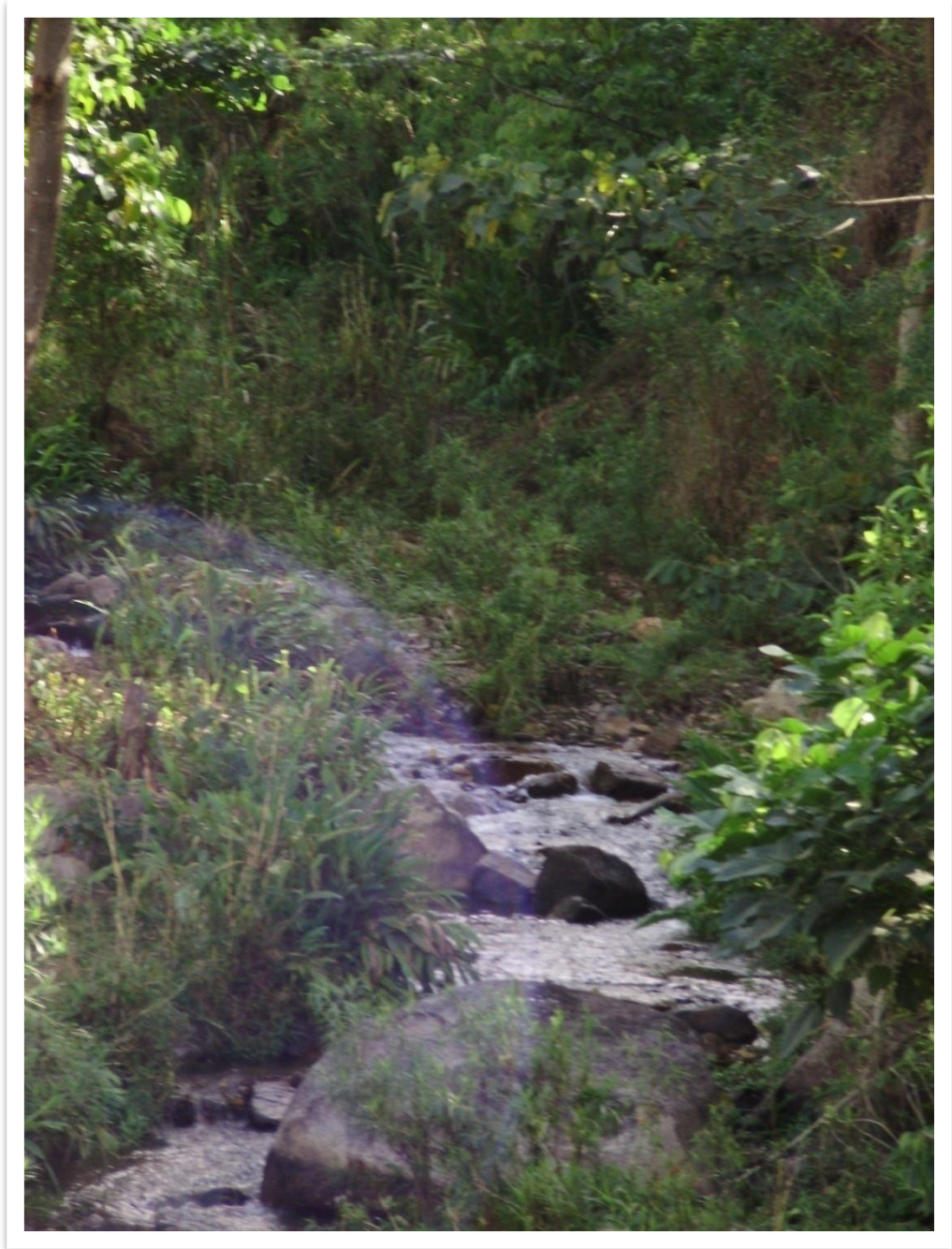


Ilustración 5-6: Aspecto de canal de avenida en la zona noroeste del Volcán Maderas, entre las cotas 38 y 200 m. Es posible apreciar un lecho pedregoso. *Cortesía de T. Salgado de Gómez.*



Ilustración 5-7: Aspecto de canal de avenida en la zona noreste. Entre las cotas 100 y 250 m.
Tomado de vianica.

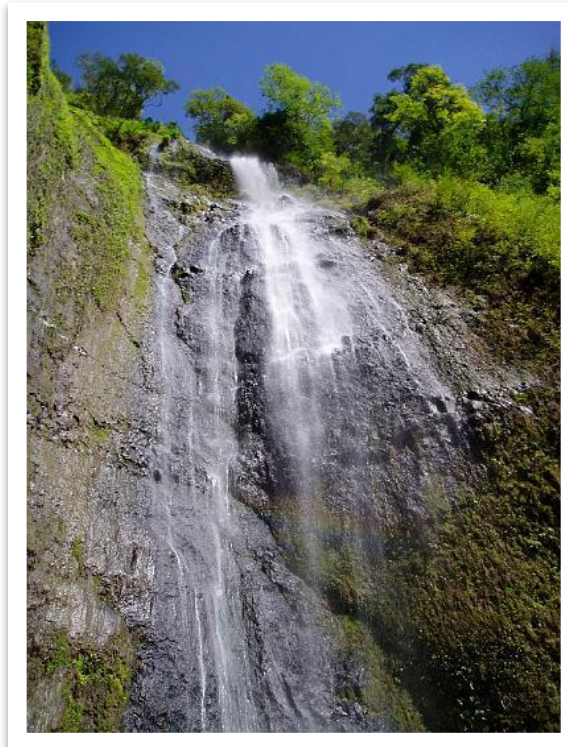


Ilustración 5-8: Salto San Ramón en el sector sur del Volcán Maderas. Sitio donde el flujo es acelerado dada la energía potencial aprovechable. *Tomado de UNAN-CIRA.*

5.1.8 Aspectos Socioeconómicos y su Relación con los Recursos Naturales

El área se encuentra en un buen estado de conservación, los límites del área de reserva ecológica al igual que en el Volcán Concepción fueron definidos en la curva de nivel de los 800 msnm. A diferencia de aquel, éste tiene una mayor cobertura de bosque pero por su extensión no tendría mayor relevancia por no ser un ecosistema autosostenible por lo que se requiere extender más abajo sus límites. La riqueza biológica similar al Volcán Mombacho es su principal atractivo. Dentro del área ecológica no hay pobladores, pero existe en los últimos tiempos un aumento de la actividad turística.

Alrededor del área protegida, la base del volcán está siendo fuertemente intervenida. Hay un marcado avance de las actividades para el cultivo de plátanos que está siendo exportado a Honduras y a El Salvador. Hay un proceso de renovación de pequeñas áreas de cafetales antiguos (se mencionan áreas de 15 hasta 40 ha). Durante el ascenso al volcán Maderas se pasó por un cafetal tipo Bourbon de 40 años de edad en cosecha; hay intenciones de renovar con Caturra pero bajo sombra. También se pudo observar una plantación abandonada de Cacao en el mismo sector del volcán pero a mayor altura (450 msnm) que el café.

El segundo rubro de producción fuerte es el Arroz (de secano) en las excelentes condiciones de humedad de la isla. La ganadería de carne y de leche también es notoria por el movimiento de hatos pequeños y medianos en los diferentes sectores.

5.2 Recolección de Datos

5.2.1 Datos Geoespaciales

Las imágenes usadas en esta tesis fueron obtenidas de la National Environmental Satellite, Data And Information Service (NESDIS); desde EARTH EXPLORER DEL USGS y desde el Instituto Nicaragüense Estudios Territoriales (INETER). Se trata de imá-

genes en formato GeoTiff, HGT, HDR, SHP y ASCII. Las imágenes fueron descargadas desde su sitio Web: <http://map.ngdc.noaa.gov/website/mgg/dem/viewer.htm>.
<http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>

5.2.1.1 Modelo Digital de Terreno

Se obtuvo una imagen Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) tipo 3 arc ", 90 m aproximadamente. Cada tres arc segundo de celda hay 1201 filas, y cada fila consiste en 1201 celdas, con extensión ght. La imagen fue dimensionada al área de estudio.

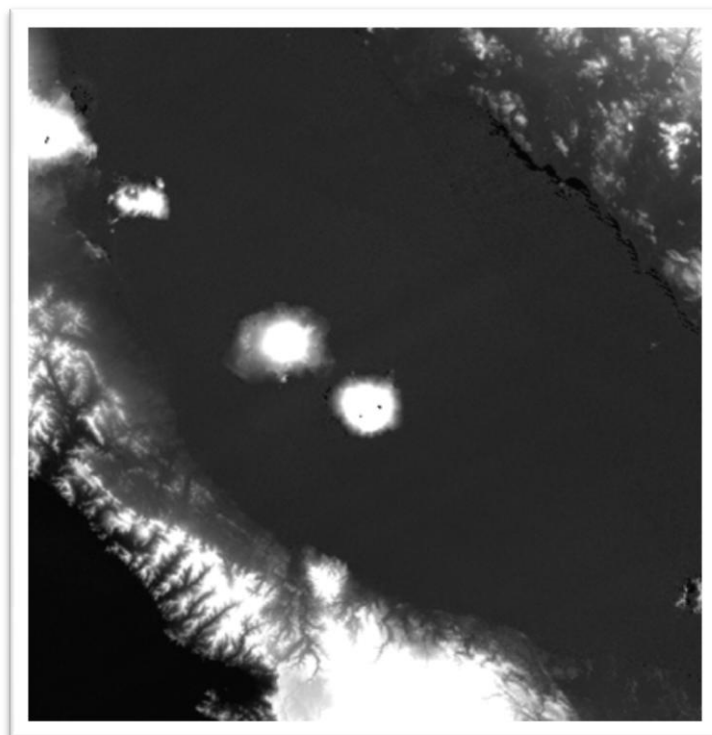


Ilustración 5-9: Imagen SRTM, con resolución de 90 m de la zona del lago de Nicaragua. Tomado de NESDIS.

5.2.1.2 Imágenes Landsat

La imagen se obtuvo del Center for Earth Resources Observation and Science, se trata de una imagen Landsat 5 TM, que posee un ancho de huella de 185 km, el tamaño de píxeles es de 28.5 m, la imagen fue adquirida georeferenciada y su uso está referido al análisis de uso de suelo.

5.2.2 Puntos de Control

Se utilizó un equipo GPS⁸, marca Garmin, modelo Vista, a fin de tomar puntos de control. El software que fue usado es el mismo provisto por el fabricante con una interface para ArcInfo. Se decidió trabajar con la Proyección NAD 1927 Zona Norte 16 en metros. Datum WGS 84.

Tabla 5-2: Los Puntos de control seleccionados para control de la georeferenciación

PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS	
	NORTE	OESTE
Dispensario Médico San Ramón	11° 24' 32.80"	85° 32' 10.97"
Capilla Evangélica poblado Balgüe	11° 29' 29"	85° 30' 20.01"

5.2.3 Información Hidrológica, Hidráulica y Geológica

Los datos de precipitación fueron obtenidos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Los datos corresponden a la Estación Hidrometeorológica Rivas.

Tabla 5-3 : Datos de la Estación Meteorológica Rivas. Datos proporcionados por INETER

ESTACION DE OBSERVACION AMBIENTAL		
Nombre de la Estación	Rivas	
Código de Estación	069070	
Período	1968 a 2007 (39 años)	
Ubicación Geográfica (Coordenadas)	Norte	Oeste
	11° 26' 06" N	85° 50' 00"W
Elevación	70msnm	
Tipo de Estación	HMP	

⁸ Global Positioning System

La Estación Altagracia, en el pueblo del mismo nombre, posee datos de precipitación, sin embargo la serie se encuentra discontinua en el tiempo.

Se decidió trabajar con datos de una sola estación, dada la cercanía y dimensiones del área de estudio.

Tabla 5-4 : Serie de datos de lluvias para distintas duraciones de precipitación, estación Rivas. Tomado de INETER.

AÑO	TIEMPO [MIN]						
	5	10	15	30	60	120	360
1971	102.8	89.7	88.2	53.0	40.2	34.5	29.2
1972	131.7	120.7	100.3	39.4	30.0	20.9	19.5
1973	106.3	104.7	82.4	57.6	38.4	24.0	18.3
1974	122.9	101.5	86.8	48.2	39.2	25.8	17.0
1975	117.6	111.6	111.6	36.8	27.9	13.7	10.7
1976	135.6	98.4	74.4	58.4	38.8	32.5	12.4
1977	134.0	105.0	88.8	59.4	45.2	24.9	12.6
1978	114.0	105.0	78.0	78.2	43.6	23.1	9.4
1979	216.0	171.6	134.0	80.8	72.5	43.3	19.2
1980	102.0	67.8	62.8	59.8	40.9	26.1	13.8
1981	120.0	108.0	108.0	70.4	60.6	15.9	14.4
1982	258.8	155.4	153.2	103.0	56.8	40.9	15.1
1983	124.8	93.6	83.2	62.3	37.5	19.9	5.7
1984	141.6	105.6	94.4	70.6	54.1	44.4	16.7
1985	96.0	90.0	88.0	60.2	40.5	22.6	14.7
1986	117.6	105.0	98.0	70.4	42.9	28.9	13.0
1987	120.0	88.8	79.6	78.6	45.2	33.3	4.8
1988	120.0	92.4	88.8	64.6	34.0	22.2	8.4
1989	122.4	102.6	89.6	73.4	39.5	10.7	7.1
1990	112.8	103.8	73.2	44.0	22.9	5.4	6.0
1991	216.0	138.0	106.0	81.4	76.5	44.5	5.9
1992	122.4	120.0	112.0	70.0	49.0	25.7	10.4
1993	199.2	99.0	84.0	66.4	59.0	36.9	13.3
1994	170.4	78.0	62.0	56.0	38.9	25.8	3.9
1995	120.0	118.8	117.6	99.0	99.0	39.2	4.7
1996	117.6	117.6	99.2	53.2	38.8	24.1	6.4

AÑO	TIEMPO [MIN]						
	5	10	15	30	60	120	360
1997	122.4	122.4	122.4	102.0	72.7	37.9	16.6
1998	116.4	114.0	88.0	74.2	66.4	45.0	9.7

5.2.3.1 Condición de Contorno Aguas Abajo

Por tratarse de una isla de origen volcánica, toda el agua que cae sobre la superficie de la misma es drenada hasta las costas del lago Cocibolca, donde se integran al mismo. El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales posee registros sobre los niveles del Lago Cocibolca, mismos que se muestran en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5 : Datos de la Estación Limnimétrica Panaloya. Datos proporcionados por INETER

ESTACION LIMNIMETRICA		
Nombre de la Estación	Lago de Nicaragua en Paso Panaloya	
Código de Estación	06932	
Periodo	1969 a 2006 (37 años)	
Ubicación Geográfica (Coordenadas)	Norte	Oeste
	12° 06' 48" N	85° 53' 03" W
Elevación	31 msnm	
Tipo de Estación	LGF	

Se adquirieron datos medios mensuales en una serie de datos desde Enero de 1969 a Diciembre de 2008.

Tabla 5-6 : Datos de Niveles Máximos, Medios y Mínimos del Lago de Nicaragua, Estación Panaloya. Datos proporcionados por el INETER.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	31.60	31.40	31.20	31.00	30.90	30.90	31.00	31.20	31.40	31.70	31.80	31.80
Máximo	32.5	32.3	32.1	31.8	31.6	31.8	32.1	32.3	32.5	32.5	32.6	32.6
Mínimo	30.3	30.6	30.6	30.5	30.4	30.2	30.3	30.6	30.7	31.1	31.1	31

5.2.4 Datos de Suelos

El Volcán Maderas posee dos zonas bien diferenciadas dado la condición de reserva ecológica que posee, ésto ha generado que la degradación del suelo sea menos evidente en la zona superior a la cota 850 msnm.

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales posee parámetros de resistencia del suelo obtenidos en dos períodos diferentes 1974 y 1992. Los datos fueron adquiridos por estudios realizados por especialistas checos, los parámetros fueron encontrados mediante:

- Ensayos de Cizallamiento Directo
- Ensayos de Permeabilidad
- Ensayos de Caracterización

Se obtuvieron valores medios de los parámetros para cada una de las zonas.

Tabla 5-7 : Datos Medios de Profundidad de Suelo, Angulo de Fricción y Densidad para el suelo del Volcán Maderas.
Tomado de apuntes de cátedra Dr. Silvio Gutiérrez.

AREA DE ANALISIS	DATOS MEDIOS 1974
Zona sobre los 850 m	$\Gamma=2800 \text{ kg/m}^3$
	$\Phi=42^\circ$
	$P_s=0.6 \text{ m}$
Zona Bajo los 850 m	$\Gamma=2550 \text{ kg/m}^3$
	$\Phi=14^\circ$
	$P_s=0.9 \text{ m}$

Donde Γ es la densidad del suelo, Φ es el ángulo de fricción y P_s profundidad de la capa de suelo permeable.

5.2 Metodología

En 1988 el BUREAU OF RECLAMATION, estableció mediante el documento “Downstream Hazard Classification Guidelines”, las normativas básicas en cuanto a los criterios necesarios para clasificar los riesgos por rotura de presa. En el mismo se establece que es posible trabajar en base a 3 criterios:

- i. Usando un Estudio de Desastres Existente
- ii. Haciendo un Juzgamiento por Pericia Ingenieril
- iii. Caracterizando la Rotura de la Presa

Para caracterizar la rotura de la presa y con ello obtener un criterio sobre la clasificación, se hace necesario determinar el área de inundación provocado por la rotura de la presa, siendo este uno de nuestros objetivos.

En la zona de estudio no existen trabajos antecedentes sobre el desprendimiento de uno de los márgenes de la laguna (cráter del Volcán Maderas), y el criterio ingenieril está basado en experiencia y muchos trabajos en el campo, habilidades y datos con los que no se cuenta, por lo cual se procede con la caracterización de la rotura de la presa, lo que implica poner en marcha 3 fases:

Asumir el escenario en el cual ocurrirá la rotura

En este caso, el escenario está relacionado con la configuración topológica del cráter del Volcán Maderas que contiene la laguna del mismo nombre.

Determinar los puntos proclives a la rotura, la ruta de la avenida y el punto de control aguas abajo

Al respecto, se define gráficamente los puntos más vulnerables por donde podría ocurrir la rotura y se precisa la traza por la cual el agua contenida en la laguna Maderas fluiría.

Implementar un procedimiento analítico recomendado

Se usa el modelo hidráulico contenido en el HEC-RAS como método analítico computarizado.

5.2.1 La Relación entre la Condición de la Laguna y el Modelo de Rotura de Presas

La relación entre una presa cualquiera y la laguna de Maderas, está condicionada por la similitud de las características geométricas de las mismas, así una presa es definida como un muro fabricado con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río, arroyo o canal con la finalidad de contener el agua. La diferencia, es que esta laguna es de origen natural, provocada por la explosión del cráter hace miles de años.

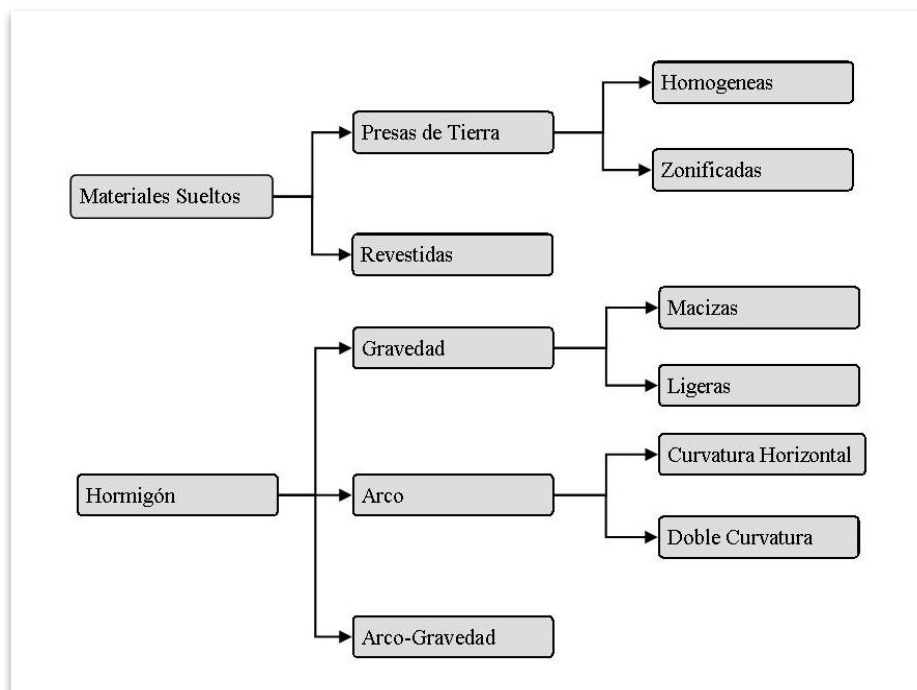


Ilustración 5-10: Esquema de la clasificación de presas. Tomado de NWS

Si se desea aplicar esta clasificación a la laguna se puede decir que se trata de una presa de tierra, homogénea, con curvatura horizontal.

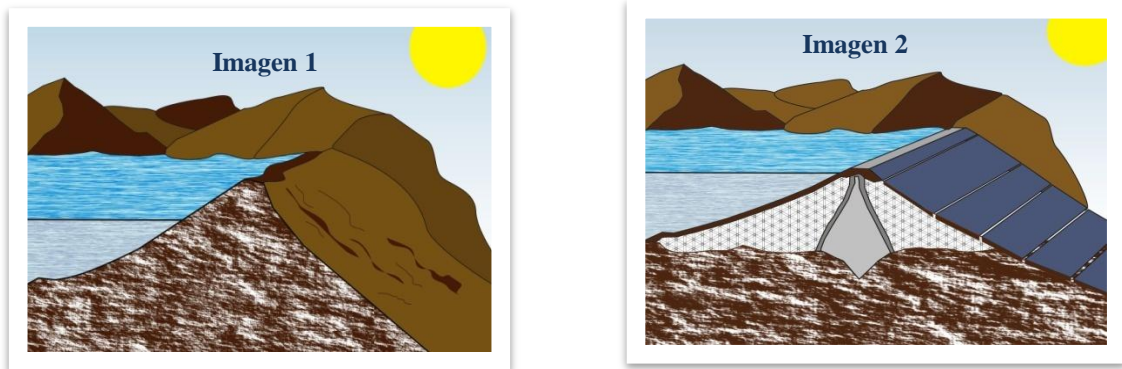


Ilustración 5-11: Imagen 1 Representación de la laguna en el cráter del Volcán Maderas, Imagen 2 representación de una presa tradicional. Adaptado de Custodio.

El criterio usado está basado en la relación geométrica existente entre la laguna cratérica y la presa. Se considera, por tanto, que en el escenario adoptado es posible aplicar todos los criterios físicos con la posibilidad de encontrar resultados con una certidumbre no cuantificable por la novedad del método, pero si efectiva para determinar el comportamiento de la rotura una vez que se establezcan parámetros tales como, altura de rotura, tiempo de rotura y el ancho de la rotura.

5.2.2 Información Básica

A fin de lograr discriminar la información, la misma se organiza en dos grupos de datos:

I. Gráfico: que son compuestos por mapas que describen la localización, características geográficas y las relaciones entre los aspectos físicos más predominantes (coordenadas y símbolos que describen los elementos cartográficos específicos de un mapa).

II. No gráficos: es información alfanumérica, que describen fenómenos naturales y sociales, representados gráficamente. Son informaciones descriptivas sobre las características geográficas del área de estudio. Son datos cualitativos y

cuantitativos. También se categoriza en el mismo grupo las informaciones que describen eventos o fenómenos físicos que ocurren, tales como registros sismológicos, movimientos de masa, entre otros.

La información relevante y los medios por adquirirla son:

- i. Censo Nacional de Población y Vivienda 2005, INEC
- ii. Datos de Precipitaciones, Temperaturas, Niveles del Lago de Nicaragua y Sismología, Permeabilidad del Suelo; Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)
- iii. Ortofotos, Imágenes SRTM y Landsat TM del área de estudio, Website NASA
- iv. Fotografías Aéreas, INETER
- v. Fotografías de sitios y eventos históricos del área de estudio
- vi. GPS
- vii. Entrevistas

Las cartas estarán elaboradas en una proyección Transversa de Mercator (UTM Zona 16N) Esferoide: WSG 84 con el datum Horizontal WSG 84.

5.2.3 Secuencia Metodológica

Los criterios metodológicos utilizados responden a la necesidad de gestionar de la mejor forma posible los recursos y procedimientos a fin de obtener bajos índices de error ya sea por procesamiento o interpretación. En tal sentido se definió la secuencia metodológica:

Construcción del Modelo Digital de Terreno: se logra la identificación de la zona más proclive por donde el agua contenida en la Laguna del cráter del Volcán Maderas ten-

dería a salir dado un escenario de rebasamiento y se verifica la coincidencia de ubicación con datos de filtraciones en la cumbre del volcán.

Diseño de la Lluvia de Proyecto: para tres escenarios, Precipitación Máxima Probable (PMP), Precipitación Histórica, Precipitación con Tiempo de Recurrencia de 100 años (TR=100 años), se usa el Hidroesta y monogramas para estos fines.

Desarrollo del Modelo Hidrológico: contempla el uso del HEC-HMS para determinar el área de la microcuenca del cráter, obtener las curvas Área-Almacenamiento del reservorio, así como obtener el hidrograma de salida.

Desarrollo del modelo de Estabilidad de Laderas: contempla el uso de SHALSTAB, se obtiene así, las zonas con deslizamiento en función de la relación caudal superficial y transmisividad (q/T).

Desarrollo del Modelo Hidráulico: contempla el uso del HEC-GeoRAS, para definir los parámetros de la rotura para los 3 escenarios.

Construcción de las cartas de Riesgos por Inundación y Deslave: se elaboran mapas temáticos, que incluyen los asentamientos humanos y los índices de afectación por altura y velocidad del agua.

5.2.4 Programas Computacionales (Software)

En la Tabla 5-8 se enumeran las características de los paquetes computacionales a utilizar.

Tabla 5-8 : Programas computacionales utilizados en el desarrollo del estudio.

SOFTWARE	HARDWARE	COSTO LICENCIA	SISTEMA OPERATIVO	DESARROLLADORES
Hidroesta v.Beta	Procesador 333 Mhz	U\$200	Windows	Escuela de Ingeniería Agrícola, INTCR
	RAM 128 MB			
	Espacio en Disco 12 MB			
ArcGis v9.2	Procesador 2.0 Ghz	U\$ 2000	Windows	ESRI
	RAM 500 MB			
	Espacio en Disco 300 MB			
ArcView v3.2	Procesador 750 Mhz	U\$ 500	Windows	ESRI
	RAM 256 MB			
	Espacio en Disco 44 MB			
HEC-GeoRAS v3.3.1	Procesador 1000 Mhz	Licencia Libre	Windows	US Corp of Ingeniers
	RAM 256 MB			
	Espacio en Disco 15 MB			
HEC-HMS v2.2.2	Procesador 1000 Mhz	Licencia Libre	Windows	US Corp of Ingeniers
	RAM 256 MB			
	Espacio en Disco 15 MB			
SHALSTAB v0.2	Procesador 500 Mhz	Licencia Libre	Windows	UC Berkeley
	RAM 256 MB			
	Espacio en Disco 20MB			

Google Earth v.4.1.1	Procesador 750 Mhz RAM 256 MB Espacio en Disco 44 MB	Licencia Libre	Windows	Google & Co.
kml2shape v.Beta	Procesador 333 Mhz RAM 128 MB Espacio en Disco 12 MB	Licencia Libre	Windows	Zonums

5.3 Desarrollo Metodológico

5.3.1 Elaboración del Modelo Digital de Terreno (MDT)

De acuerdo con CROSTA et al. (1993), las imágenes de sensoramiento remoto, por su naturaleza digital o discreta, son constituidas por un grupo de elementos bajo la forma de una malla o grilla. Cada celda de esa grilla tiene una localización definida en un sistema de coordenadas del tipo «línea y columna», representada por «X» y «Y», respectivamente. Por convención, el origen de la grilla esta siempre en la esquina superior izquierda.

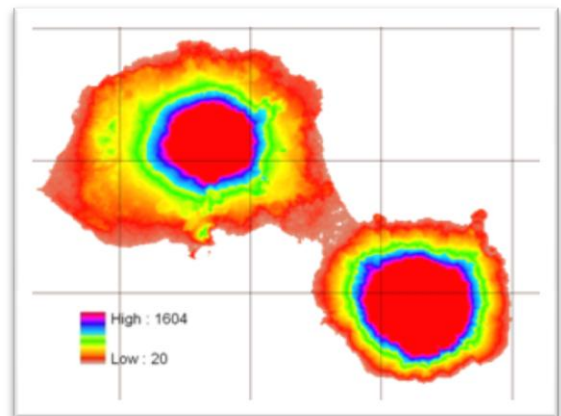


Ilustración 5-12: Imagen SRTM delimitada a la Isla de Ometepe. Adaptado de INETER.

El nombre dado a estas celdas es pixel. Cada píxel posee un atributo numérico conocido como el DN (Digital Number). El DN representa la intensidad de la energía electromagnética medida por el sensor para el área de la tierra medida correspondiente a ese tamaño de píxel.

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es una representación digital de la superficie del suelo o la topografía del terreno. Son imágenes en escala de grises en las que los valores de pixel son en realidad los números de elevación. Los píxeles también poseen información de las coordenadas espaciales del sitio (longitud y latitud). Un MDT puede ser representado como una trama (una rejilla de cuadrados) o como una red triangular irregular.

Los MDT son ampliamente conocidos como modelos digitales de elevación (MDE). Los MDT se construyen utilizando técnicas de sensoramiento remoto, pero también pueden ser construidos a partir de agrimensura. Se utilizan a menudo en los Sistemas de Información Geográfica, y son la base común para la mayoría de mapas producidos digitalmente en relieve.

Los Triangular Irregular Network (TIN), son menudo son obtenidos desde un MDT. Un TIN es una estructura digital usada en los Sistemas de Información Geográfica para representar una superficie. Un TIN es una representación vectorial de la superficie física de la tierra o del fondo marino, formado por nodos distribuidos irregularmente y líneas en tres dimensiones con coordenadas (x, y, z) que se organizan en una red de triángulos irregulares. Una ventaja de usar un TIN en la cartografía y el análisis es que los puntos de un TIN se distribuyen variablemente basados en un algoritmo que determina que los puntos más necesarios para una representación precisa del terreno.

La tecnología provee además de herramientas más sofisticadas y completas, basados en los mismos principios físicos de captación de ondas electromagnéticas, las cuales permitieron obtener Modelos Digitales de Terrenos mediante el uso de imágenes SRTM. Fue posible también cargar datos ya georreferenciados mediante el uso de herramientas

informáticas⁹ y trabajar con ellos con gran precisión, gracias a subrutinas y complementos de los programas computacionales hoy existentes.

Usando la herramienta on-line kml2shape¹⁰, se confeccionó desde Google Earth v.4.1.1 un archivo *.shp que define los contornos de la isla de Ometepe en la sección de estudio (Zona de influencia del Volcán Maderas).

Mediante el uso de Imágenes SRTM en formato geotiff, y la utilización del módulo 3D Análisis de ArcGis v9.x se construyó el archivo que contiene las curvas a 10 m distancia, misma que fue incluida junto al *.shp elaborado en Google Earth v4.1.1, en el módulo 3D Análisis de ArcMap para la construcción del TIN.

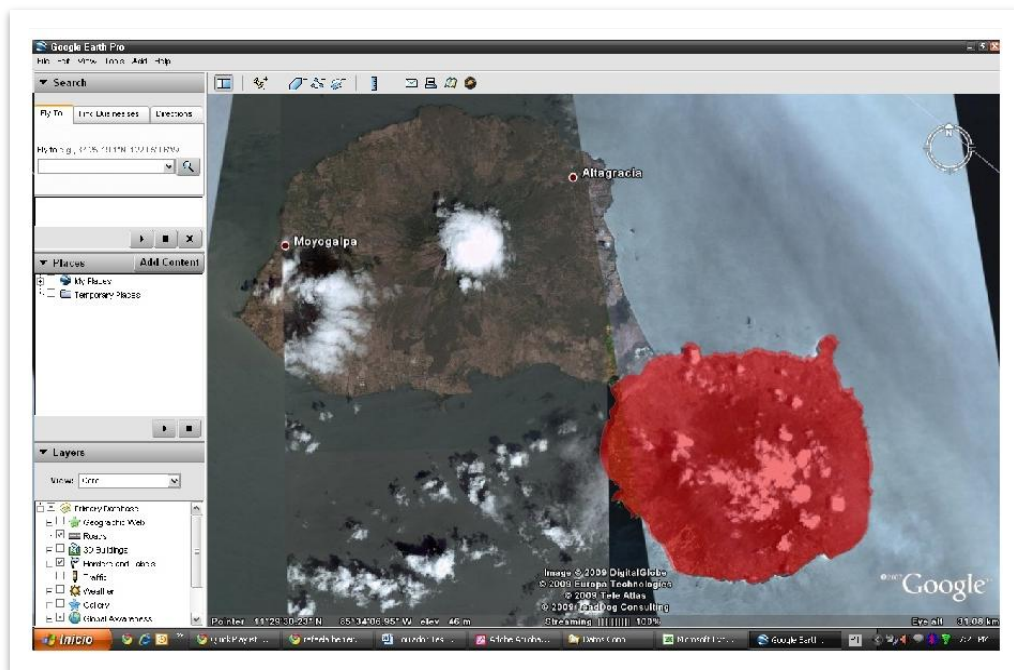


Ilustración 5-13: Construcción del archivo Shape desde Google Earth, aplicando la técnica de exportación de polígonos. Tomado de Google Earth.

⁹ www.zonums.com

¹⁰ <http://www.zonums.com/online/kml2shp.php>

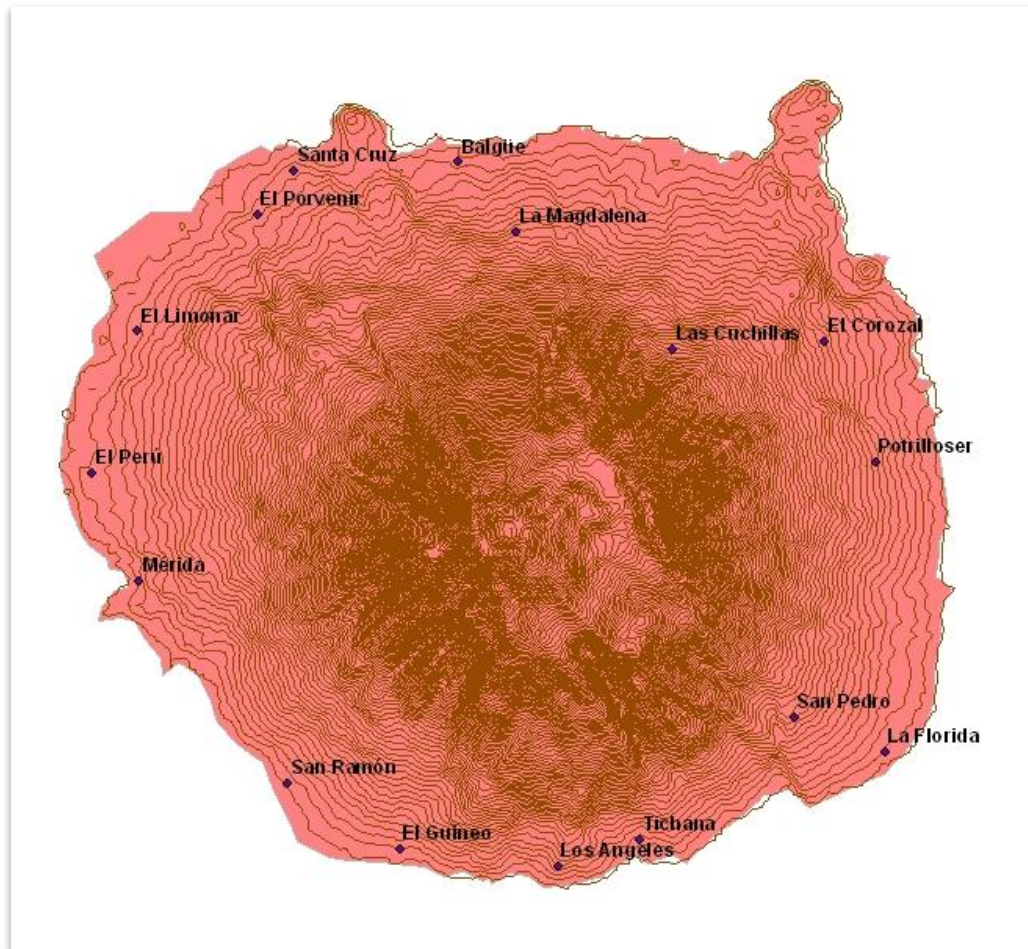


Ilustración 5-14: Zona de influencia del Volcán Maderas con las curvas de nivel procesadas desde la imagen SRTM. Gómez.

El módulo 3D Análisis utiliza una técnica de interpolación de interacción por diferencias finitas, en el que se combina la eficiencia de una interpolación local con métodos de interpolación global que utilizan una superficie de continuidad, como el interpolador Kriging (DA COSTA LEWI, N.,2004). La dimensión del pixel establecida por el modelo digital de terreno será de 30 m por 30 m de tal manera de compatibilizarlo con las imágenes Landsat, que se utilizó para ayudar transposición en el modelado en ArcScene. El modelo digital de terreno es el plano de información primario para el modelaje de los parámetros físicos relativos.

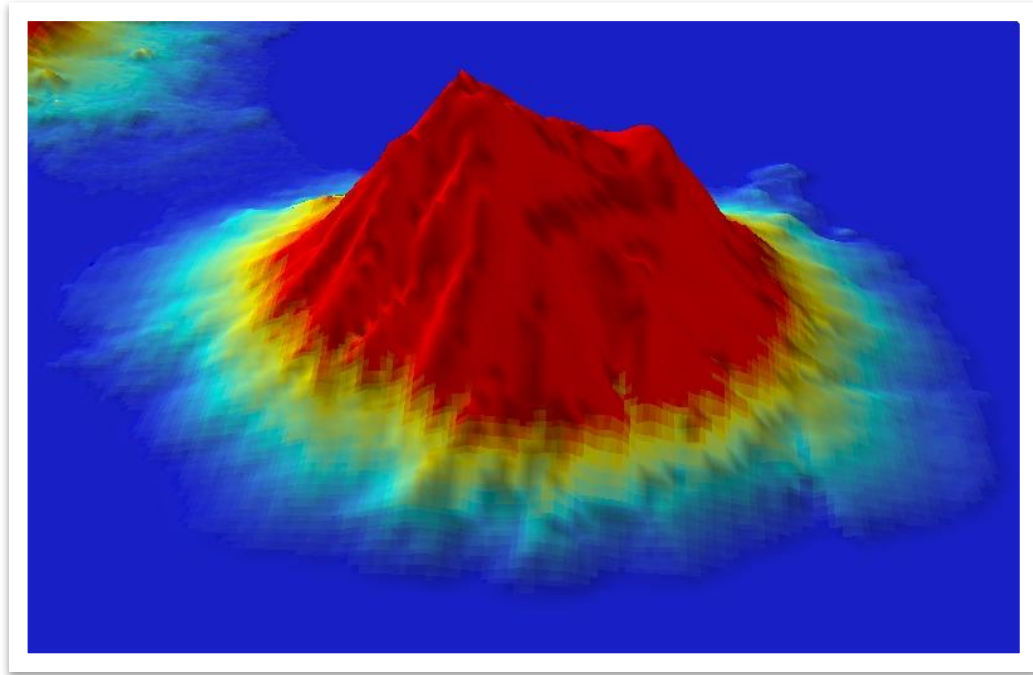


Ilustración 5-15: Imagen del Volcán Maderas modelado en ArcScene, donde es posible visualizar el perfil irregular del mismo. *Gómez.*

El Modelo Digital de Terreno es desarrollado con el módulo 3D análisis de ArcView/ArcMap, obteniendo un TIN. Contando con el TIN, fue posible su conversión a GRID, formato utilizado para el procesamiento de datos.

5.3.2 Diseño de la Lluvia de Proyecto

HARRINGTON, B. (2003), establece que para lograr una clasificación del nivel de peligro por causa de rotura de presa, se precisa simular la inundación, para lo cual es necesario contar con una lluvia que represente los escenarios extremos y habituales. Se trata entonces, de realizar un análisis incremental del flujo. Este es posible representarlo en base a tres fenómenos: PMP, precipitación de TR=100 años y precipitación histórica. Se adopta una precipitación de 2 horas de duración para todos los escenarios, siguiendo el tiempo promedio de las precipitaciones en la zona.

5.3.2.1 Precipitación Máxima Probable para 24 horas

D.F. CAMPOS ARANDA, en su texto «Procesos del Ciclo Hidrológico», expone un procedimiento basado en monogramas y curvas que relacionan variables con parámetros de ajuste estadístico. Según el mismo, el método fue desarrollado en 1960 por David Hershfiel. El método está basado en la ecuación general del Análisis Hidrológico de Frecuencia, en la cual el factor de frecuencia (K_m) fue evaluado a través de los registros de lluvia en 24 horas de 2600 estaciones, el 90% de EE UU.

El Método estadístico de la PMP se estima con la ecuación:

$$PMP = X_n + K_n \times S_n \quad (5.1)$$

Donde:

PMP : precipitación máxima posible diaria, en mm

X_n, S_n : media y desviación típica, respectivamente, de la serie anual de lluvias máximas diarias.

K_m : factor de frecuencia, en función de la lluvia media anual de las máximas diarias de 24 horas.

Tabla 5-9 : Lluvia Medias Anuales Máximas Diarias de 24 horas para la estación Rivas. Dato proporcionado por INETER.

N°	AÑO	MES	PRECIPITACIONES	
			MÁXIMAS	MÁXIMAS [N-M]
1	1968	Octubre	163.5	163.5
2	1969	Octubre	173.8	173.8
3	1970	Julio	101.5	101.5
4	1971	Septiembre	117.4	117.4
5	1972	Junio	85.6	85.6
6	1973	Octubre	88.6	88.6
7	1974	Septiembre	90.1	90.1
8	1975	Septiembre	61.8	61.8
9	1976	Mayo	107.7	107.7
10	1977	Mayo	51.7	51.7

N°	AÑO	MES	PRECIPITACIONES	PRECIPITACIONES
			MÁXIMAS	MÁXIMAS [N-M]
11	1978	Diciembre	104.6	104.6
12	1979	Junio	113.2	113.2
13	1980	Octubre	118.2	118.2
14	1981	Octubre	94.6	94.6
15	1982	Mayo	172.5	172.5
16	1983	Junio	75.8	75.8
17	1984	Julio	104.1	104.1
18	1985	Octubre	109	109
19	1986	Octubre	108.9	108.9
20	1987	Octubre	68.8	68.8
21	1988	Octubre	155.5	155.5
22	1989	Junio	70.5	70.5
23	1990	Mayo	85	85
24	1991	Mayo	115.4	115.4
25	1992	Junio	132.2	132.2
26	1993	Mayo	82.3	82.3
27	1994	Julio	63.3	63.3
28	1995	Octubre	138.3	138.3
29	1996	Julio	72.8	72.8
30	1997	Junio	176.6	176.6
31	1998	Julio	110.4	110.4
32	1999	Septiembre	72.2	72.2
33	2000	Septiembre	179.7	179.7
34	2001	Julio	111.4	111.4
35	2002	Mayo	154	154
36	2003	Junio	154	154
37	2004	Mayo	187.5	
38	2005	Septiembre	111	111
39	2006	Junio	58.3	58.3
40	2007	Octubre	137.5	137.5

1.-Para los datos de la serie anual se calculan los parámetros:

$n_p = 40$ (número de datos)

$m = 187.5$ mm (valor máximo de P en la serie)

$$\bar{x}_n = 111.9825 \quad s_n = 37.6136$$

$$\bar{x}_{n-m} = 110.0461 \quad s_{n-m} = 36.0291$$

2.- De la Figura 5-16 se determina $K_m = 18$ para 24 horas y $\bar{x}_n = 111.98$.

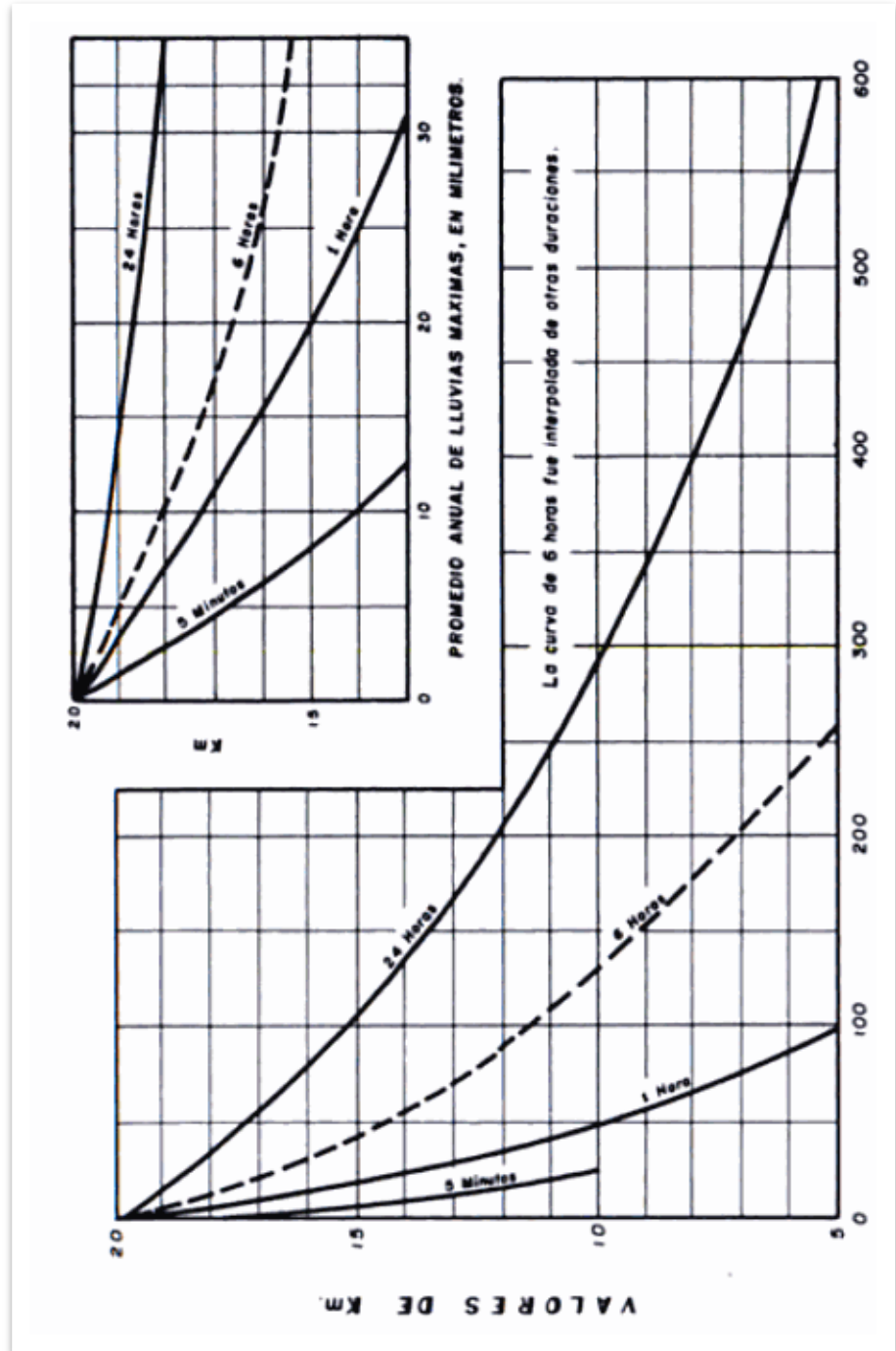


Ilustración 5-16: K_m en función de la duración de la lluvia y de su valor medio anual. Tomado de D.M. Hershfiel.

3.- Se evalúa $(\bar{x}_{n-m})/(\bar{x}_n) = 0.9827$, con este valor y una longitud de registros de 40 se obtiene en la Ilustración 5-17 un factor correctivo de 1.01 para la media por máxima precipitación observada.

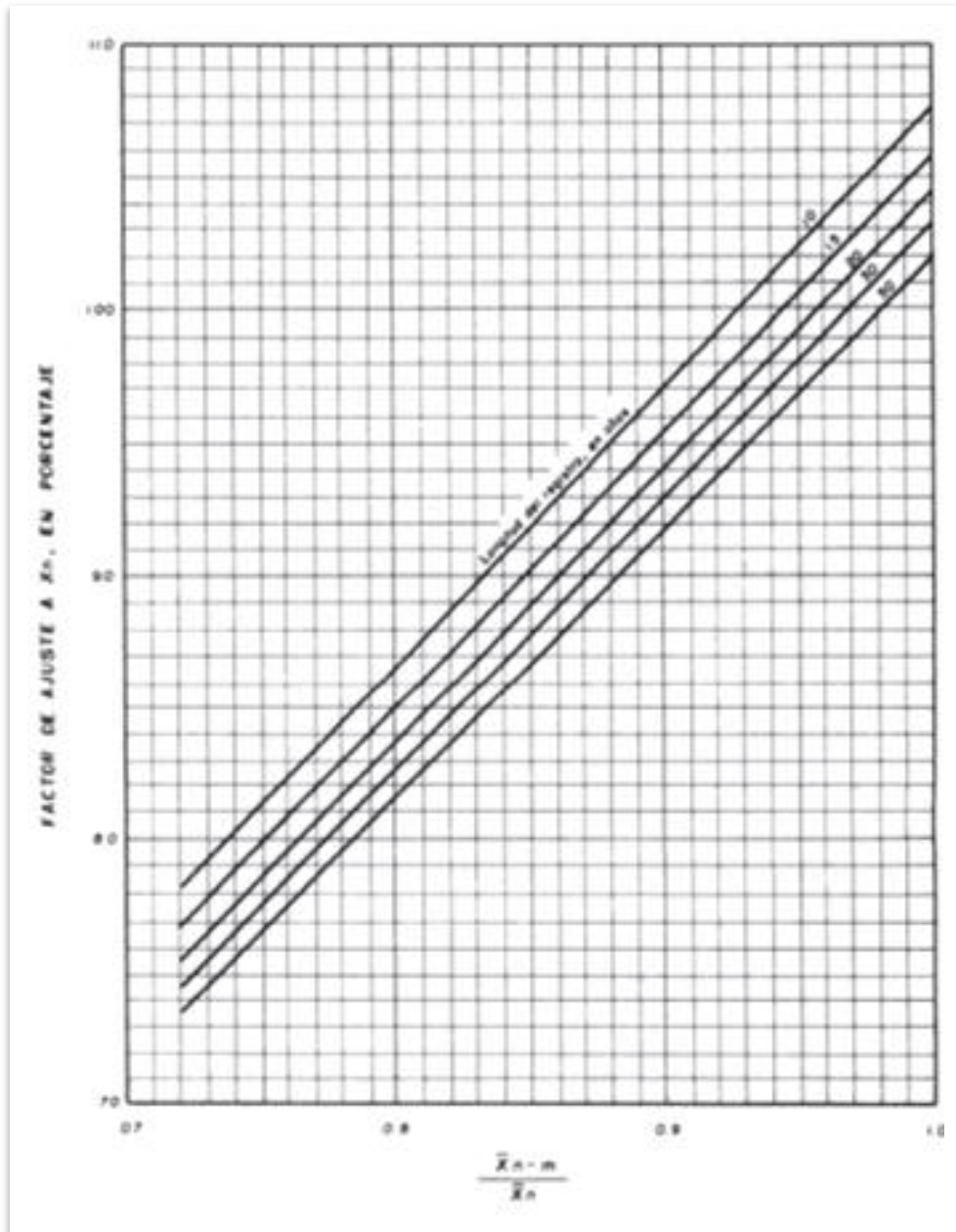


Ilustración 5-17: Ajuste de la lluvia media anual (\bar{X}_n) por lluvia máxima observada. D.M. Hershfield.

Ahora, $(S_{n-m})/(S_n)=0.9578$, con el valor anterior y una longitud de registros de 40 años, se obtiene en la Ilustración 5-18, un factor correctivo de 1.06 para la desviación típica por máxima precipitación observada.

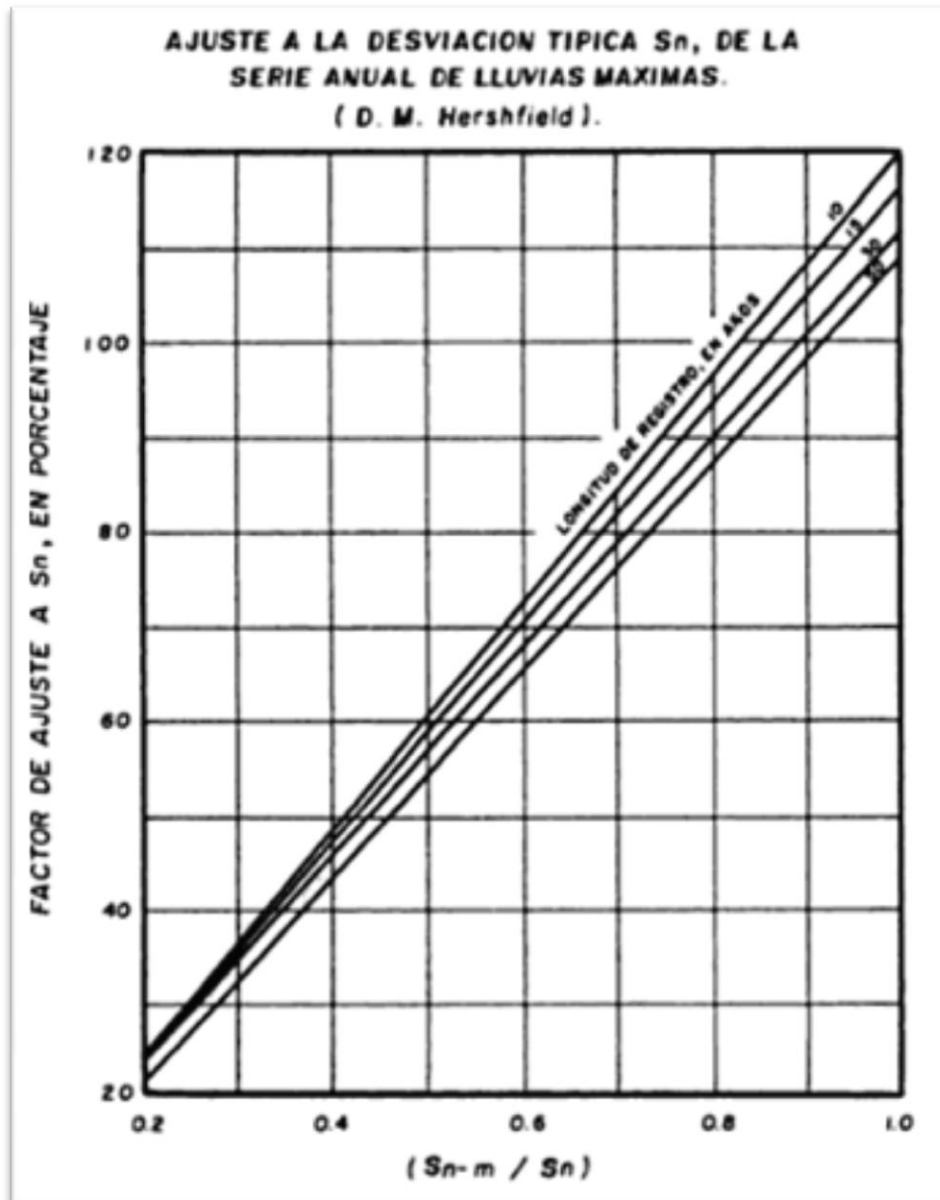


Ilustración 5-18: Ajuste de la desviación típica S_n , de la serie anual de lluvias máximas. D.M. Hershfield.

4.- En base a la longitud de registro (40 años) se obtiene en la Ilustración 5-19, los factores correctivos de la media y la desviación típica por tamaño de muestra, estos son: 1.001 y 1.03 respectivamente.

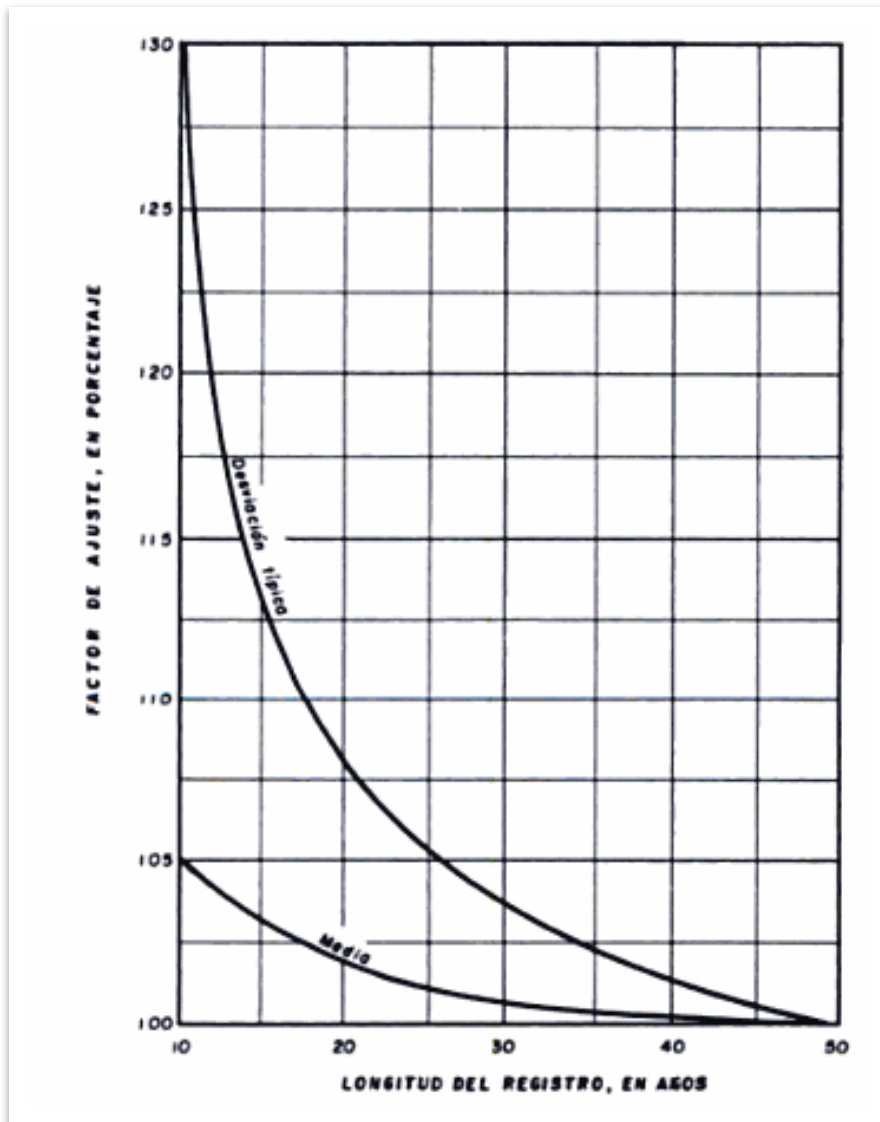


Ilustración 5-19: Ajuste a la media y desviación típica de la serie anual de lluvias máximas. D.M. Hershfield.

Así $X_n = (111.9825)(0.9827)(1.001)=110.15$

$$S_n = (37.6136)(1.06)(1.03)=41.06$$

Por lo cual $PMP_{diaria} = 110.1562 + (18)(41.0666) = 849.35 \text{ mm}$

5.- La precipitación Máxima Probable Puntual se corrige por intervalo fijo y único de observación mediante la Ilustración 5-20.

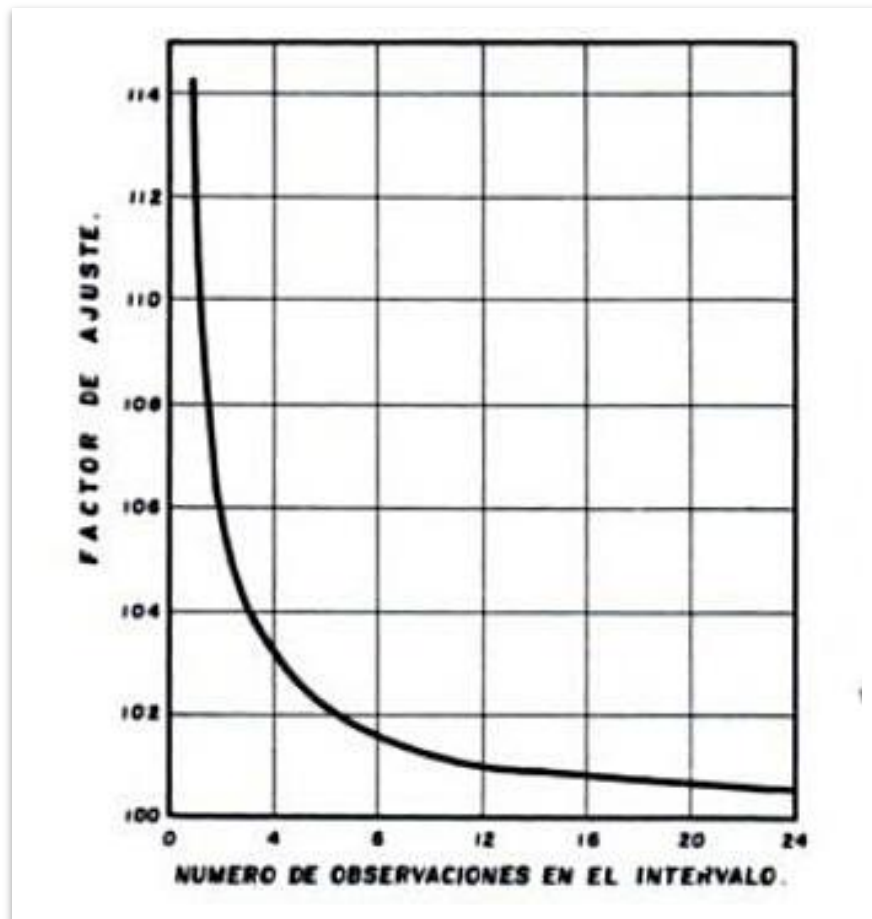


Ilustración 5-20 : Ajuste por intervalo fijo de observación. *L.L. Weiss*

Teniendo como resultado un dato de PMP_{24} corregido de 857.84 mm.

6.-Con el auxilio de la Ilustración 5-21 se determina la Precipitación Máxima Probable puntual para 2 horas, la que es igual a 265 mm.

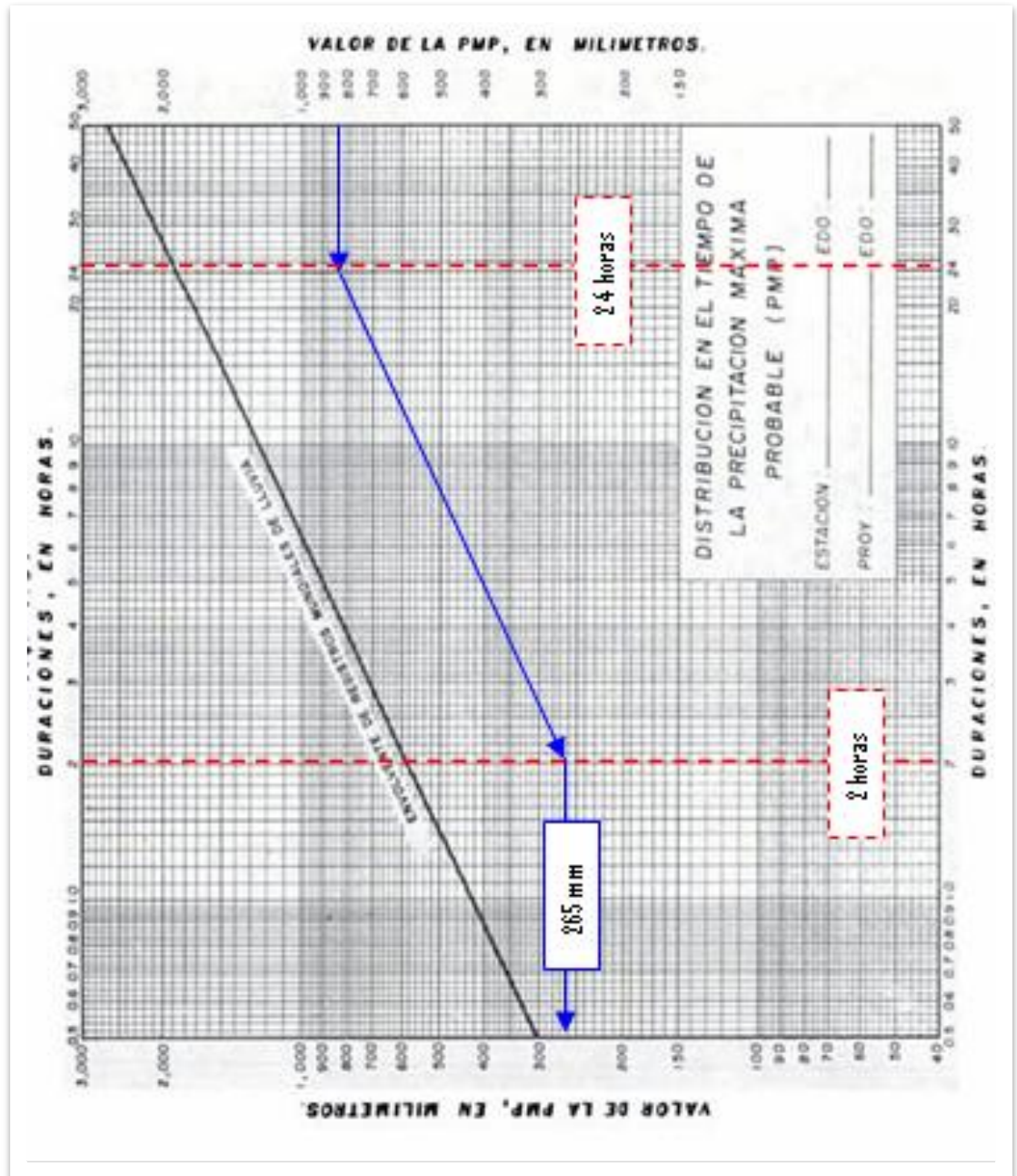


Ilustración 5-21: Duración en el tiempo de la Precipitación Máxima Probable (PMP). Tomado de D.F. Campos Aranda

7.- Por último se corrigen los valores en función del área de la cuenca (0.34 km²) con auxilio de la Ilustración 5-23.

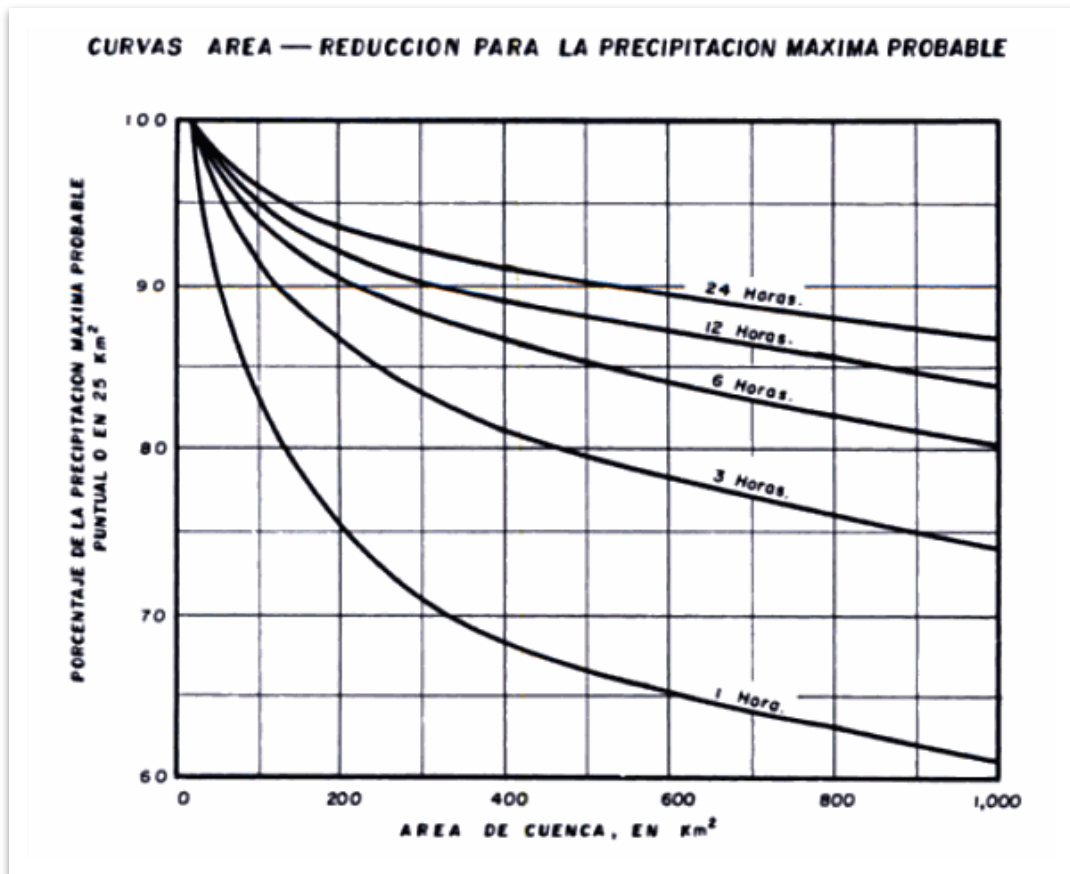


Ilustración 5-22: Curvas Área – Reducción para la precipitación Máxima Probable. Tomado de D.F. Campos Aranda.

Resultando una PMP_{2horas} de 265 mm de lluvia acumulada, quedando sin corrección, dado la pequeña área de la cuenca (>1km²).

Tabla 5-10: Hietograma de precipitación para la PMP. Gómez.

T [min]	P [mm]	ΔP [mm]	Hieto [mm]
5	44.14	44.14	5.12
10	71.95	27.81	5.42
15	92.75	20.81	5.79
20	109.66	16.90	6.22

25	124.05	14.40	6.75
30	136.70	12.64	7.43
35	148.04	11.34	8.31
40	158.37	10.33	9.53
45	167.90	9.53	11.34
50	176.76	8.86	14.40
55	185.07	8.31	20.81
60	192.90	7.83	44.14
65	200.32	7.43	27.81
70	207.39	7.07	16.90
75	214.15	6.75	12.64
80	220.62	6.47	10.33
85	226.84	6.22	8.86
90	232.83	5.99	7.83
95	238.62	5.79	7.07
100	244.22	5.60	6.47
105	249.64	5.42	5.99
110	254.90	5.26	5.60
115	260.02	5.12	5.26
120	265.00	4.98	4.98

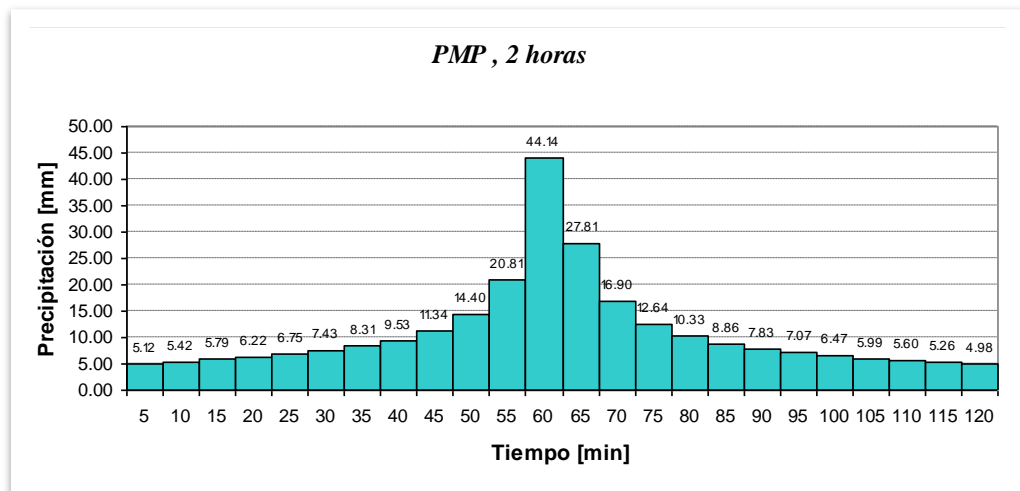


Ilustración 5-23: Hietograma de la Lluvia de Máxima Probable para 2 horas de duración. Gómez

5.3.2.2 Precipitación TR=100 años

Las curvas de Profundidad-Duración-Frecuencia proporcionadas por el INETER son construidas mediante el método de distribución de Gumbel. El método se aplica de manera separada a cada uno de los registros temporales de precipitación de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 360, 720 minutos.

La Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica (2004) ha desarrollado Hidroesta, el mismo permite evaluar si una serie de datos se ajusta a una de las distribuciones tales como: Normal, Gumbel, Log-normal, Gamma, Log Pearson Tipo III. Es básicamente la automatización del análisis estadístico que tradicionalmente es efectuado en plantillas de Microsoft Excel. La Ilustración 5-24 muestra el aspecto del Hidroesta durante el cálculo de los valores de intensidad.

Una vez que la serie se ajusta, es posible calcular caudales o precipitaciones de diseño.

Se toman los datos de precipitación máxima de 5 minutos de la serie de registros de la estación Rivas, a fin de hacerlos correspondiente con el valor del t_c , mostrados en la Tabla 5-11.

Tabla 5-11: Precipitación Máxima de 5 minutos de la serie de registros de la estación Rivas.
Tomado de INISER

AÑO	P 5 min	AÑO	P 5 min
1971	102.8	1985	96.0
1972	131.7	1986	117.6
1973	106.3	1987	120.0
1974	122.9	1988	120.0
1975	117.6	1989	122.4
1976	135.6	1990	112.8
1977	134.0	1991	216.0
1978	114.0	1992	122.4
1979	216.0	1993	199.2
1980	102.0	1994	170.4
1981	120.0	1995	120.0
1982	258.8	1996	117.6
1983	124.8	1997	122.4
1984	141.6	1998	116.4

Se obtuvo una intensidad de 259.69 mm/h, muy cercana al valor calculado por el INETER en la curva IDF del anexo. Los que permite obtener un hietograma de proyecto.

La Tabla 5-12 y la Ilustración 5-25 representan los valores de la intensidad distribuida temporalmente haciendo uso del Hidroesta.

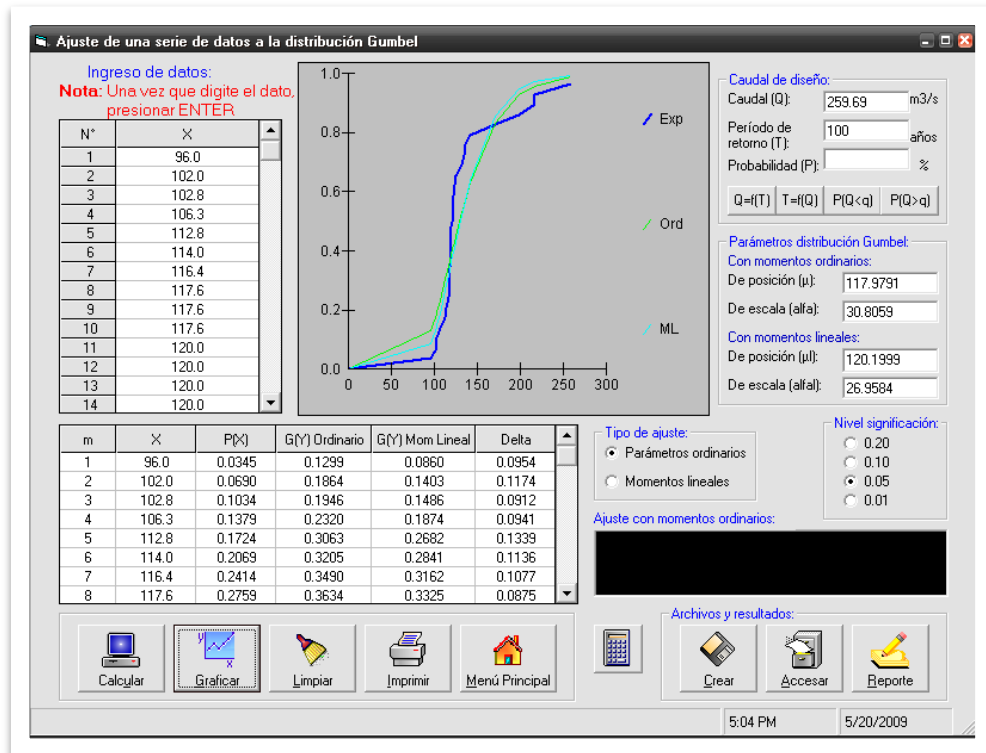


Ilustración 5-24: Captura de pantalla del programa Hidrosta. Gómez.

Tabla 5-12 : Hietograma para la Precipitación de de 100 Años de Recurrencia. Gómez.

T [min]	I [mm/h]	P [mm]	ΔP [mm]	Hieto
5	259.60	21.63	21.63	2.51
10	211.57	35.26	13.63	2.66
15	181.84	45.46	10.20	2.84
20	161.24	53.75	8.28	3.05
25	145.92	60.80	7.06	3.31
30	134.00	67.00	6.20	3.64
35	124.38	72.56	5.56	4.07
40	116.43	77.62	5.06	4.67
45	109.72	82.29	4.67	5.56
50	103.96	86.63	4.34	7.06
55	98.95	90.71	4.07	10.20
60	94.55	94.55	3.84	21.63
65	90.63	98.18	3.64	13.63
70	87.13	101.65	3.46	8.28
75	83.97	104.96	3.31	6.20
80	81.10	108.13	3.17	5.06
85	78.48	111.18	3.05	4.34
90	76.08	114.12	2.94	3.84
95	73.87	116.95	2.84	3.46
100	71.82	119.70	2.74	3.17
105	69.92	122.36	2.66	2.94
110	68.15	124.94	2.58	2.74
115	66.49	127.44	2.51	2.58

T [min]	I [mm/h]	P [mm]	ΔP [mm]	Hieto
120	64.94	129.88	2.44	2.44

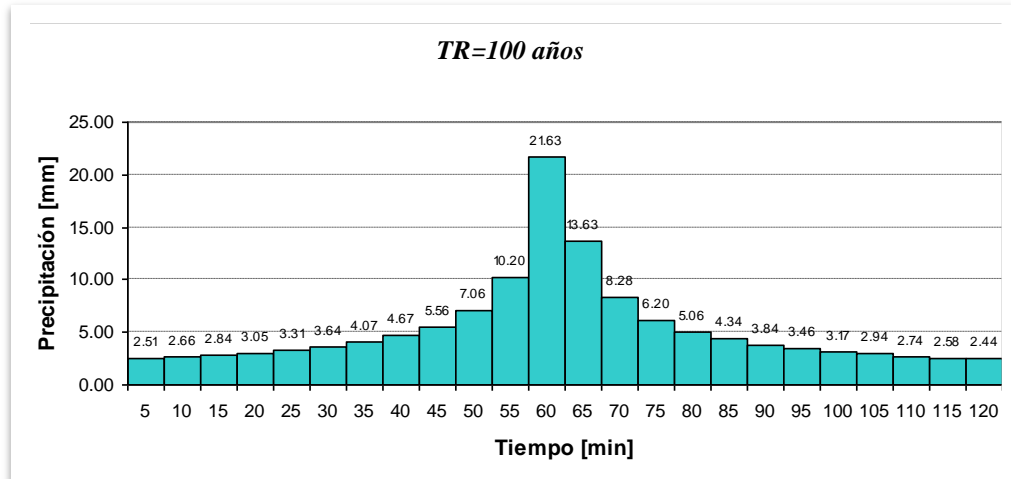


Ilustración 5-25: Hietograma de precipitación para un tiempo de Recurrencia de 100 años. Gómez.

5.3.2.3 Lluvia Histórica

Se usaron los datos de precipitación del 30 de Octubre de 1998, período en el cual se desarrolló sobre el territorio centroamericano el Huracán Mitch. La precipitación registrada fue de 113.5 mm en la estación Rivas en un período de 24 horas, sin embargo se distribuyó esta misma precipitación para un período de 2 horas siguiendo el criterio de duración media de precipitaciones para la zona, además de considerar la humedad antecedente, producto de las precipitaciones de 3 días anteriores, por lo que se tomó que la lluvia precipitada el día 30 escurrió completamente. La Tabla 5-13 y la Ilustración 5-26 indican la distribución temporal de la precipitación histórica (Huracán Mitch).

Tabla 5-13 : Hietograma para la Precipitación Histórica. Gómez.

T [min]	P [mm]	ΔP [mm]	Hieto
5	18.90	18.90	2.19
10	30.81	11.91	2.32
15	39.73	8.91	2.48
20	46.97	7.24	2.66
25	53.13	6.17	2.89
30	58.55	5.42	3.18

T [min]	P [mm]	ΔP [mm]	Hieto
35	63.40	4.86	3.56
40	67.83	4.43	4.08
45	71.91	4.08	4.86
50	75.71	3.80	6.17
55	79.26	3.56	8.91
60	82.62	3.36	18.90
65	85.80	3.18	11.91
70	88.83	3.03	7.24
75	91.72	2.89	5.42
80	94.49	2.77	4.43
85	97.16	2.66	3.80
90	99.72	2.57	3.36
95	102.20	2.48	3.03
100	104.60	2.40	2.77
105	106.92	2.32	2.57
110	109.18	2.25	2.40
115	111.37	2.19	2.25
120	113.50	2.13	2.13

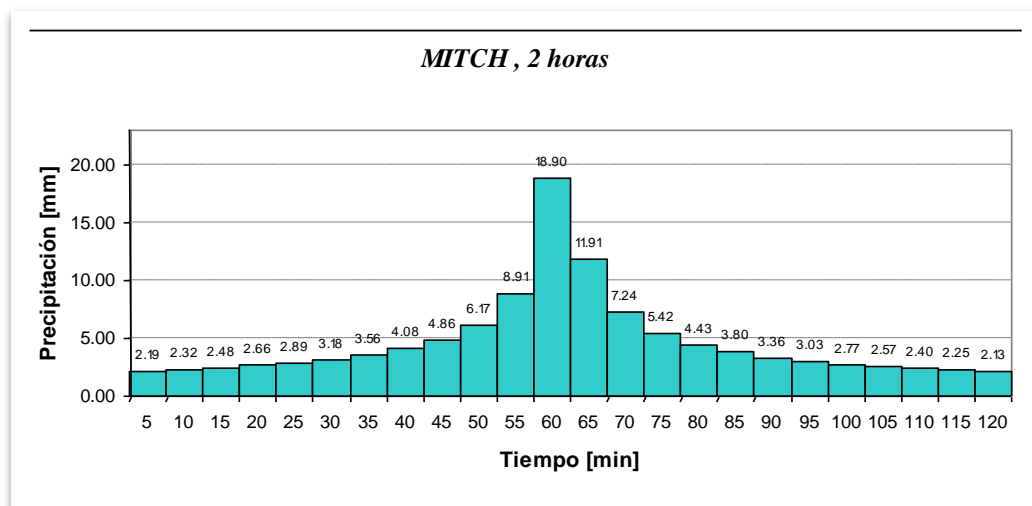


Ilustración 5-26: Hietograma de precipitación del evento histórico, Huracán Mitch.
Adaptado de INETER

5.3.2.4 Caudal de Desborde

Para determinar el caudal de desborde se realiza un análisis regresivo, partiendo de la capacidad de la Laguna Maderas para almacenar agua. Para realizar esto, se utilizan las curvas de nivel interpoladas en el proceso de construcción del TIN. Los datos de la laguna son:

- i. Profundidad media de la Laguna Maderas, 5 m
- ii. Elevación del fondo, 1200 m

PEDRAZA (2006), describe en su texto de Hidrología Superficial, el método de la piscina para reservorios, el cual se aplica parcialmente en este caso, a fin de obtener el volumen en función de la cota de elevaciones.

La ecuación que describe el método es:

$$V = \Sigma \Delta V$$

$$\Delta V_{1,2} = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \quad (5.2)$$

Tabla 5-14 : Tabla de Relación Área-Volumen. Gómez

ELEVACIÓN [m]	AREA [km ²]	AREA [m ²]	VOLUMEN [m ³]
1200	0	0	0
1203	0.0056015	5601.5	4578.09234
1204	0.007577	7577	6564.43196
1206	0.012518	12518	19889.3595
1208	0.018372	18372	30703.4096
1210	0.025378	25378	43561.7988
1212	0.033281	33281	58480.7283
1214	0.042243	42243	75346.1268
		$\Sigma \Delta V =$	239123.947 m ³

Tomando el tiempo de precipitación referencial de 2 horas (7200 segundos), y sin considerar las pérdidas por infiltración ni la influencia del t_c , dado su valor de 5 min, se precisa de un caudal constante de 33.21 m³/s para lograr rebalsar la laguna.

5.3.3 Desarrollo del Modelo Hidrológico

El objetivo del modelo hidrológico es determinar los hidrogramas de flujo producido por las precipitaciones de 100 años de TR, y la Precipitación Máxima Probable (PMP). La calibración es realizada con datos de un solo evento, dado las dimensiones de la cuenca de aporte de la Laguna Maderas.

Se desarrolla el modelo digital de terreno procesando una imagen SRTM a fin de obtener un TIN. El TIN se usa para crear un modelo de la cuenca de aportación de la laguna Maderas de 2 m, en lo cual se utiliza ArcGis v9.2 y la extensión HEC-GeoHMS. Un modelo HEC-GeoHMS se crea para delinear las fronteras de la cuenca¹¹, determinar las sub-cuencas y las líneas de drenaje, calcular áreas y pendientes. Imágenes de satélite e información de campo fueron usadas para determinar factores hidrológicos como la rugosidad del terreno. Fue modificada la delimitación original de las subcuencas, dado que el área de la cuenca es muy pequeña, esto permitió incorporar una característica hidrológica importante, como es el dimensionamiento de la Laguna Maderas. Las Ilustraciones 5-27 y 5-28 denotan la ubicación de la cuenca de la laguna en la zona del Volcán Maderas y el esquema de tratamiento de la cuenca a en HEC-HMS respectivamente.

5.3.3.1 Transformación de la Cuenca

Se utilizó el TIN para determinar las líneas de flujo y el área de la cuenca del cráter mediante el módulo HEC-GeoHMS. El área de la cuenca es de 0.32 km². Conociendo el área, las elevaciones y la trayectoria más distante, es posible determinar el tiempo de concentración (t_c). Para esto se aplicó la ecuación desarrollada por Kirpich:

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (5.3)$$

Donde L es la longitud en m del principal curso de agua.

H es la diferencia de alturas entre el punto más alto y el más bajo de la cuenca.

¹¹ Esta acción había sido ya realizada en el proceso de construcción del MDT a fin de determinar los parámetros del tiempo de concentración.

Sabiendo que $L = 622.58$ m y que $H = 123$ m, se obtiene el t_c .

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{622.58^3}{123} \right)^{0.385} = 5.16 \text{ normalizándolo en 5 min}$$

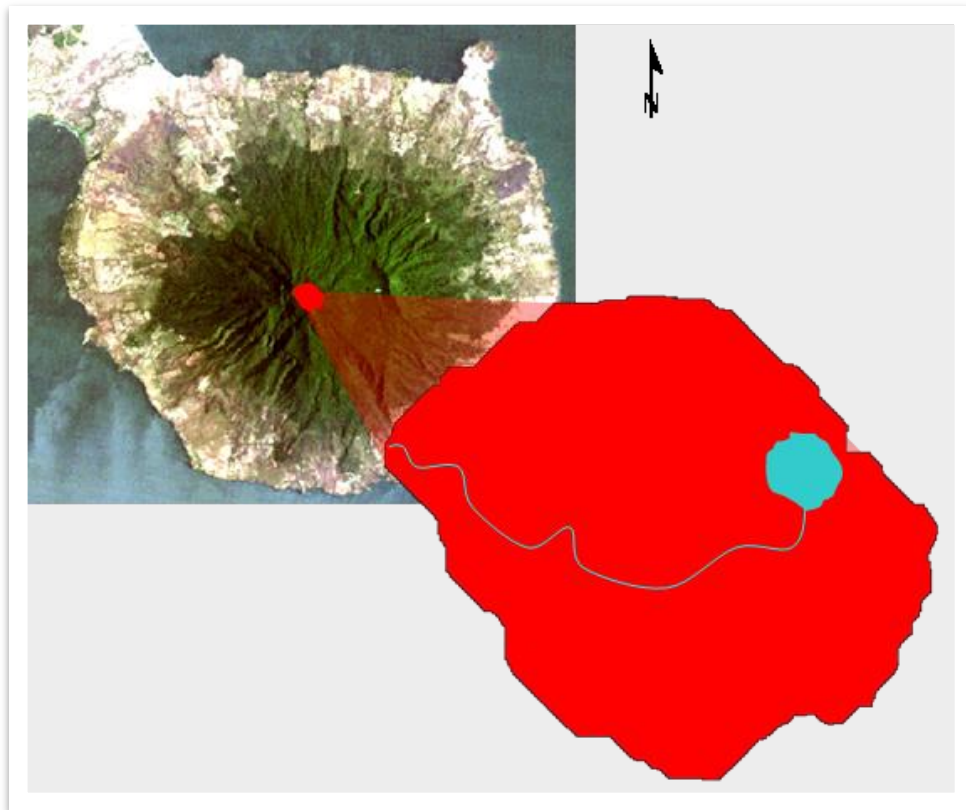


Ilustración 5-27: Microcuenca del la Laguna Maderas, en el cráter del volcán del mismo nombre. Gómez.

La lluvia efectiva fue determinada usando los métodos del Servicio de Conservación de Suelos de EE UU (SCS). El hidrograma SCS requiere la determinación del parámetro tiempo de retardo (t_{lag}), el cual se calcula como $0.6 t_c$, de igual manera precisa de datos sobre la condición de humedad de la cuenca: pérdidas iniciales en mm, el Número de Curva (CN), obtenido en base a tablas, (ver anexo12), y el porcentaje del área impermeable.

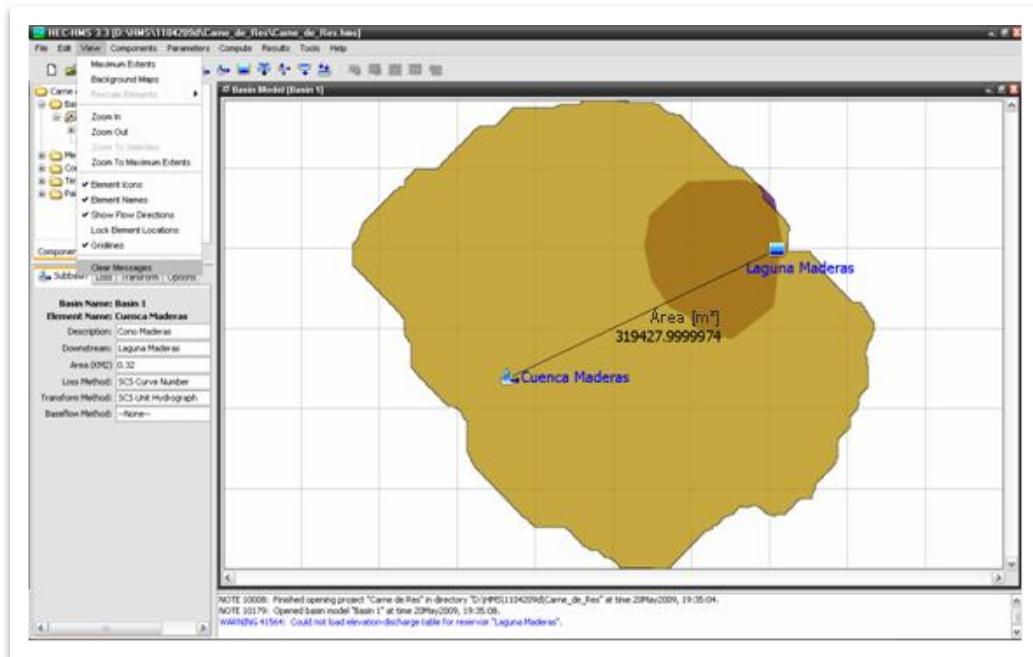


Ilustración 5-28: Captura de pantalla del esquema de la cuenca de la laguna Maderas en HEC-HMS. Gómez.

5.3.3.2 Pérdidas Iniciales

La cantidad de lluvia infiltrada depende de las condiciones iniciales de saturación del suelo. La cuenca está cubierta por una neblina propia de selvas tropicales durante todo el año, lo que supone un alto nivel de saturación, sin embargo por simplificación y por las dimensiones de la cuenca no fueron consideradas las pérdidas.

5.3.3.3 Reservorio

La laguna es la receptora de toda la precipitación efectiva drenada a través de la cuenca. Dada la simplificación geométrica en términos de las similitudes asumidas entre la laguna y una presa típica de tierra, el hidrograma de entrada en el reservorio es considerado como el hidrograma de entrada a la presa, esto a fin de desarrollar el modelo de rotura de presas. La Ilustración 5-29 muestra la curva área- elevación, ésta nos permite comprender la relación entre la condición areal del reservorio y la elevación del área potencial a rotura.

Dada la naturaleza del análisis de la rotura, por defecto, no se espera una atenuación del caudal de salida.

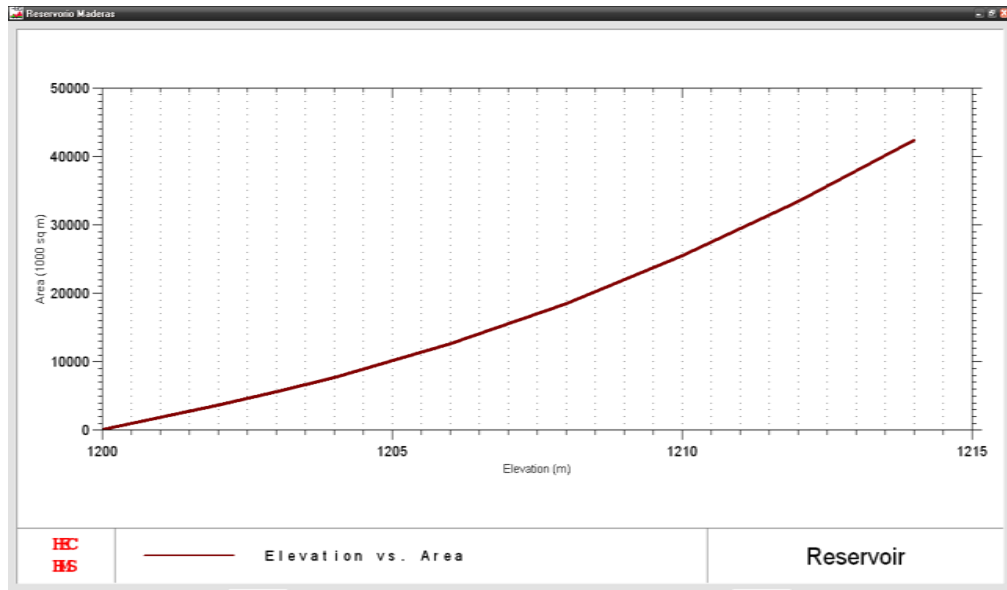


Ilustración 5-29: Relación Elevación –Área para la laguna Maderas. Gómez.

5.3.3.4 Calibración

No existen registros de caudales generados por eventos importantes. Los registros de variación de nivel de la laguna Maderas para períodos cortos de tiempo también son inexistentes. Se procedió a correr el modelo obviando la calibración, sustentando la decisión en la poca variación que habría dado el t_c para la cuenca.

5.3.3.5 Aplicación de HEC-HMS

La aplicación del modelo se restringió a analizar el comportamiento de la cuenca, dada la interpretación sobre la funcionalidad de presa de la Laguna, por lo cual el modelo se corrió a fin de determinar el flujo para un evento con una recurrencia de 100 años y para establecer el Flujo Máximo Probable en la cuenca de la Laguna Maderas.

De acuerdo con el reporte N° 39 del departamento de Comercio de EE UU (Water Bureau), sugiere que el análisis de la precipitación se distribuya en 24 horas, sin embargo, para el análisis de la precipitación en el área de la subcuenca de la Laguna Maderas se opta por el análisis de un evento de 2 horas, que es el tiempo promedio de duración de eventos

para la zona. La Tabla 5-15 contiene los principales parámetros de la microcuenca de la Laguna Maderas.

Tabla 5-15 : Parámetros de la microcuenca de la Laguna Maderas. Gómez

Nº	PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
1	Curva Número	79	Uso de la Tierra: Bosque-Grupo Hidrológico D: suelos con alto potencial de escurrimiento, suelos como arcilla o capa de arcillas en la superficie. Suelo con buena cobertura vegetal.(>75% área.)
2	Pérdida Inicial	0	Se considera un buen índice de humedad antecedente
3	Tiempo de Concentración	3.6 min	Obtenido de $0.6t_c$
4	% de área impermeable	11%	Área de la Laguna antes del evento

Los hidrogramas resultantes del proceso de transformación y análisis hidrológico realizado con HEC-HMS son mostrados en la Tabla 5-16. Las Ilustraciones 5-30, 5-31 y 5-32 son las representaciones gráficas de los hidrogramas PMP, TR=100 años y evento histórico.

Tabla 5-16 : Comparativo de Hidrogramas de salida en función de los distintos escenarios. Gómez.

Tiempo [min]	TR=100 años [m³/s]	PMP [m³/s]	MITCH ¹² [m³/s]
10	0.3162	0.961	0.2962
20	0.6799	2.282	0.6329
30	1.1356	3.807	1.0562
40	1.8108	5.83	1.6851
50	3.1118	9.452	2.9036
60	8.9746	24.93	8.4118
70	8.8067	23.168	8.2826
80	5.6828	14.503	5.3580
90	3.9369	9.845	3.7187
100	3.0541	7.544	2.8864
110	2.5615	6.283	2.4252
120	2.2514	5.489	2.1277
130	0.5713	1.392	0.5398
140	0.1081	0.263	0.1021
150	0.0177	0.043	0.0167

¹² Lluvia registrada el 30 de Octubre de 1998, dimensionada temporalmente a 2 horas.

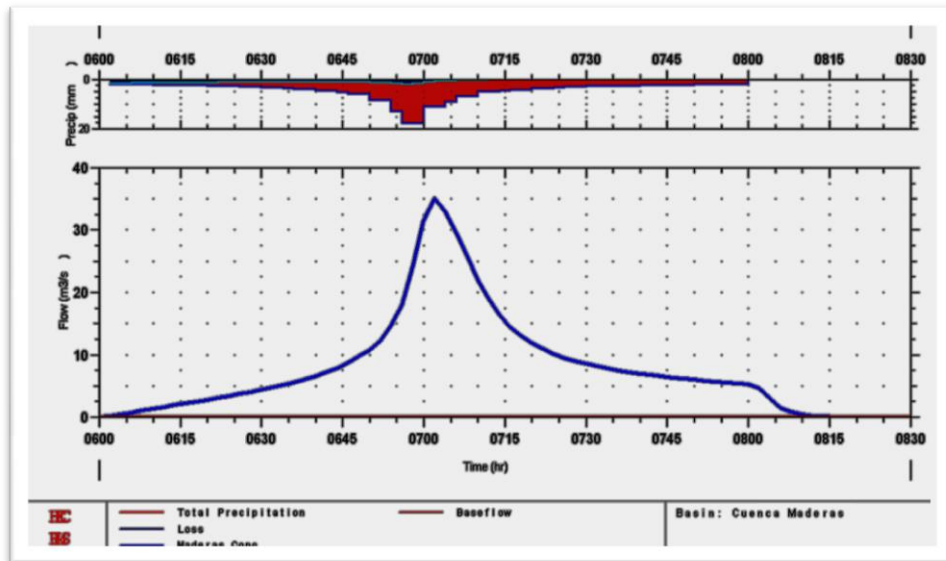


Ilustración 5-30: Hidrograma de salida de la cuenca de la laguna Maderas para la PMP. Gómez.

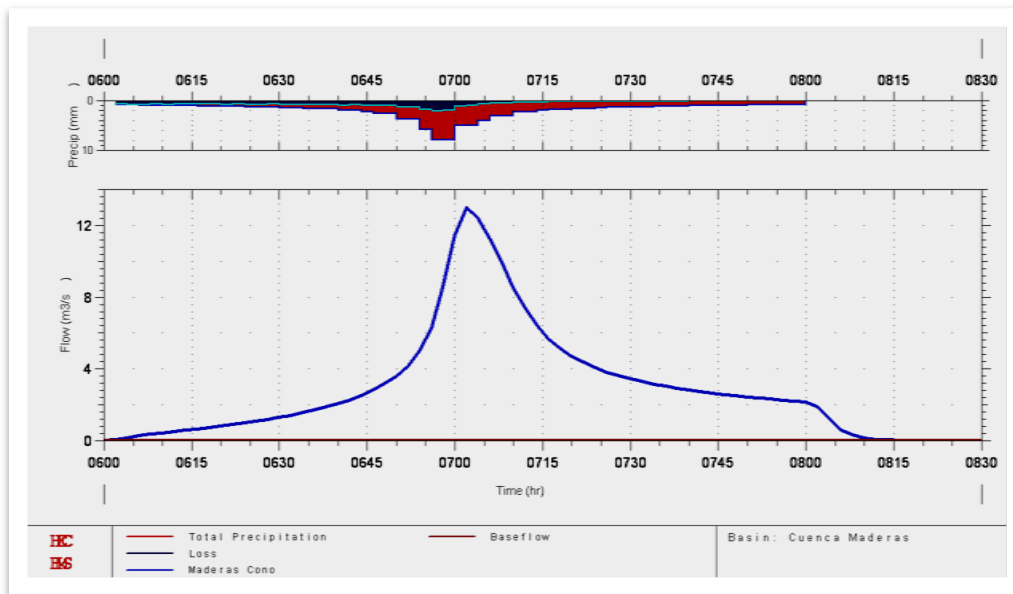


Ilustración 5-31: Hidrograma de salida de la cuenca de la laguna Maderas para la precipitación de 100 años de recurrencia. Gómez.

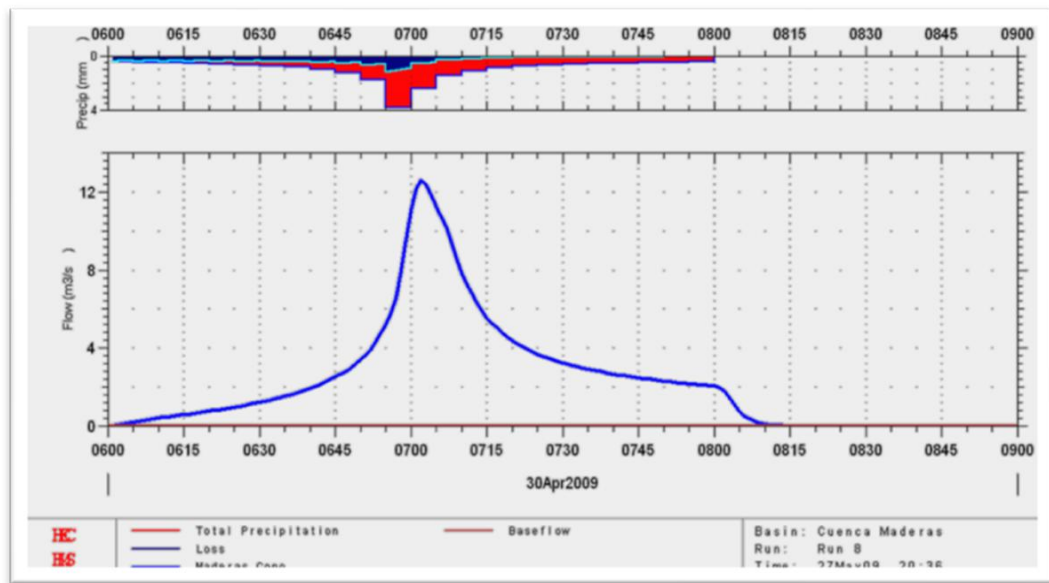


Ilustración 5-32: Hidrograma de salida de la cuenca de la laguna Maderas para la precipitación histórica (Huracán Mitch). Gómez.

5.3.4 Desarrollo del Modelo de Estabilidad de Laderas

En 1986 O'LOUGHLIN desarrolla el modelo hidrológico que reproduce la relación entre la concentración de agua y la transmisividad del suelo para determinar la condición de saturación. Este modelo puede ser expresado a partir de la ecuación:

$$W = \frac{Q}{T} \frac{a}{b \sin \theta} \quad (5.4)$$

Donde: «W» representa el índice de Humedad del suelo, que puede ser dado también en función de la razón «h» (grosor capa de suelo)/z (altura de la columna de agua en el subsuelo); «Q» es la intensidad de la lluvia (mm); «T» la transmisividad del suelo (m²/día), es decir, el producto entre la conductividad hidráulica saturada y el grosor del suelo; «a» es el área de contribución o el área drenada dado en m²; «b» es el largo de contorno unitario (resolución de la grilla dado en m) y «θ» es la pendiente local medida en grados.

MOREIRA RAMOS et al. (2002) indican que el modelo de estabilidad de laderas utilizado por el modelo, está basado en la teoría del talud infinito, que simula el grado de estabilidad de una determinada porción del suelo localizada sobre el afloramiento rocoso. Puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$\frac{h}{z} = \frac{C'}{\rho_w g z \cos \theta \tan \phi} + \frac{\rho_z}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (5.5)$$

Donde h representa la altura de la columna de agua en el subsuelo (m); «z» es el grosor del suelo (m); «C'» la cohesión del suelo (kpa), «g» es la aceleración de la gravedad (m/s²), «ρ_s y ρ_w» corresponden respectivamente a las densidades del suelo y del agua (kg/m³) y «Φ» representa el ángulo de fricción en grados. En estas ecuaciones se fundamenta SHALSTAB.

Tabla 5-17: Condiciones de inestabilidad en función de las características paramétricas del suelo .Gómez.

CLASE DE ESTABILIDAD	CONDICION
Incondicionalmente Saturado y estable.	$a/b > (T/Q) \operatorname{sen} \theta \quad \text{y} \quad \tan \theta < \tan \phi (1 - \rho_w / \rho_s)$ (5.6) y (5.7)
Incondicionalmente Estable y no Saturado.	$a/b < (T/Q) \operatorname{sen} \theta \quad \text{y} \quad \tan \theta < \tan \phi (1 - \rho_w / \rho_s)$ (5.8) y (5.7)
Estable y no Saturado.	$a/b < (T/Q) \operatorname{sen} \theta \quad \text{y} \quad \tan \phi (1 - \rho_w / \rho_s) < \tan \theta < \tan \phi$ (5.8) y (5.9) $\frac{a}{b} < \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \frac{T}{Q} \operatorname{sen} \theta$ (5.10)
Inestable y no Saturado.	$a/b < (T/Q) \operatorname{sen} \theta \quad \text{y} \quad \tan \phi (1 - \rho_w / \rho_s) < \tan \theta < \tan \phi$ (5.8) y (5.9) $\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \frac{T}{Q} \operatorname{sen} \theta$ (5.11)
Inestable y Saturado.	$a/b > (T/Q) \operatorname{sen} \theta \quad \text{y} \quad \tan \phi (1 - \rho_w / \rho_s) < \tan \theta < \tan \phi$ (5.6) y (5.9) $\frac{a}{b} > \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \frac{T}{Q} \operatorname{sen} \theta$ (5.12)

Incondicionalmente Inestable y no Saturado. $\tan \theta > \tan \phi$ y $a/b > (T/Q)\text{sen}\theta$ (5.13) y (5.6)

Incondicionalmente Inestable y Saturado. $\tan \theta > \tan \phi$ y $a/b < (T/Q)\text{sen}\theta$ (5.13) y (5.8)

Cuando la cohesión no es considerada se dice que el modelo es simple, por lo cual la combinación de los modelos hidrológico y de estabilidad de laderas bajo esta condición puede ser representado por la razón Q/T o en función de la razón a/b (DIETRICH & MONTGOMERY, 1998).

$$\frac{Q}{T} = \frac{\text{sen}\theta}{(a/b)} \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right] \quad (5.14)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \frac{T}{Q} \text{sen}\theta \quad (5.15)$$

Los parámetros topográficos pendiente « θ » y área de contribución por ancho de contorno unitario «a/b» son obtenidos del MDT. La densidad y ángulo de fricción del suelo son obtenidos mediante un análisis de campo.

El Modelo matemático SHALSTAB privilegia la topografía como factor determinante de los deslizamientos. Este modelo es aplicado en diversas regiones del oeste de los Estados Unidos desde la década de los 90 (DIETRICH, 1998).

MONTGOMERY & DIETRICH (1994) usaron un valor constante de T para toda la base de datos y realizaron simulaciones para diferentes valores de Q.

5.3.4.1 Implementación del Modelo SHALSTAB

SHALSTAB, posee tres formatos de entrada como importación, ASCII Raster, Binary Raster, USGS Dem y US DMA DTED, al tener un GRID generado en ARCVIEW

versión 3.2, no es posible compatibilizarlo y lograr que el modelo se establezca ingresando el GRID directamente. Se usa IDRISI KILIMANJARO, como herramienta de conversión de formatos, logrando crear un Archivo ASCII Raster, el que posibilita el modelo se establezca y pueda correr, de esta manera hacer posible identificar las áreas de aporte.

Una vez confeccionado el MDT del área de estudio, con resolución espacial de 10m, se utiliza el módulo SHALtopo para la remoción de las depresiones presentes y generación de los mapas de pendiente y área de contribución, tal como se muestra en la Ilustración 5-33.

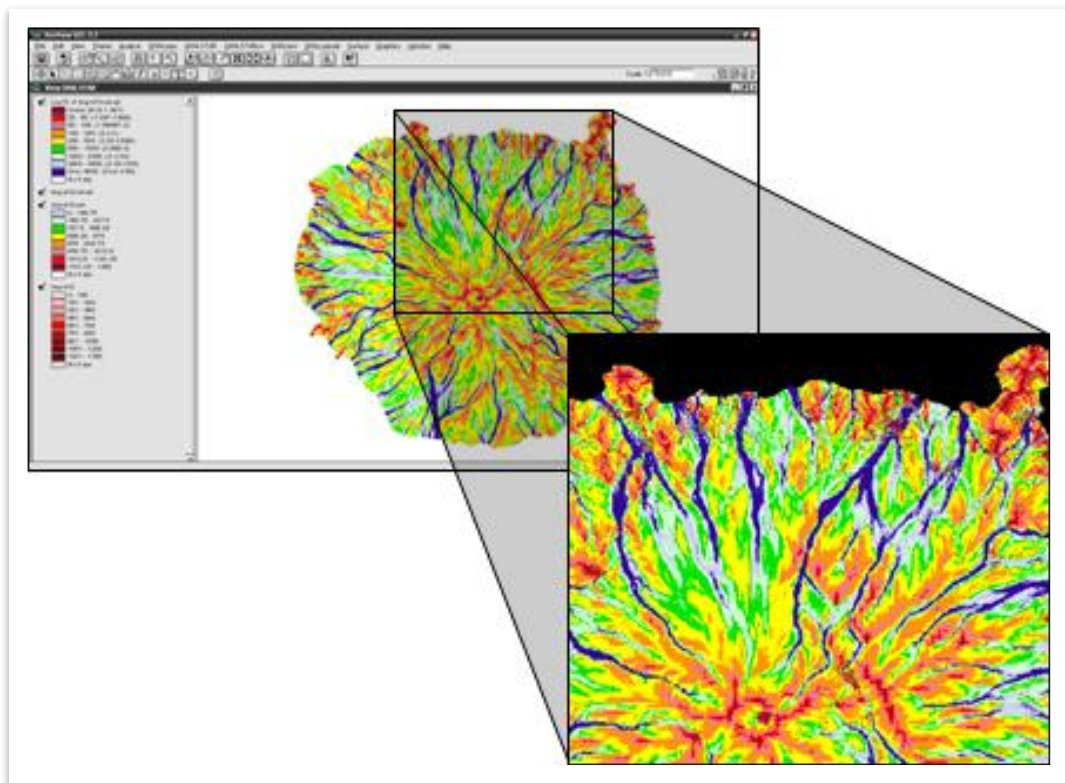


Ilustración 5-33: Captura de pantalla del área del cráter con mayores índices inestabilidad de laderas y su rango de afectación. *Gómez.*

Con el trazado de las líneas del drenaje denotadas en raster del área de contribución fue posible identificar el área por donde el agua fluye y los asentamientos humanos afectados aguas abajo, de existir estos en la zona. Esto además nos permitió reducir la zona de análisis.

A partir del MDT, del área de contribución y de la pendiente generados, es hecho el cálculo de la relación Q/T a través de la Herramienta SHALSTAB, tal como se muestra en la Ilustración 5-34, esto permite, una vez establecidos los parámetros de cohesión (de considerarse), de profundidad de suelo, de densidad de suelo y ángulo de fricción, mediante un solo paso de manera automática determinar la relación Q/T. Para este cálculo son adoptados índices estandarizados por el INETER para la densidad del suelo y el ángulo de fricción del área de estudio. No se considera la cohesión del suelo. De esta forma, se puede jerarquizar el área en términos de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamiento (MOREIRA RAMOS, V., 2002).

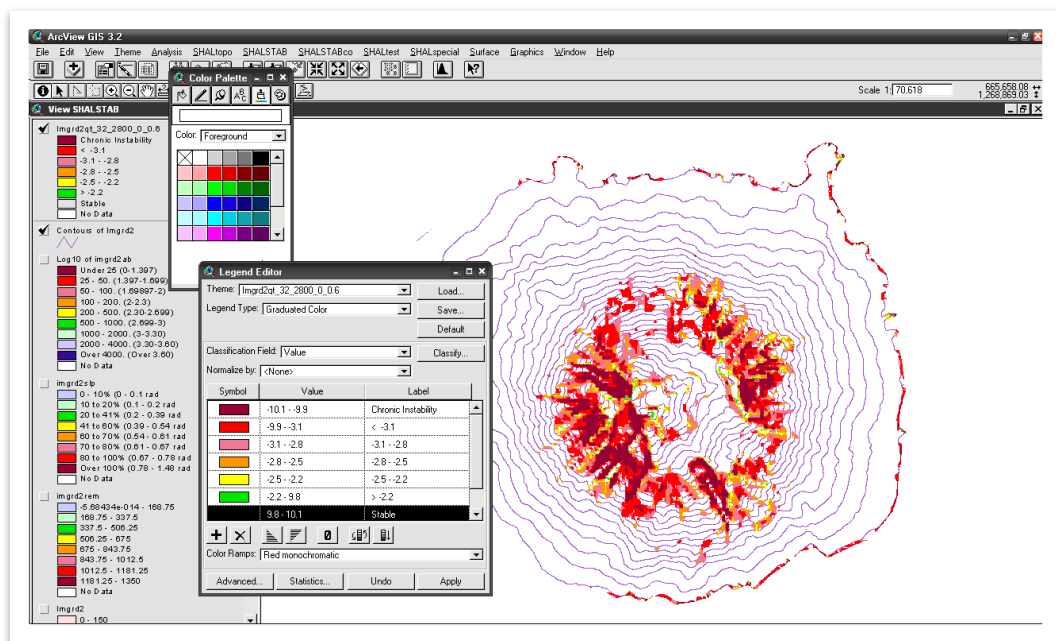


Ilustración 5-34: Captura de Pantalla del procesamiento de la relación q/T con el modelo SHALSTAB. Gómez.

5.3.5 Desarrollo del Modelo Hidráulico

El concepto de inundación, no es muy claro y preciso. Sin embargo podemos considerar la inundación como la «ocurrencia de acumulación de masas de agua más o menos profundas en terrenos que normalmente están secos» (AZEVEDO, 2002), o sea, está aso-

ciado a la acción de cubrir de cierto volumen de agua, debido a un exceso de pluviosidad en relación a la capacidad de drenaje de determinada área, generando una inundación.

De esta forma, una inundación ocurre cuando una crecida provoca el desbordamiento del lecho normal, con capacidad para el flujo de caudales de crecida (ROCHA, 1995), o, cuando en una sección de un curso de agua la «precipitación origina la ocurrencia de flujo superficial directo, que se traduce en la formación de un hidrograma de crecida» (LENCASTRE Y FRANCO, 1992).

El modelo hidráulico del área de inundación de la zona de influencia del Volcán Maderas fue creado usando el Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU (HEC-RAS). Fue usada la extensión para ArcGis v9.2 HEC-GeoRAS a fin de procesar los datos geoespaciales y crear los archivos exportables a HEC-RAS v4.0.

Los hidrogramas de tormentas de la Precipitación histórica (Huracán Mitch), TR=100 años, PMP, son utilizados con condiciones de contorno e ingresado como datos básicos en HEC-RAS. Como condición de contorno aguas abajo, se utilizó los niveles medios del lago de Nicaragua.

El modelo hidráulico final fue usado para calcular el área de inundación. Tres escenarios fueron modelados: Rotura con Máximo Flujo Probable, Rotura con 100 años Recurrencia y Rotura para la Precipitación Histórica. Los parámetros de rotura de presa fueron calculados usando las relaciones de HARRINTON (1999). Al no contar con datos hidrométricos, el proceso de calibración se dificultó, sin embargo dado la corta longitud del tramo se presumió que las variaciones ocasionadas por los parámetros de calibración del modelo serían mínimas, con esta premisa se procedió a correr el modelo.

El Máximo nivel de agua que fue calculado en HEC-RAS fue usado para crear el mapa de áreas inundables.

5.3.5.1 Geometría del Área de Estudio

El área con tendencia de inundación fue modelada procesando combinadamente datos geoespaciales y datos tomados en campo.

Se inició delimitando el área de estudio y analizando características superficiales del suelo, pendientes y líneas de drenaje existentes, para ésto se utilizaron imagen Landsat TM, mapas topográficos y estudios antecedentes.

La topografía y las características del área de estudio fueron descritas usando valores de n de Manning, los cuales representan la rugosidad del suelo; esos valores de n se asignaron basándose en la cobertura vegetal, en el uso de suelo, y en las observaciones físicas durante las visitas al sitio de estudio. Estos datos fueron usados a fin de generar un archivo de salida de HEC-GeoRAS. Las secciones transversales fueron ajustadas en algunos casos dados los errores de interpretación del dato satelital.

5.3.5.2 Valores de Rugosidad de Manning

Los valores de n de Manning se asignaron a la superficie del canal y a las planicies de inundación, esto fue posible mediante observaciones de campo, información digital e imágenes aéreas. Las delimitaciones de las áreas para los distintos valores de Manning se muestran en la Ilustración 5-35. Los valores de Manning variaron de 0.05 en la sección del cráter a 0.035 en las zonas próximas a la costa del lago. VEN T CHOW et al. (1994) en su texto sobre Hidráulica Aplicada presenta una serie de criterios para la determinación del n de Manning. Se usaron los criterios basados en tablas y fotografías referidos por VEN T CHOW tal como se muestra en la Tabla 5-18 extraída del anexo 11.

Tabla 5-18: Valores de “n” rugosidad para el canal y el valle de inundación. Tomado de Ven T Chow.

USO DEL SUELO	SECCION	n CA-NAL	n PLANICIE
Área Protegida	Zona Próxima al Cráter, por encima de los 850 m	0.05	0.060
Terrenos de uso agropecuario	Desde aproximadamente la cota 450 a la cota 850	0.040	0.035
Terrenos de uso residencial y carreteras sin revestir	De la cota 200 a la cota 450 aproximadamente	0.040	0.030
Costas	Zona turística, litoral costero. Hasta la cota 200	0.035	0.025

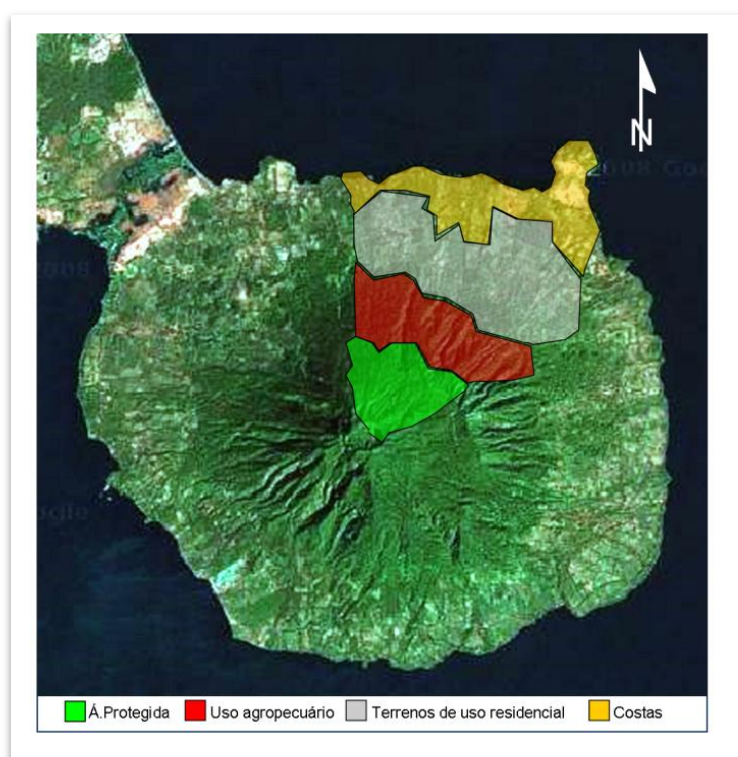


Ilustración 5-35: Uso potencial del suelo en la zona de estudio. Adaptado INAFOR.

5.3.5.3 Desarrollo de HEC-RAS

HEC-GeoRAS 3.1.1 es una extensión para ArcView 9.x, desarrollada conjuntamente por HEC¹³ y ESRI¹⁴, él mismo permite complementar el trabajo de HEC-RAS bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (ACKERMAN, 2005).

¹³ Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers

¹⁴ System Research Institute

Siguiendo lo establecido por NANÍA, L y MOLERO, E (2001), en su manual básico de HEC-RAS, HEC-Geo Ras se definen tres etapas para este estudio:

- i. Preproceso: generar un archivo de importación para HEC-RAS que contiene información geométrica de las áreas transversales.
- ii. Modelización del flujo con HEC-RAS, lo que produce un archivo de exportación para ArcMap.
- iii. Post-proceso: genera resultados finales: Superficies de inundación para cada período de retorno o dato pluviométrico establecido, grids de profundidad entre otros.

i. Preproceso

Los datos topográficos fueron obtenidos del TIN¹⁵, mediante la asignación de una frontera de análisis que resultó de la identificación del área proclive a la salida del agua de la laguna y el trazado de las líneas transversales, mismas que fueron trazadas cada 200 m.

La Ilustración 5-36, muestra el TIN siendo procesado; sobre el cual se trazan los flowpads (líneas azules), la traza del drenaje y las secciones transversales (líneas verdes). Mediante este procedimiento es obtenida la geometría del terreno.

¹⁵ Nuevo TIN con una resolución de 2 m

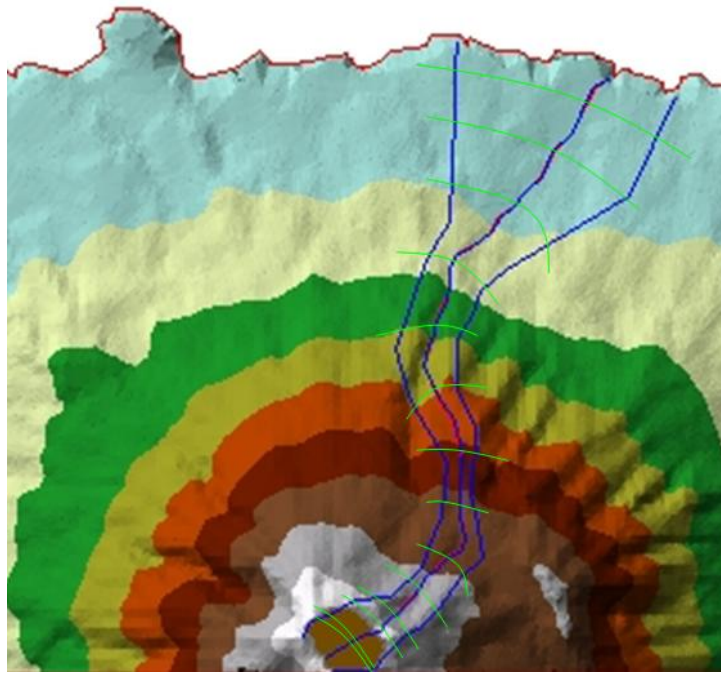


Ilustración 5-36: Digitalización de bancos, líneas de flujo y áreas de potencial inundación con HEC-GeoRAS. Gómez.

ii. Modelización

Los hidrogramas calculados de la PMP, precipitación para 100 años de recurrencia y el evento histórico fueron utilizados en el HEC-RAS como condiciones de contorno.

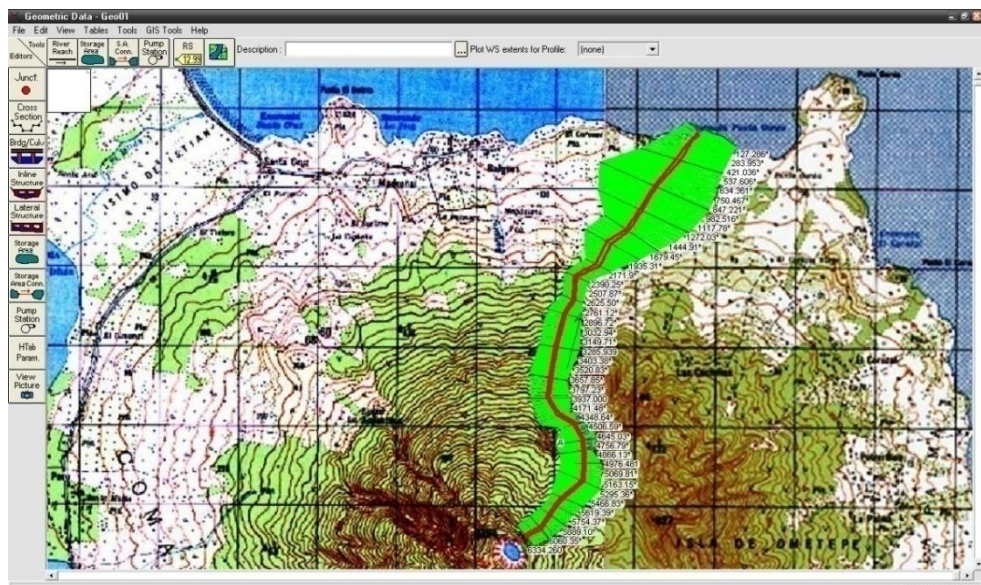


Ilustración 5-37: Captura de pantalla del proceso de parametrización de la simulación en HEC-HMS. Gómez.

La geometría original importada desde HEC-GeoRAS fue modificada a fin de corregir errores de topografía. La Ilustración 5-37 denota el entorno visual del procedimiento donde se ingresan los parámetros de cada una de las secciones transversales, tal como en n de Manning y el procedimiento de interpolación entre otros.

La profundidad del canal en las zonas de poca pendiente fue ajustada de acuerdo al levantamiento de campo siguiendo lo dicho por DOMINGUEZ, F. (1976). Como se observa en la Ilustración 5-38, los ajustes a las secciones transversales se realizan ante las faltas de precisión del relevamiento topográfico satelital, con esta práctica se garantiza disminuir los errores adicionales por interpolación.

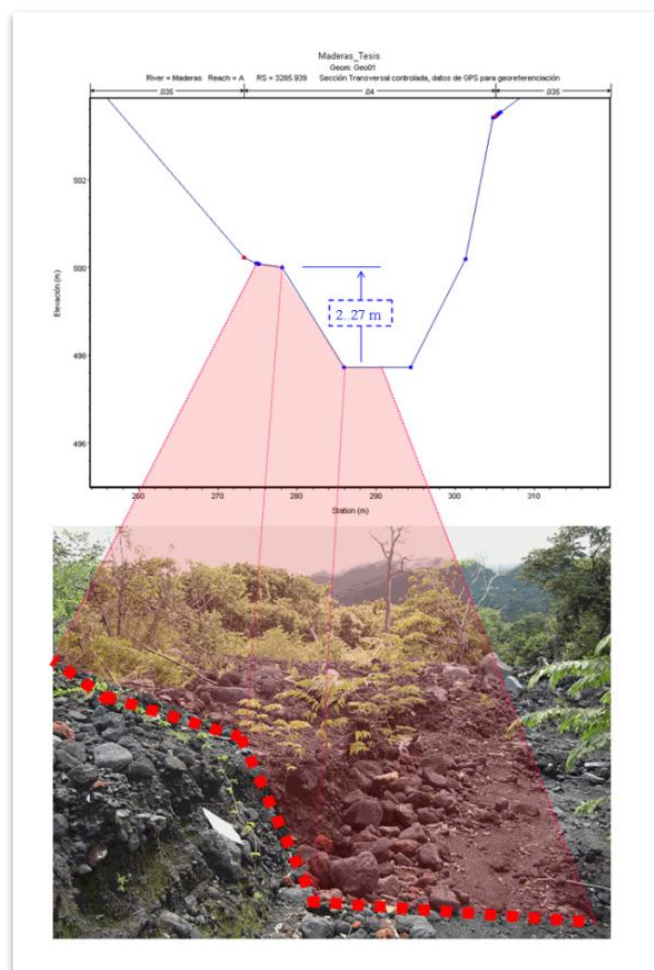


Ilustración 5-38: Ajuste de las secciones transversales. Progresiva 865.3 m. Gómez.

Las Ilustraciones 5-39, 5-40 y 5-41 son representativas de las secciones transversales a través de las cuales se traza el drenaje proveniente desde la cumbre del Volcán Maderas, es decir desde la Laguna Maderas.

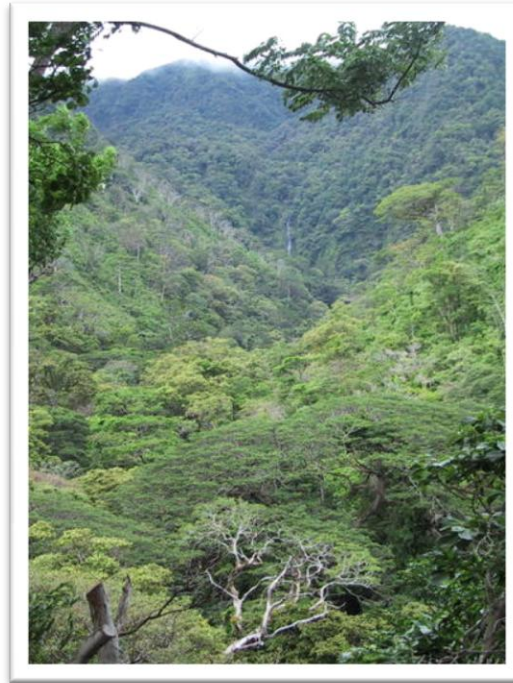


Ilustración 5-39: Imagen de las laderas del Volcán Maderas, por donde se traza la potencial línea de flujo entre los límites de estudio geográfico establecido. *Cortesía T. Salgado de Gómez.*

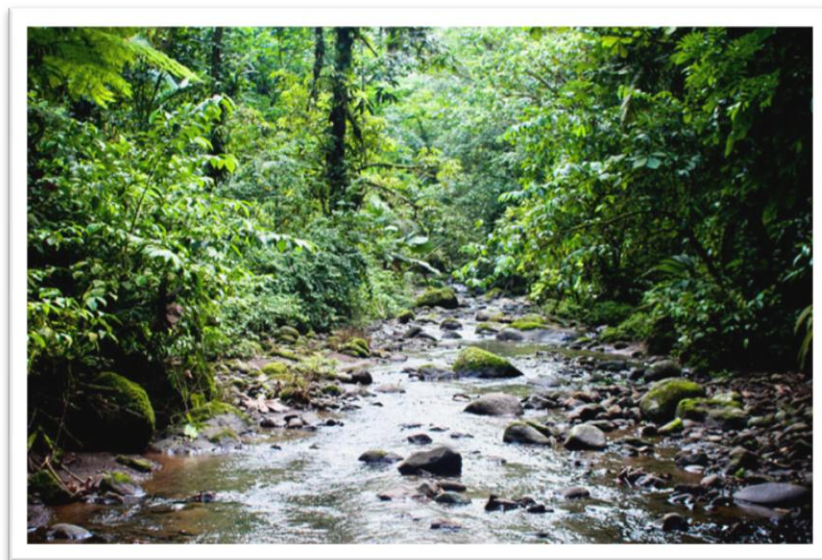


Ilustración 5-40: Imagen de uno de los riachos que bajan desde las cumbres del Volcán. *Tomado de Vianica.*

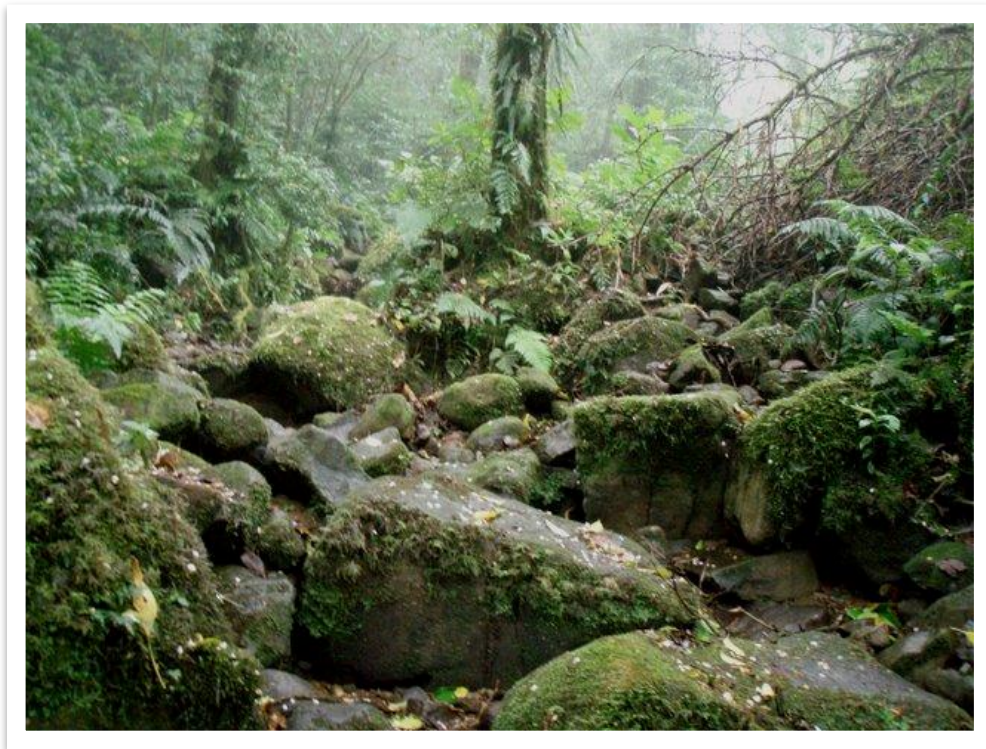


Ilustración 5-41: Aspecto de la zona próxima a la progresiva 5030 por donde la traza de la línea de flujo que se genera en la Laguna Maderas pasa. *Cortesía de MARENA.*

El análisis hidrológico proveyó de información relevante sobre el caudal llevado hasta el reservorio en un período de 2 horas.

No se considera una situación de rebalse, pues se trata de determinar la fuerza desencadenada del agua y no la atenuación de su hidrograma.

Se determinaron los parámetros para la rotura usando la relación de HARRINGTON (1999) de presas de tierra.

Tabla 5-19: Parámetros utilizados para la simulación de la rotura.

ALTURA¹⁶ (ft)¹⁷	ANCHO DE ROTURA (ft)	PENDIENTE LATERAL DE ROTURA (1V:ZH)	TIEMPO DE ROTURA (Horas)
45.93 (14)	65.61 (20)	1	0.20

¹⁶ Desde el fondo de la laguna hasta la cresta.

¹⁷ Datos en paréntesis dados en M

Los parámetros de la rotura para una presa de tierra fueron ingresados en el módulo de simulación de roturas para presas del HEC-RAS, tal como es mostrado en la Ilustración 5-42.

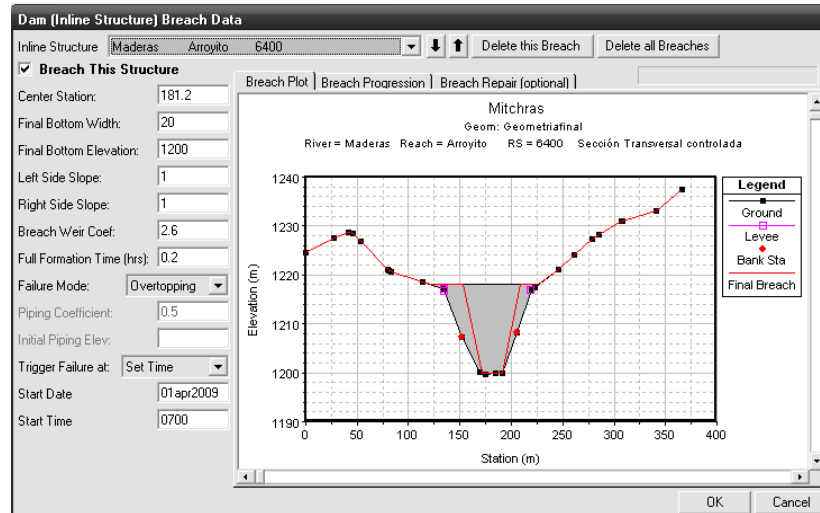
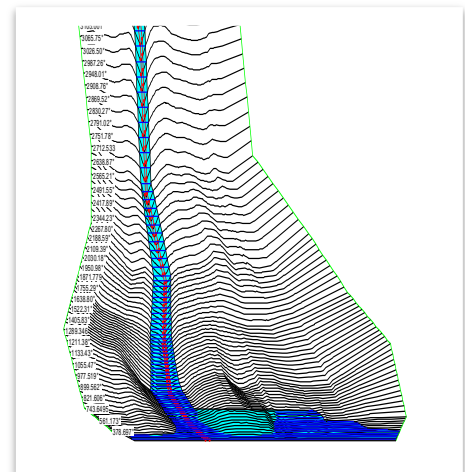


Ilustración 5-42: Captura de Pantalla con la parametrización de la presa de tierra en el HEC-RAS. Gómez.

Una vez que el modelo fue ejecutado, se obtuvo una imagen georeferenciada del área inundada en el entorno HEC-RAS, como es mostrado en la Ilustración 5-43. Con la ejecución de modelo además fue posible obtener datos más puntales sobre la velocidad en cada una de las secciones transversales, reales ó interpoladas; sobre la fluctuación de las velocidades de canal y de bancos derecho e izquierdo; también sobre las relaciones entre las áreas inundadas y las elevaciones en las que las mismas se encuentran; así como el perfil longitudinal del trazado del drenaje, como es posible observar en las Ilustraciones 5-44, 5-45, 5-46 y 5-47 respectivamente.

Ilustración 5-43: Resultados de la simulación para la precipitación de 100 años TR en HEC-RAS. Gómez.



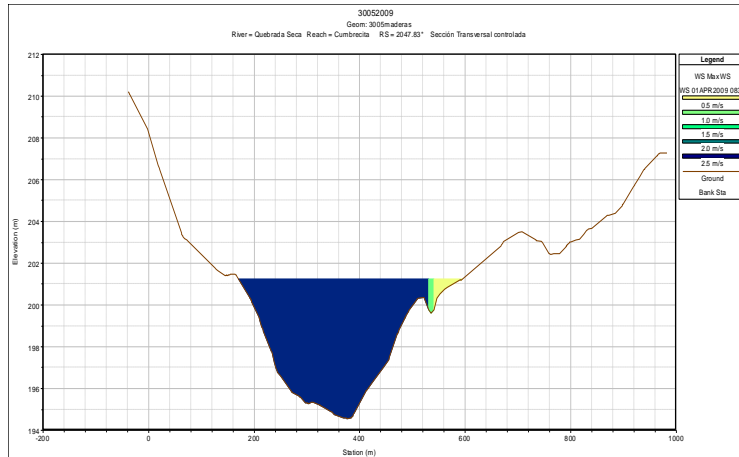


Ilustración 5-44 : Perfil transversal de la sección 2047 con las velocidades para la precipitación TR 100 años. Gómez.

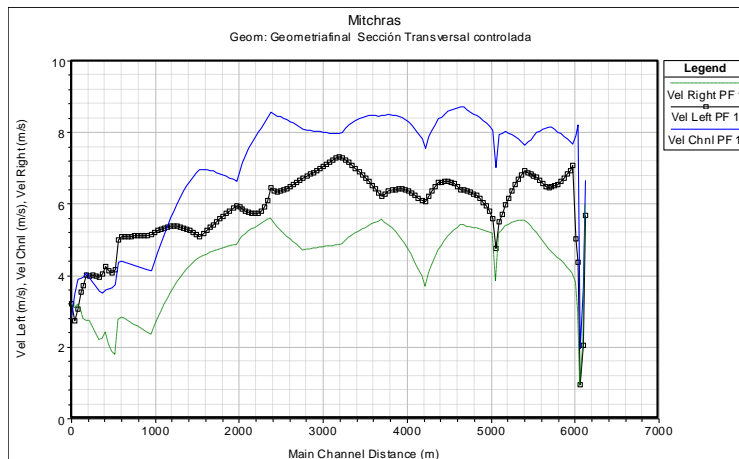


Ilustración 5-45: Velocidades del flujo en el canal y en los dos márgenes del valle de inundación para la . Gómez.

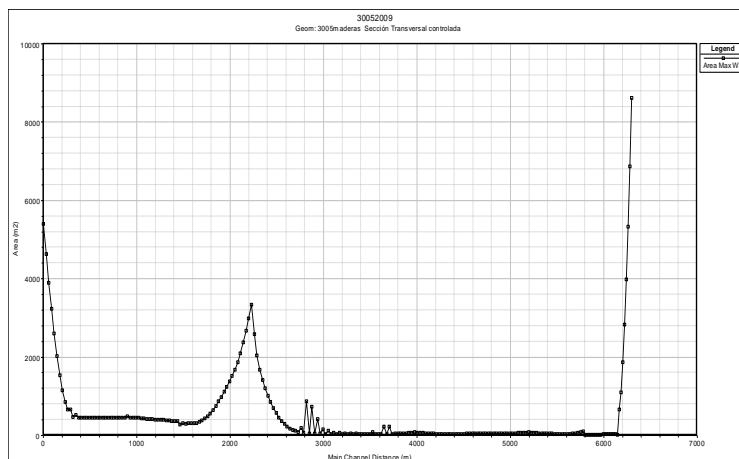


Ilustración 5-46: Relación área inundada y longitud de trazo de la línea de flujo. Gómez.

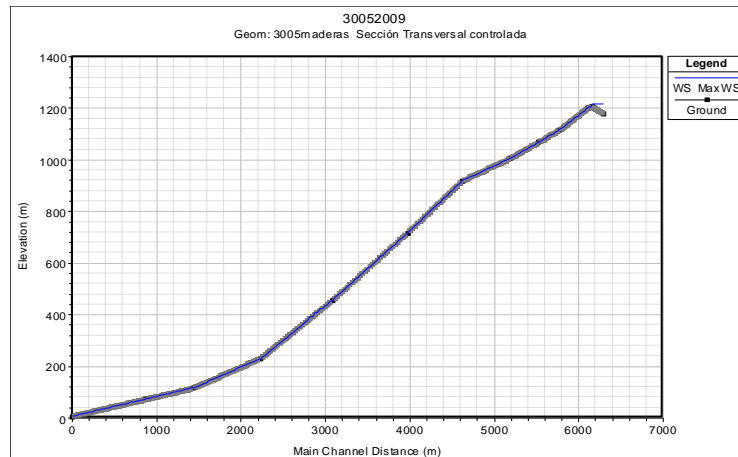


Ilustración 5-47: Perfil longitudinal de la línea de flujo en el volcán Maderas por donde se traza la línea de flujo. Gómez.

iii. Postproceso

El postproceso es realizado en el ambiente de ArcView/ArcMap, en este, el módulo HEC-GeoRAS elabora de manera automática las imágenes de inundación, constituyendo este el principal insumo para la elaboración de los mapas temáticos.

La Ilustración 5-48 revela la manera en la que es mostrado el archivo exportado y procesado desde HEC-RAS hacia ArcMap mediante el Modulo HEC-GeoRAS, en el mismo se indica el área inundada para una precipitación hipotética de 113 mm distribuidos en 1 hora, utilizado solamente como medio comparativo, sin representar valor de juicio alguno para este estudio.

El HEC-RAS fue utilizado para simular tres escenarios de rotura: Flujo Máximo Probable, Caudal 100 años Recurrencia y Caudal del Evento Histórico. Los tres escenarios fueron simulados a fin de encontrar el caudal máximo de inundación, el área inundada, profundidad de la inundación y la velocidad del flujo en cada uno de las secciones transversales.

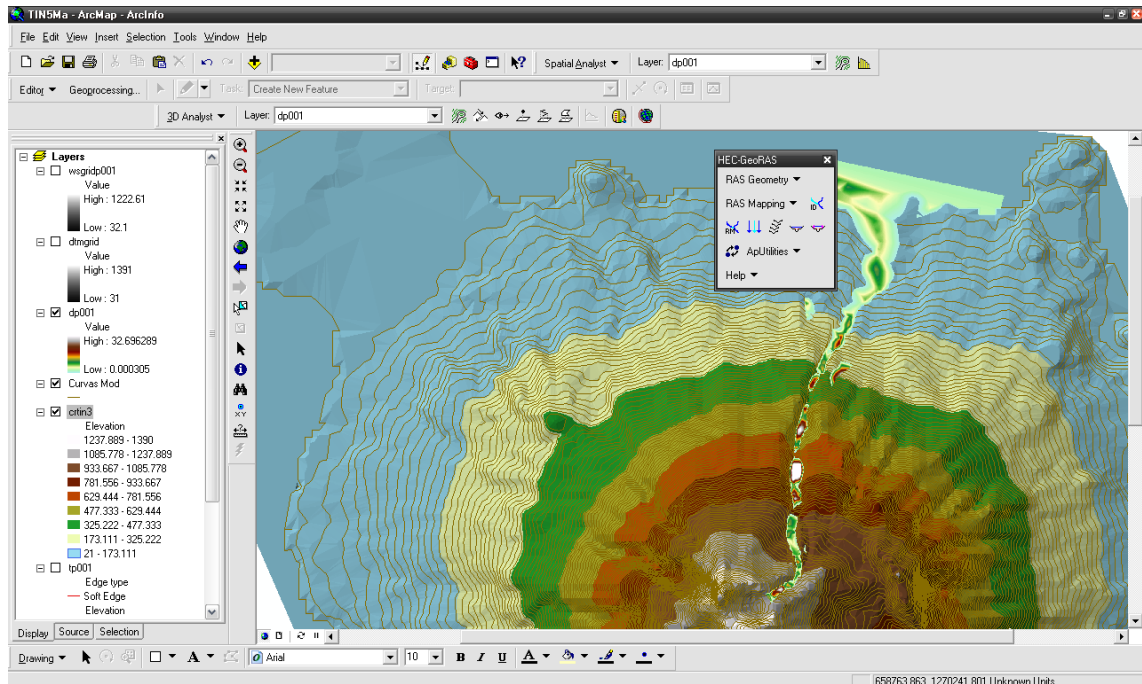


Ilustración 5-48: Captura de pantalla del aspecto de la área inundada del Volcán Maderas en el post-proceso. *Gómez.*

5.3.6 Elaboración de Mapas Temáticos

En la construcción de los mapas temáticos se concentró mucha atención en las fuentes de información precisas y actualizadas que documentaran fenómenos en la zona. Para representar los datos, se utilizaron las variables visuales tales como tamaño, valor/tonalidad y graduación (SANTAELLA & NÖTH, 2003).

Los archivos de datos geográficos y las tablas de atributos son los dos tipos de información con que se trabaja en conjunto (GONZALEZ M. & LIMA DE MONTES Y, 2001).

En ArcView/ArcMap, los elementos de la superficie terrestre se representan por polígonos, líneas o puntos.

El modelo de banco de datos de ArcGis es de tipo relacional, en el cual diversos archivos son conectados entre sí en forma lógica. Cada tabla contiene diversos campos y para relacionar un archivo con otro, ambos deben tener por lo menos un campo en común;

de esta manera se procedió a partir de la base cartográfica digital adquirida, a elaborar cartas de información tales como:

- i. Puntos: Puntos Acotados.
- ii. Líneas: Curvas de nivel del área de estudio, equidistancia de 10 mts.
- iii. Líneas: Sistema vial del área de estudio.
- iv. Polígono: Limite del Área de estudio.
- v. Modelo Digital de Terreno del Área de estudio.
- vi. Carta de pendiente para el área de estudio.
- vii. Mapa de uso y cobertura Vegetal del suelo elaborado a través de Ortofoto.

Con los datos anteriormente mencionados es posible elaborar Mapas con datos estadísticos de población y hogares afectados, área con cobertura vegetal perjudicada, sitios de anegamiento.

Se elaboraron los mapas de inundación para los 3 eventos y de las zonas proclives a deslizamientos.

Se elaboraron mapas de profundidad de inundación y de velocidad, los que se cruzaron con los datos de población y vivienda.

Al finalizar se realizó un cruce general de área inundada, zonas con deslizamiento y población/casas afectadas.

Se utilizó el criterio del Bureau of Reclamation para clasificar el evento en función a la población y bienes afectados.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados para los cuatro eventos simulados (Inundación para una precipitación histórica, para una de 100 de recurrencia para la PMP y la estabilidad de taludes) son mostrados a continuación luego de ser desarrollados y mapeados. Los valores de la profundidad de la inundación van de 0 en las zonas de baja pendiente y gran área en la ladera, hasta profundidades de 23 m en las zonas altas, con gran pendiente y donde el flujo se mantuvo semiconfinado dada la buena definición de los canales de drenaje.

6.1 Mapa de Inundación dada una Tormenta Histórica

Se utilizó la lluvia del 30 de Octubre de 1998, período en el cual el área centroamericana estaba siendo afectada por el Huracán Mitch, la precipitación para 24 horas fue de 113 mm. Para este caso se distribuyó la precipitación temporalmente, a 2 horas. Los rangos de inundación van hasta los 6.5 m de profundidad con velocidad máxima de 3.3 m/s. La Ilustración 6-1 muestra el mapa de afectaciones para el evento histórico.

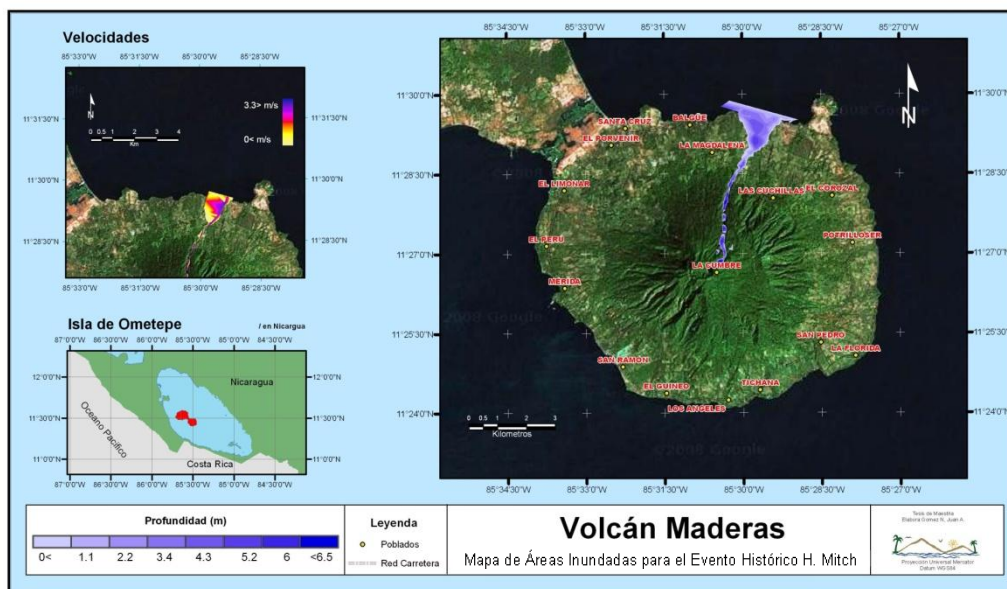


Ilustración 6-1: Mapa de Áreas inundadas, profundidad y velocidad de inundación para el evento histórico. Gómez.

6.2 Mapa de Inundación para TR=100 años

Para una precipitación de 100 años de recurrencia (129.88 mm) se utilizaron los parámetros de rotura obtenidos por el método de HARRINGTON. Dada la similitud de los valores de la precipitación respecto a las del Huracán Mitch, el área de afectación apenas varía.

La profundidad máxima calculada fue de 7.1 m con velocidades que van hasta los 3.8 m/s.

EN la mayor parte del curso el flujo se mantuvo confinado, con apenas pequeñas zonas de desborde pero grandes registros de velocidad. La mayor afectación se dio en el sector próximo a la costa.

La velocidad se concentró sobre el margen derecho del canal, y encontrando una brusca variación en el sector costero dada la amplitud del área.

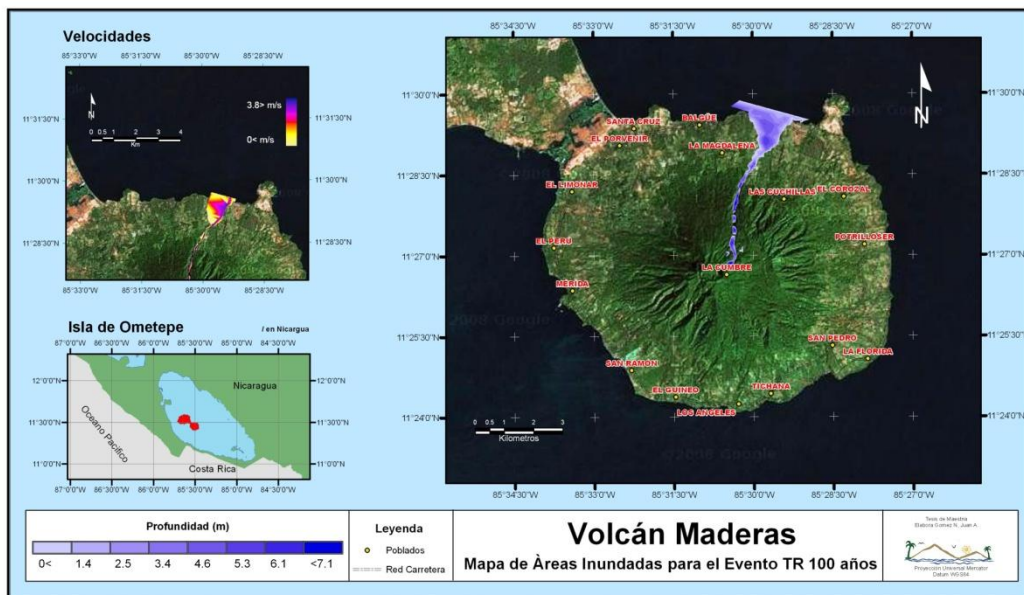


Ilustración 6-2: Mapa de Áreas inundadas, profundidad y velocidad de inundación para el evento TR 100 años. Gómez.

6.3 Mapa de Inundación dada la Precipitación Máxima Probable

La Precipitación Máxima Probable tuvo un valor de 265 mm para un período de 2 horas, al igual que con los otros escenarios, el agua se mantuvo semiconfinado canal. El área de afectación aumentó, llegando a sitios con 13.2 m de profundidad y velocidades de hasta 8.3 m/s.

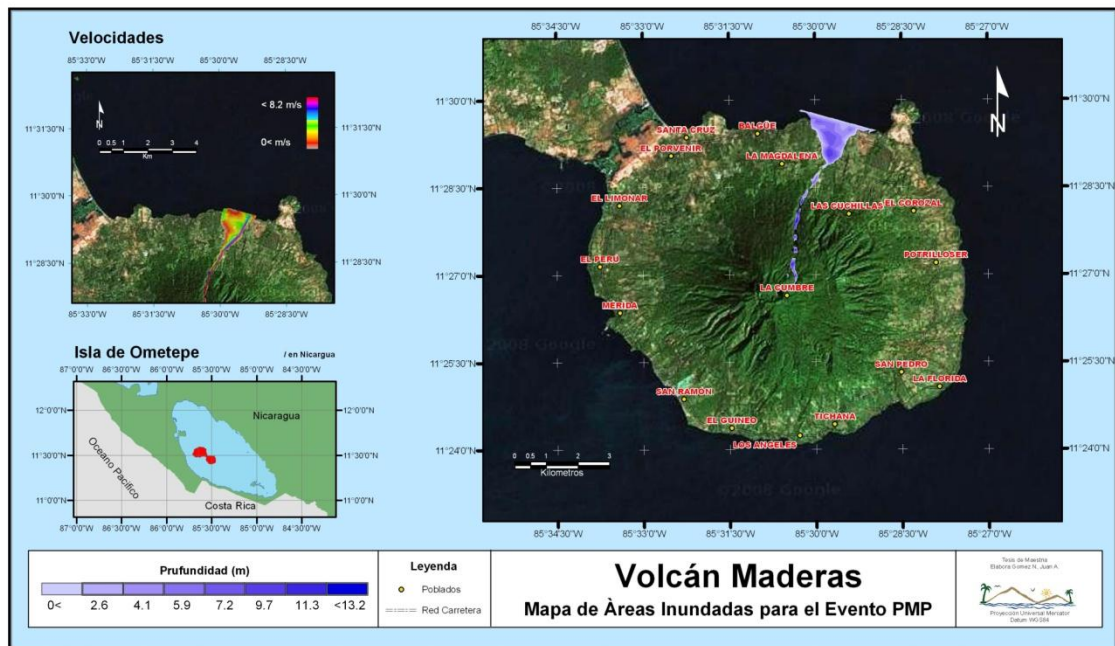


Ilustración 6-3: Mapa de Áreas inundadas, profundidad y velocidad de inundación para el evento PMP. Gómez.

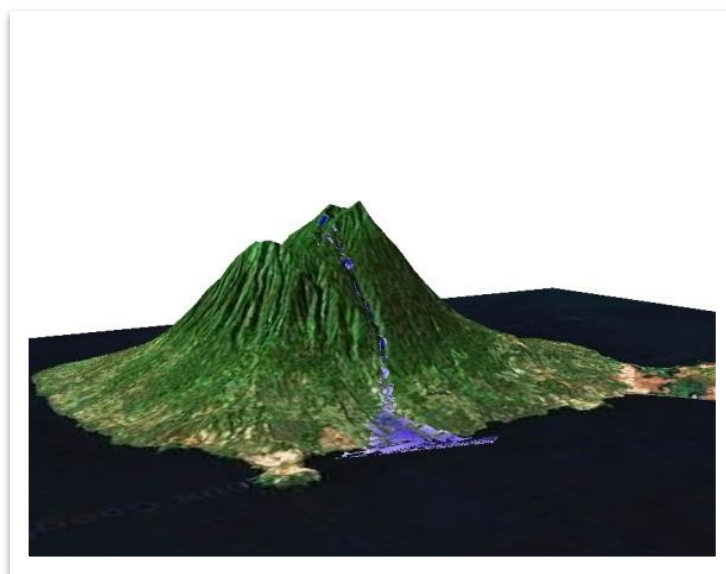


Ilustración 6-4: Representación 3D del Área Inundada en para el evento PMP. Gómez

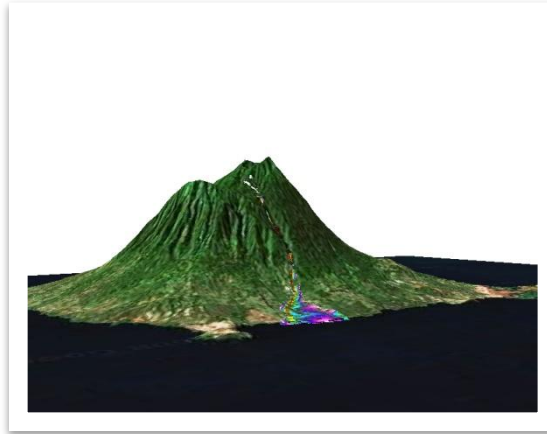


Ilustración 6-5: Representación 3D de la Velocidad en el Área Inundada en para el evento PMP. Gómez

6.4 Mapa de Inestabilidad de Laderas

Mediante el modelo de estabilidad de laderas se identifican las áreas proclives al deslizamiento, identificándose que la mayor parte del suelo presenta gran estabilidad, no así en las zona donde el terreno es boscoso y fangoso.

Las área más inestables se encuentran en la sección superior del cráter donde la pendiente es aguda y la humedad persistente.

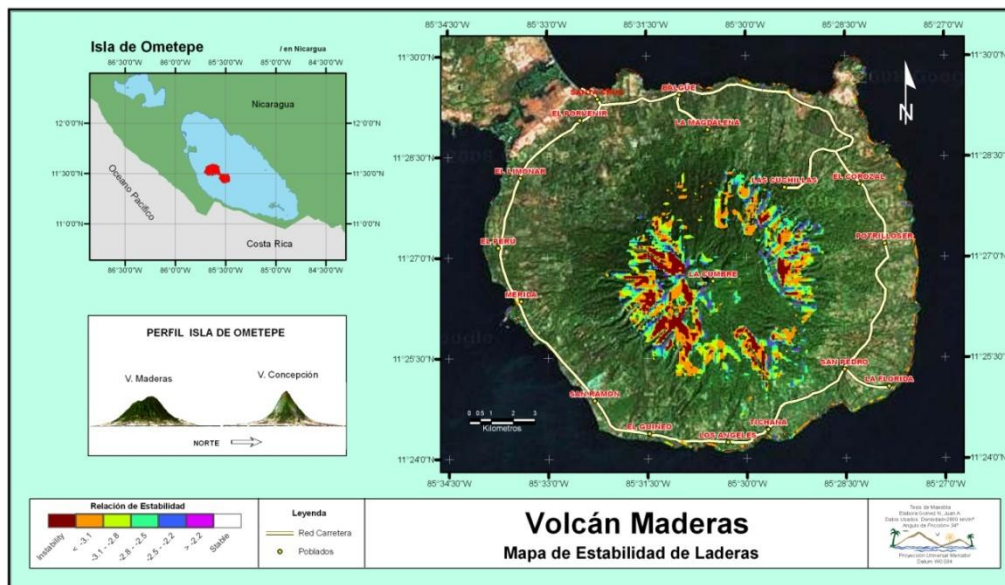


Ilustración 6-6: Mapa de Estabilidad del Laderas para el Volcán Maderas. Gómez.

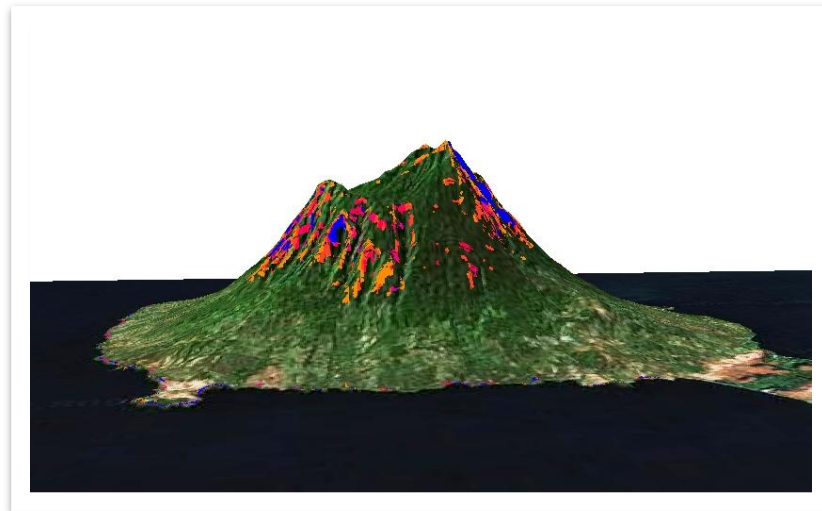


Ilustración 6-7: Representación 3D de zonas con potencialidades de deslave. Gómez

6.5 Amenazas para los Escenarios: Evento PMP e Inestabilidad de Laderas



Ilustración 6-8: Amenazas Conjuntas para los escenarios extremos, Gómez



Ilustración 6-9: Localización de casas y haciendas próximas al área de afectación. *Gómez*

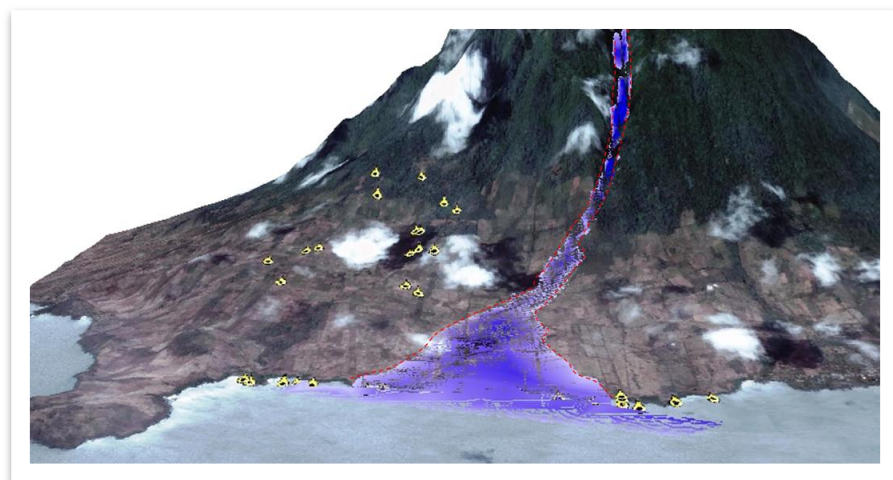


Ilustración 6-10: Perspectiva 3D de la zona de la costa con las afectaciones a casas para el evento PMP. *Gómez*

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Para la realización de este Trabajo de Tesis, se emplearon diversas herramientas que permiten establecer las siguientes conclusiones:

La potencialidad de los riesgos de inundación y la ocurrencia de deslaves fue claramente representada mediante el uso de SIG. La representación de los varios escenarios mostró la sensibilidad del método ante las variaciones de las variables de entrada.

HidroStá resultó ser una herramienta fiable y sencilla para el análisis de lluvias.

HEC-GeoHMS delimitó adecuadamente la microcuenca de la laguna en el cráter, permitiendo estructurar el esquema de aportes al reservorio, así como delinear la trayectoria del flujo hasta la costa.

El proceso de transformación lluvia-caudal se realizó mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, lo que hizo posible obtener hidrogramas representativos con la parametrización básica de la transformación.

La inexistencia de datos para la etapa de calibración y las reducidas dimensiones de la cuenca, implicaron la adopción de parámetros según las características de cobertura y condiciones particulares del suelo.

Por otra parte, una distribución proporcional entre sí de los hidrogramas contribuyó a que el evento fuera representado en iguales condiciones para cada uno de los escenarios una vez dispuesta su entrada a HEC-RAS.

HEC-GeoRAS resultó ser una poderosa herramienta para obtener la topografía desde el MDT que luego se implementó en el HEC-RAS.

La versatilidad del programa computacional quedó de manifiesto una vez que fue posible parametrizar la rotura de la ladera, asumiendo se trataba de una presa de tierra. Los parámetros fueron determinados mediante el método propuesto por HERRINGTON, los cuales, a pesar de ser de fácil determinación, están en correspondencia con otros parámetros igualmente experimentales.

El modelo de roturas fue configurado de tal manera que la ocurrencia del acontecimiento estuviera gobernado por el tiempo de ocurrencia y no por la necesidad de llegar a un determinado nivel. De esta manera se garantizó que para todos los eventos el caudal acumulado al momento de la rotura fuera diferente y el verdaderamente representado.

Al igual que con el modelo de transformación lluvia-caudal, el proceso de calibración fue dificultado por la falta de datos, por lo que se optó por la designación de valores de rugosidad según los datos formulados por VENT CHOW en tablas y fotografías.

Ante lo expuesto y solo para fines de análisis cualitativo, se procedió a emplear valores varios de rugosidad para observar las variaciones en las velocidades y profundidades de inundación. Se encontraron diferencias mínimas respecto al resultado de los tres escenarios estudiados. Esto lo que demuestra es la gran influencia de la alta pendiente de terreno en los fenómenos físicos vinculados con los escenarios de inundación.

El modelo SHALSTAB se implementó teniendo conciencia que los resultados son puntuales y escasos. Sin embargo, al aplicar el método simple, sin incluir el dato de cohesión del suelo, el modelo refleja la influencia de la topografía en la ocurrencia del deslave. Esto presupone la acción de limitar la representación de las áreas potenciales. Sin embargo, el dato obtenido resulta valioso, pues puede ser considerado como la condición más potencialmente inestable.

Aunque se simularon tres escenarios, es de hacer notar que para efectos de administración de la seguridad del terreno, el evento extremo es el determinante. En este contexto los resultados reflejan que ninguno de los centros poblaciones serían afectados por una eventual rotura de la ladera del cráter.

No obstante, se hallaron establecimientos habitacionales dentro del ámbito de afectación, con habitantes permanentes y numerosos tal como es mostrado en la Ilustración 7-1.

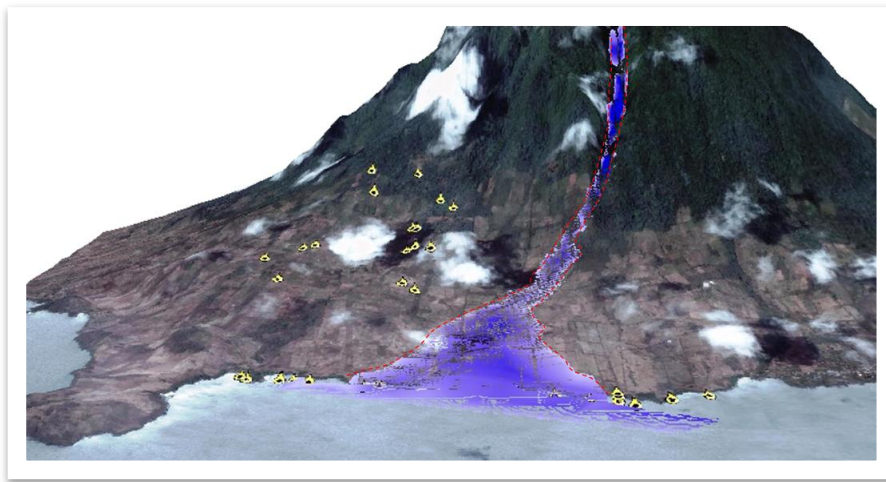


Ilustración 7-1: Establecimientos habitacionales afectados por la Inundación. Gómez

Según la clasificación establecida por el USBR (ver anexo 13), se concluye que tanto la infraestructura, como las personas que ahí permanecen se encuentran bajo alto riesgo dada la profundidad y la velocidad del agua para todos los escenarios.

Al analizar conjuntamente los riesgos por inundación y deslave se identificó que la trayectoria del flujo pasa a través de una zona de potencial deslave, esto significa que en una situación de ocurrencia simultánea existe una amenaza adicional al considerar la ampliación de las secciones transversales en cotas superiores y con alta pendiente, tal como se muestra en la Ilustración 7-2.



Ilustración 7-2: Áreas de afectación para un escenario de afectación simultáneo. Gómez

El nivel de precisión de la representación estuvo condicionada por la resolución de la imagen STRM, la cual fue de 30 m, la que mediante sucesivos procesos de interpolación fue posible obtener un TIN de 5 m de resolución, esto supuso un incremento en el índice de error, mismo que fue corregido en alguna medida en las zonas donde se había realizado el levantamiento de las secciones transversales.

Esta metodología demostró ser de fácil aplicación, dada la disponibilidad de la información espacial, aunque se presentaron inconvenientes en la adquisición gubernamental de la información.

El costo computacional es relativamente bajo, por lo que es posible aplicarla con auxilio de equipos de capacidad media, propios de entidades municipales de países en vías de desarrollo, donde su aplicación puede ser determinante para la toma de decisiones y la conservación de vidas.

La asistencia de tutoriales desarrollados por personas y centros calificados es posible obtenerlos gratuitamente desde sitios web. Autores como, LEHRE, A. (2000), MA-

RIN, À. (2006), MERWADE, V. (2008), NANIA L. (2001), H.X., L., ZHOU, C., et al, (2004) así como instituciones tales como el HEC y la Universidad de Alberta han elaborado documentos técnicos muy completos y accesibles que se han utilizado para la preparación de esta tesis.

7.2 Recomendaciones

A pesar que los resultados pueden considerarse satisfactorios, particularmente en cuanto a la delineación de las áreas afectadas por inundaciones y deslizamientos se refiere, la aplicación práctica e integral de la metodología requiere de abundantes datos actualizados que posibiliten la calibración de los modelos, así como de imágenes espaciales con una resolución más reducida.


Esto permitiría realizar más simulaciones y analizar aspectos vinculados a la variabilidad espacial de los eventos descritos (propiedades del suelo, rugosidades, Número de Curva, etc).

A grandes rasgos se recomienda:

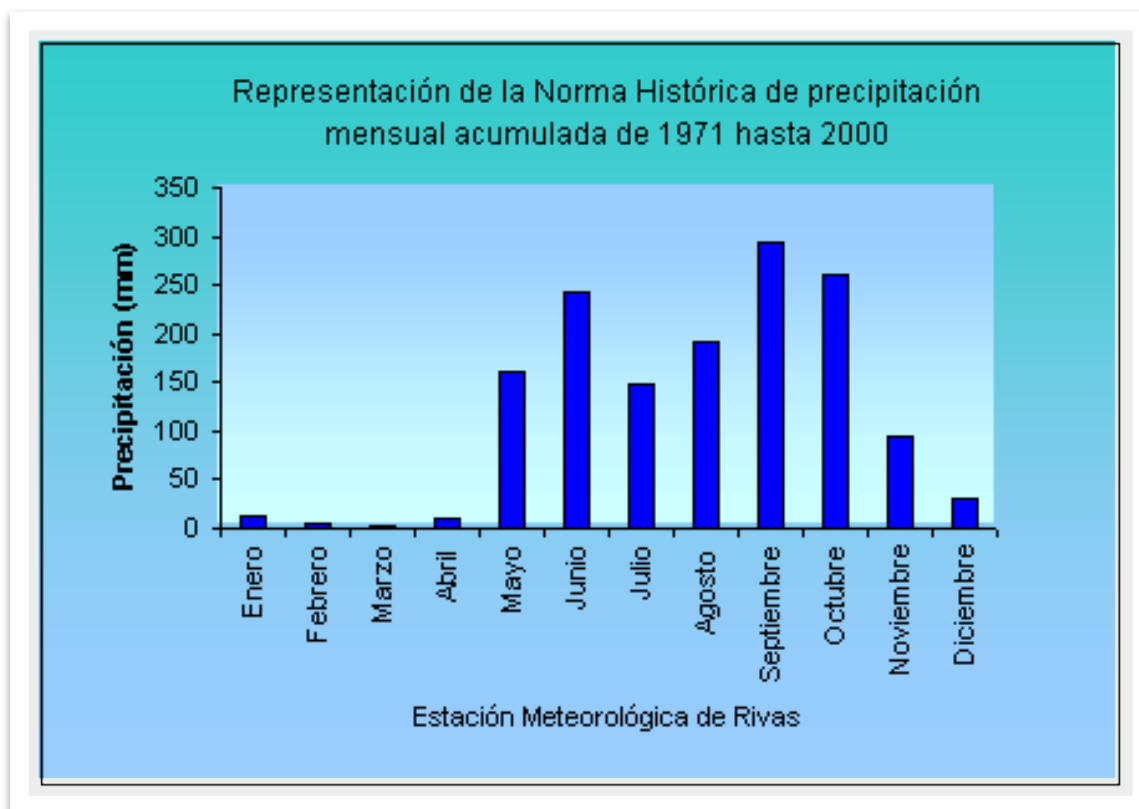
- Utilizar datos producto de caracterizaciones de los suelos, donde sea posible conocer la cohesión y parámetros vinculados a la dinámica del suelo.
- Ampliar la distribución temporal de las precipitaciones.
- Realizar comparaciones entre los resultados de los modelos de rotura de presas del HEC-HMS y el HEC-RAS.
- Ampliar la zona de análisis por afectación considerando la rotura el punto vulnerable más próximo.
- Aplicar un modelo que permita simular la rotura de la ladera del cráter producto de un acontecimiento telúrico e identificar la posible salida del agua producto de las fallas geológicas activadas.

8. ANEXOS

Anexo 1: INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES DE PRECIPITACION

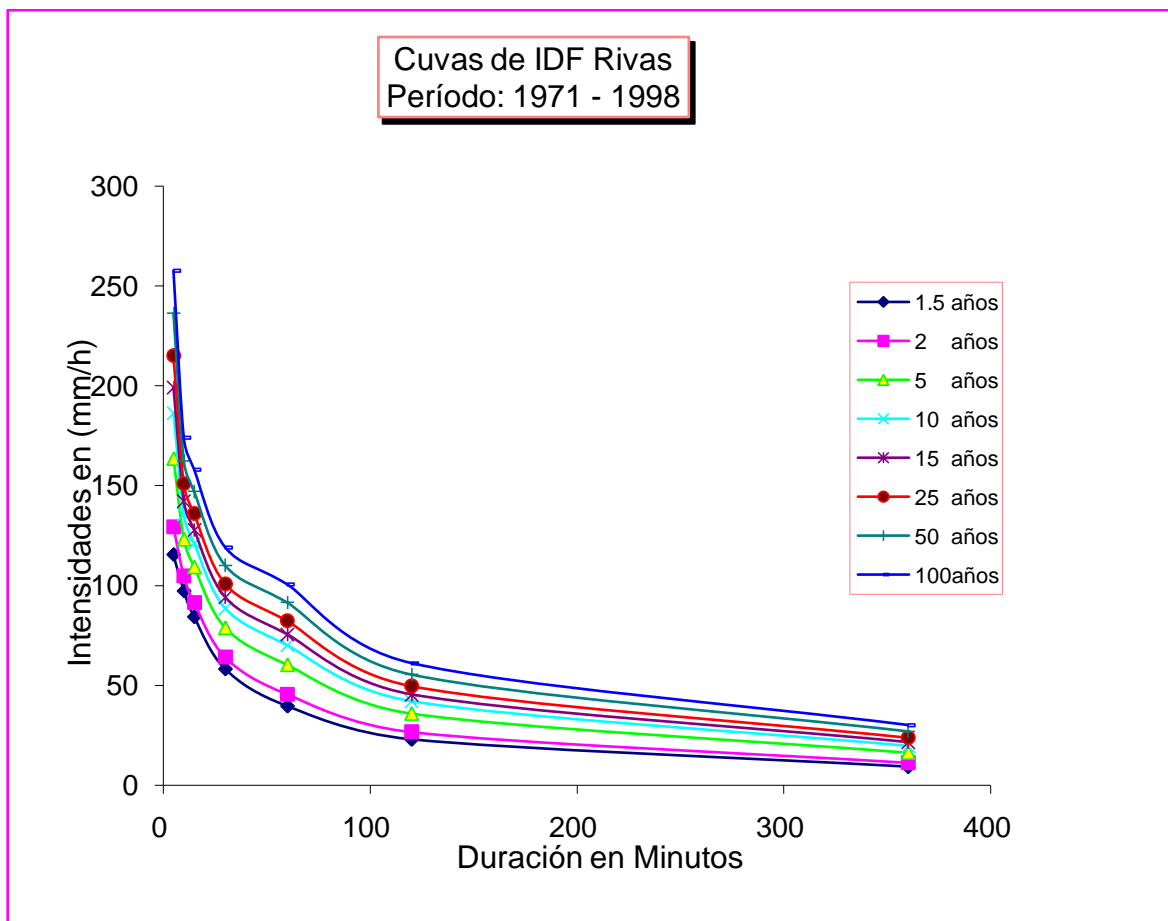
INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES Consulta de datos hidrológicos anuales (media): INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES DE PRECIPITACION (mm)  ESTACION : Rivas LATITUD: 11° 26' 06" N LONGITUD: 85° 50' 00" W ELEVACION: 70msnm TIPO: HMP CODIGO :069070 Periodo 1970-2007								
AÑOS	5	10	15	30	60	120	360	720
1970	-	-	-	82.8	51.4	25.7	28	15
1971	-	-	-	53.0	40.2	34.5	29.2	16.4
1972	-	-	-	39.4	30.0	20.9	19.5	12.5
1973	-	-	-	57.6	38.4	24.0	18.3	11.5
1974	-	-	-	48.2	39.2	23.8	17.0	11.9
1975	117.6	111.6	111.6	36.8	27.9	13.7	10.7	7.4
1976	135.6	98.4	74.4	58.4	38.8	32.3	12.4	-
1977	134.0	105.0	88.0	59.4	45.2	24.9	12.6	-
1978	114.0	105.0	78.0	78.2	43.6	23.1	9.4	7.0
1979	216.0	171.6	134.0	80.8	72.5	43.3	19.2	9.9
1980	102.0	67.8	62.8	59.8	40.9	26.1	13.8	7.6
1981	120.0	108.0	108.0	70.4	60.6	15.9	-	-
1982	238.8	155.4	153.2	103.0	56.8	40.9	15.1	-
1983	124.8	93.6	83.2	62.3	37.5	19.9	5.7	-
1984	141.6	105.6	94.4	70.6	54.1	44.4	16.7	9.4
1985	96.0	90.0	88.0	60.2	40.5	22.6	-	-
1986	117.6	105.0	98.0	70.4	42.9	28.9	13.0	-
1987	120.0	88.8	79.6	78.6	45.2	33.3	4.8	-
1988	120.0	92.4	88.8	64.6	34.0	22.2	8.4	2.8
1989	122.4	102.6	89.6	73.4	39.5	10.7	-	-
1990	112.8	103.8	73.2	44.0	22.9	5.4	-	-
1991	216.0	138.0	106.0	81.4	76.5	44.5	3.9	-
1992	122.4	120.0	112.0	70.0	49.0	25.7	10.4	-
1993	199.2	99.0	84.0	66.4	59.0	36.9	13.3	-
1994	170.4	78.0	62.0	56.0	38.9	25.8	3.9	-
1995	189.6	123.6	117.6	99.0	99.0	39.2	4.7	-
1996	117.6	117.6	99.2	53.2	38.8	24.1	6.4	-
1997	122.4	122.4	122.4	102.0	72.7	37.9	16.6	-
1998	116.4	114.0	88.0	74.2	66.4	45.0	9.7	-
1999	118.8	112.8	82.4	77.4	45.7	29.7	8.8	2.6
2000	146.4	120.4	114.0	63.4	41.9	22.1	14.8	12.2
2001	159.6	111.6	111.6	90.8	64.2	34.5	9.8	-
2002	117.6	85.8	78.4	66.0	64.8	41.6	17.9	-
2003	117.6	115.2	115.2	91.8	58.8	44.6	2.2	-
2004	118.8	93.0	87.2	67.0	52.0	40.2	21.2	13.3
2005	96.0	96.0	92.0	72.4	53.5	30.5	9.3	-
2006	108.0	100.8	96.8	58.0	35.4	27.4	-	-
2007	124.8	118.8	113.2	87.6	59.5	37.4	5.1	-

Anexo 2: REPRESENTACION DE LA NORMA HISTORICA DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA, ESTACION RIVAS



Anexo 3: VALORES Y CURVAS PARA LA RELACION IDF DE LA ESTACION RIVAS

TR	5	10	15	30	60	120	360
1.5 años	115.4	97.2	84.2	58.1	39.5	22.8	9.1
2 años	129.4	104.7	91.5	64.1	45.5	26.6	11.2
5 años	163.7	123.3	109.3	78.8	60.2	35.8	16.2
10 años	186.4	135.5	121.1	88.6	70.0	41.9	19.5
15 años	199.3	142.4	127.8	94.1	75.5	45.4	21.4
25 años	215.2	151.0	136.0	100.9	82.3	49.6	23.8
50 años	236.5	162.5	147.1	110.0	91.4	55.4	26.9
100 años	257.6	173.9	158.1	119.1	100.5	61.0	30.0



**Anexo 4: INDICES HISTORICOS DE PRECIPITACION PARA DIFERENTES ESTACIONES
COMPARATIVAS AL EVENTO DEL HURACAN MITCH**

TABLA 1, Precipitación registrada en octubre de los años 1998 y 2007

Regiones Climáticas	A	B	C	D	Anomalia (B - D) (%)	Máximo de precipitación diaria (mm), Oct- 1998	Máximo de precipitación diaria (mm), Oct- 2007
Zona Occidental del Pacífico	418	512	700	1113	-54	825.5 (día 30)	227.6 (día 12)
Zona Central del Pacífico	328	216	616	529	-59	133.0 (día 28)	130.0 (día 16)
Zona Sur del Pacífico	344	364	456	382	-7	113.5 (día 30)	137.5 (día 14)
Región Norte	324	165	452	542	-66	376.1 (día 29)	134.5 (día 16)
Región Central	332	145	456	382	-63	269.3 (día 29)	89.2 (día 17)
Región Autónoma del Atlántico Norte	437	52	471	135	-62	159.3 (día 29)	29.3 (día 19)
Región Autónoma del Atlántico Sur	305	94	435	27	248	15.4 (día 24)	94.6 (día 17)

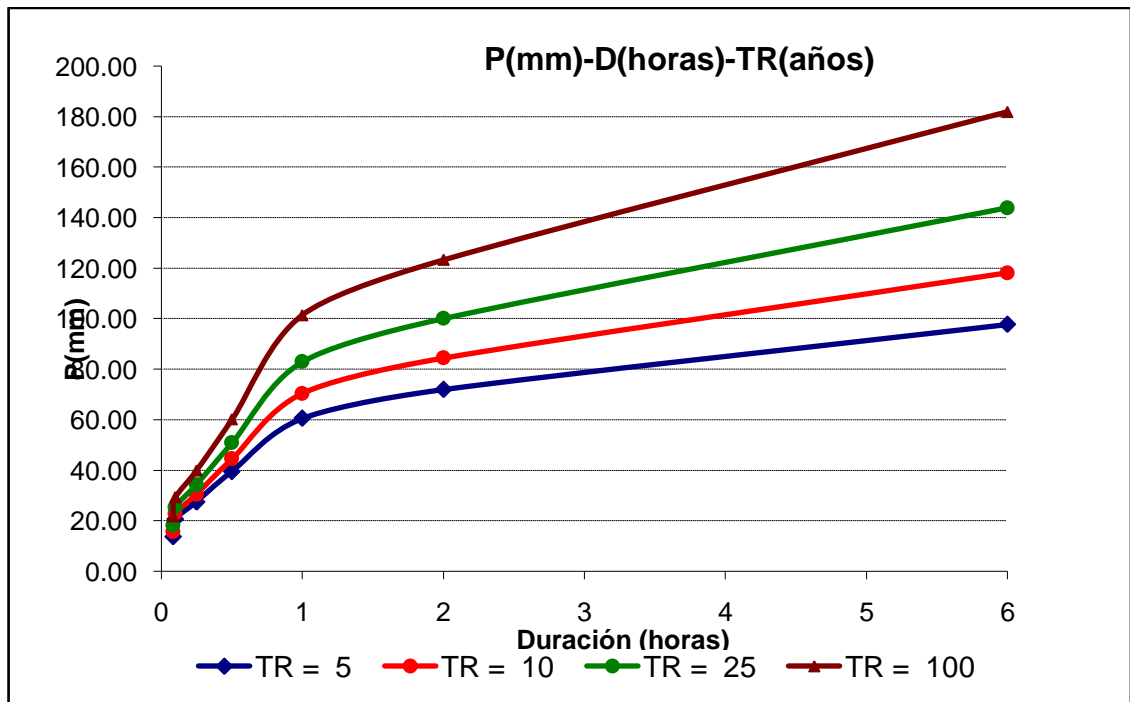
A: Acumulado promedio de precipitación (mm) del 1 septiembre al 8 de octubre del 2007
 C: Acumulado promedio de precipitación (mm) del 1 septiembre al 20 de octubre de 1998

B: Acumulado promedio de precipitación del 9 al 21 de octubre del 2007
 D: Acumulado promedio de precipitación del 21 al 31 de octubre de 1998

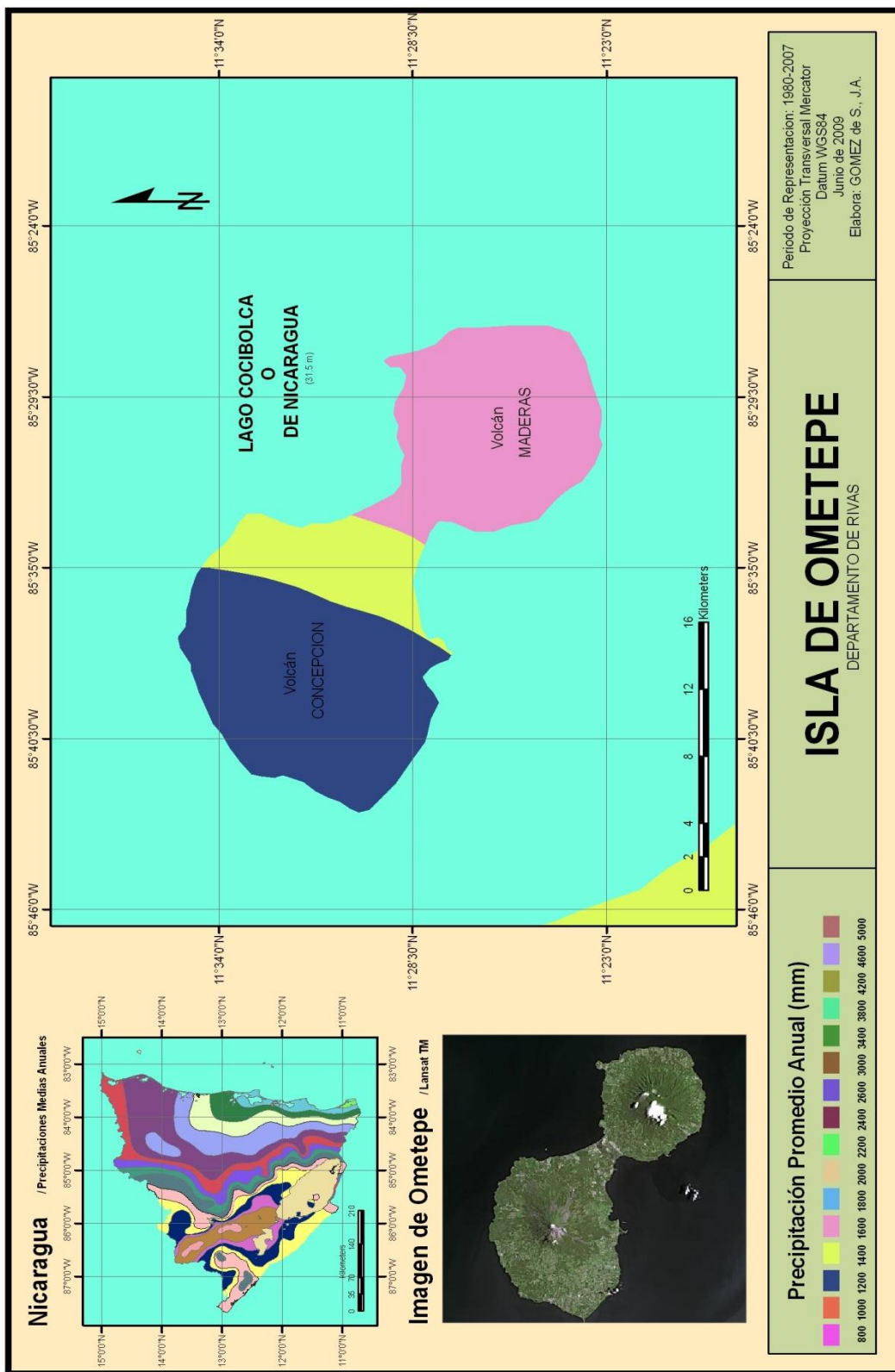
Anexo 5: VALORES Y CURVAS DE LA RELACION PDF PARA LA ESTACION RIVAS

Metodo perfeccionado por TREZZA, R. (2004).

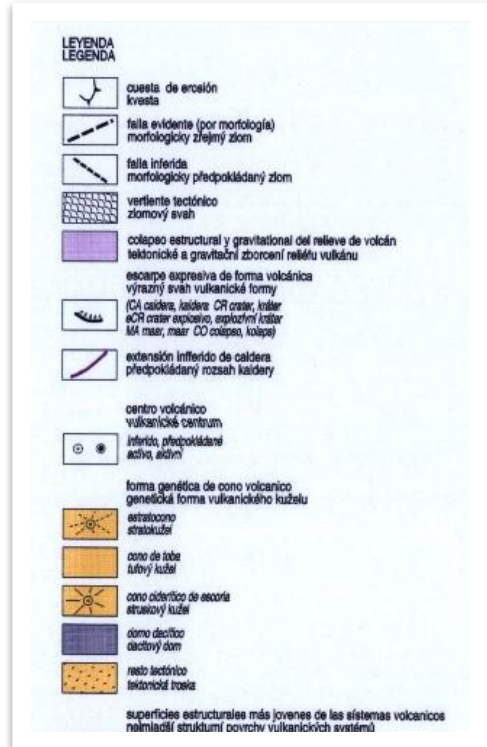
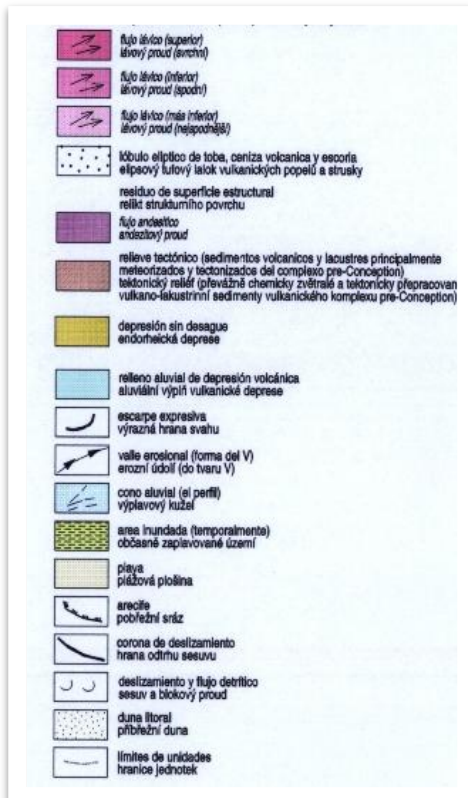
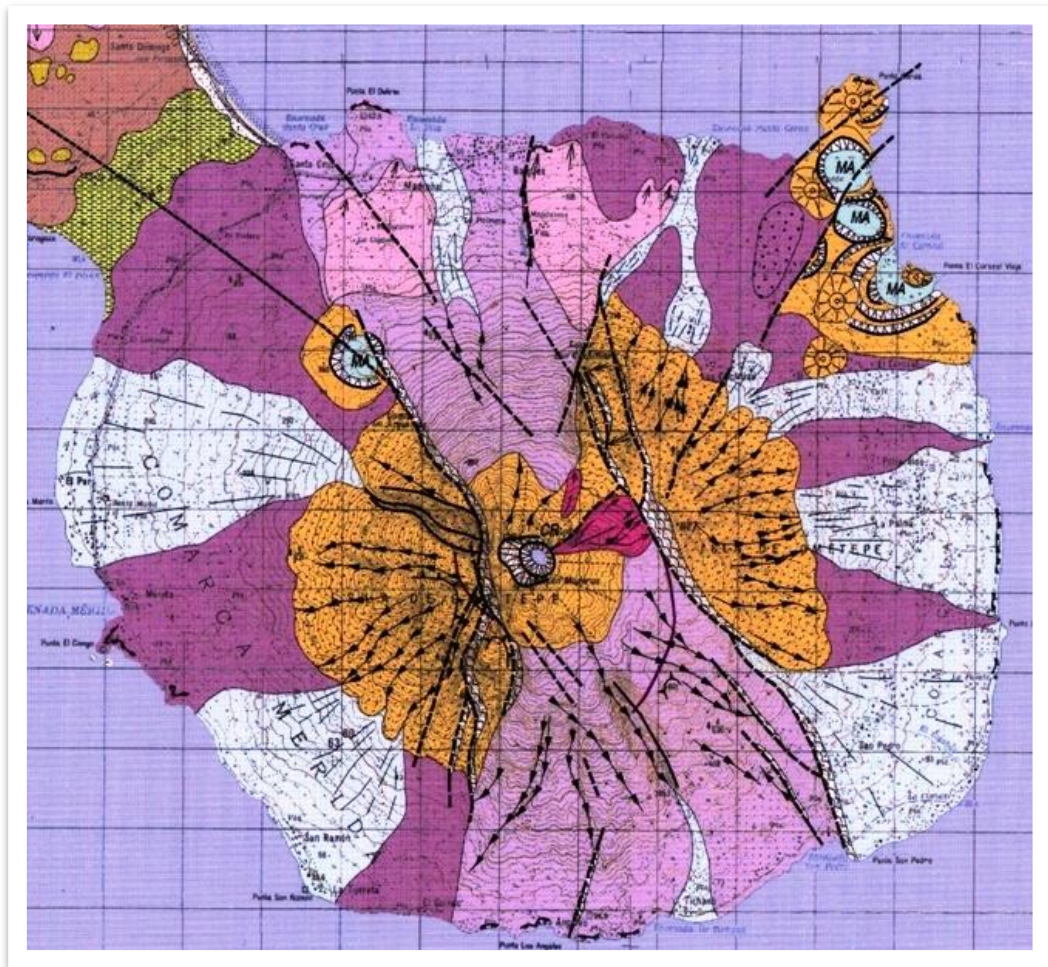
TR (años)	Duración (horas)						
	0.0833	0.1	0.25	0.5	1	2	6
	5 min	10 min	25 min	30 min	60 min	120 min	360 min
TR = 5	13.69	20.59	27.40	39.52	60.45	71.88	97.6976
TR = 10	15.61	22.67	30.40	44.48	70.37	84.32	118.0914
TR = 25	18.05	25.30	34.20	50.75	82.90	100.05	143.8591
TR = 50	19.86	27.25	37.01	55.40	92.20	111.71	162.9750
TR = 100	21.65	29.18	39.81	60.02	101.43	123.29	181.9498



Anexo 6: PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL PARA LA ISLA DE OMETEPE



Anexo 7: MAPA GEOLOGICO DEL VOLCAN MADERAS



Anexo 8: NIVEL LAGO NICARAGUA EN PASO PANALOYA



INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES

Consulta de datos hidrológicos anuales (media): nivel
Estación: 6932 - LAGO NICARAGUA EN PASO PANALOYA.

Latitud: 12° 06' 48" N

Longitud: 85° 53' 03" W

Elevación: 31 msnm

Tipo: LGF

Años: 1969 – 2006

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1969	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	31.30	31.70	32.20	32.40	32.30
1970	32.20	31.90	31.70	31.60	31.30	31.40	31.60	31.80	32.20	32.50	32.60	32.50
1971	32.50	32.30	32.10	31.80	31.60	31.50	31.70	31.80	32.10	32.50	32.60	32.40
1972	32.30	32.10	31.80	31.50	31.30	31.30	31.40	31.60	31.70	31.80	31.90	31.90
1973	31.70	31.50	31.30	31.00	30.80	30.80	31.10	31.30	31.80	32.30	32.50	32.50
1974	32.20	32.00	31.80	31.60	31.30	31.30	31.30	31.50	31.70	32.00	32.10	32.00
1975	31.80	31.60	31.40	S/D	30.90	30.80	30.70	30.90	31.50	31.90	32.10	32.20
1976	32.00	31.80	31.60	31.40	31.20	31.30	31.30	31.50	31.50	31.60	31.60	31.60
1977	31.40	31.20	30.90	30.60	S/D	30.60	30.60	30.70	30.90	31.10	31.10	31.00
1978	30.80	30.60	S/D	S/D	S/D	30.20	30.30	30.60	30.90	31.20	31.30	31.30
1979	30.30	30.90	30.70	30.60	30.50	30.70	30.80	31.10	31.60	31.90	32.00	32.00
1980	31.90	31.60	31.40	31.20	31.00	31.30	31.40	31.60	31.80	32.30	32.60	32.60
1981	32.40	32.10	31.90	31.60	31.50	31.80	32.10	32.30	32.50	32.50	32.60	32.50
1982	32.30	32.10	31.80	31.50	31.50	31.70	31.80	31.90	32.00	32.20	32.20	32.00
1983	31.80	31.60	31.40	31.10	30.90	30.80	30.80	30.90	31.20	31.40	31.60	31.50
1984	31.30	31.20	31.00	30.70	30.60	30.60	30.70	30.90	S/D	31.60	31.70	31.50
1985	31.40	31.20	31.00	30.80	30.60	30.60	30.60	30.70	30.70	31.10	31.40	31.20
1986	31.10	30.90	30.70	30.60	30.70	30.60	30.70	31.00	31.30	31.60	31.60	32.60
1987	31.50	31.30	31.00	30.90	30.60	30.60	30.60	31.00	31.10	31.30	31.20	31.10
1988	31.00	30.80	30.60	30.60	30.80	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1989	S/D	S/D	31.90	31.70	31.40	31.30	31.30	31.40	31.60	31.90	31.70	31.50
1990	31.40	31.30	31.00	31.00	30.80	30.90	31.00	31.20	31.40	31.80	31.90	31.70
1991	31.40	31.20	31.00	30.70	30.70	30.60	30.60	31.10	31.20	31.40	31.40	31.20
1992	31.20	31.00	30.80	30.70	30.90	31.00	30.80	30.80	31.00	31.30	31.30	31.20
1993	31.10	31.00	30.80	30.60	30.50	30.50	30.90	31.20	31.50	31.80	31.80	31.70
1994	31.60	31.50	31.30	31.10	S/D	S/D	30.60	30.70	30.90	31.10	31.30	31.30
1995	31.10	30.90	30.70	30.50	30.40	30.50	30.60	30.90	S/D	S/D	S/D	S/D
1996	S/D	31.10	30.90	30.70	30.60	30.70	30.90	31.30	31.40	31.80	31.90	31.90
1997	31.80	31.60	31.40	31.20	31.00	30.90	30.90	31.00	31.00	31.20	31.30	31.40
1998	31.20	31.00	30.70	30.50	30.50	30.30	30.50	30.60	30.80	31.20	31.80	31.70
1999	31.80	31.60	31.40	31.10	31.00	S/D	S/D	31.40	31.60	32.00	32.10	31.90
2000	31.80	31.60	31.40	31.20	31.00	31.20	31.30	31.40	31.60	31.90	31.90	31.90
2001	31.60	31.50	31.20	31.00	30.80	30.80	30.90	31.10	31.20	31.40	31.50	31.40
2002	31.40	-	-	30.70	30.50	30.70	30.90	31.00	31.20	31.40	31.50	31.30
2003	31.10	30.90	30.70	30.50	S/D	S/D	S/D	31.20	31.30	31.60	31.70	31.70
2004	31.60	31.40	31.30	-	-	-	31.40	31.50	31.60	31.80	31.80	31.70
2005	31.90	31.20	31.10	31.00	-	31.10	31.30	31.40	31.60	32.00	32.00	-
2006	30.60	31.50	31.29	30.07	30.99	30.97	31.00	30.97	31.03	31.06	31.07	31.00
2007	30.90	30.71	30.45	30.33	30.28	30.28	30.35	30.58	30.93	31.23	31.42	31.40
2008	31.40	31.22	31.00	30.73	30.55	30.77	31.10	31.32	31.47			
MAX	32.50	32.30	32.10	31.80	31.60	31.80	32.10	32.30	32.50	32.50	32.60	32.60



INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES

Consulta de datos hidrológicos anuales (media): nivel
Estación: 6932 - LAGO NICARAGUA EN PASO PANALOYA.

Latitud: 12° 06' 48" N
Longitud: 85° 53' 03" W

Elevación: 31 msnm

Tipo: LGF

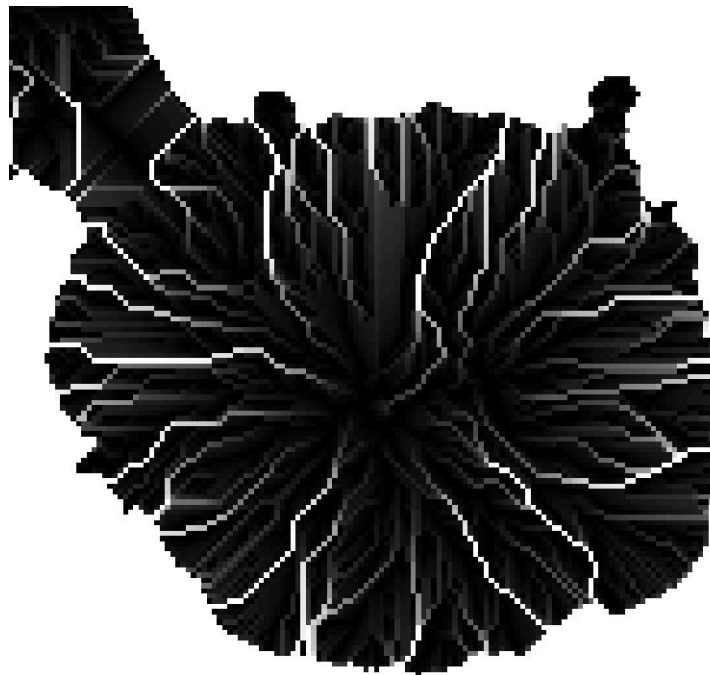
Años: 1969 – 2006

Media	31.60	31.40	31.20	31.00	30.90	30.90	31.00	31.20	31.40	31.70	31.80	31.80
Máximo	32.5	32.3	32.1	31.8	31.6	31.8	32.1	32.3	32.5	32.5	32.6	32.6
Mínimo	30.3	30.6	30.6	30.5	30.4	30.2	30.3	30.6	30.7	31.1	31.1	31

Anexo 9: MAPA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS NICARAGUA



Anexo 10: ANALISIS "FLOW ACCUMULATION", USADO PARA DETERMINAR LA RUTA DEL FRUJO DESDE EL CRATER



Anexo 11: VALORES PARA EL “ n” DE MANNING

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
Natural streams - minor streams (top width at floodstage < 100 ft)			
1. Main Channels			
a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.03	0.033
b. same as above, but more stones and weeds	0.03	0.035	0.04
c. clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.04	0.045
d. same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.05
e. same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.04	0.048	0.055
f. same as "d" with more stones	0.045	0.05	0.06
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0.05	0.07	0.08
h. very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.1	0.15
2. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
a. bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.03	0.04	0.05
b. bottom: cobbles with large boulders	0.04	0.05	0.07
3. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1. short grass	0.025	0.03	0.035
2. high grass	0.03	0.035	0.05
b. Cultivated areas			
1. no crop	0.02	0.03	0.04
2. mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. mature field crops	0.03	0.04	0.05
c. Brush			
1. scattered brush, heavy weeds	0.035	0.05	0.07
2. light brush and trees, in winter	0.035	0.05	0.06

3. light brush and trees, in summer	0.04	0.06	0.08
4. medium to dense brush, in winter	0.045	0.07	0.11
5. medium to dense brush, in summer	0.07	0.1	0.16
d. Trees			
1. dense willows, summer, straight	0.11	0.15	0.2
2. cleared land with tree stumps, no sprouts	0.03	0.04	0.05
3. same as above, but with heavy growth of sprouts	0.05	0.06	0.08
4. heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.08	0.1	0.12
5. same as 4. with flood stage reaching branches	0.1	0.12	0.16
4. Excavated or Dredged Channels			
a. Earth, straight, and uniform			
1. clean, recently completed	0.016	0.018	0.02
2. clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.03
4. with short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth winding and sluggish			
1. no vegetation	0.023	0.025	0.03
2. grass, some weeds	0.025	0.03	0.033
3. dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.03	0.035	0.04
4. earth bottom and rubble sides	0.028	0.03	0.035
5. stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.04
6. cobble bottom and clean sides	0.03	0.04	0.05
c. Dragline-excavated or dredged			
1. no vegetation	0.025	0.028	0.033
2. light brush on banks	0.035	0.05	0.06
d. Rock cuts			
1. smooth and uniform	0.025	0.035	0.04
2. jagged and irregular	0.035	0.04	0.05
e. Channels not maintained, weeds and brush uncut			
1. dense weeds, high as flow depth	0.05	0.08	0.12
2. clean bottom, brush on sides	0.04	0.05	0.08
3. same as above, highest stage of flow	0.045	0.07	0.11
4. dense brush, high stage	0.08	0.1	0.14
5. Lined or Constructed Channels			
a. Cement			
1. neat surface	0.01	0.011	0.013
2. mortar	0.011	0.013	0.015
b. Wood			
1. planed, untreated	0.01	0.012	0.014
2. planed, creosoted	0.011	0.012	0.015
3. unplaned	0.011	0.013	0.015
4. plank with battens	0.012	0.015	0.018
5. lined with roofing paper	0.01	0.014	0.017
c. Concrete			
1. trowel finish	0.011	0.013	0.015
2. float finish	0.013	0.015	0.016
3. finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.02
4. unfinished	0.014	0.017	0.02
5. gunite, good section	0.016	0.019	0.023
6. gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. on good excavated rock	0.017	0.02	
8. on irregular excavated rock	0.022	0.027	

d. Concrete bottom float finish with sides of:			
1. dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.02
2. random stone in mortar	0.017	0.02	0.024
3. cement rubble masonry, plastered	0.016	0.02	0.024
4. cement rubble masonry	0.02	0.025	0.03
5. dry rubble or riprap	0.02	0.03	0.035
e. Gravel bottom with sides of:			
1. formed concrete	0.017	0.02	0.025
2. random stone mortar	0.02	0.023	0.026
3. dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
f. Brick			
1. glazed	0.011	0.013	0.015
2. in cement mortar	0.012	0.015	0.018
g. Masonry			
1. cemented rubble	0.017	0.025	0.03
2. dry rubble	0.023	0.032	0.035
h. Dressed ashlar/stone paving			
i. Asphalt			
1. smooth	0.013	0.013	
2. rough	0.016	0.016	
j. Vegetal lining			
	0.03		0.5

Anexo 12: DATOS PARA LA DETERMINACION DEL VALOR DE CN

TIPOS DE SUELO			
GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
Suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y con elevada capacidad de infiltración, aun cuando estén húmedos. Se trata principalmente de suelos profundos y con texturas gruesas (arena o arena-limosa).	Suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Principalmente son suelos con mediana a alta profundidad, con buen drenaje, Sus texturas van de moderadamente finas a moderadamente gruesas (Franca, franco-arenosa o arenosa).	Suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa). También se incluyen suelos que presentan horizontes someros bastante impermeables.	Suelos muy arcillosos con elevado potencial de escurrimiento y, por lo tanto, con muy baja capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable, así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, ciertos suelos salinos y con nivel freático alto.

Tipos de Suelos según su tasa de infiltracion /

<http://www.oasification.com/archivos/Pequeña%20guía%20de%20uso%20del%20modelo%20MODIPÉ.pdf>

GRUPO	TASA DE INFILTRACIÓN MÍNIMA (f_c según el modelo de Horton) ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)
A	7,62 - 11,43
B	3,81 - 7,62
C	1,27 - 3,81
D	0,00 - 1,27

Tabla 2. Grupos hidrológicos de suelos según las definiciones del NRCS. Modificada de López Alonso (2001)

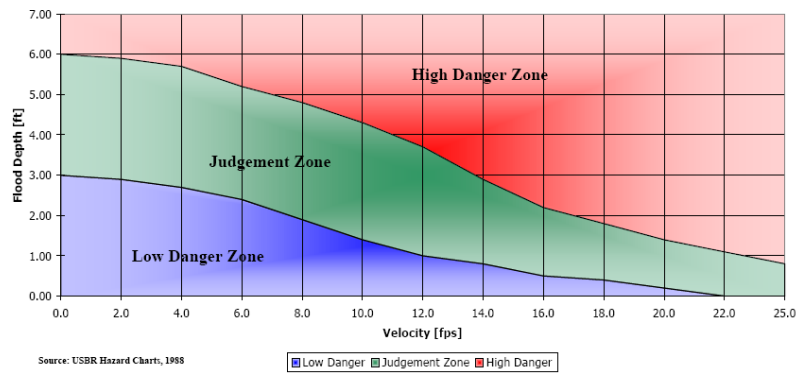
SUELO	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN CON HUMEDAD ELEVADA	TASA DE INFILTRACIÓN ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)	PROFUNDIDAD	TEXTURA	DRENAJE
A	Alta	7,62-11,43	Elevada	Arenosa Areno-limosa	Excesivo
B	Moderada	3,81-7,62	Mediana a elevada	Franca-arenosa Franca Franco-arcillo-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Escasa	1,27-3,81	Mediana a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy escasa	0-1,27	Con horizontes arcillosos. Litosuelos. Suelos con nivel freático permanentemente alto	Arenosa	Pobre o muy pobre

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	87	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	84	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	85	76	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	84	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	82	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
C + T + CR	Buena	81	70	77	80	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	83	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	80	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	81	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	80	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	79	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
C + T + CR	Buena	78	69	77	80	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	88
	R	Buena	85	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	86
	C	Buena	85	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
C + T	Buena	81	67	76	80	
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
	-	-	46	67	77	83
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	35	56	70	77
	-	Buenas	3	30	48	65
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Buenas	32	58	72	79
	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
Bosques	-	Buenas	25	56	70	77
	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
Caseríos	-	V Muy buena	15	44	54	61
	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	90
	-	-	74	84	90	92

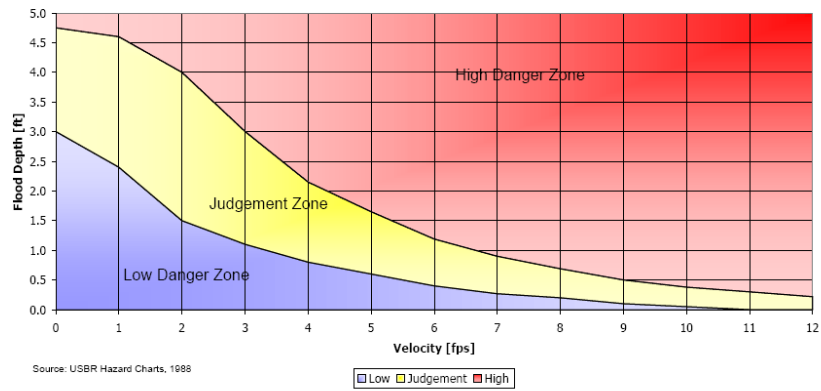
CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Anexo 13: GRAFICOS PARA LA CLASIFICACION DE LOS NIVELES DE RIESGOS PARA PERSONAS Y CASAS

Flood Danger for Houses

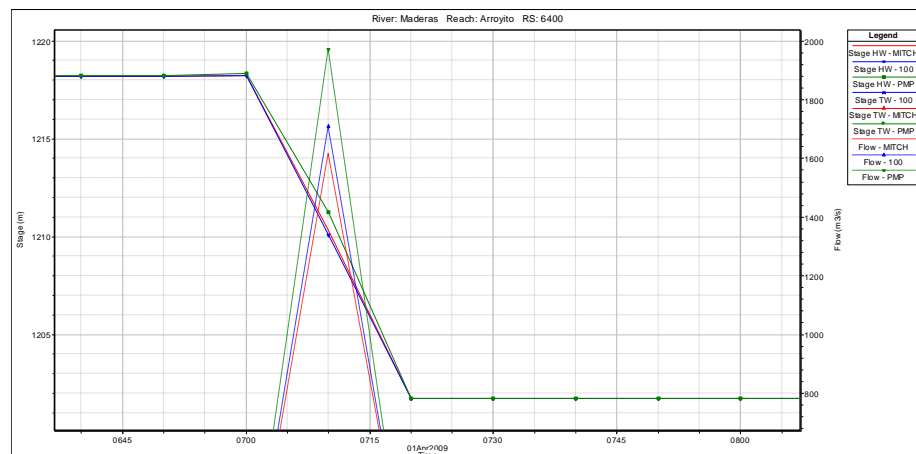


Flood Danger for Adults



Anexo 14: HIDROGRAMAS DE SALIDA DADA LA ROTURA

Hidrogramas de salida en la sección inicial aguas arriba y en la presa.



9. GLOSARIO Y SIMBOLOS

9.1 Glosario

CAMPO DE VINCULACION					
Sísmica (sis)	Hidrológico (hid)	Geológico (geo)	Institucional (inst)	Meteorológico (met)	Software (soft)

ACTIVIDAD VOLCANICA (sis).- Expulsión por presión de material concentrado en estado de fusión, desde la cámara magmática en el interior de la Tierra hacia la superficie. Si el material está constituido de gases y ceniza, se dice que la actividad es fumarólica. La actividad eruptiva se considera cuando el material expulsado va acompañado de roca fundida, fragmentos rocosos y piroclástico.

ALUD (geo).- Desprendimiento violento, en un frente glaciar, pendiente abajo, de una gran masa de nieve o hielo acompañado en algunos casos de fragmentos rocosos de diversos tamaños y sedimentos de diferente granulometría.

AVALANCHA (geo).- Sinónimo de Alud. Término de origen francés.

BOSS (inst).- Boss International, Empresa de Servicios de desarrollo de programas computacionales para uso ambiental y de ingeniería.

BASALTO (geo).- roca ígnea de grano fino y composición máfica, es decir, con un alto contenido de hierro. Se compone mayormente de piroxeno y olivino, conteniendo cantidades menores de feldespato y cuarzo.

CUENCA HIDROGRAFICA (hid).- La Cuenca Hidrográfica es el espacio que recoge el agua de las precipitaciones pluviales y, de acuerdo a las características fisiográficas, geológicas y ecológicas del suelo, donde se almacena, distribuye y transforma el agua proporcionando a la sociedad humana el liquido vital para su supervivencia y los procesos productivos asociados con este recurso, así como también donde se dan excesos y déficit hídricos, que eventualmente devienen en desastres ocasionados por inundaciones y sequías.

CAMBIO CLIMATICO (met).- Cambio observado en el clima a escala global, regional o subregional, causado por procesos naturales y/o actividad humana.

COE (inst).- College of Engineers, Northeastern University.

DERRUMBE (geo).- Caída repentina de una porción de suelo, roca o material no consolidado, por la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante y a la fuerza de la gravedad, sin presentar un plano de deslizamiento. El derrumbe suele estar condicionado a la presencia de discontinuidades o grietas en el suelo con ausencia de filtraciones acuíferas no freáticas.

DESLIZAMIENTO (geo).- Ruptura y desplazamiento de pequeñas o grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de éstos, en un talud natural o artificial. Se caracteriza por presentar necesariamente un plano de deslizamiento o falla, a lo largo del cual se produce el movimiento que puede ser lento o violento, y por la presencia de filtraciones.

EFECTO INVERNADERO (met).- Proceso por el cual la radiación solar atraviesa la atmósfera, la energía es absorbida por la tierra. A su vez la tierra irradia calor que es retenido en la tropósfera por la absorción de gases, principalmente vapor de agua y bióxido de carbono.

FALLA GEOLOGICA (geo).- Grieta o fractura entre dos bloques de la corteza terrestre, a lo largo de la cual se produce desplazamiento relativo, vertical u horizontal. Los procesos tectónicos generan las fallas.

FENOMENO NATURAL (geo, hid).- Todo lo que ocurre en la naturaleza, puede ser percibido por los sentidos y ser objeto del conocimiento. Además del fenómeno natural, existe el tecnológico o inducido por la actividad del hombre.

FERC (inst).- <<Federal Energy Regulatory Commission>>, Comisión Federal de Regulación de la Industria Energética de los Estados Unidos de América.

HURACAN (met).- Es una perturbación tropical de baja presión atmosférica, con vientos muy intensos de superficie, que sobrepasan los 64 nudos o 100 km por hora. Se llama Huracán en el Caribe, Ciclón en la India, Tifón en el lejano Oriente, Baguio en las Filipinas y Willy- Willy en Australia.

INETER (inst).- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

HEC-HMS (soft). - Hydrological Engineering Center-Hydrological Modeling System; programa computacional para la simulación hidrológica.

HEC-RAS (soft).- Hydrological Engineering Center- River Analysis System; programa computacional para simulación hidráulica.

HIDROESTA (soft).- Hidrología Estadística, Programa computacional de análisis hidrológico.

INUNDACIONES (hid).- Desbordes laterales de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y maremotos (tsunami).

LAHAR (geo).- Revenimiento de laderas producto del acumulamiento de agua en un cráter volcánico, movimientos telúricos y/o el avance de la frontera agrícola.

NCGIA (inst).- <<Center for Geographical Information Analysis>>, Centro Nacional para el Análisis de la Información Geológica, Estados Unidos de América.

NESDIS (inst).- <<National Environmental Satellite, Data And Information Service>>, Servicio de Información del Programa Nacional de Satélites Ambientales, Estados Unidos de América.

NWS (inst).- <<National Water Service>>, Servicio Nacional del Agua, Estados Unidos de América.

MDT (soft).- Modelo Digital de Terreno.

PIROCLASTOS (geo).- Cualquier fragmento sólido de material volcánico arrojado al aire durante una erupción. Petrologicamente los piroclastos son fragmentos de roca ígnea volcánica, solidificados en algún momento de la erupción, lo más a menudo durante su recorrido aéreo. En sentido <<estricto>> el término alude a un determinado tamaño de fragmento.

RASTER (soft).- Estructura o fichero de datos que representa una rejilla rectangular de píxeles o puntos de color.

ROCA IGNEA (geo).- Estructuras que se forman cuando la roca (magma), se enfría y solidifica, con o sin cristalización, bajo la superficie como rocas intrusivas (plutónicas), o en la superficie como rocas extrusivas (volcánicas), también puede formarse rocas hipoabisales (un punto intermedio entre las volcánicas y las plutónicas).

SHALSTAB (soft).- <<Shallow Stability Model>>, Modelo de estabilidad de Laderas, programa computacional para simulación de deslizamientos.

SIG (soft).- Sistemas de Información Geográfica.

SISMO (sis).- Liberación súbita de energía generada por el movimiento de grandes volúmenes de rocas en el interior de la Tierra, entre su corteza y manto superior, y se propagan en forma de vibraciones a través de las diferentes capas terrestres, incluyendo los núcleos externo o interno de la Tierra.

SINAPRED (inst).- <<Sistema Nacional Prevención de Desastres>> Conjunto interrelacionado de organismos del sector público y no público, normas, recursos y doctrinas; orientados a la protección de la población en caso de desastres de cualquier índole u origen; mediante la prevención de daños, prestando ayuda adecuada hasta alcanzar las condiciones básicas de rehabilitación, que permitan el desarrollo continuo de las actividades de la zona.

SRTM (soft).- <<Shuttle Radar Topography Mission >>.

TALUD (geo).- Cualquier superficie inclinada, respecto a la horizontal, que adoptan permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o por intervención del hombre. Se clasifican en laderas (naturales), cortes (artificiales) y terraplenes.

TIN (soft).- <<Triangular Irregular Network>>, Red Triangular Irregular.

VOLCAN (sis).- Estructura rocosa de forma cónica resultado de las efusiones del magma sobre la superficie terrestre.

VULNERABILIDAD (grd).- Grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser: física, social, económica, cultural, institucional y otros.

ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (met).- Perturbación tropical y subtropical, próxima al Ecuador geográfico, generada por la convergencia de los vientos alisios de los hemisferios sur y norte. Constituye la fuente de precipitaciones en la región tropical y subtropical.

USBR (inst).- <<Berau of Reclamation>>, Dependencia del Departamento del Interior de los Estados Unidos de América.

USGS (inst).- <<US Geological Service>>, Servicio Geológico de los Estados Unidos de América.

9.2 Símbolos utilizados

m	:	metros
mm	:	milímetros
mm/h	:	intensidad \Rightarrow milímetros/hora
msnm	:	metros sobre el nivel del mar
km²	:	kilómetros cuadrado
km	:	kilómetros
ha	:	hectárea
°C	:	grados Celcius
m³/s	:	caudal \Rightarrow metros cúbicos sobre segundo
HMP	:	Estación de Monitoreo Hidrometrico-Meterologico-Pluviometrico
LGF	:	Estación de Monitoreo Limnigráfico
Γ	:	densidad del suelo
Φ	:	ángulo de fricción
P_s	:	profundidad de la capa de suelo permeable
(q/T)	:	relación caudal superficial y transmisividad
Mhz	:	mega hertz
MB	:	mega bytes
K_m	:	factor de frecuencia
X_n	:	media
S_n	:	desviación típica
n	:	coeficiente de rugosidad de Manning
m	:	valor máximo de una serie de datos
n_p	:	número de datos de una serie
PMP₂₄	:	precipitación máxima probable para un evento de 24 horas
I	:	intensidad de la precipitación
P	:	precipitación
t_c	:	tiempo de concentración

t_{lag}	:	tiempo de retardo
T	:	tiempo
V	:	volumen
A	:	área
min	:	minutos
TR	:	tiempo de retardo
H	:	diferencia de alturas
L	:	longitud del drenaje
CN	:	Numero Curva
W	:	humedad del suelo
Q	:	intensidad de la lluvia según modelo de O'LOUGHLIN
T	:	transmisividad según modelo de O'LOUGHLIN
h/z	:	relación grosor de suelo altura de la columna de agua en subsuelo
a	:	área de contribución
b	:	largo de contorno unitario
θ	:	pendiente local
h	:	altura de la columna de agua en el subsuelo
C'	:	cohesión del suelo
ρ_s	:	densidad del suelo
ρ_w	:	densidad del agua
Φ	:	ángulo de fricción

10. BIBLIOGRAFÍA

- (BID), B. I. (2004). *Gestión de riesgo a desastres naturales*. www.iadb.org/sds/ENV/site_2493_s.htm.
- ACASO, A. (1986). *Vocabulario de Términos Meteorológicos y Ciencias Afines*. Instituto Nacional de Meteorología, España.
- ACKERMAN, J. (2005). *Water Pollination*. Cambridge, Canada.: <http://www.uoguelph.ca/~ackerman/publications.htm>.
- ASSOCIATION FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND THE UNIVERSITY OF EDINBURGH DEPARTMENT OF GEOGRAPHY. *Dictionary of GIS terms*. www.geo.ed.ac.uk/agidict/welcome.html.
- AZEVEDO, J. (2002). *Situações de Risco: inundações e cheias*. http://docs.google.com/gview?a=v&q=cache:FaofBaCpUeAJ:www.administradores.com.br/producao_academica/situacoes_de_risco_cheias_e_inundacoes/186/download/+SOBRINHO,+1980%2Binundacao&hl=pt-BR&gl=br.
- CAMPOS, D. F. (1987). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis, Postosí.: Editorial UASLP.-<http://books.google.com.ar>
- CARDONA et al. (2005). *System of indicators for disaster risk management: main technical report*. Manizales – Washington: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia / Inter-American Development Bank.
- CARSON y KIRKBY. (1972). *Hillslope forms and process*. Cambridge University Press.
- CINAPRED. (2004). *Programa Nacional de capacitación en Gestión del Riesgo-Modulo I*. Managua, Nicaragua: El Amanecer.
- CROSTA et al. (1991). *A study of flow development in mass movements of granular materials*. US Geological Survey-<http://books.google.com.ar>.
- CULLIGAN, P., EINSTEIN, H., & ANDREW J. (2003). *Soil and Rock America 2003: 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Michigan: Verlag Glückauf.-<http://books.google.com.ar/>
- DA COSTA LEWI, N. (2004). *Operational risk with Excel and VBA: applied statistical methods for risk management*. John Wiley and Sons.-<http://books.google.com.ar>.
- DIETRICH W.& MONTGOMERY D. (1998). *SHALSTAB:A digital terrain model for mapping shallow landslide potential*. Berkeley, California.: <http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph/shalstab/index.htm>.
- DILLEY M. et al. (2005). *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Washington D. C: World Bank Publications/http://books.google.com.ar/books?id=X3osIdnSBdGC&printsec=frontcover&source=gbs_summary_r&cad=0.

- DOMÍNGUEZ F. (1976). *Estructuras en Canales: Ecuación del Flujo Crítico*. Editorial Universitaria. Universidad de Chile.-
www.geocities.com/gsilvam/canales.htm.
- FEMICA, F. d. (2005). *prácticas exitosas sobre manejo de servicios ambientales para poblaciones vulnerables a desastres ambientales en ciudades de América Central*. FEMICA PRESS.
- FERNANDES & AMARAL. (1996). *Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica*. Rio de Janeiro, Brasil: Editorial Bertrand/.
- GARCIA, M. M. (2000). *Los mapas de riesgos. Conceptos y metodología para su elaboración*. Madrid:
http://www.msc.es/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_cdrom/VOL68/68_4_443.pdf.
- GISSELQUIST & SRIVASTAVA. (2000). *Easing Barriers to Movement of Plant Varieties for Agricultural Development*. Washington DC, USA: World Bank Publications-<http://books.google.com.ar>.
- GÓMEZ RIVERA, S. N. (2003). *Análisis de la vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del Río Aguas Calientes, Somoto- Nicaragua*. Tesis MSc. CATIE.
- GONZÁLEZ M. y LIMA DE MONTES Y. (2001). *Cartografía del Riesgo a los Deslizamientos en la Zona Central del Principado de Asturias*.
http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=43.
- GUIDICINI, & O.Y., I. (1976). *Ensaio de correlação entrepluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido*. IPT Publicação.
- H.X., L., ZHOU, C., WANG, L., H.Y.ZHANG, & R.H. LI. (2004). *Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed*. Yunnan,China.: <http://www.lreis.ac.cn/article/2004lanhx.pdf>.
- HARRINGTON B.W. (2003). *Hazard Classifications & Danger Reach Studies for Dams*. Dept. of The Environment, Meryland.
- HIGHLAND L. (2004). *Landslides causes and processes*. Internet:
<http://pbs.usgs.gov/fs/2004/3072>, 2004.: U.S. Geological Survey.
- HUNT ROY. (2007). *Geologic hazards: a field guide for geotechnical engineers*. CRC Press.
- INETER, I. N. (1998). *Las Lluvias del Siglo en Nicaragua* . Managua, Nicaragua.
- INETER, I. N. (2003). *Amenaza por deslizamientos y otros procesos exógenos*. Managua, Nicaragua: www.ineter.gob.ni/geofisica/desliza/amenaza.htm.
- JIMÉNEZ N. (2005). *Elementos históricos y Urbanos en la generación de desastres por inundaciones y deslizamientos en Cali, 1950-2000*. . Santiago de Cali: Trabajo de grado. Universidad del Valle.

- LEHRE, A. (2000). *USING SHALSTAB IN ARCVIEW*. Dept. of Geology, Humboldt State University:
www.humboldt.edu/~geology/courses/geology551/551_handouts/using_SHALSTAB.pdf.
- LENCASTRE & FRANCO. (1992). *Lições de Hidrologia*. Lisboa: Nueva Universidad de Lisboa.
- MACARIL, E. (2001). *Evaluación de riesgos de Derrumbes causados por Lluvias Torrenciales*.
http://civil.uprm.edu/revistadesastres/Vol1Num2/3_Derrumbespor_por_Lluvias.pdf.
- MAESTRO CANO, I. (2003). *Impact of the D algorithm on the automatic extraction of drainage networks from Digital Elevation Models*. Valencia, España:
[http://74.125.93.132/search?q=cache:s6i8mxCYvnkJ:tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol19_1_2/Cuaternario19\(1-2\)_02.pdf+O'CALLAGHAN+%26+MARK+%2B1984&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ar](http://74.125.93.132/search?q=cache:s6i8mxCYvnkJ:tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol19_1_2/Cuaternario19(1-2)_02.pdf+O'CALLAGHAN+%26+MARK+%2B1984&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ar).
- MARÍN, À. (2006). *Clasificación de presas y evaluación del riesgo con programa HEC-RAS*. Barcelona, España:
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3274/9/53816-9.pdf>.
- MERWADE, V. (2008). *HMS Model Development using HEC-GeoHMS*. School of Civil Engineering, Purdue University.-
<http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/geohms.pdf>.
- MERWADE, V. (2008). *Tutorial on using HEC-GeoRAS with ArcGIS 9.2*. West Lafayette, IN: School of Civil Engineering, Purdue University.-
<http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/georastutorial.pdf>.
- MONTGOMERY & DIETRICH. (1994). *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. Berkeley University.
- MORA, L. (2002). *Material de Curso sobre Gestión de Riesgos*. San Jose, CR:
<http://geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/rmoradeslizamiento>.
- MOREIRA RAMOS, V. (2002). *Aplicación del Modelo SHALSTAB en ambiente ArcView*. Brasilia: Revista Espaço & Geografia, Vol.5.
- NANIA L. (2001). *Manual Básico de HEC-RaS/ HEC-GeoRAS*. Granada: Editorial Universitaria, UG.-www.ugr.es/~lnania/cursos.htm.
- NCGIA Technical Reports 1988-1997. (1999). *Fundamental Research in Geographic Information and Analysis*,. NCGIA Press.-
www.ncgia.ucsb.edu/pubs/pubs_cd.html.
- O'CALLAGHAN, J. &. (1984). *The extraction of drainage networks from digital elevation data*.
- O'RIORDAN, T. (2002). *Encyclopedia of Global Environmental Change, vol. 4*. Chichester, UK: Tolba, M. K.

- PEDRAZA, R. (2006). *Notas de cátedra*. Santa Fe, Argentina: Secretaría de Postgrado UNL.
- PEDUZZI et al., M. (2001). *Feasibility report on global risk and vulnerability index – trends per year (GRAVITY) for UNDP/ERD*. Geneva: NEP/DEWA/GRID.
- PEÑA LLOPIS, J. (2006). *Sistemas de Informacion Geografica Aplicados a la Gestion Del Territorio*. Alicante, España: Publicado por Jose A Lopez.- <http://books.google.com.ar>.
- PUSINERI, G. P. (2008). *Uso de DEM y SIG en a Modelación Hidrológica*. Santa Fe, AR.
- RECLAMATION, B. O. (1988). *Downstream Hazard Classification Guidelines*. Denver, Colorado: Assistant Commissioner - Engineering and Research Press.
- RICHARDS J.A & XIUPING J. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction*. Kensington, Australia: Birkhäuser. - <http://books.google.com.ar>.
- ROCHA, J. (1995). *Prevenção de Inundações e Reabilitação de Edifícios em Zonas Indundaveis*. Revista de Geografia Aplicada.
- ROCHA, J. V., LOMBARDI NETO, F., & BACELLAR. (1995). *Metodologia para Determinação do Fator Comprimento de Rampa para a Equação Universal de Perda de Solo*. Campinas, Brasil: Anais do Simpósio de Usuários do IDRISI.
- SANTACANA N. (2001). *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica*. <http://www.tdx.cesca.es/TDX-0713101-113341/>.
- SANTAELLA L. & NÖTH W. (2003). *IMAGEN. Comunicación, semiótica y medios*. Kassel, Alemania: <http://books.google.com.ar>.
- SELBY M.J. (1993). *Hillslope material and process*. Oxorf University Press.
- TOBIN G. & MONTZB. (1997). *Natural Hazards: Explanation and Integration*. New York, New York.: Guilford Publishing.
- TREZZA, R. (2004). *Drenaje Agrícola: Determinación de Lluvias Máximas*. Merida, Venezuela: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/LluviasExtremas.pdf>.
- TUCCI C. E. (2000). *Hidrologia 4: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Brasil: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TUCCI. (1995). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre, Brasil: Editora UFRGS.
- UNDP. (2004:98). *Reduccion de Riesgos a Desastres* . Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- UofA, U. o. (2002). *Creating Watersheds from a DEM*.
www.biology.ualberta.ca/facilities/gis/uploads/instructions/AVWatershedsFromDEM.pdf.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2000). *Technical reference manual/HEC-HMS (Hydrologic modeling system)*. Davis. CA.:
http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/index.html.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2003). *Hydraulic reference manual Version 3.0/HEC-RAS (River Analysis System)*. Davis, CA:
http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. (1995). *Hydraulic reference manual. Versión 1.0 /HEC-RAS (River Analysis System)*. Davis. C.A.:
http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html.
- USBR. (1988). *Downstream Hazard Classification Guidelines*. Denver, Colorado: Acer Technical Memorandum N°11-
http://www.mde.state.md.us/assets/document/damsafety/DambreakGuidelines.
- USBR, U. B. *Teton Basin Project*. Fremont:
http://www.usbr.gov/dataweb/html/teton1.html.
- VAN WYK DE VRIES, B. (1993). *Tectonics and Magma Evolution of Nicaraguan Volcanics Systems*. Open University.
- VANACKER et al. (2003). *Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability*. GOVERS.
- VEN T CHOW et al. (1994). *Hidráulica Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- VIEIRA, E. (2007). *Desastres Naturales y Geotecnologias*. Santa Maria, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.-
www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/conceitosbasicos.pdf (Cap 1-2).
- WEATHER BUREAU, U. D. (1963). *Probable Maximum Precipitation in the Hawaiian Islands. Hydrometeorological Report 39*. Washington DC: Weather Bureau.
- ZAPATA MARTÍ, R. (2006). *Los Efectos de los Desastres en 2004 y 2005: La necesidad de adaptación de largo plazo*. México: United Nations Publications;
http://books.google.com.ar/.
- ZEILER, M. (1999). *Modeling our world: the ESRI guide to geodatabase design*. Publicado por ESRI.- http://books.google.com.ar.

Sitios Webs de Mayor importancia Consultados:

- <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gradhydro99/hmwk1/hmsintro.htm>

- <http://www.scribd.com/doc/6450421/Diseno-de-Presa-de-tierra>
- <http://onlinetc.sdsu.edu/kirpich.php>
- <http://www.mde.state.md.us/assets/document/damsafety/DambreakGuidelines/USBR%20ACER%20TM11-Downstream%20Hazard%20Classification%20Guidelines.pdf>
- http://www.mde.state.md.us/Programs/WaterPrograms/Dam_Safety/techref/dambreakguidelines.asp
- http://books.google.com.ar/books?id=tkUYqd0Aac8C&pg=PT154&lpg=PT154&dq=ejemplo+precipitacion+maxima+provable&source=bl&ots=HQ5Ja7Kfsq&sig=z_QwffAfnslilhCwCf-6W2oqLU&hl=es&ei=zE_9SfHmGs-WuAfO28yaBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1#PPT241,M1
- <http://www.noaa.gov/>
- <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>