

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA.**

**PELIGRO GEOLOGICO POR DESLIZAMIENTOS EN LA CIUDAD DE
SANTIAGO DE CUBA Y SUS ALREDEDORES. ESCALA 1:25 000.**



**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MASTER EN CIENCIAS EN LA
ESPECIALIDAD DE GEOLOGIA REGIONAL.**

AUTOR: ING. CARMEN ROSA REYES PEREZ.

TUTORES: Dr. RAFAEL GUARDADO LACABA.

MSc. ENRIQUE DIEGO ARANGO ARIAS.

**MOA, 2002
“Año de los Héroes Prisioneros del Imperio”**

*El futuro de nuestro país, tiene que ser necesariamente,
un futuro de hombres de ciencia.*

Fidel Castro Ruz

A mis hijas

Agradecimientos.

- A mis padres y esposo, por todo el apoyo brindado durante la realización de mis estudios y en la parte final de mi tesis.
- A mis compañeras, con las que he compartido siempre momentos difíciles y alegres.
- A todos los que me ayudaron en la realización de mi trabajo y siempre confiaron en mi. En especial a Julio A. García Peláez quien tanto tiempo dedicó a mi trabajo.

Resumen:

Los deslizamientos constituyen riesgos geológicos cuya ocurrencia afecta en gran medida la actividad humana, fundamentalmente en aquellas zonas donde existe una alta concentración de población; Cuba no está exenta de esta problemática y es por ello que surge esta investigación, titulado **Peligro Geológico por Deslizamiento en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores**, con vista a profundizar en el estudio de este fenómeno específicamente para la ciudad de Santiago de Cuba, teniendo en cuenta que es una región donde existen condiciones favorables para la ocurrencia de los deslizamientos ya sea por origen natural o inducido. Por tanto se proponen como objetivos fundamentales en este trabajo delimitar las zonas de susceptibilidad a los deslizamientos como consecuencia de la influencia conjunta, tanto de los factores susceptibles, como de los disparadores y determinar las zonas que constituyen peligro potencial para la ocurrencia de deslizamientos, de manera que se puedan tomar medidas encaminadas a mitigar sus efectos.

La metodología empleada en la investigación es la establecida por el Japan Working Group for TC-4. Committe (1993) para la realización de Mapas de Zonación Geotécnica en las zonas sísmicas del mundo, realizando el estudio para un Nivel II de Zonación en el que se aplica el método de Mora y Vahrson (1991) propuesto por esta metodología, basada en la caracterización del área investigada a partir de la evaluación de tres factores de susceptibilidad y dos factores disparadores que al combinarlos adecuadamente permitan asignar un Potencial de Amenaza al deslizamiento. A este método se le realizaron algunas adecuaciones de acuerdo a las características geológicas específicas y al área que abarca la región de estudio.

Como resultado de la investigación se obtiene el Mapa de Peligro o de Susceptibilidad de ocurrencia de Deslizamiento, a escala 1:25 000, en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, a partir de la evaluación de tres factores de Susceptibilidad (relieve, geología y humedad de suelo) y dos Catalizadores (lluvia y sismo). Al mismo tiempo se realiza una valoración del Riesgo por deslizamiento que se implementa en un SIG, lo que permite amplias posibilidades de trabajo así como de manejo de los resultados.

Indice:

Introducción.	1
Estado Actual de la Temática.	2
Trabajos Precedentes.	9
Planteamiento del Problema.	11
Hipótesis.	12
Objetivos.	12
Capitulo 1: Condiciones geológicas generales del área de estudio.	13
1.1.- Características físico - geográficas.	13
1.2.- Condiciones geomorfológicas.	15
1.3.- Particularidades geólogo - tectónicas.	19
1.4.- Condiciones Hidrogeológicas.	29
1.5.- Características sísmicas de la región de estudio.	39
Capitulo 2: Metodología de los trabajos.	42
2.1.- Conceptos relacionados con el fenómeno de Deslizamiento.	42
2.2.- Aspectos Metodológicos.	44
2.3.- Procedimientos de la Investigación.	47
Capitulo 3: Análisis de los Resultados.	62
Conclusiones.	86
Recomendaciones.	89
Bibliografía.	90
Anexo No.1: Tablas de clasificación del método de Mora y Vahrson (1991).	102
Anexo No.2: Esquema de aplicación del método de Mora y Vahrson (1991).	105
Anexo No.3: Esquema de la metodología seguida para la obtención de los resultados.	106
Anexo No.4: Fotos de taludes en Santiago de Cuba.	107

Anexo No.5: Ajuste artificial de las lluvias mensuales.	112
Anexo No.6: Ajuste de curvas de distribución de lluvias máximas y valores de errores cuadráticos medios de la frecuencia y de la variable.	115
Anexo No.7: Mapas de Susceptibilidad Habitacional y Poblacional de la ciudad de Santiago de Cuba.	117

Introducción.

Cuba no está ajena a los efectos de los fenómenos naturales sísmicos y meteorológicos, que a su vez son catalizadores de fenómenos secundarios como los deslizamientos en años pasado. Nuestro Gobierno, como parte del DIRDN (*Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales*) por medio de la Defensa Civil y el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), desarrolló un programa integral dirigido a la reducción y mitigación de los desastres ocasionados por los terremotos en las zonas de alto riesgo sísmico. Este es el caso del Proyecto del Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba, del cual forma parte esta investigación.

La Sismicidad Histórica de Cuba demuestra la ocurrencia de terremotos en todo el territorio cubano, sin embargo en la región Suroriental, es donde se concentra la mayor peligrosidad, por su encontrarse ubicada en las proximidades de la zona de contacto entre la Placa de Norteamérica y la Microplaca de Gonave (Arango, 1996), la cual genera todo un movimiento diferencial que convierte a este sistema de fallas transformantes, en la principal zona Sismogeneradora del país. Por localizarse la ciudad de Santiago de Cuba en esta región y cercana al contacto entre la Placa de Norteamérica y la Microplaca de Gonave es que se considera la zona de mayor Peligro y Riesgo Sísmico del país. Esta ciudad de más de 600 000 habitantes y una infraestructura socioeconómica importante, ha sido sacudida por numerosos terremotos que le han causado considerables daños desde su fundación.

Por lo expuesto anteriormente es necesario considerar de gran importancia la investigación de los sismos o terremotos que ocurren en el área, porque estos al igual que las lluvias, son catalizadores de la ocurrencia de fenómenos físico - geológicos como los deslizamientos, que a su vez son responsables de un gran volumen de pérdidas humanas y materiales.

En el mundo son numerosos los ejemplos de deslizamientos que han ocasionados daños considerables a la economía y a las personas. En Cuba este fenómeno ha sido provocado fundamentalmente por las abundantes precipitaciones y por los terremotos, ocurriendo con mayor frecuencia y magnitud los deslizamientos provocados por lluvias, como fueron los originados al Sur de la Sierra Maestra con el paso del ciclón Flora en 1963 por la región oriental (Seisdedos y otros, 2001), desarrollados fundamentalmente en las laderas de los valles de los ríos y que a su vez fueron los responsables de la mayoría de las pérdidas de vidas humanas. Por otro lado y a diferencia de los anteriores, los

deslizamientos originados por los terremotos ocurren con menor frecuencia y con menor magnitud, tal es el caso de los deslizamientos ocasionados por los terremotos del 2 de agosto de 1852 en la Sierra de la Gran Piedra (Chuy, 1999), el de 1947 en la Loma del Cake (Zapata 1995), ciudad de Santiago de Cuba y el terremoto de Pílon del 19 de febrero de 1976 en la Sierra Maestra (Carretera Granma, Purialón) (Seisdedos y otros, 2001), de los cuales no hubo que lamentar pérdidas de vidas humanas.

Considerando estos elementos nos proponemos como objetivo de la investigación determinar el peligro de ocurrencia de deslizamiento en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores como un fenómeno geotécnico que caracteriza el Riesgo Sísmico, a través de la caracterización de variables geológicas, topográficas, sismológicas y climáticas para contribuir a la Mitigación del Riesgo Sísmico en lo referido a la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento y planificación del uso del suelo y las medidas de mitigación.

Estado Actual de la Temática.

Dentro de las investigaciones de Riesgos y Peligros Geológicos se destacan las realizadas por Ayala (1987) donde se dan a conocer nuestro concepto de Riesgo, que en alguna ocasión es utilizado como sinónimo de Peligro o Amenaza y por lo cual consideramos debemos precisarlo nuevamente.

Este autor define a los Riesgos geológicos como *“Todo proceso, situación, o suceso en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que pueda generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos”*. Señala además que pueden ser bruscos, como un terremoto, o lentos como la erosión de una playa; y que pueden afectar una región como las avenidas, o bien a una localidad como un desprendimiento de rocas.

Otras definiciones relacionadas con los riesgos geológicos aparecen en *The American Institute of Professional Geologists*, que han sido adaptados al español por el Ilustre Colegio de Geólogos de España y publicados en la Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos (1993), donde se da además, una guía para comprender estos riesgos, en los que fueron incluidos los suelos expansivos, asbestos, radón, terremotos, volcanes, deslizamientos, subsidencias, inundaciones y riesgos costeros.

En Cuba el estudio de los fenómenos geológicos ha ido aumentando progresivamente, pero no es hasta la década de los 90 en que el tema de los Riesgos Geológicos comienza a tener auge, al realizarse varios trabajos en diferentes partes de nuestro país. Dentro de estas investigaciones se encuentran las realizadas en la zona minera de Moa por Guardado y Carmenate en 1995 “Evaluación ingeniero-geológica de las áreas con peligros y riesgo geológico”; donde realiza una separación espacial de las unidades ingeniero - geológicas de la zona urbana y costera de Moa, atendiendo al nivel de peligro y riesgo geológico de las mismas para una propuesta de medidas de mitigación del deterioro ambiental más adecuado del terreno, dirigidas al estudio del Riesgo Geológico en esta región, cuyos resultados fueron publicados en la Revista Minería y Geología del ISMM de Moa.

El tema de los deslizamientos dentro de los Riesgos Geológicos es muy estudiado en el mundo, lo que nos permite valorar como es analizado este fenómeno en diferentes condiciones geoambientales y en consecuencia establecer una programa de trabajo para el análisis de esta problemática en Cuba y específicamente en Santiago de Cuba.

La investigación de los deslizamientos está relacionada con áreas del conocimiento como son la Ingeniería Geológica, Geomorfología, Geotecnia, Mecánica de Suelos y Rocas, relación que se ejemplifica a través de la clasificación de los movimientos de laderas dada por Varnes (1978), considerada como la clasificación oficial de la International Association of Engineering Geology–IAEG (Tabla 1).

En 1992, Augusto Filho realiza una caracterización de los deslizamientos en los que considera como elementos imprescindibles a considerar los siguientes:

1. Pocos planos de los deslizamientos (externos).
2. Velocidades medias (m/h) a altas (m/s).
3. Pequeños y grandes volúmenes de material.
4. Geometría y materiales variables:
 - *Planares*: suelos pocos compactos, suelos y rocas con un plano de fragilidad.
 - *Circulares*: suelos compactos homogéneos y rocas muy fracturadas.
 - *En Cuña*: suelos y rocas con dos planos de fragilidad.

Tabla 1: Clasificación de los movimientos de ladera según Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMIENTO			Tipo de Material		
			Roca	Suelo (Ingeniería)	
				Grueso	Fino
CAIDAS			de Roca	de detritos	de tierra
DESMORAMIENTOS			de Roca	de detritos	de tierra
DESLIZAMIENTOS	ROTACIONAL	pocas unidades	Abatimiento de roca	Abatimiento de detrito	Abatimiento de tierra
	TRASLACIONAL	muchas unidades	De Bloques Rocosos	De Bloques de detritos	De Bloques de Tierra
			De roca	De Detritos	De Tierra
EXPANSIONES LATERALES			De roca	De Tierra	De Tierra
TORRENTES / ESCURRIMIENTO			De roca	De Tierra	De Tierra
			(arrastre profundo)	(Arrastre de suelo)	
COMPLEJOS: Combinación de 2 o más de los principales tipos de movimiento					

Por otra parte, se debe señalar que los deslizamientos suceden por influencia de factores del medio ambiente (físico, biológico y social) específicos, que deben ser estudiados, a fin de que estos procesos puedan ser evitados y estabilizados. Estos fenómenos incluyen una serie de eventos de causa y efecto que se originan en la ruptura del material (suelo, roca), cuando las fuerzas motoras y motrices son mayores que la resistencia de este material. Basado en este enfoque, Varnes (1978) divide los factores que actúan en los deslizamientos en dos grandes grupos: los que aumentan las fuerzas motrices o motoras y los que disminuyen la resistencia de los terrenos, como se observa en la Tabla 2.

Actualmente son numerosos los autores que se dedican a la investigación de los deslizamientos, por tal motivo se crea la Asociación Internacional de Ingenieros Geólogos constituida por un grupo especial de trabajo que generaliza los datos y organiza el intercambio de información entre los especialistas de diversos países acerca de los estudios de los procesos de deslizamientos.

La relación entre los deslizamientos y los índices pluviométricos (lluvia) ha llevado a algunos investigadores a tratar de establecer relaciones empíricas, probabilísticas, físico-matemáticas con el objetivo de prever temporalmente la ocurrencia de estos eventos. Ejemplos de estas investigaciones son las realizadas por Lumb (1975) y Brand et al (1984) que estudian deslizamientos en Hong Kong; Yagi et al (1995) que presentan una correlación entre lluvias y deslizamientos en Japón, utilizando modelos físicos-matemáticos. Tatizana et al (1987 a, b) en la región de la Sierra do Mar, Sao Paulo, donde

muestran una correlación entre deslizamientos planares de suelos, las lluvias diarias y los acumulados de lluvias anteriores al evento.

Tabla 2. Factores deflagrantes de los movimientos de laderas (Varnes, 1978)

Acción	Factores		Fenómenos Naturales / Antrópicos
Aumento de la fuerza motriz o motora	Remoción de masa (lateral o de la base)		Erosión, deslizamiento cortes
	Sobrecarga		Peso del agua de la lluvia, nieve, granizo, etc. Acumulación natural de material (depósitos). Peso de vegetación. Construcción de estructuras, rellenos.
	Fuerzas dinámicas		Terremotos, olas, volcanes, etc. Explosiones, tránsito, sismos provocados.
	Presiones laterales		Agua de grietas, congelamiento, material expansivo.
Reducción de la Resistencia.	Características inherente al material	Textura, estructura, geometría, etc.	Características geomecánicas del material.
	Cambios o factores variables	Cambios en la característica del material.	Intemperismo, reducción de la cohesión, ángulo de atrito. Elevación del nivel de agua.
	Otras causas		Debilitamiento debido al arrastre progresivo. Acción de las raíces de los árboles y cuevas de animales.

Corominas (1999), también ha publicado varios trabajos relacionados con la cartografía de los deslizamientos y su relación con las lluvias, donde plantea que las precipitaciones son las responsables de los movimientos y reactivación de los deslizamientos en las laderas del Este de los Pirineos.

Varios autores han investigado la influencia de los terremotos como agentes deflagrantes de deslizamientos, por ello en 1986 se aprueba el Comité Técnico para la Ingeniería Sísmica Geotécnica TC4 por la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones (ISSMFE), quien para apoyar el Decenio Internacional de los Desastres Naturales (IDNRD) y autorizado por la UNESCO, le da la misión a este Comité de preparar y publicar un Manual contentivo de los lineamientos y metodologías para desarrollar la zonación de peligros geotécnicos ocasionados por terremotos publicado en 1992 en Lisboa, que incluye aspectos relacionados con movimientos de la

superficie del terreno ocasionados por terremotos fuertes, la licuefacción y los deslizamientos de tierra. Es objetivo del Comité que este Manual constituya un documento útil para los encargados con la preparación de Mapas de Zonación en las zonas Sísmicas del mundo.

Este Manual incluye trabajos claves de zonación realizados por especialistas de reconocidos prestigios como Tamura (1978), Yasuda y Sugitani (1988) quienes establecen una relación entre la magnitud y la distancia de ocurrencia de los deslizamientos en Japón, Ishihara y Nakamura (1987) realizan el estudio para el Ecuador (terremoto 1987); y Mora y Mora (1992) lo realizan para Costa Rica. También se recogen trabajos donde se relacionan los deslizamientos y los terremotos pero en función de la intensidad como es el caso de Keefer y Wilson (1989) quienes establecen intensidades mínimas, en la escala Mínima de Mercalli Modificada (MMM) para que ocurran los deslizamientos en Japón. Las figuras 1, 2, y 3 muestran algunos de estos resultados

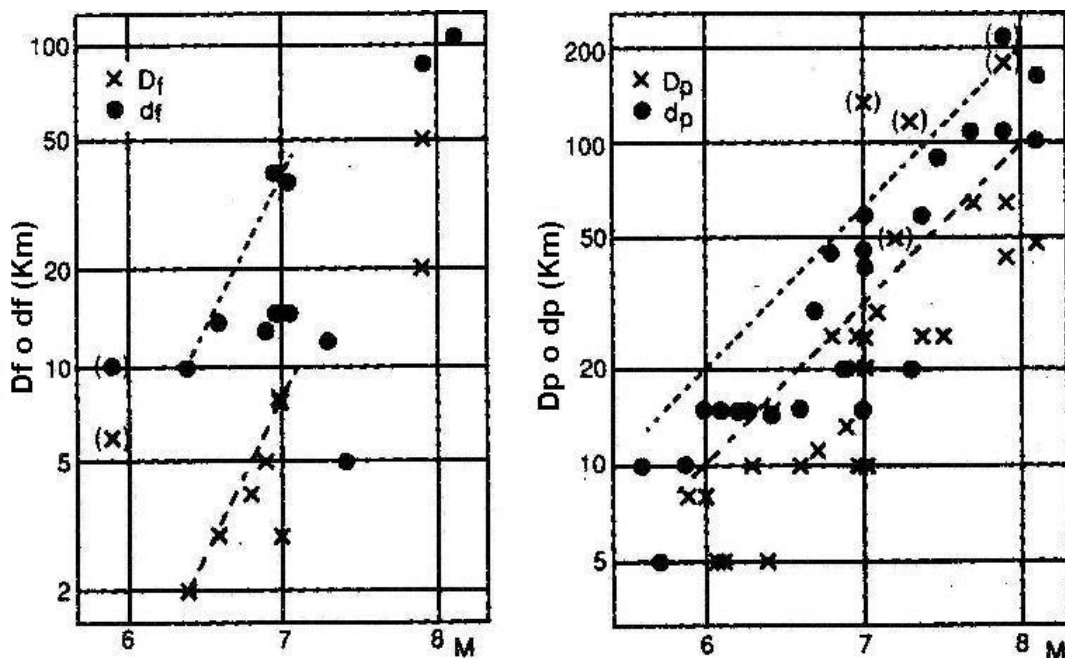


Figura 1. Relación entre la magnitud y la distancia en que ocurre la falla de taludes en Japón (Tamura, 1978).

Df: distancia desde la falla hasta el límite exterior de la zona donde ocurren muchos deslizamientos.

df: distancia desde la falla hasta el límite exterior de la zona donde ocurren pocos deslizamientos.

Dp: distancia desde el epicentro hasta el límite exterior de la zona donde ocurren muchos deslizamientos.

dp: distancia desde el epicentro hasta el límite exterior de la zona donde ocurren pocos deslizamientos.

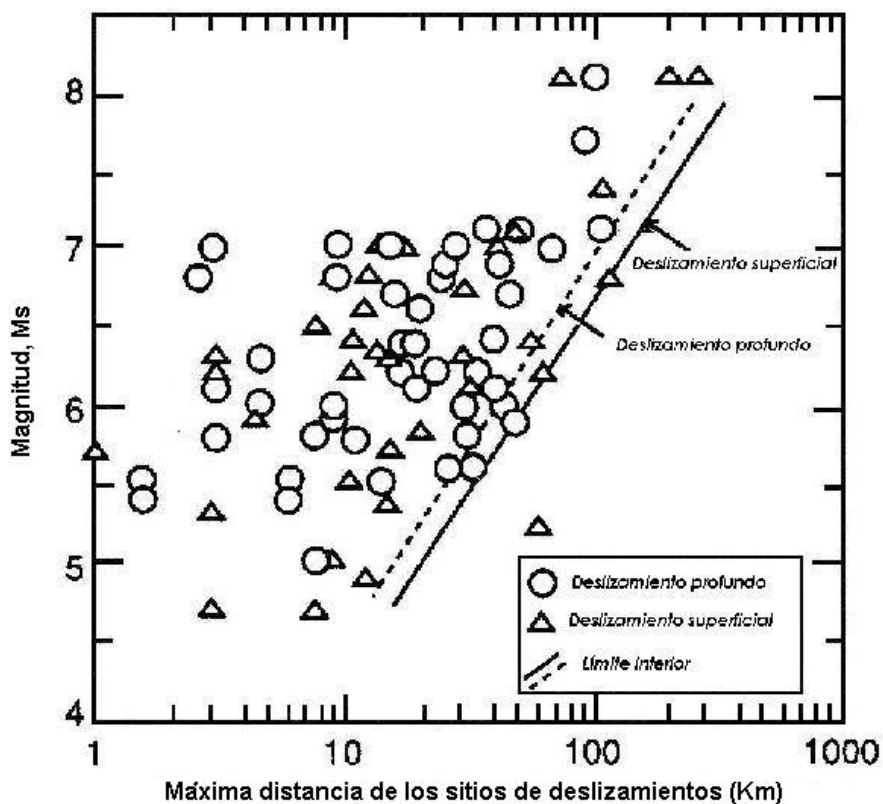


Figura 2. Relación entre la máxima distancia de los sitios de deslizamientos y la magnitud de terremotos en Japón (Yasuda y Sugitani, 1988)

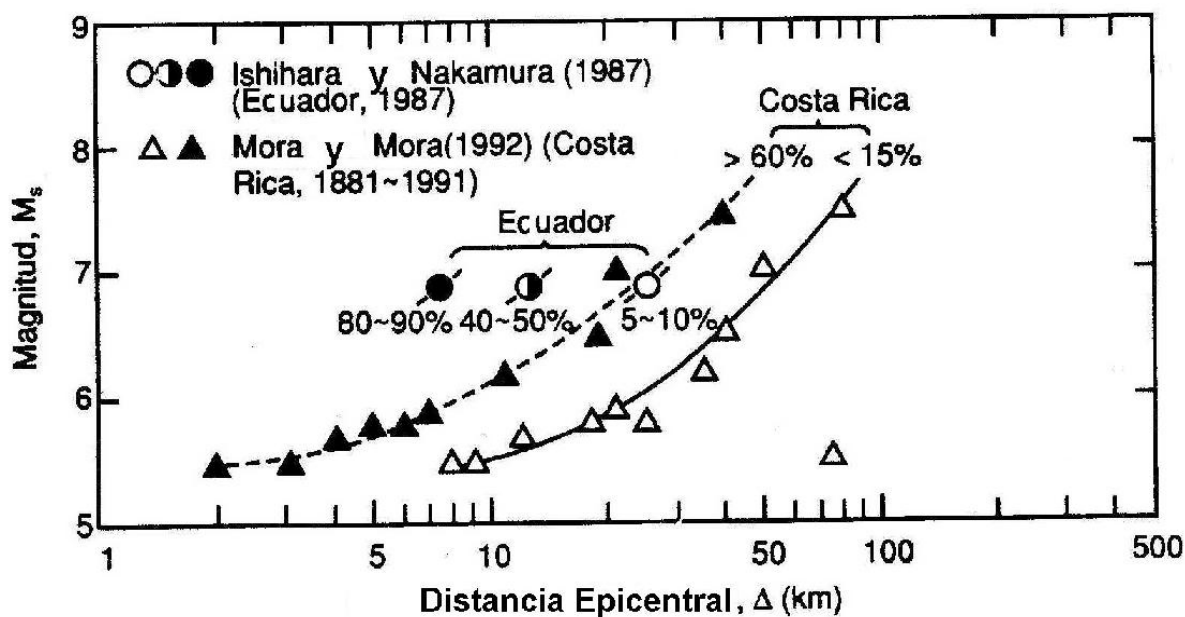


Figura 3. Relación entre la máxima distancia de las fallas de taludes y la magnitud del terremoto en Ecuador (Ishira y Nakamura, 1987, y Mora y Mora, 1992)

Otro trabajo importante que se incluye en este Manual es la zonación realizada por Mora y Vahrson (1993) donde no solo incluyen los terremotos como agentes catalizadores de este fenómeno, sino consideran a las lluvias intensas como otro agente catalizador, considerando además las condiciones geológicas, geotécnicas y de relieve.

En Cuba este fenómeno ha sido muy estudiado, aunque dirigido fundamentalmente a la estabilidad de taludes naturales a escala regional y de taludes artificiales a escala puntual relacionados con estudios ingenieriles aplicados a la construcción de obras. Sin embargo, en pocos casos se ha considerado la acción sísmica y de las precipitaciones como agentes deflagrantes importantes. Estos estudios evalúan fundamentalmente aspectos relacionados con las fuerzas internas del macizo y con la acción antrópica. En otros casos están dirigidos a la cartografía de los deslizamientos a partir de estudios geomorfológicos con la utilización de técnicas digitales (fotointerpretación, teledetección, procesamiento de imágenes y Sistema de Información Geográfica, SIG).

Por ejemplo, Salvador y Junco (1988) realizan un trabajo sobre la estabilidad de los macizos rocosos en zonas de corte en carretera, donde se hace un estudio ingeniero-geológico detallado en un sector de la Autopista Nacional Santiago-Habana (Dos Bocas) y una valoración dinámica del factor de seguridad por la influencia que tienen los sismos en el área. En 1989, Hernández y otros autores realizan un Pronóstico geomorfológico de ocurrencia de deslizamientos en la Sierra Maestra, en el que toman en consideración las características del substrato geológico, ángulos de las pendientes, el grado y orientación de la fracturación tectónica, la densidad de la red de drenaje, las precipitaciones y la cobertura vegetal, presentando las áreas potencialmente peligrosas para el desarrollo de estos procesos de acuerdo con diferentes categorías de riesgo.

A partir de 1993 cuando se publica el Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Harzards por el Japan Working Group for TC-4. Comité, los especialistas del CENAIIS comienzan a realizar trabajos dirigidos a valorar el peligro geológico por deslizamientos donde se incluye Sismicidad y Precipitaciones, alcanzando muy buenos resultados a escala regional, los que todavía no han sido publicados. Un trabajo similar a esta Investigación, fue realizado por Rodríguez y otros (1995) en la provincia de Pinar del Río, a escala 1:250 000, donde aplicando esta metodología obtienen el Mapa de Peligro de Deslizamientos, al que denominan Mapa del Índice de Potencial de Amenaza de Deslizamientos para esa región, incluyendo además, una serie de mapas intermedios que caracterizan los factores de susceptibilidad y disparadores que intervienen en la ocurrencia de este fenómeno.

Finalmente, realizan un análisis de los elementos en riesgo y una validación de los resultados, donde se comprueba que algunos puntos donde se han producidos deslizamientos se ubican en las zonas evaluadas como propensas a este fenómeno, lo que en una u otra medida corrobora la utilidad y fidelidad de la metodología empleada.

Trabajos precedentes.

Antes y después del triunfo de la Revolución, la cuenca de Santiago de Cuba ha sido objeto de un gran volumen de investigaciones relacionadas con el Peligro o Amenaza Geológica local, dirigidos a cumplir objetivos concretos.

Heredia y otros (1982), realizan un trabajo a escala 1:25 000 de la zona de Santiago de Cuba, donde se presenta un Esquema de Regionalización ingeniero-geológica, obtenido a partir de una serie de investigaciones que comprenden composición geológica y petrográfica del territorio, condiciones tectónicas y características hidrogeológicas que más influyen según criterios de Mecánica de Suelos y Rocas, en el comportamiento geotécnico de los mismos, así como el efecto de los sismos. Aunque este trabajo constituye uno de los materiales de apoyo en este estudio para evaluar las características ingeniero-geológicas de la ciudad de Santiago de Cuba, no considera la Amenaza de Deslizamiento.

González y otros (1984), presentaron el Esquema de Analogías Ingeniero-Geológicas para la cuenca, en el que se establecen cuatro zonas de variación de intensidades en función de las características ingeniero-geológicas de los suelos y rocas, el nivel de las aguas freáticas y considerando como grado base 8.0 MSK (Chuy y otros, 1983). Las zonas de variación de intensidades son las siguientes:

1. Aumento de más de un grado de Intensidad: depósitos cuaternarios no consolidados, terrenos de deposición y rellenos artificiales.
2. Aumento de un grado de Intensidad: depósitos cuaternarios consolidados compuestos por arenas, arcillas y suelos gravosos;
3. Sin variación de Intensidad: tufitas, margas, calizas alteradas y agrietadas blandas;
4. Disminución de un grado de Intensidad: basaltos, andesitas, aglomerados volcánicos poco agrietados y alterados, tobas de composición media y básica, calizas duras, porfiritas basálticas y andesíticas y areniscas tobáceas.

Este trabajo, aunque analiza el efecto del suelo en la intensidad sísmica, para caracterizar las amenazas geológicas en la Cuenca de Santiago de Cuba, no tiene en cuenta la evaluación de la pendiente del terreno y la posibilidad de ocurrencia de fenómenos gravitacionales.

Guardado (1985), realizó un estudio donde relaciona estrechamente los procesos y los fenómenos geológicos, con las condiciones tectónicas generales y los movimientos actuales de la corteza terrestre, que traen como consecuencia el desarrollo de variados procesos geológicos, señalando en gran medida los fenómenos sísmicos. Según el autor en la ciudad de Santiago de Cuba las áreas donde se manifiestan los procesos gravitacionales son: *deslizamientos* de tierra en el centro de la ciudad, Versalles y Quintero, en las rocas margosas de la Formación La Cruz (Miembro Tejar) y *desprendimientos* en los taludes de las rocas del Grupo El Cobre y en las zonas de las terrazas de la Formación Maya.

Fernández y otros (1995) presentan un Esquema Pronóstico de Fenómenos Físico - Geológicos de la cuenca de Santiago de Cuba, donde proponen la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, desprendimientos y licuefacción en varios sectores de la ciudad, teniendo en cuenta los tipos de suelos, profundidad de las aguas subterráneas y la topografía, pero no tienen en cuenta los terremotos y las lluvias como agentes que catalizan estos fenómenos.

Zapata (1995) propone un Esquema Pronóstico de fenómenos físico-geológicos para sismos con intensidades mayores de 7,0 y 8.0 grados MSK, donde utiliza como herramienta de procesamiento un SIG con cuadrículas de 200x200 m² y evalúa parámetros de relieve, ingeniero-geológicos, tectónicos y de Microzonificación Sísmica a escala 1:10 000 y 1:25 000. Proponiendo como Amenazas Geológicas los fenómenos de:

- Licuefacción en la zona de la Bahía (zona industrial y portuaria), las cuencas de los ríos San Juan, Gascón para una intensidad $I \geq 7.0$ MSK y además, para la de los antiguos ríos que corrían por Yarayó y Trocha, para una intensidad $I \geq 8.0$ MSK.
- Deslizamientos en las zonas de las elevaciones al norte del Distrito José Martí, en la de Puerto Boniato y Puerto Pelado, en los alrededores del río San Juan, zona de la Bahía hacia la Carretera Turística y en la Autopista.
- Derrumbes en Puerto Pelado al norte de la cuenca, hacia la desembocadura del río San Juan y cerca del sur del Aeropuerto para Intensidad $I \geq$ de 8.0 grados MSK.

También plantea que a medida que aumenta la fuerza del terremoto, aumentan los fenómenos físico - geológicos en las zonas de Amenaza Muy alta y Alta, predominando en éstas la licuefacción y los deslizamientos; en la zona de Amenaza Media sucederían deslizamientos, y en las zonas de Amenaza Baja y Muy Baja aparecerían derrumbes. Considerando que en la microzonación pueden darse incrementos de uno, dos grados y mayores en las zonas descritas como Desfavorables y Muy Desfavorables, así como incrementos de un grado en la zona de efectos moderados.

Las principales limitaciones de este trabajo, están dadas en que el autor no tiene en cuenta la influencia de las precipitaciones como factor que influye en la humedad de suelos y rocas, ni como agente catalizador muy importante de los deslizamientos. Sin embargo, aunque utiliza la geología, la profundidad de las aguas subterráneas y el grado de pendiente, no tiene en cuenta las características ingeniero-geológicas de las litologías que aparecen en la cuenca de Santiago de Cuba. No existe correspondencia además, con los sectores donde plantea la ocurrencia de los fenómenos de deslizamientos y derrumbes con el relieve. Los resultados se presentan sin una gradación en la probabilidad de ocurrencia, presenta valores absolutos, es decir, ocurre el fenómeno o no ocurre.

Como se puede observar el número de investigaciones relacionadas con esta temática en la cuenca de Santiago de Cuba no es muy significativo y las existentes presentan limitaciones que según nuestro criterio son importantes a la hora de tomar cualquier decisión relacionadas con la evaluación y manejo de desastres, donde se considere el peligro geológico por deslizamientos. Por tal razón se hizo necesario realizar un estudio del peligro por deslizamientos en la región, donde se integren por primera vez los factores que propician la ocurrencia de estos fenómenos, que hasta la fecha no se ha realizado como son: geología, relieve y condiciones climáticas. De esta forma nos permite establecer las zonas con alto riesgo o en su defecto, recomendar medidas que nos permitan incrementar la seguridad y el desarrollo de las obras y construcciones.

Planteamiento del Problema

La necesidad de estudiar el peligro geológico por deslizamientos, como fenómeno secundario inducido por los terremotos y las precipitaciones en la ciudad Santiago de Cuba y sus alrededores, donde se integren los factores que propician la ocurrencia de estos fenómenos como son: geología, relieve y condiciones climáticas.

Hipótesis

Si se caracterizan los factores de susceptibilidad y disparadores que intervienen en la ocurrencia de los deslizamientos, entonces se pueden determinar las áreas más susceptibles a la ocurrencia de este fenómeno en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, así como el peligro y riesgo que ellas representan, lo cual permitirá trazar una estrategia para mitigar esta amenaza.

Objetivos

Este trabajo se propone como objetivos:

Objetivo General.

Determinar el peligro de ocurrencia de deslizamiento en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores como un fenómeno geotécnico que caracteriza el Riesgo Sísmico, a través de la caracterización de variables geológicas, topográficas, sismológicas y climáticas para contribuir a la Reducción del Riesgo Geotécnico Inducido en lo referido a la toma de decisiones relacionadas con medidas de mitigación y, el ordenamiento y planificación del uso del suelo.

Objetivos Específicos.

1. Determinar las variables geológicas, topográficas, sísmicas y climáticas que caracterizan el deslizamiento en la región de estudio.
2. Confeccionar los mapas que reflejen el comportamiento de cada una de las variables que determinan la ocurrencia del deslizamiento.
3. Analizar los elementos en riesgo: vías de comunicación, asentamientos humanos y objetivos económicos.
4. Implementación de los mapas obtenidos, así como las bases de datos resultantes del cálculo en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para manejar el riesgo por deslizamiento bajo el cual se encuentra la ciudad de Santiago de Cuba.

Capítulo 1.- Condiciones geológicas generales del área de estudio.

1.1.- Características físico - geográficas.

La ciudad de Santiago de Cuba con una población de más de 600 mil habitantes, se ubica en el municipio de Santiago de Cuba, de la provincia del mismo nombre; en la costa Suroriental (Figura 1.1.1). Limita al norte con las elevaciones de Puerto Pelado y Puerto Boniato, al sur con el mar Caribe, al este con el macizo de la Gran Piedra y al oeste con la Sierra Maestra en su parte Centro-Occidental.

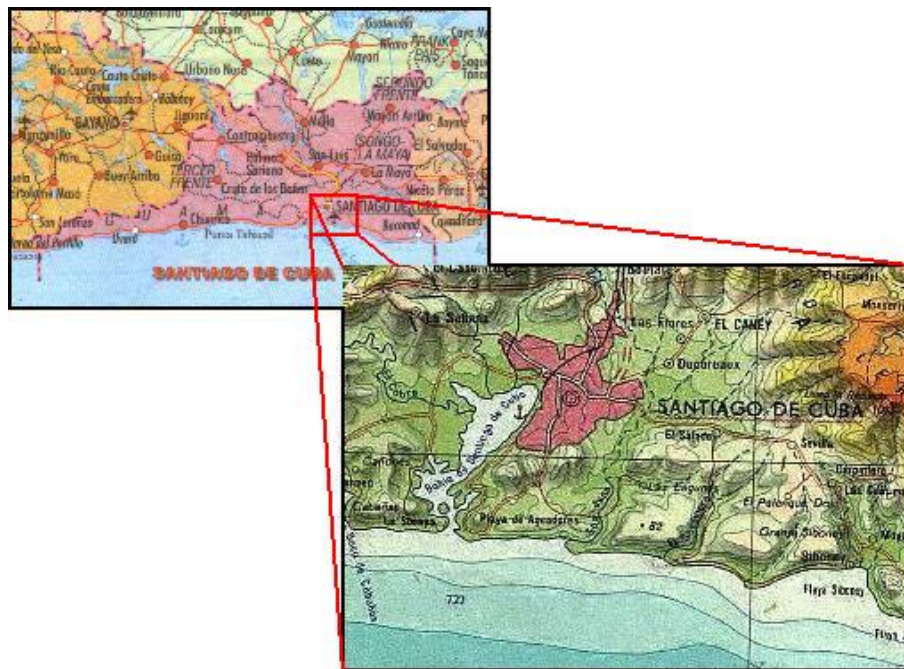


Figura 1.1.1: Localización del área de estudio (Ciudad de Santiago de Cuba).

Esta ciudad y sus alrededores, objeto de nuestro trabajo, comprenden un área de 225 Km² (15x15), entre las coordenadas del Sistema Lambert Cuba Sur: X: 598 000 - 613 000; Y: 145 000 - 160 000.

Localizadas en las hojas topográficas Escala 1:25 000 siguientes:

- 5275-IV-a Mar Verde.
- 5075-IV-b Playa Aguadores.
- 5076-III-a Yarayabo.
- 5076-III-b El Cristo.
- 5076-III-c El Cobre.
- 5076-III-d Santiago de Cuba.

El clima es subtropical cálido; con un período lluvioso de mayo a octubre donde se registran de un 80 a un 100 % de los totales anuales; los meses de septiembre y octubre son los de mayor ocurrencia, le sigue agosto y noviembre. El periodo seco va de noviembre a abril, con el 20 % y los meses de menor ocurrencia son mayo, junio y julio.

Las mesetas costeras por el sur y la Sierra de Boniato por el norte son límites de esta ciudad que le sirven de barreras al régimen de brisas y terrales. Como los vientos no actúan directamente sobre ella es una de las ciudades más calurosas de la isla; con temperatura promedio anual de 24 °C, mínima de 17.3 °C y máxima de 30 °C.

Por la característica de su relieve (premontañoso) y su principal accidente geográfico la bahía, la definen como una cuenca cerrada con vertientes que miran al mar; lo que hace que los vientos que acompañan los huracanes y ciclones se debiliten, registrándose vientos máximos de 150 Km/h. Los vientos predominantes son de dirección sudeste y noreste.

Se caracteriza por presentar una red hidrográfica poco desarrollada donde tienen un papel importante el régimen de las lluvias dentro de los factores climáticos, observándose escasas corrientes fluviales con carácter intermitente que la atraviesan y que desaparecen en períodos secos. Los ríos más importantes son: San Juan y Sardinero, que corren al este con dirección norte - sur y los ríos Los Guaos, Yarayó y Parada (este último también conocido como Cobre), que corren al oeste y vierten sus aguas en la bahía de Santiago de Cuba.

Las direcciones de los cursos de los ríos se han visto afectadas por los movimientos tectónicos, fundamentalmente por las dislocaciones de ruptura, así por ejemplo en las desembocaduras de los ríos San Juan y Sardinero sus cursos adoptan formas muy caprichosas las cuales están asociadas a dislocaciones disyuntivas que han afectado las rocas que ellos atraviesan. La red fluvial que predomina en el área de estudio esta dada de forma general, predominando la red paralela, subparalela, la combinación entre ambas y por último se observa la presencia de la red angular y sus combinaciones con las antes mencionadas.

Las principales vías de acceso de Santiago de Cuba, las constituyen La Autopista Nacional Santiago-Habana y la Carretera Central; además de diversas carreteras y líneas férreas que facilitan la comunicación vial local y municipal.

1.2.- Condiciones geomorfológicas.

El relieve es bastante accidentado y variado siendo hacia el norte semimontañoso y accidentado constituido por elevaciones jóvenes y alargadas, las cuales forman un arco bordeando la cuenca de pendientes medianamente abruptas y cimas en forma de crestas separadas por pequeños valles, al sur el relieve es llano a ondulado constituido por escasas elevaciones de pendientes suaves predominando las costeras en forma de mesetas alargadas formando hacia la cercanía de las costas las terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme.

En las zonas lejanas de las costas el relieve es mucho más bajo y a lo largo del curso de los ríos se pueden observar extensas llanuras aluviales. El rasgo más sobresaliente del paisaje de esta zona está representado por la amplia bahía Santiaguera, su costa oriental es abrupta y escarpada y en la misma están desarrolladas una serie de elevaciones de aspecto terraciforme, la costa occidental en cambio posee un relieve bajo, excepto en su porción sur donde aparecen formas muy semejantes a la costa oriental.

Este relieve se caracteriza por estar subordinado en gran medida a varios factores, tales como la litología presente en el área, los procesos erosivos que tienen lugar (fluvial y marino), la tectónica que la caracteriza y la meteorización.

En la zona costera pueden observarse cuatro escalones de terrazas marinas bien definidos con alturas que no sobrepasan los 80 metros, surgidos de la combinación de un escarpe de falla costero y la abrasión marina (Figura 1.2.2). Inmediatamente después de la costa, se observa un relieve de meseta (Figura 1.2.3) donde las alturas máximas que conforman las partes superiores pueden variar de 100 a 130 metros, compuesto en su parte superior por calizas coralinas duras recristalizadas con yacencia casi horizontal, debajo de ésta, aparece una caliza margosa o una marga compacta, que es precedida en profundidad por una arcilla margosa muy blanda y fácilmente erosionable. Esta es la razón por la que al sobrepasar la erosión la capa de caliza recristalizada, se forman grandes barrancos y las laderas de estas mesetas son muy abruptas.

Figura 1.2.2. Foto de la zona costera de la cuenca de Santiago de Cuba.



Figura 1.2.3. Mesetas formadas por las rocas de la Formación La Cruz, sureste del área de estudio (El Polvorín y Aguadores).



En la medida que avanzamos hacia el norte las cotas topográficas disminuyen, llegando a tomar valores próximos a 0 en algunos lugares como es en los alrededores de la bahía, aunque existen elevaciones que pueden alcanzar los 60 metros, por ejemplo la zona donde se encuentra el Parque “Abel Santamaría” y con aproximadamente 50 metros en el lugar donde se encuentra la escuela de Arte y Oficios. En estas zonas aparece una marga compacta primeramente y luego la arcilla margosa.

Hacia el norte del área, donde comienza a aparecer el Grupo El Cobre, existe un relieve de cresta y de cuesta en dependencia de la yacencia de las rocas, donde las cotas alcanzan los valores máximos dentro del área de trabajo, por ejemplo 553.61 metros en la Loma del Bonete y 585.7 metros en Puerto Pelado (Figura 1.2.4). Se manifiestan además como las fallas desplazan las cuestas y crestas horizontalmente rompiendo la continuidad de las líneas divisorias que forman las mismas. Las alturas mayores están formadas por tobas de diferentes granulometrías y cuerpos intrusivos, y las zonas mas bajas están formadas por una porfirita basáltica que es fácilmente meteorizada y erosionada.

Figura 1.2.4. Fotos donde se observan las elevaciones formadas por las secuencias del Grupo El Cobre al norte y nordeste de la ciudad de Santiago de Cuba.



Toda el área se complica con una serie de escalones de fallas abrasivas y erosivas donde se producen los principales derrumbes de rocas. La tectónica plicativa juega un papel importante en el modelado del relieve, observándose como las zonas elevadas coinciden con pliegues anticlinales y las zonas llanas con sinclinales (Autopista y carretera de Marimón - El Cobre). Se desarrolla hacia la parte sur del área un tipo de carso muy joven en las rocas carbonatadas de la Formación Jaimanitas y Maya, más acentuado en esta última, alcanzando las cavernas dimensiones considerables (Aguadores y El Morro). Al mismo tiempo hay desarrollo de otras formas cársticas como: furnias, casimbas, lapiez, etc.

En la figura 1.2.5 se presenta el mapa topográfico de la cuenca de Santiago de Cuba donde se observa la geomorfología que caracteriza la región de estudio.

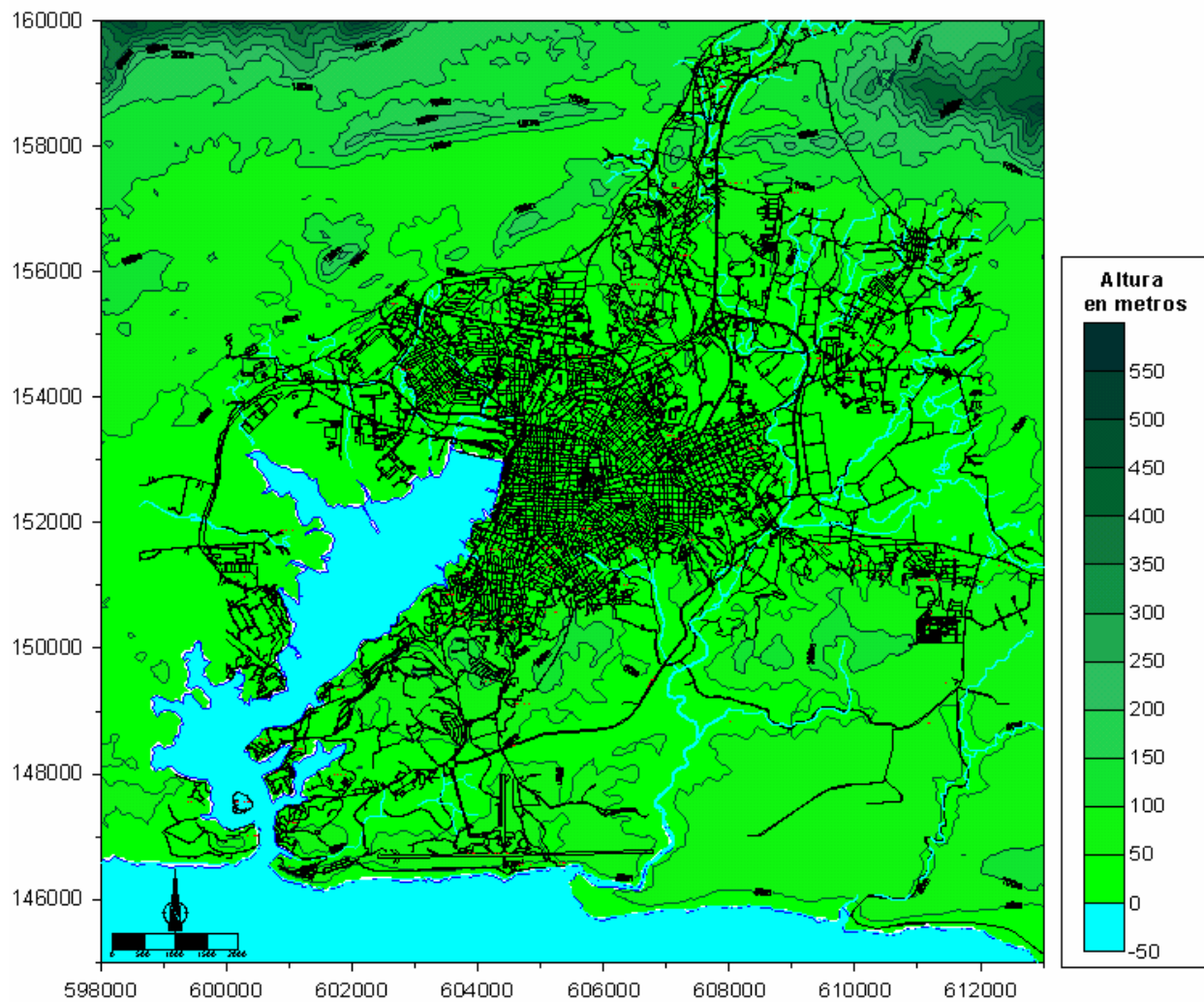


Figura 1.2.5. Mapa topográfico de la región de estudio, distancia entre las curvas de nivel 50 metros.

1.3.- Particularidades geólogo - tectónicas.

La cuenca de Santiago de Cuba se caracteriza por presentar poca complejidad en su variedad litológica; la que generalización a continuación utilizando los criterios de Quintas (1994), la Comisión Nacional del Léxico Estratigráfico de la A.C.C. (1989) y los de Medina y otros (1999).

ESTRATIGRAFÍA.

- **Paleógeno.**

Grupo El Cobre (cob) (P₁-P₂²): Pérez y otros (1994) subdividen el volumen mayor de rocas que lo componen en tres secuencias: inferior, media y superior. Además de estas secuencias, este grupo lo constituyen las Formaciones El Caney y Pilón. De esta última por no desarrollarse en el área de los trabajos, no realizamos su descripción. En nuestra área se desarrollan las tres secuencias de este grupo:

- Secuencia Inferior (P₁): Su espesor varía entre los 250 y 800 metros, se extiende hacia el sur del bloque El Cobre y la pendiente meridional del bloque Gran Piedra. Su composición está representada por brechas volcánicas, aglomerados de fragmentos gruesos, mantos de lavas e intercalaciones subordinadas de rocas sedimentarias. En la parte superior predominan areniscas y tobas. Las vulcanitas están bien diferenciadas desde basaltos hasta riocitas.
- Secuencia Media (P₂¹): Con espesor variable entre los 3 500 y 4 400 metros, está compuesto por tobas pefito aglomeráticas de composición andesítica con intercalaciones de tobas finas, clastos, lavas y aglomerados, rocas sedimentarias y efusivas desde basaltos hasta riocitas. En esta secuencia los efusivos subordinados representan un volumen mucho mayor que el de las secuencias inferior y superior.
- Secuencia Superior (P₂¹-P₂²): Su espesor máximo es de 3 150 metros y se compone por tobas de andesitas y andesito basaltos, lavas y rocas sedimentarias subordinadas. Hacia El Cobre y Gran Piedra, la composición se hace más ácida.

Formación El Caney (ecy) (P₂²): Es una secuencia Flyshoide compuesta por conglomerados, areniscas tobáceas, gravelitas, tobas, tufitas y calizas con escasos mantos de lavas andesito basáltica. La composición de las tobas varía desde media hasta ácida. Su espesor es de unos 1000 metros.

- **Neógeno.**

Formación La Cruz (cru) (N₁¹-N₂^{1-b}): Esta formación se distribuye alrededor de la Bahía de Santiago de Cuba, se extiende al oeste en la zona de la Socapa y ensenada de Cabaña, hasta las proximidades de Mar Verde, formando una franja estrecha y sinuosa. Estos sedimentos parecen haberse depositado en una cuenca muy local formada por la subsidencia de un bloque durante un intervalo que se inicia en algún momento del Mioceno, que dio lugar a esta bahía.

En esta formación afloran calizas biógenas y aleurolitas calcáreas, caracterizada por una alternancia de calcarenitas fosilíferas de matriz arcillosa de color crema claro con caliza areno arcillosas fosilíferas de color amarillento, aleurolitas y areniscas polimícticas con cemento calcáreo arcilloso, ambos de color amarillento. Son comunes las intercalaciones de conglomerados finos en forma de capas lenticulares, paleontológicamente la secuencia es rica en restos de bivalvos. Yace discordantemente sobre el Grupo El Cobre y es cubierta discordantemente por las Formaciones Maya y Jaimanitas. La Edad atribuible es Mioceno superior Plioceno superior. Esta formación se subdivide en tres miembros: Quintero, Tejar y Santiago.

Miembro Quintero (qt) (N₁²): Se desarrolla solamente en los alrededores de la ciudad de Santiago de Cuba; compuesta por conglomerados polimícticos de vulcanitas y calizas con matriz margosa o arenosa, con cemento calcáreo más o menos desarrollada, coloración oscura abigarrada. Sus relaciones estratigráficas se comportan de la forma siguiente: yace discordantemente sobre el Grupo El Cobre y es cubierta concordantemente por el Miembro Tejar. Su edad es Mioceno medio parte alta.

Miembro Tejar (tj) (N₁³-N₂^{1a}): Se puede encontrar en los alrededores de la Bahía de Santiago de Cuba, prolongándose en forma discontinua hacia el este hasta Sigua y hacia el oeste hasta las cercanías de Punta Tabacal, provincia de Santiago de Cuba. Presenta calcarenitas finas de matriz margosa y aleurolitas de igual carácter, color amarillo castaño. Yace concordantemente al Miembro Quintero y discordantemente al Grupo El Cobre.

Miembro Santiago (stg) (N₂^{1b}): Aparece en zonas cercanas a la bahía de Santiago de Cuba, aflorando en el área septentrional de la misma, entre la ciudad y la loma de Quintero, puede aparecer en parches en la cuenca del río San Juan. Está compuesta por arcilla areno limosa calcárea, friables, finamente estratificadas, con concreciones de carbonato. Alterna con conglomerados polimícticos de facie deluvial. Cubre discordantemente al Grupo El Cobre y yace concordantemente sobre el Miembro Quintero.

- **Cuaternario.**

Formación Río Maya (Rm) (N₂-Q₁): Se encuentra fundamentalmente en la franja costera de todo el litoral Suroriental en forma de parches intermitentes. Está constituida por calizas coralinas, macizas, duras, recristalizadas intensamente carsificadas, la fauna en general es pobre. Aparece en forma aislada en la cuenca como pequeños parches. Yace discordantemente sobre la Formación La Cruz.

Formación Jaimanitas (Jai) (Q₁₁₁): Esta formación bordea todo el territorio insular Cubano, está formado por calizas órgano–detriticas, masivas, algo cavernosa, duras, de color amarillento, a veces con índices poco marcados de estratificación. Contiene intercalaciones de calcarenitas de granos finos bien preservados, con especies actuales de moluscos y corales. El espesor medio de la formación es de alrededor de 10 metros, pudiendo ser mayor. En la cuenca está constituida por calizas biodetríticas masivas cársicas y fosilíferas, calcarenitas y a veces margas. Yace discordantemente sobre la Formación Río Maya.

Conglomerado Camaroncito (Crt) (Q₁₁₁): Se desarrolla en forma discontinua, en pequeñas áreas en Santiago de Cuba. Está compuesto por calcarenitas laminares de granos medios a gruesos.

- **Reciente.**

Depósitos marinos, arenas, guijarros de playas y bancos de tormenta (**mQ_{1v}**) y otros depósitos de tipo aluvial (**al Q_{1v}**) compuestos por lino gris y pardusco, linos arenosos y arcillas arenosas.

Luego de referirnos de forma general a las características litoestratigráficas de la región a continuación presentamos las formaciones que afloran en el área de estudio y cual es su comportamiento ante el

fenómeno estudiado, representadas en el Mapa Geológico de la cuenca de Santiago de Cuba obtenido por Medina y otros, (1999) y que mostramos en la Figura 1.3.4.

➤ Paleógeno: Grupo El Cobre y Formación El Caney.

Las secuencias vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias del Paleógeno se caracterizan por una composición heterogénea y un intenso agrietamiento tanto de estratificación como tectónico y del intemperismo, las que afloran hacia el norte de la región de estudio (zonas más abruptas) son las más afectadas tectónicamente y presentan una gran susceptibilidad a los fenómenos gravitacionales; y las que aparecen hacia el este y oeste donde las pendientes presentan alguna suavidad y están menos afectadas tectónica son de menor susceptibilidad a estos fenómenos.

➤ Neógeno: Formación La Cruz, Miembro Santiago, Miembro Quintero y Miembro Tejar.

Las calizas, calcarenitas y margas, del Neógeno aunque forman las elevaciones de la parte sur del área, se pueden observar poco alteradas, masivas o con estratificación gradacional bien establecida, así como con yacencia horizontal o con ángulos muy pequeños y la tectónica plicativa y disyuntiva poco desarrollada. Por otra parte las argilitas se localizan en la parte central del área de trabajo, donde predomina un relieve llano a suavemente ondulado

➤ Cuaternario: Formación Río Maya, Fm Jaimanitas, Conglomerado Camaroncito y los depósitos recientes.

Las calizas y calcarenitas cuaternarias se presentan con estructura masiva, con yacencia casi horizontal y poco afectadas tectónicamente; se localizan generalmente formando la primera y segunda terraza del litoral costero, así como en el borde este de la bahía; y los depósitos marinos y aluviales se localizan en las zonas llanas; bordeando la bahía y en las llanuras aluviales de los ríos San Juan y Sardinero.

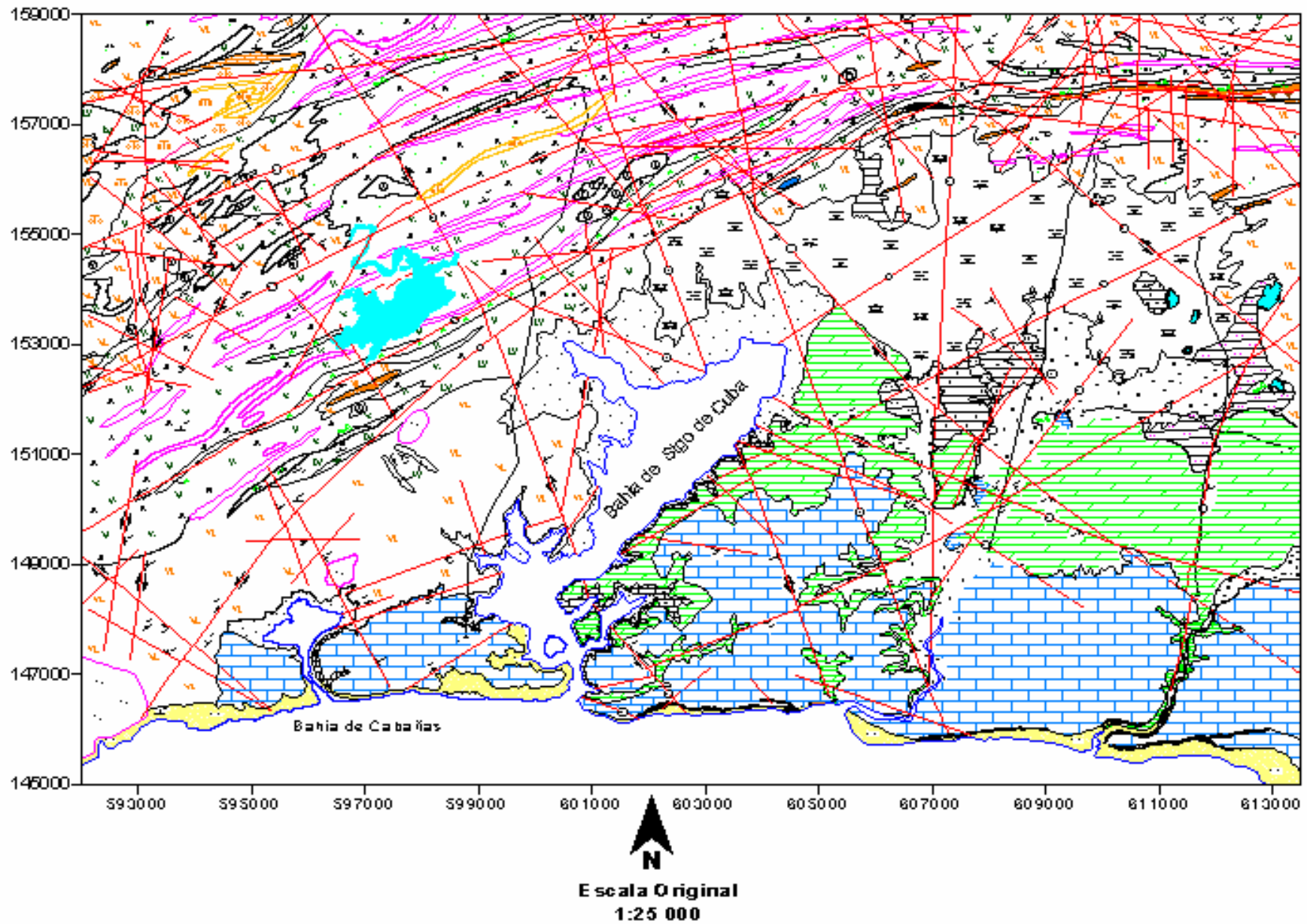













Figura 1.3.4. Esquema Geológico de la cuenca de Santiago de Cuba (Medina y otros, 1999)

Cuaternario

-  al Q_w Lino gris y gris parduzco, linos arenosos y arcillas arenosas.
-  m Q_v Depósitos marinos, arenas y guijarros de playa y bancos de tormenta.
-  Q_{ncrt} Fm. Camaroncito. Calcarenitas laminares de granos medios a gruesos.
-  Q_{mjs} Fm. Jaimanitas. Calizas biodetríticas masivas.
-  N₁¹ - Q₁ Fm. Río Maya. Calizas coralinas biomorfodetríticas.





Neógeno

















Formación La Cruz. Lcz (N₁¹ - N₂²)













-  Argilitas calcáreas, limo arenosas (mb stg N₂²)
-  Areniscas calcáreas, gravelitas arenosas y areniscas gravelitas. (?)
-  Conglomerados calcáreos de matriz margosa fosilífera. (mb qt N₁¹)
-  Conglomerados polimíticos con cemento calcáreo. (mb tj N₁¹ - N₂²)
-  Margas con intercalaciones de areniscas calcáreas. (mb tj N₁¹ - N₂²)
-  Calizas coralinas, biodetríticas recristalizadas y biomorfodetríticas. (N₁¹)

Paleógeno

Grupo El Cobre. (P₁ - P₂²)

-  Toba aleurolítica.
-  Toba aglomerática.
-  Toba estratificada.
-  Arenisca tobacea.

-  Toba ignimbrita.
-  Toba cinerítica.
-  Brecha tectónica.
-  Dacita.
-  Tobas de fragmentos gruesos.
-  Lavas porfíricas andesito - dacitas.
-  Diorita.
-  Granodiorita.
-  Calizas.
-  Basaltos.
-  Andesita - basalto porfírico.
-  Tufita.
-  Gravelitas.
-  Conglomerados.
-  Cuerpos subvolcánicos y diques de diferentes composición.
-  Gabros.

-  Embalses.
-  Contactos geológicos definidos.
-  Contactos geológicos supuestos.
-  a) Perfiles geológicos.
b) Perfiles Geofísicos.
-  Puntos de medición de SEV y sus números.
-  Valor de resistividad aparente.
-  Fallas comprobadas.
-  Falla normal con sus elementos de yacencia.
-  Fallas y sus números.
-  Fallas de Strike slip.
-  Falla dextral.
-  Falla sinistral.

Fallas principales

- ① Falla Quintero.
- ② Falla Santiago.
- ③ Falla Ciudadamar - Canasí.
- ④ Falla Mar Verde - La Maya.
- ⑤ Falla Los Guaos.
- ⑥ Falla Ermitaño.
- ⑦ Falla Mina Blanca - La Caoba.
- ⑧ Falla Boniato.
- ⑨ Falla El Nispero - San Vicente.
- ⑩ Falla Aguadores - El Zaino.
- ⑪ Falla El Zaino - Siboney.
- ⑫ Falla San Juan.
- ⑬ Falla Sigua.
- ⑭ Falla Puerto.
- ⑮ Falla Sitio de Aguadores.
- ⑯ Falla 30 de Noviembre.
- ⑰ Falla Vista Alegre.
- ⑱ Falla Chicharrones.
- ⑲ Falla Distrito.
- ⑳ Falla El Morro.
- ㉑ Falla Sardinero.

 MINISTERIO DE LA INDUSTRIA BASICA EMPRESA GEOMINERA DE ORIENTE		
Preparó: Ing. A. Medina	Revisó: Ing. M. Ramirez	Informe: Reconocimiento geólogo - geofísico de la cuenca Santiago de Cuba con fines de Riesgo Sísmico.
Fecha: 15 . 09 . 1999	Escala:	
Archivo: simboRS.SRF	Anexo: 8	SIMBOLOGIA PARA EL ESQUEMA GEOLOGICO Y LOS PERFILES

Tectónica.

Según Flores y otros (1998) se puede considerar la geología de Cuba Oriental más compleja de lo que se ha aceptado. El análisis de los campos físicos, constitución geológica y estructura del área, permiten considerarla como una provincia independiente del resto de Cuba, amalgamada a ésta como consecuencia de los procesos de colisión ocurridos en el Maestrichtiano y el Paleoceno–Eoceno, donde se diferencian varios elementos estructurales, como el Arco Magmático Paleógeno de la Sierra Maestra (AMP) y las Cuencas Sedimentarias por citar algunos ejemplos.

Dentro de las cuencas sedimentarias, Flores y otros (1998) ubican la Cuenca de Santiago de Cuba donde se desarrollada la ciudad del mismo nombre y que constituye nuestro objetivo de estudio. Para realizar un caracterización tectónica de esta cuenca nos basamos en los resultados obtenidos por Arango (1996). Este autor presenta un Esquema Tectónico (Figura 1.3.5) de la cuenca de Santiago de Cuba obtenido a partir de la interpretación de los resultados de las nivelaciones verticales de alta precisión en el Polígono Geodinámico (Figura 1.3.6).

En la Figura 1.3.5 se refleja que las principales direcciones de debilidad tectónica son noreste-suroeste (NE-SW), que parten de Mar Verde - Ermitaño - El Cristo - La Maya - Alto Songo; bordeando al este y al norte a la cuenca de Santiago de Cuba. En el sistema de fallas Mar Verde-El Cristo hay evidencias de esfuerzos de distensión y compresión. El primero se determina por los valores alcanzados de - 40 mm en el período de 1983-1990 en la línea Boniato-Quintero del Polígono Geodinámico; en cambio, en la estructura que está al norte de este sistema, se definen deformaciones de componente compresiva y una tercera estructura localizada al norte, se comporta de forma distensiva.

La falla Boniato es una estructura expresada muy bien en el relieve con una dirección este oeste; que limita al norte la cuenca de Santiago de Cuba con la meseta monoclinial de Boniato; que según Arango (1996) no es posible definirla como una falla activa de importancia desde el punto de vista sismotectónico, porque no presenta valores anómalos de deformaciones de los movimientos verticales recientes en la actualidad.

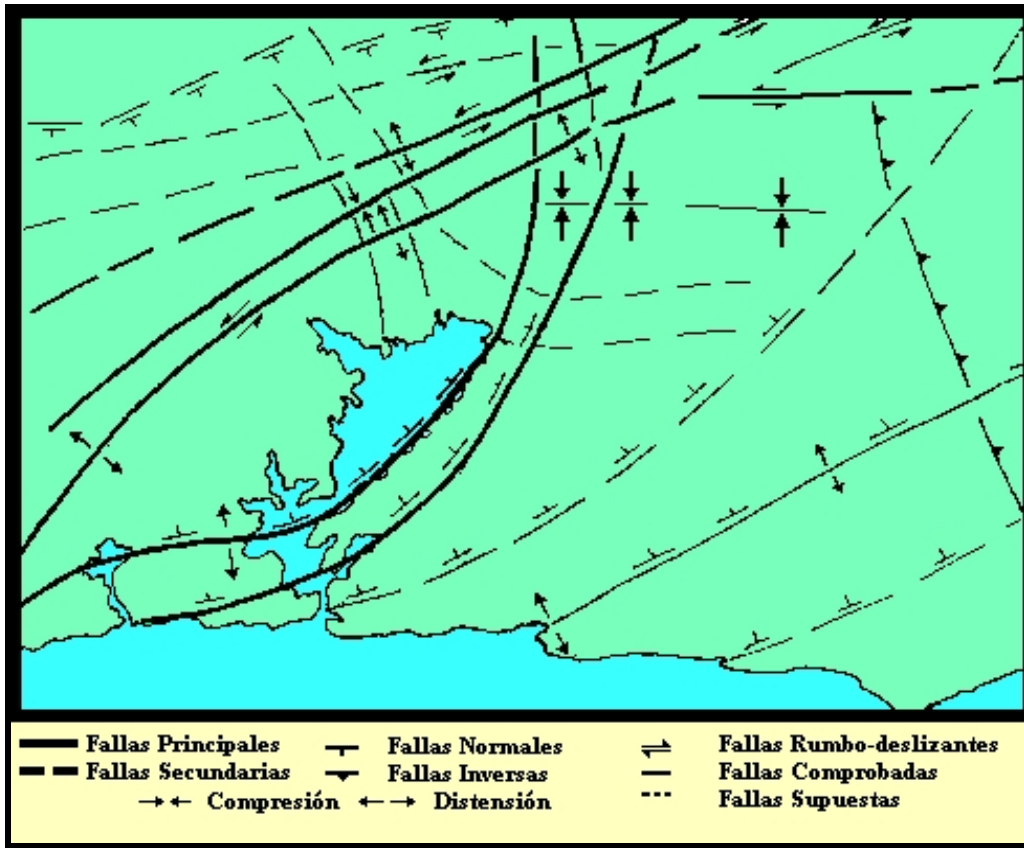


Figura 1.3.5. Esquema Tectónico de la cuenca de Santiago de Cuba (Arango, 1996).

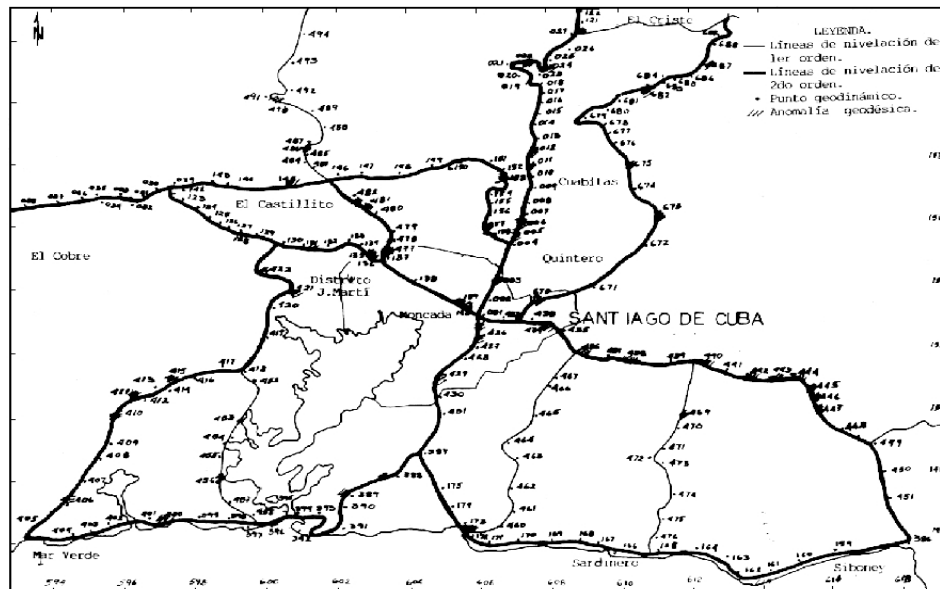


Figura 1.3.6. Polígono Geodinámico de Santiago de Cuba (Arango, 1996).

La zona de fallas que parte de la bahía de Cabañas y sigue por el borde este de la bahía de Santiago de Cuba en forma de arco, es otra zona de fallas importante que va desde el sudeste al norte de la cuenca, marcando el límite oeste de las rocas de la Formación La Cruz y el espectro de terrazas, sobre el cual está asentada la ciudad. Este sistema de fallas forma un patrón de deformaciones preferentemente con componente distensiva que se observan muy bien al este y oeste de la bahía en las características de las costas. Hacia el sudeste toma dirección definida sudoeste-noreste (SW - NE).

Coincidimos con Arango (1996) en que los patrones de fallas activas definidos por él delimitan una estructura similar a un Pull Apart Basin, situada en dirección sudoeste - noreste, con la bahía de Santiago de Cuba en el centro, notablemente rotada hacia su margen derecha, en correspondencia con la dinámica de las estructuras que la delimitan.

1.4. Condiciones hidrogeológicas.

Las aguas subterráneas en el área de estudio se encuentran asociadas a diferentes complejos y horizontes acuíferos; en tal sentido se diferencian las relacionadas con las secuencias del paleógeno (Grupo El Cobre), del neógeno (Formación La Cruz) y las cuaternarias. (Guardado, 1985)

En las rocas del Grupo El Cobre se encuentran aguas de grietas o fisuras y filoneanas. La profundidad del manto freático está en función de la morfología que presente el área donde se encuentren estas secuencias; como caso general alcanza valores mayores a los 10 metros, al oeste del área y en toda la parte norte. Ahora bien en aquellas zonas donde aparecen estas rocas, corteza de meteorización pequeña y las cotas del terreno son muy bajas, como es el caso de la zona de la Refinería “Hermanos Díaz”; la profundidad varía entre 1 y 4 metros. Los complejos acuíferos relacionados con estas rocas se alimentan a través de las precipitaciones fundamentalmente y por las aguas fluviales a través de las grietas.

Los complejos acuíferos que se encuentran en las rocas de la Formación La Cruz ocupan la mayor parte del área de estudio, prácticamente todo el borde sudeste y centro de la cuenca, son aguas estrato-fisurales, de grietas y cárnicas. Su profundidad es variable comienza a parecer amenos de 4 metros, pero en el caso específico de las rocas margosas y calcáreas supera los 10 metros. Por las características

ingeniero-geológicas de las rocas que integran esta formación (calizas, calizas arcillosas, margas, entre otras) estos complejos presentan poca o ninguna interrelación hidráulica con otros horizontes.

Por último los complejos acuíferos de los sedimentos cuaternarios resultan los más distribuidos. A ellos están asociados todas las aguas dentro del espesor del material terrígeno con diferentes propiedades. La profundidad del manto freático varía de 0-10 metros. Las secuencias cuaternarias están representadas por depósitos eluviales, aluviales, marinos, artificiales y transiciones fundamentalmente con granulometrías variadas desde arcillas, gravas, arenas y puntos donde se dan combinaciones heterogéneas entre ellas (desembocadura de ríos, arroyos y en las zonas que bordean la bahía en su parte norte). La alimentación de estos horizontes acuíferos es a cuenta de las precipitaciones, infiltración de las aguas fluviales y en menor proporción por la incidencia de las aguas subterráneas de zonas más elevadas a través del agrietamiento.

La profundidad de las aguas subterráneas en la cuenca de Santiago de Cuba varia en un rango de 0-10 metros por lo que se definen como superficiales, pudiendo ser mayor en las zonas donde se encuentren las rocas margosas y calcáreas de la Formación La Cruz, así como para la parte norte del área donde afloran las secuencias del Grupo El Cobre.

1.5.- Características sísmicas de la región de estudio.

Sismicidad de la región de Santiago de Cuba.

La ocurrencia de terremotos en Cuba data del siglo XVI, pero no es hasta 1855 que Andrés Poey (1855 a,b) muestra en su Catálogo de sismos históricos, que el archipiélago Cubano está sometido a un Peligro Sísmico Potencial. A partir de ese momento son muchas las investigaciones sismológicas que se han realizado hasta la fecha, teniendo como principal objetivo el establecer los diferentes niveles de peligro sísmico en el país.

Toda la información sismológica tiene gran importancia para el análisis del comportamiento sísmico de un territorio dado, aunque debe ser utilizada teniendo en cuenta las características específicas del sitio en el momento de ocurrir el terremoto. Esta importancia está fundamentada en el hecho de que los sismos influyen en gran medida en la estabilidad de los taludes, como factor importante en la

acumulación de tensiones que se traducen en deformaciones y rupturas del equilibrio del macizo rocoso de manera gradual, o de forma rápida mediante la ocurrencia de terremotos, los cuales constituyen el principal factor catalizador dinámico de los fenómenos gravitacionales.

La Sismicidad de Cuba está determinada por dos formas de origen: entre placas y de interior de placa, lo que hace que su estudio sea muy complejo en algunas áreas. En el primer tipo se destaca la Región Suroriental por la frecuencia con que históricamente ocurren terremotos de alta magnitud e intensidad, lo que implica que sea considerada como la de mayor peligrosidad sísmica del país y se corresponde con la Zona Sismogénica de Bartlett–Caimán, donde se han reportado 22 terremotos fuertes, de ellos 20 en la provincia de Santiago de Cuba y 2, los más recientes del país en la provincia de Granma (Chuy 1999).

De los 961 sismos perceptibles del país, 537 fueron perceptibles en la provincia de Santiago de Cuba (Figura 1.5.7), por lo que esta ciudad desde su fundación en 1514 hasta nuestros días ha sido total o parcialmente afectada por terremotos fuertes (Chuy, 1999).

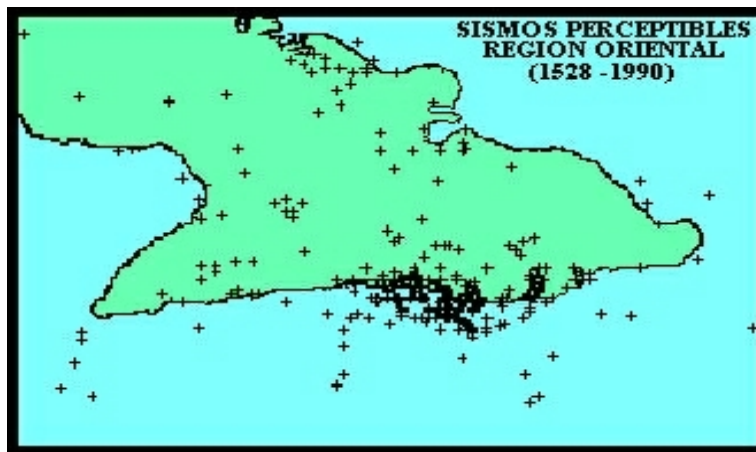


Figura 1.5.7. Sismos Perceptibles de Cuba Oriental (Chuy,1999).

Es bueno significar que de estos sismos fuertes con su origen en la estructura señalada (Bartlett–Caimán), cercanos a la ciudad de Santiago, 2 de ellos produjeron en ella intensidad (I) de 9.0 MSK en 1766 con magnitud (Ms) Richter de 7.6 y en 1852 con magnitud (Ms) Richter de 7.3 (Chuy, 1999), reportándose considerables daños en toda la región oriental y en el caso de la ciudad de Santiago afectaciones considerables.

El terremoto de 1766 (11 de junio) destruyó la mayoría de las edificaciones, entre ellas, la Capilla Mayor de la catedral, Convento de San Francisco por citar algunos ejemplos; murieron 120 personas y más de 600 heridos. En el terremoto de 1852 (20 de agosto) provocó la ruina de varias iglesias (Dolores, Trinidad), la destrucción de la casa de Gobierno, entre otros edificios públicos y particulares. Los estremecimientos con mayor intensidad se sintieron al este de la ciudad y solo murieron 2 personas. (Chuy, 1999).

Otros terremotos que recientemente han afectado a esta ciudad, pero con menor fuerza se reportan en 1932 ($M_s=6.75$; $I=8.0$) y en 1947 ($M_s=6.75$; $I=7.0$) (Chuy, 1999). El primero de ellos (3 de febrero de 1932), provocó afectaciones en un 80 % de las edificaciones de la ciudad, de las cuales el 5% fueron totalmente destruidas por los altos valores de intensidad sísmica reportados (Figura 1.5.8). Además, se reportaron 14 muertos y alrededor de 300 heridos. El pequeño número de víctimas se debió a que la población fue alertada por los premonitores que tuvo este terremoto, con intensidades relativamente altas durante todo el día anterior. En el caso del terremoto de 1947 derribó numerosas paredes, detuvo el reloj de la catedral y afectó simultáneamente otras iglesias (Chuy,1999).

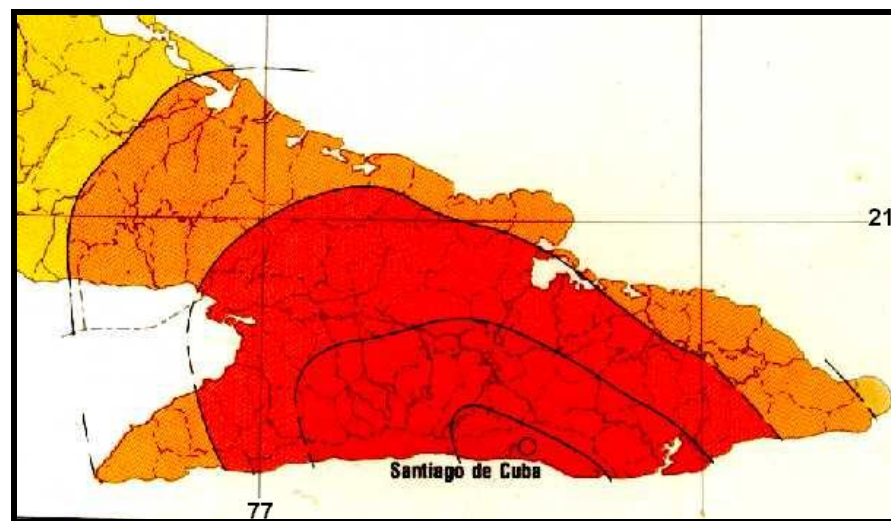


Figura 1.5.8. Isosistas del terremoto del 3 de febrero de 1932. De dentro hacia fuera los valores de intensidad MSK son 8.0, 7.0, 6.0 y 5.0 (Chuy, 1989).

De estos sismos sólo se reporta que se catalizaron fenómenos gravitacionales en el terremoto de 1852, al este y noreste de la ciudad, en la Gran Piedra, donde se describen deslizamientos y derrumbes (Chuy, 1999). En el terremoto de 1947 ocurrieron pequeños deslizamientos en la Loma del Cake en la ciudad de Santiago de Cuba (Zapata, 1995).

Además de estos sismos fuertes ocurridos en la estructura Bartlett-Caimán, cercanos a la ciudad de Santiago de Cuba son de considerar otros sismos fuertes con epicentro en la prolongación de esta Zona Sismogénica, localizados en zonas activas al norte y sur de La Española, donde según Chuy y Alvarez (1988), históricamente también se reportan sismos de magnitudes grandes, incluyendo uno de magnitud $M=8.2$ en 1842, cuya área de perceptibilidad cubrió toda nuestra región oriental. Se señalan incluso en el área de esta provincia reportes de *7.0 grados* de intensidad MSK. Otros sismos señalados por estos autores son los ocurridos en 1770 ($M_s=7.9$), en 1887 ($M_s=7.9$) y en 1946 ($M=8.1$).

Sin embargo, a pesar de presentar una menor frecuencia la ocurrencia de terremotos en las zonas con sismicidad de interior de placa, su ubicación cercana a las costas en los casos de que se localicen en las acuatorias o bien en el interior del territorio, así como la poca profundidad de los hipocentros de los sismos que se generan en ellas, hacen que en ocasiones los efectos de sismos de menor magnitud reporten afectaciones significativas. Los ejemplos más significativos de esta actividad sísmica de interior de placa, son los terremotos ocurridos el 21 de Octubre de 1905 con epicentro en Songo ($I=5$; $M_s=4$), el del 22 de enero de 1922 con epicentro en Dos Ríos ($I=3.5$; $M_s=2.6$) y el del 5 de marzo de 1927 con epicentro entre Guantánamo y Santiago ($I=6$; $M_s=5.3$) (Chuy, 1999).

Por lo expuesto anteriormente, se infiere que el valor estimado de la intensidad a esperar en una región depende de la ubicación del epicentro, por tanto la influencia de Zonas Sismogénicas regionales tanto entre placas como de interior de placas es de obligatoria observación, porque en muchas ocasiones el mayor peligro sísmico a que una región está sometida no proviene solamente de Zonas Sismogénicas localizadas en ella, sino de zonas vecinas en las que sus condiciones sismotectónicas le imponen una marcada peligrosidad.

En la Figura 1.5.9 se presentan las principales Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) para la Región Oriental (Comisión Ad Hoc, 1991), cada una de estas zonas fueron categorizadas en función de la magnitud asociada. Al sur con Categoría 1 la ZOT Bartlett-Caimán; con rumbo noreste-sudoeste, con Categoría 2 las ZOT Cauto - Nipe y Baconao, y con Categoría 3 las ZOT Cauto Norte, Bayamo y Purial; aunque además se señalan otras dentro del territorio.

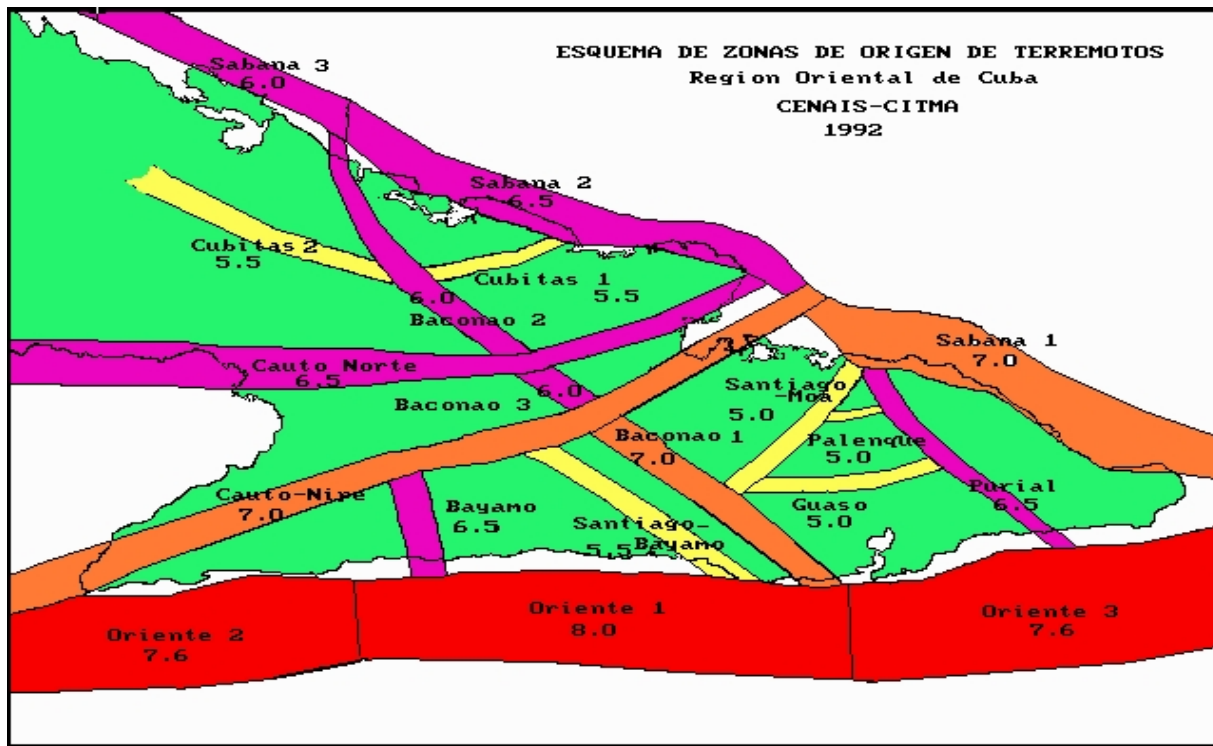


Figura 1.5.9. Zonas sismogénicas de la región oriental. (Comisión Ad Hoc, 1991).

La actividad sísmica de estas Zonas Sismogénicas registrada por el Servicio Sismológico Nacional se muestra en la Figura 1.5.10. En ella aparecen cartografiados los epicentros registrados en la ventana comprendida entre las coordenadas 19.50-20.10 de latitud Norte y 75.45 - 76.46 de longitud Oeste, que se corresponde con la provincia de Santiago de Cuba, en el periodo de 1968-1999. La distribución espacial por niveles energéticos de esta actividad se muestra en las Figuras 1.5.11, 1.5.12 y 1.5.13. Se evidencia en estas figuras que en la provincia de Santiago de Cuba cualquiera que sea el periodo considerado o los valores energéticos de los terremotos que se analicen, siempre se presentará la mayor concentración de sismos, incluyendo los de mayor magnitud. Más aún, debemos significar que en particular los terremotos más importantes registrados por las Estaciones Sismológicas cubanas concentran sus epicentros en la entrada de la bahía del mismo nombre, corroborándose en consecuencia la alta peligrosidad de este territorio en el que se localiza la ciudad de Santiago de Cuba.

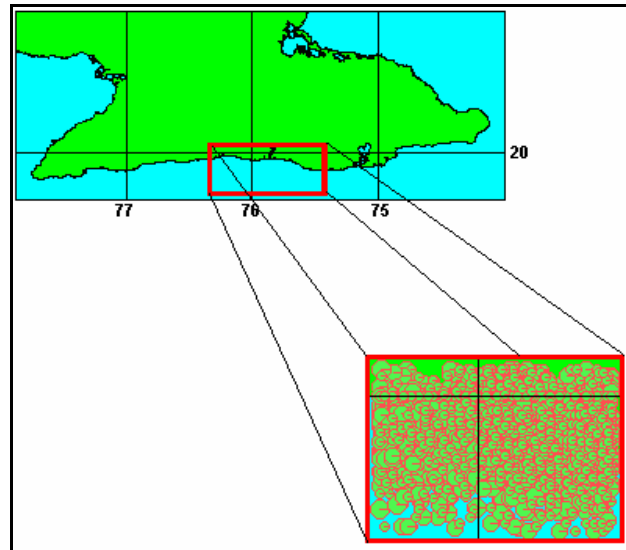


Figura 1.5.10. Mapa de epicentros de terremotos registrados en el periodo de 1968-1999.
Lon W: 75.45-76.50 y Lat N: 19.50-20.10.

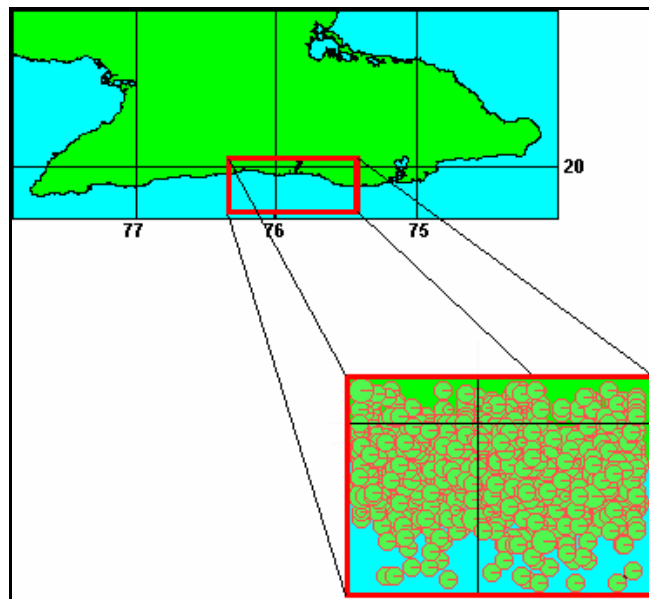


Figura 1.5.11. Mapa de epicentros de terremotos con $M_{pv} \geq 2$. Periodo de 1968-1999.
Lon W: 75.45-76.50 y Lat N: 19.50-20.10.

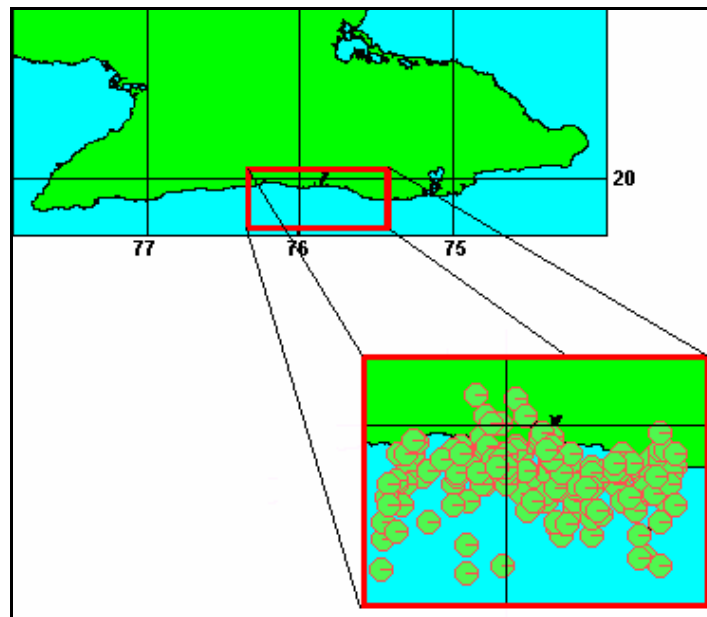


Figura 1.5.12. Mapa de epicentros de terremotos con $M_{pv} \geq 3$. Periodo de 1968-1999.
Lon W: 75.45-76.50 y Lat N: 19.50-20.10.

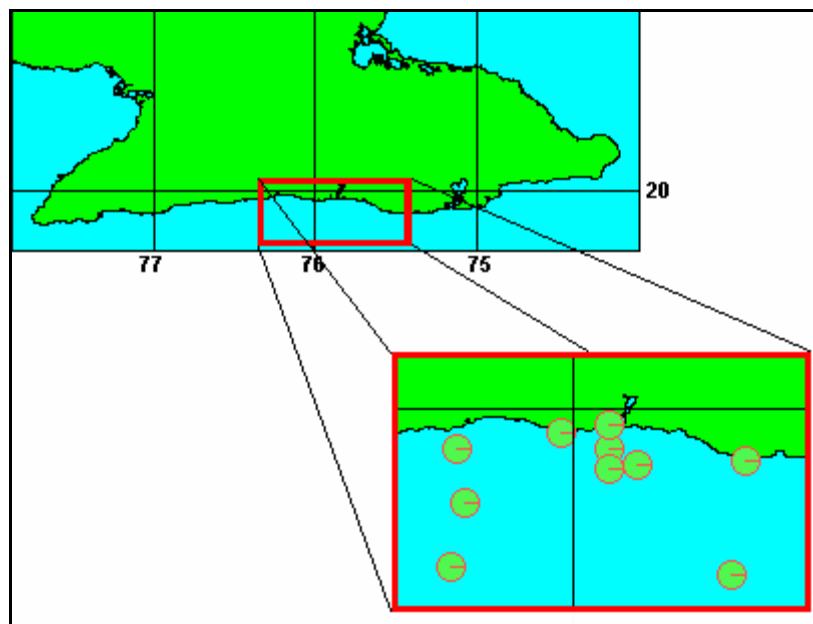


Figura 1.5.13. Mapa de epicentros de terremotos con $M_{pv} \geq 4$. Periodo de 1968-1999.
Lon W: 75.45-76.50 y Lat N: 19.50-20.10.

En la Figura 1.5.14, se presenta un histograma sobre la cantidad de eventos registrados anualmente y en el que se incluyen los perceptibles durante el periodo 1968-1999. Debemos destacar dos momentos en el período considerado, la primera en los comienzos de la década de los 80 en que se incrementó el número de estaciones en la región Oriental, y el segundo a finales de los 90 en que se realizó la

transformación tecnológica del Sistema del Servicio Sismológico Nacional, reduciéndose considerablemente el número de eventos de baja energía a pesar de ampliar el umbral de detección. Esto se refleja particularmente en los saltos en el nivel de actividad sísmica en los períodos señalados..

Al analizar el número de eventos por magnitud en la región considerada (Figura 1.5.15), para el período de 1968–1999, corroboramos que la frecuencia de ocurrencia de eventos de menor energía es mucho mayor que la de mayor energía, al tiempo que la ocurrencia de terremotos con magnitudes mayor o igual que 5 Richter (a partir de las cuales se producen los deslizamientos) es muy baja.

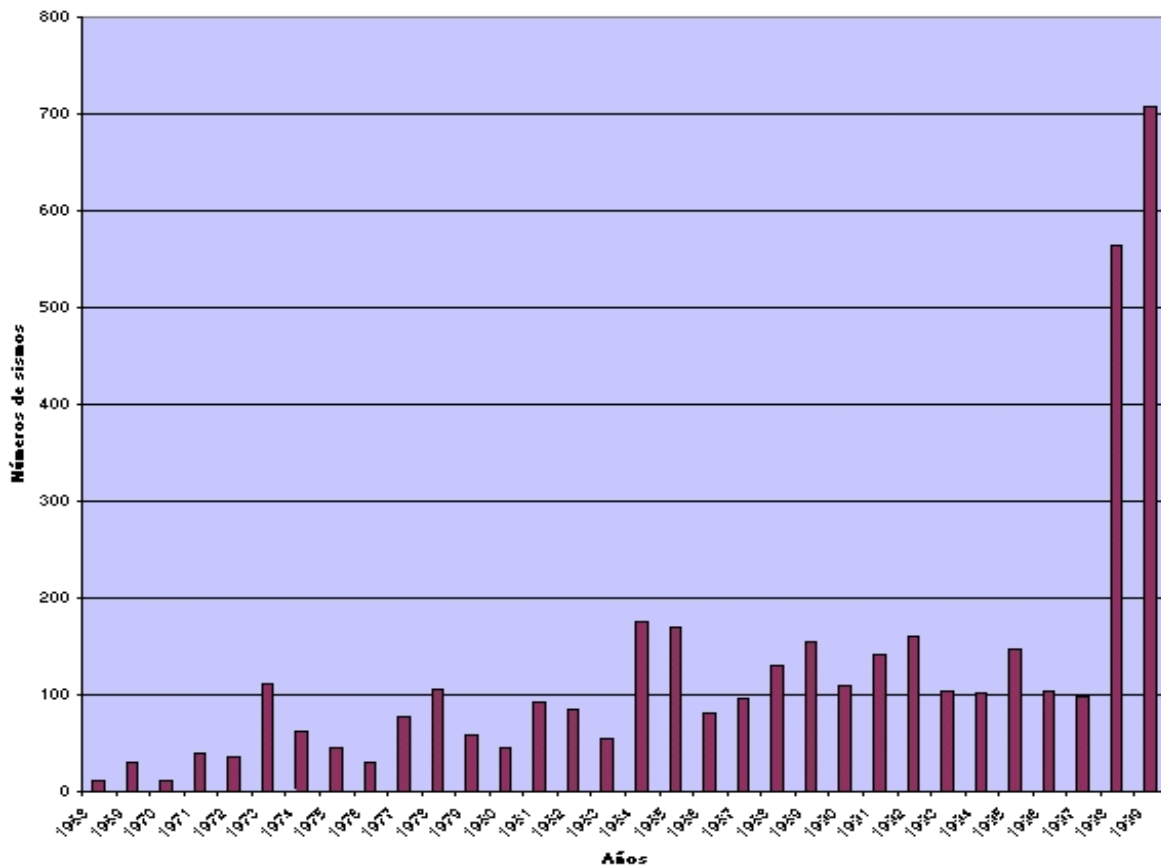


Figura 1.5.14. Histograma de terremotos con $M_{pv} \geq 2$. Período de 1968-1999.
Lon W: 75.45-76.50 y Lat N: 19.50-20.10.

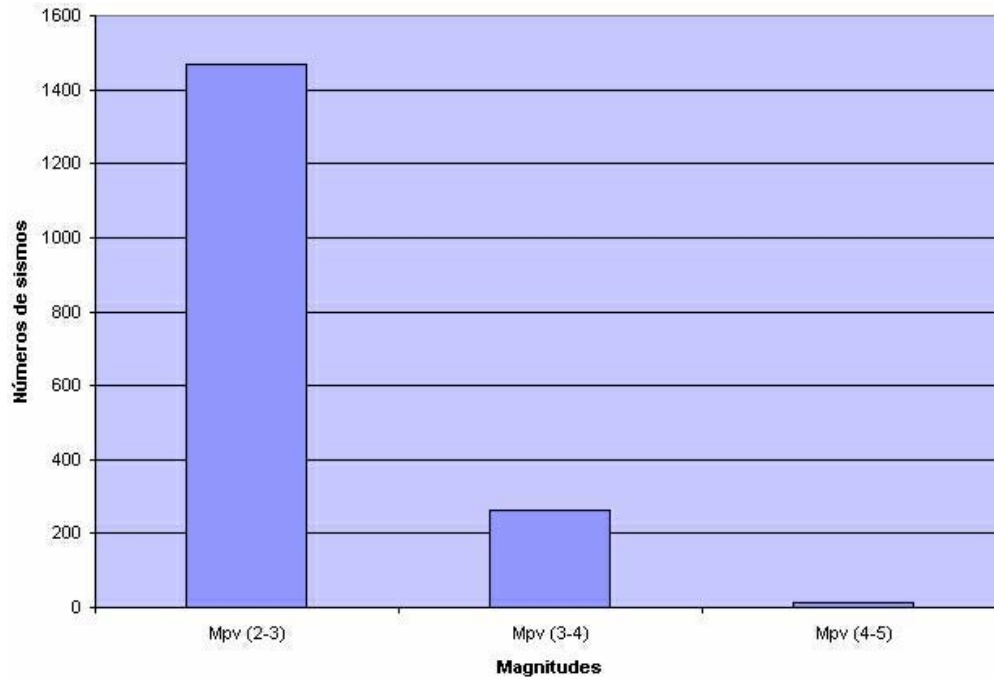


Figura 1.5.15. Histograma de números de terremotos para diferentes rangos de magnitudes. Periodo de 1968-1999. Lon W: 75.45-76.50 y Lat N: 19.50-20.10.

Peligro Sísmico de Santiago de Cuba.

Para definir la Peligrosidad Sísmica de una región se toman en cuenta tres aspectos fundamentales: el modelo estadístico de ocurrencia de terremotos y sus efectos, las Zonas Sismogénicas localizadas en la región y sus zonas cercanas con sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico y la Ley de Atenuación de la intensidad sísmica, para cuantificar los efectos y afectaciones de los terremotos con sus características regionales, transformando luego sus valores en términos de la intensidad sísmica y de la aceleración horizontal mediante la utilización del programa SACUDIDA (Alvarez, 1992)

Con relación a las características del proceso de ocurrencia de los terremotos fuertes en el tiempo, puede decirse que en esta región se observan períodos de actividad y períodos de prolongada calma sísmica; que en el caso de los sismos perceptibles, esto puede estar relacionado con falta de información macrosísmica, ya sea debido a la poca importancia prestada a estos sismos o por no estar muy pobladas las regiones donde estos terremotos se reportaron.

Para obtener los mapas de intensidad sísmica (I) y aceleración horizontal efectiva (Ah-e) de Cuba (Chuy y Alvarez, 1995), procesaron la información macrosísmica e instrumental; considerando suelos medios del tipo de perfiles de suelo S2 (depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras, cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 m) y una probabilidad de ocurrencia del parámetro de amenaza sísmica del 15 % con tiempos de vida útil de las instalaciones de 50 años.

En los mapas detallados, que se presentan en las Figuras 1.5.16 y 1.5.17 (Chuy y otros, 1992), se evidencia que las zonas de mayor peligrosidad en la región de estudio se localizan al sur de la misma, precisamente en la provincia de Santiago de Cuba.

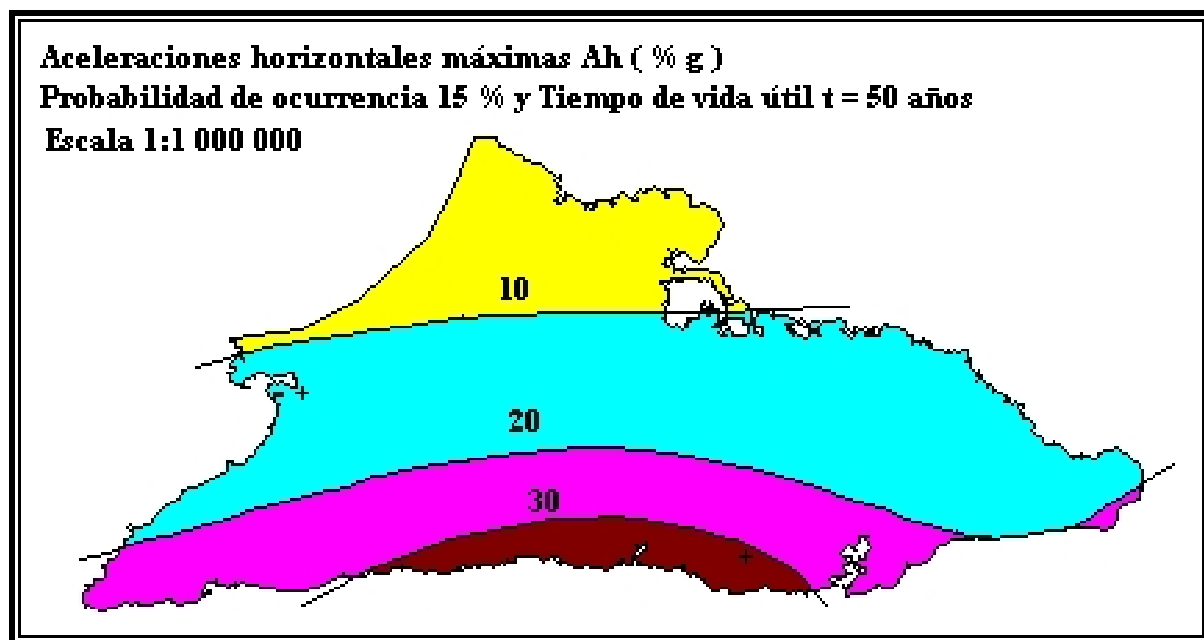


Figura 1.5.16. Mapa de Peligro sísmico de la región oriental en términos de aceleración horizontal máxima (Chuy y otros, 1992).

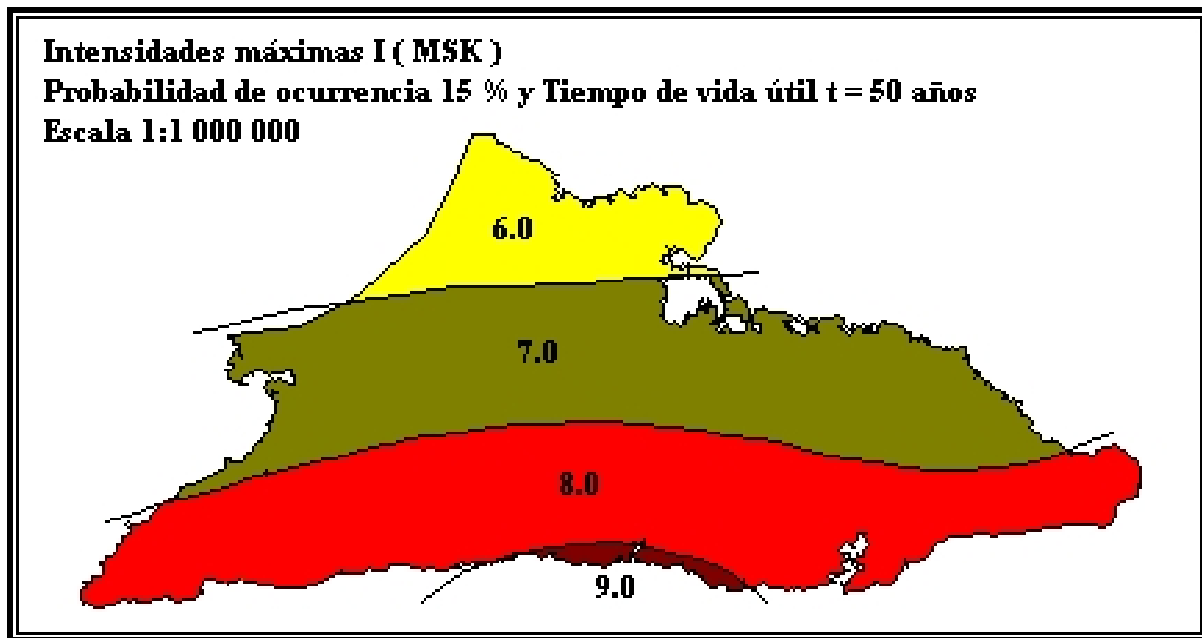


Figura 1.5.17. Mapa de Peligro sísmico de la región oriental en términos de la intensidad sísmica MSK (Chuy y otros, 1992).

A partir de los mapas de peligrosidad, los valores obtenidos para cada franja o zona pueden sufrir modificaciones (incrementos o decrementos) en dependencia de la localización del punto particular que se analiza, es decir de las condiciones ingeniero-geológicas y tipos de los suelos, en que éste se localice, además de las condiciones del nivel de las aguas subterráneas, ya que su cercanía a la superficie favorece el incremento de la intensidad.

En la Figura 1.5.118 se muestra el Mapa de Microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. (Zapata, 1995) donde aparece una gradación de categorías condicionadas a la calidad de la respuesta de los suelos y a la potencialidad de su uso en planeamiento de zonas urbanas obtenido a partir de la Categorización de la Respuesta Dinámica de los suelos con el empleo de Factores Geológicos y de Amenaza. En los primeros se utiliza el tipo de suelo y el nivel de las aguas freáticas, para el segundo la pendiente del relieve y los efectos físico-geológicos posibles de ocurrir como consecuencia de los sismos. Como respuesta dinámica de los suelos se emplearon los valores de períodos medios y largos de los microsismos registrados con equipos de banda ancha, las amplitudes de los microsismos medidos con el velocímetro CHISS y la variación de la intensidad sísmica probable de ocurrir en caso de terremotos.

Según este autor en el peligro regional (8.5 de intensidad MSK) ocurren variaciones en función de la respuesta de los suelos, en las zonas representadas como desfavorables y muy desfavorables donde pueden darse incrementos de la intensidad en uno, dos grados y mayores, así como incremento de un grado en la zona moderada. Las zonas desfavorables y muy desfavorables tienen además, amenaza geológica muy alta y alta, con ocurrencia posible de fenómenos físico-geológicos de licuación y deslizamientos.

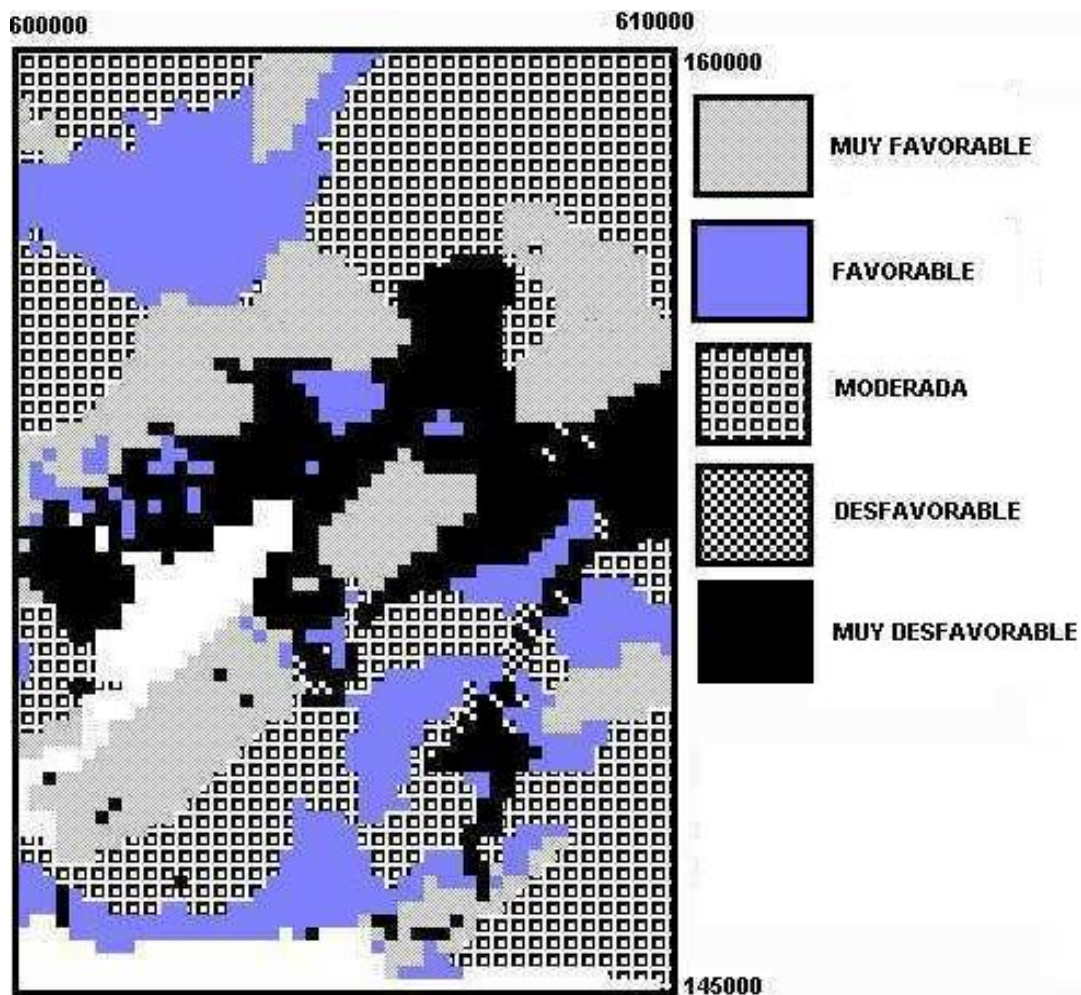


Figura 1.5.18. Microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. (Zapata, 1995).

Capítulo 2: Metodología de los trabajos.

2.1. Conceptos relacionados con el fenómeno de Deslizamiento.

La variedad del paisaje de cada región está determinada por la combinación del clima y la geología. Precisamente estos aspectos de la naturaleza pueden representar, en ocasiones peligros potenciales para los habitantes de una determinada zona, si no se conocen las características y el comportamiento de ambos aspectos en circunstancias concretas.

Los riesgos geológicos no son más que los fenómenos y procesos geológicos que constituyen peligros para las vidas y propiedades, que poseen un cierto grado de vulnerabilidad al peligro ya que están expuestos. Forman parte de un amplio conjunto de riesgos, que se pueden agrupar por su origen en: Naturales y Tecnológicos. Los dedicados a su estudio incluyen dentro de los riesgos geológicos aquellos procesos activos de carácter natural, lo que se complica cuando analizan algunos de estos procesos que son inducidos por la acción del hombre. Por ejemplo los deslizamientos en taludes de cortes artificiales para la construcción de una carretera que se manifiestan de forma idéntica al de uno natural.

Existen tres grandes tipos de Riesgos Geológicos clasificados de acuerdo a su origen: Naturales, Inducidos y Mixtos. Los Naturales se clasifican de acuerdo a su génesis: geodinámicos internos como los terremotos y externos como los movimientos de ladera (deslizamientos). En el caso de los externos tienen relación con los procesos climáticos. Por otra parte, estamos en presencia de un Peligro Geológico cuando existe una condición geológica, un proceso o suceso potencial que supone una amenaza para la salud, seguridad o bienestar de un grupo de ciudadanos o para las funciones o economía de una comunidad o entidad gubernamental mayor (Ayala, 1987).

Los movimientos de laderas son uno de los principales mecanismos de erosión y transporte en áreas de montaña por lo que son muy frecuentes en la naturaleza, considerándolos además como uno de los riesgos geológicos de mayor impacto. En este trabajo se realiza una evaluación del riesgo por deslizamientos de la ciudad de Santiago de Cuba.

Existen varias clasificaciones de deslizamientos, entre las que se encuentran la de Lomtadze (1986) que los divide en: Deslizamientos propiamente, Derrumbes y Desprendimientos, y la de Corominas (1989)

que se basa en la realizada por Varnes (1978) e incorpora diversas observaciones realizadas por Hutchinson (1988). Esta última es la que exponemos a continuación por ser la más actualizada.

Según Corominas (1989), los deslizamientos son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca, que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o pueden ser inferidas razonablemente o corresponder a una franja relativamente estrecha. Esta masa desplazada lo hace rígidamente, o aunque puede llegar a fragmentarse, se considera como un bloque único. En función de su trayectoria se clasifican en deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales (Figura 2.1).

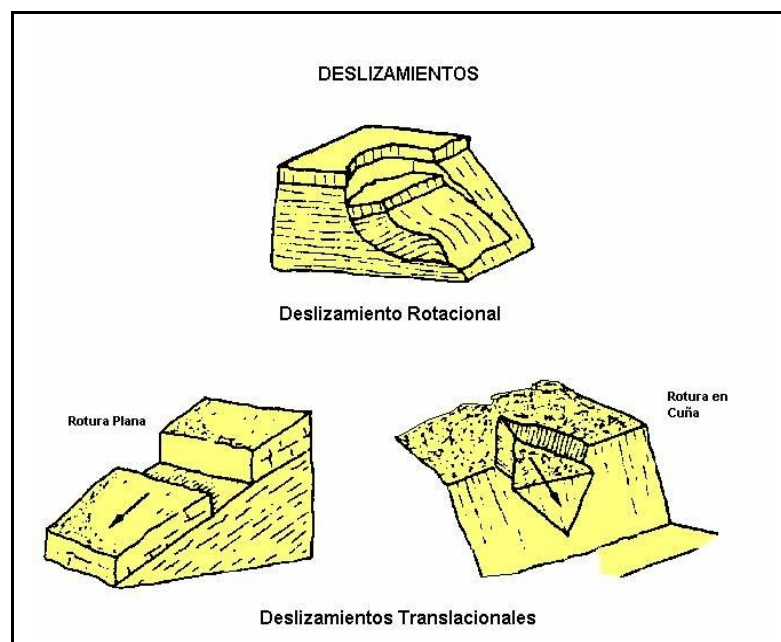


Figura 2.1. Principales tipos de deslizamientos según Corominas (1989).

Este autor plantea que las causas fundamentales de su origen están dadas por:

- la acción de la fuerza de gravedad,
- un ascenso del nivel de las aguas subterráneas,
- alterarse y perder resistencia las rocas o suelos que conforman el macizo, por efecto de la meteorización,
- acción del hombre,
- al ser sometido a vibración por un terremoto, y
- acción de las lluvias o precipitaciones intensas.

Teniendo en cuenta el alto peligro sísmico que está latente en la ciudad de Santiago de Cuba y al analizar las causas que dan origen a los deslizamientos, donde los terremotos son considerados como una de las causas de su origen, se hace necesario el estudio de este fenómeno donde se realice una evaluación de los efectos que pueden aparecer durante la ocurrencia de un sismo de moderada o gran intensidad, con el objetivo de que exista una correcta planificación territorial, que tenga en cuenta aspectos como el de los riesgos por deslizamientos, y que permita evitar pérdidas que estos riesgos originan, en ocasiones en personas y bienes, y así constituya un investigación de apoyo en los planeamientos urbanísticos en la zona de Santiago de Cuba.

2.2.- Aspectos metodológicos.

Son numerosas las metodologías y los métodos dedicados al estudio de la estabilidad de los taludes y laderas naturales o artificiales en el ámbito nacional e internacional favorecido por el avance de los conocimientos científicos y tecnológico que permite concebir actuaciones con un grado aceptable de eficacia.

La seguridad del riesgo ante un terremoto de gran intensidad tiene dos aspectos: primeramente, la seguridad estructural contra el potencial dinámico destructivo y en segundo lugar la seguridad del sitio, relacionado con fenómenos geotécnicos tal como: amplificación de la señal sísmica, deslizamientos, flujos de lodos, licuefacción y movimientos de falla. Muchos países en el mundo para mitigar este tipo de riesgo y, asegurar la seguridad de las estructuras sometidas a las cargas de un evento sísmico potencialmente peligroso y sus efectos dinámicos, lo han insertado dentro de las consideraciones a tener en cuenta, según los códigos de diseños sismorresistentes, que a menudo usan los mapas de zonación sísmica basados en valoraciones geológicas del riesgo que se incluyen en los códigos o regulaciones constructivas.

No obstante, se le ha prestado poca atención a la valoración de la seguridad del sitio en las regulaciones del uso de la tierra que se relaciona con los fenómenos geotécnicos; aunque su importancia ha recibido una creciente atención en los últimos años entre ingenieros, científicos y usuarios de la tierra en regiones sísmicamente activas en el mundo. Ante esta problemática surge el Manual for Zonation on Seismic Geotechnical del Japan Working Group for TC-4. Committe (1993), donde se establecen lineamientos y metodologías para realizar los estudios de los peligros geotécnicos ocasionados por terremotos en las zonas sísmicas del mundo.

El reconocimiento creciente de la importancia de este problema ha sido generado por la preocupación ante muchos deslizamientos desastrosos a grandes escalas y fallo de la tierra inducidos por licuefacción observados en los mayores terremotos ocurridos recientemente, y también por la exposición de tantas ciudades grandes al alto nivel de riesgo geotécnico que pueden causar los terremotos futuros. Es por ello que se han hecho varios esfuerzos en identificar y estimar riesgos geotécnicos y representarlos en formas de mapas o inventarios. Generalmente, se presenta en un mapa dividido en zonas como resultado de una valoración de los riesgos locales o zonas con diferentes niveles de riesgo potenciales.

En la metodología recomendada por el Japan Working Group for TC-4. Committe (1993), se propone el uso de mapas zonación como una variedad de las maneras de ayudar a mitigar los Riesgos Sísmico-Geotécnicos Inducidos concebido como:

1. **Planificación del uso de Tierra:** La combinación del mapa de zonas detalladas de riesgos geotécnicos con un acertado nivel de riesgos perteneciente a una área local se puede proveer como una guía importante. En casos de las zonas de altos riesgos, se requiere investigaciones geotécnicas más detalladas para examinar el peligro estimado futuro y para implementar medidas de mitigación específicas o para restringir el uso de la tierra.
2. **Implementación de medidas de mitigación:** Las medidas de mitigación para la seguridad ante terremotos de existir estructuras y medios pueden ser efectivamente priorizadas basándose en mapas de riesgos geotécnicos exactos y detallados, los que permiten realizar un estimado acertado del riesgo de las pérdidas futuras.

Estos mapas se proponen con mayor o menor grado de detalle, en función de la escala y necesidades de uso y se presentan como mapas de peligro potencial con zonas de diferentes susceptibilidad. Este tipo de resultados puede ser usado de diversas formas para la evaluación y mitigación de los desastres, de acuerdo con la planificación y uso del suelo, la implementación de medidas para la mitigación, y los códigos y/o regulaciones constructivas.

En este Manual la metodología propuesta establece tres niveles de estudio o de zonación, de acuerdo con la información existente, materiales y la escala a la que se realiza el trabajo:

Nivel o Grado I: Se realiza una Zonación Preliminar a escala regional comprendida entre 1:100 000 y 1:50 000. Es un estudio rápido y de poco costo que utiliza para la zonación de pendientes inestables, criterios de magnitud e intensidad de terremotos pasados. Considera la influencia de las aguas subterráneas en la estabilidad de las pendientes y a las lluvias como un catalizador de esta inestabilidad; pero tiene la limitante de que no incorpora los efectos locales de la geología y suelos. Propone tres métodos para la realización de la zonación, como resultado de estudios realizados en diferentes partes del mundo (Japón, Ecuador, Costa Rica, Loma Prieta en Estados Unidos, entre otros). Estos métodos son: *Published magnitude-distance criteria and relevant data* (Criterio magnitud - distancia y datos relevantes), *Recommended magnitude-distance criteria* (Criterio magnitud – distancia recomendado) y *Minimum intensity criteria* (Criterio de la mínima intensidad).

Nivel o Grado II: Se realiza una Zonación Confiable a un nivel más detallado, utilizada en los trabajos a escala entre 50 000 y 10 000. Aquí se incorporan la información geológica y topográfica concerniente al área, incluyendo además estudios de campo. En este nivel se proponen tres métodos para realizar las investigaciones: *Method proposed by Kanagawa Prefectural Government* (Método propuesto por el Gobierno Prefectural de Kanagawa, 1986), *Method proposed by Mora and Vahrson* (Método propuesto por Mora y Vahrson, 1991) y *Method proposed by the Japan Road Association* (Método propuesto por la Asociación de caminos de Japón, JRA , 1988).

El método que se utiliza en nuestro trabajo es el de Mora y Vahrson (1991) porque contempla además del sismo como agente disparador del deslizamiento (aunque en nuestra región la frecuencia de ocurrencia de terremotos con magnitudes mayores que 5 Richter es menor), a las lluvias que en cambio ocurren con mayor frecuencias, convirtiéndola en su principal catalizador. Además, contábamos con toda la información que requería su aplicación. Este método se basa en la predicción de los deslizamientos a partir de la evaluación de tres factores influyentes en la susceptibilidad (relieve Sr, geología Sg y humedad del suelo Sh), a los que se le adicionan dos factores disparadores o catalizadores (lluvia Ts y terremoto Tp), que al combinarlos nos permite estimar el Peligro de Deslizamientos (SD) según la fórmula:

$$SD = (Sr * Sg * Sh) * (Ts + Tp).$$

Las tablas de clasificación del método se presentan en el Anexo 1.

Nivel o Grado III: Se realiza una Zonación Detallada con gran precisión, en trabajos a escala entre 1:25 000 a 1:5 000. Requiere de análisis detallados de estabilidad de las pendientes, es generalmente muy costoso y su aplicación debe estar bien justificada. A modo de ejemplo: sitios con peligro potencial muy alto donde existe desarrollo o con intención de desarrollo. Aquí se proponen dos métodos de cálculo el primero propuesto por Wilson et al, 1979 para el cálculo de la aceleración crítica de la falla del talud y el segundo propuesto por Siyahi y Ansal 1993, donde se calcula el Factor de Seguridad (Fs).

2.3. Procedimientos de la Investigación.

Esta investigación se basó fundamentalmente en trabajos de gabinete en correspondencia con la metodología utilizada, solo se realizaron algunos recorridos de campo para precisar el comportamiento de las litologías existente en la región ante el fenómeno estudiado. Para la misma se procedió como se expone a continuación:

I. Revisión bibliográfica y recopilación de la información.

Se realizó una revisión de un gran volumen de bibliografías actualizadas relacionadas con la temática de los deslizamientos existente en el CENAI, IGP y ISMM de Moa para tener una visión actualizada de la temática tanto en el ámbito nacional como internacional. Se recopiló toda la información existente para Santiago de Cuba de los trabajos realizados con diferentes objetivos por diferentes Empresas o Instituciones (CENAI, ENIA No.8, Recursos Hidráulicos, GEOMINERA, GEOCUBA, entre otras); llegando a la conclusión que la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores cuenta con un gran volumen de información geológica, geomorfológica, geotécnica, meteorológica, sismológica, etc, que podemos plantear que esta ciudad se encuentra en un **Nivel o Grado II** de estudio.

Por tanto es factible aplicar la metodología que describimos anteriormente para la determinación del peligro en su **Nivel II**, en la que incluimos la confección de *mapas temáticos* para un mejor tratamiento de la información, donde cada mapa caracteriza la variable investigada. Por otra parte una vez determinado el peligro es posible llegar a estimar el riesgo aplicando la definición de Ayala (1987) sobre Riesgo, a través de la implementación en un Sistema de Información Geográfica (SIG) lo que constituye el aspecto novedoso en esta investigación y para esta metodología.

II. Confección de los mapas temáticos (MT).

Para la confección de los mapas temáticos se llevó a formato digital y se georeferenció toda la información geológica, sísmológica, topográfica y pluviométrica que se recopiló. Se estableció la red regular de puntos de 200 x 200 en la que se realizaría la lectura de las variables que respondiera a la escala del trabajo (1:25 000). Para el formato de presentación de la información, se decidió presentar en formato raster los mapas temáticos utilizados en la determinación del peligro por deslizamientos y en formato vectorial los mapas que serían utilizados para la estimación del riesgo con la implementación de un SIG. Una vez establecida la red de lectura y el formato de presentación de la información, se procedió a la realización de los diferentes mapas temáticos en los que utilizamos los siguientes materiales primarios:

1. Esquema Geológico “Reconocimiento geólogo – geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba con fines de Riesgo Sísmico”, de Medina y otros, 1999; escala 1:25 000.
2. Esquema Tectónico de la cuenca de Santiago de Cuba, de Arango (1996); escala 1: 25 000.
3. Las cartas topográficas a escala 1:25 000 correspondiente a la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
4. Estudio del Riesgo Sísmico y de la variación de la Intensidad Sísmica de los terremotos el territorio de la ciudad de Santiago de Cuba, de González y otros, 1984; a escala 1: 25 000.
5. Los registros de las lluvias mensuales de (15 años), y las series de lluvia máxima de (42 años), de los pluviómetros ubicados en la cuenca de Santiago de Cuba, del Instituto de Recursos Hidráulicos.
6. Las bases de datos del CENAIIS con las calas realizadas en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores que incluyen litología, propiedades físico–mecánicas y nivel freático.
7. Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, (García y otros, 2001).

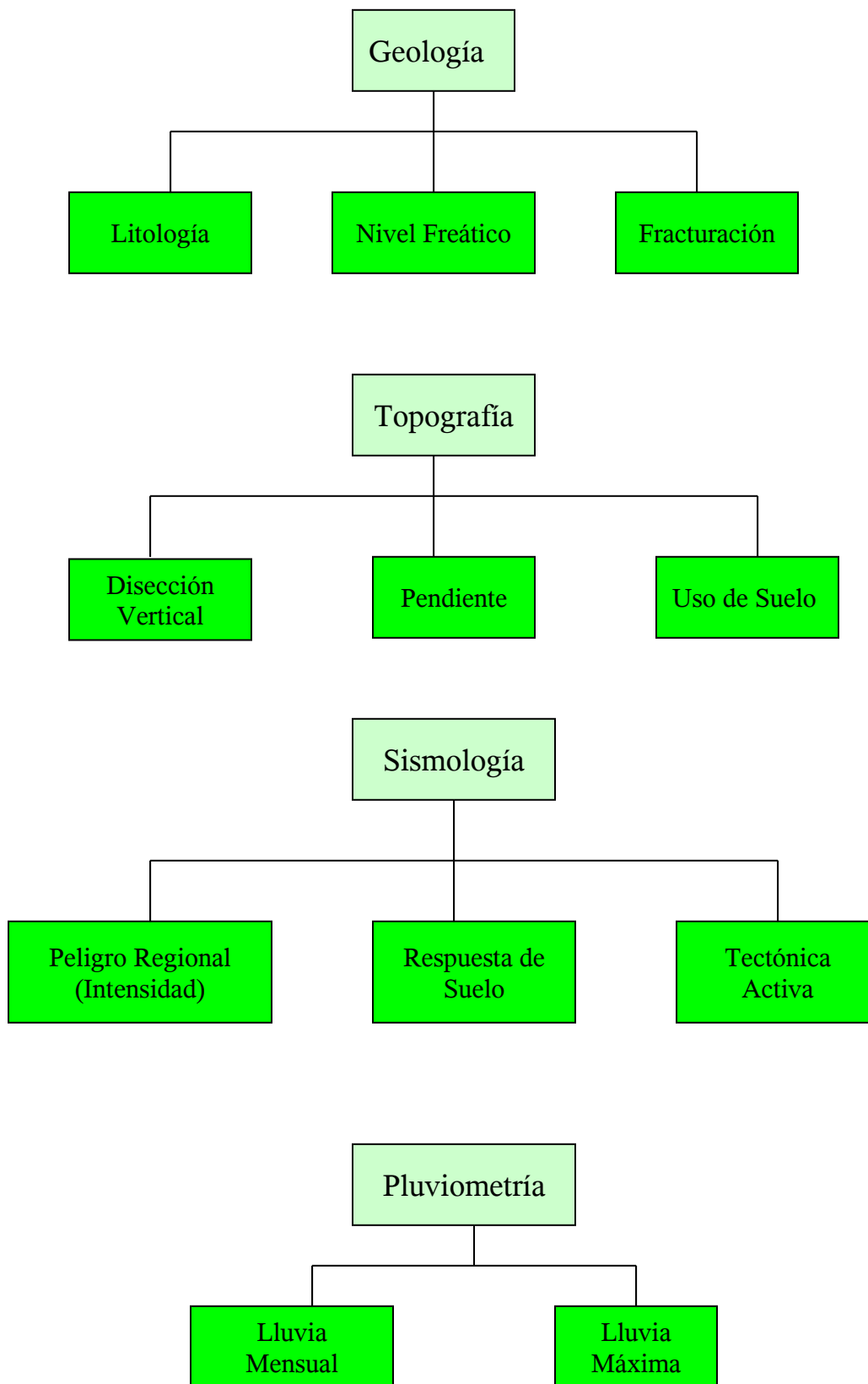


Figura 2.1. Diagrama de bloque con la información de entrada y salida.

A partir de los materiales primarios, según la Figura 2.1 se deben obtener 11 mapas temáticos, de los cuales dos de ellos no fue posible realizar, los de los datos de pluviométricos, debido a la escala de distribución de la lluvia y su variación espacial, siendo el comportamiento de los promedios de precipitaciones anuales por pluviómetro en los años evaluados poco variables espacialmente (15 y 30 años respectivamente). Y por otro lado el radio de influencia (predefinido) de los pluviómetros localizados en la cuenca de Santiago de Cuba es de 5-15 Km. en dependencia de su ubicación (llana o montañosa).

Los mapas los obtuvimos con el auxilio de los siguientes Sistemas de Cómputo:

1. Para digitalizar:
 - AUTOCAP 2000
 - AUTOCAP 2000 MAP
 - SURFER 7.0
2. Para procesar y tratar imágenes:
 - SURFER 7.0
 - COREL DRAW

Mapas Temáticos

1. Mapa de Disección Vertical (MT-1)

Para su confección partimos de las curvas de nivel del mapa topográfico (escala 1:25 000), se determinaron las alturas máximas y mínimas de cada una de las cuadrículas (200x200 m²) y con la diferencia de estas entre el área de la cuadrícula, se obtuvo la Disección Vertical. Para la representación en el mapa los valores se agruparon como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de la disección vertical

Disección Vertical (m/Km²)
0 -75
76 - 175
176 – 300
301 – 500
501 – 800
800 –2000

2. Mapa de Pendiente (MT-2)

Este mapa se obtuvo de forma automatizada a partir de las curvas del relieve topográfico a escala 1:25000, siguiendo la fórmula propuesta por More et al. (1993) incluida en el programa SURFER 7, donde se dan las pendientes en grados:

$$S_T = 360/2 * \arctan [\sqrt{(Z_E - Z_W / 2\Delta x)^2 + (Z_N - Z_S) / 2\Delta y)^2}].$$

Para el análisis de su influencia en los deslizamientos y obtener la Susceptibilidad por Pendiente clasificamos por intervalos de pendiente, aplicando los criterios de Cendero, 1997 (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Clasificación de susceptibilidad de las pendientes (Cendero, 1997).

Pendientes Grados	Susceptibilidad
0 - 10	Baja
11 - 20	Media
21 - 30	Alta
>30	Muy Alta

3. Mapa de Susceptibilidad Litológica (MT-3)

Fue confeccionado tomando como base el Esquema Geológico de Medina y otros, 1999 (Figura 1.2.2), a partir de la clasificación que se muestra en la Tabla 2.3, con vistas a establecer la susceptibilidad litológica de las formaciones teniendo en cuenta el comportamiento que presentan en el área y los criterios de Corominas (1989) sobre litologías inestables.

Tabla 2.3. Clasificación de la susceptibilidad litológica a los deslizamientos

Litología	Susceptibilidad	Valor
Grupo El Cobre (Roca Dura), Formación La Cruz (Calizas), Miembro Quintero, Formaciones Río Maya y Jaimanitas.	Baja	1
Grupo El Cobre (Roca Semidura), Miembro Tejar, Miembro Santiago, Conglomerado Camaroncito	Media	2
Cuaternario (Reciente)	Alta	3

4. Mapa de Nivel Freático (MT-4)

La base utilizada para este mapa es el esquema obtenido por González y otros (1984). La clasificación para analizar la susceptibilidad la realizamos como se muestra en la Tabla 2.4, considerando que el agua cualquiera que sea su tipo juega un papel importante en la susceptibilidad a la ocurrencia del fenómeno estudiado, ya que al aumentar la presión intersticial o de poros disminuyen las fuerzas resistentes, y en cuando son de grietas aumentan la presión hidrostática produciendo un aumento en las fuerzas motaras.

Tabla 2.4. Clasificación de la susceptibilidad del nivel

Profundidad del Nivel Freático	Susceptibilidad	Valor
0 - 1	Muy Alta	1
1 - 4	Alta	2
4 - 10	Media	3
> 10	Baja	4

5. Mapa de Fracturación (MT-5)

Este mapa lo obtuvimos a partir del Esquema Fotogeológico de la fracturación y sedimentos no consolidados del área de Santiago de Cuba, de Barceló y otros, 1984, la clasificación realizada se presenta en la Tabla 2.5. Este factor es el que mayor peso tiene en la ocurrencia de deslizamiento en los macizos rocosos en la región de estudio, ya que las fracturas conjuntamente con los planos de estratificación reducen la resistencia del conjunto del macizo. Esto ocurre con mayor potencialidad cuando aparecen con una disposición desfavorables al talud, de lo contrario pueden darse taludes verticales de gran altura sin problemas de estabilidad.

Tabla 2.5. Clasificación de la susceptibilidad de las fracturas

No. de Fracturas	Susceptibilidad	Valor
1 - 2	Baja	1
3	Media	2
>4	Alta	3

6. Mapa de Uso de Suelo (MT-6)

Este mapa permite conocer el uso actual del suelo en la región de estudio, el mismo fue realizado a partir del mapa topográfico a escala 1:25 000 de la región donde se leyó la información en la red de puntos establecida para este trabajo (cuadrículas de 200x200) y siguiendo la codificación establecida por Viña y otros (1994). Esta lectura fue reclasificada por el autor para una mejor interpretación en la estimación del riesgo y las clases se asignaron según la importancia del elemento que pueden ser afectado por los deslizamientos como se muestra en la Tabla 2.6.

Fueron clasificados como *objetivos económicos de I orden*, los objetivos de este tipo que tienen una importancia vital por las sustancias utilizadas en su proceso de producción, considerados como objetivos Q, teniendo en cuenta que estos constituyen zonas de alto riesgo por las consecuencias de que ellos se desprenden en que caso de sufrir algún daño, *objetivos de II orden* clasificamos objetivos tanto económico como social de importancia pero que de sufrir daño sus consecuencias son menores. La *ciudad* comprende toda la zona urbana de la región, como *poblados* se tomaron los repartos cercanos a la ciudad y los poblados que se encuentran algo alejados de esta y como *asentamientos humanos*, se toman las concentraciones de viviendas y población sin criterios o elementos urbanísticos definidos. En el caso de los *cultivos* incluyen todas las zonas que son utilizadas por la agricultura en toda su variedad: huertos, hortalizas, organopónicos, mango, caña y café; y la *vegetación* todos los tipos de vegetación existente en el área.

Tabla 2.6. Clasificación del uso del suelo según su importancia

Uso de Suelo	Importancia	Clase
Vegetación	Baja	1
Caminos		
Cultivos	Moderada	2
Carreteras Secundarias		
Asentamientos Rurales		
Vías Férreas Secundarias	Media	3
Poblados		
Objetivos de II orden		
Carreteras Principales		
Ciudad	Alta	4
Objetivos económicos de I orden		
Autopista Nacional		
Línea Férrea Nacional		
Carretera Central		

7. Mapa de fallas activas (MT-7)

Este mapa se obtuvo a partir de las anomalías geodésicas obtenidas de los gráficos espacio-temporales y de los gráficos lineales de las velocidades y de los desplazamientos, de las líneas del Polígono Geodinámico, se confeccionó un esquema tectónico con las principales fallas activas de la cuenca de Santiago de Cuba (Arango, 1996), para lo cual, y en una segunda fase se complementó con el Esquema Geólogo-Tectónico de la cuenca de Santiago de Cuba a escala 1:25 000 (Medina y otros, 1999) donde se recogen las características geológicas y tectónicas del área de estudio. Se clasificaron las fallas como:

- Primarias: las fallas que separan los diferentes bloques existentes, controlan el régimen dinámico y han sido determinada por todos los métodos de interpretación
- Secundarias: solo se han determinado por algunos métodos.

8. Mapa de Peligro Sísmico Regional (MT-8).

Este mapa es el resultado de modelar el peligro sísmico regional a partir de la ocurrencia de un evento sísmico similar al ocurrido el 3 de Febrero de 1932 ($I_{max}=8$, $T \approx 100$ años), con epicentro macrosísmico en la principal zona sismogénica del área (Oriente 1, promontorio al sur de la meseta San Juan).

9. Mapa de Respuesta de Suelo. (MT-9)

Este mapa se obtuvo a partir de la utilización del método de las categorías de suelos presentado por Medvedev (1973). Para ello empleamos los valores de los niveles freáticos (MT-4) y lo relacionamos con los tipos litológicos de Medina y otros,(1999) que se clasificaron en función de la respuesta que tienen ante la ocurrencia de un sismo (Tabla 2.7).

La forma de interrelación para obtener las diferentes categorías de Respuesta de Suelo a partir del método presentado se presentan en las Tablas 2.8 y 2.9, los tipos representan los cruces realizados teniendo en cuenta diferentes niveles freáticos y de susceptibilidad litológica, en la Tabla 2.8 se representan las categorías similares por sombreados del mismo tono y en la Tabla 2.9 los dos dígitos representan los niveles cruzados.

Tabla 2.7. Categorización por formaciones y tipos litológicos de la susceptibilidad litológica (García y otros, 2001).

Susceptibilidad litológica		
Clases	Formaciones	Categorías
1	Grupo. El Cobre (Roca)	Muy Baja
2	Grupo. El Cobre (Semirroca)	Baja
3	La Cruz (Caliza)	
4	Jaimanitas	
5	Tejar (Marga)	Media
6	La Cruz (Calcarenita)	
7	Santiago	Alta
8	Tejar (Conglomerado)	
9	Camaroncito	Muy Alta
10	Cuaternario	

Tabla 2.8. Cruces para la categorización de las variaciones de la respuesta del suelo a partir de la susceptibilidad geológica y los niveles freáticos (García y otros, 2001).

		Susceptibilidad Litológica				
		1	2	3	4	5
N i v e l	1	11	12	13	14	15
	2	21	22	23	24	25
	3	31	32	33	34	35
	4	41	42	43	44	45

Tabla 2.9. Variación de la intensidad en función de la Respuesta del suelo (García y otros, 2001).

Respuesta de Suelo			
Clases	Categorías	Tipos	Variación Intensidad
1	Muy Baja	41	- 2 grados
2	Baja	21, 31, 32, 42, 43	- 1 grado
3	Media	11, 22, 33, 44	No varía
4	Alta	12, 23, 24, 25, 34, 35, 45	+ 1 grado
5	Muy Alta	13, 14, 15, 23, 24, 25, 34, 35, 45	+ 2 grados

III. Aplicación del método seleccionado para la determinación del Peligro por deslizamiento.

El método propuesto por Mora y Vahrson (1991) se basa en la combinación de dos grupos de factores: susceptibles a la ocurrencia del fenómeno (S_r , S_g y S_h) y los disparadores o desencadenantes (T_s y T_p) del mismo. La ocurrencia del fenómeno viene dada por:

$$SD = (S_r * S_g * S_h) * (T_s + T_p)$$

Donde:

- 1) **S_r es la Susceptibilidad por el Relieve.** Para su evaluación se utilizó el mapa de disección vertical (MT-1). Aplicando la clasificación de la Tabla A.1.1, se le asignó un valor a cada cuadrícula y se obtuvieron los valores de S_r .
- 2) **S_g es la Susceptibilidad Geológica.** Si algún factor tiene una importancia decisiva en la estabilidad de los taludes es precisamente la geología porque ella incluye varios elementos (litología, propiedades geotécnicas, nivel freático y discontinuidades). Mora y Vahrson en su evaluación tuvieron en cuenta de forma integrada tres factores: litología predominante (MT-3), profundidad del nivel freático (MT-4) y grado de intemperismo. Debido a las condiciones geólogo-tectónicas del área de estudio decidimos incluir en este índice el grado de fracturación de las rocas (MT-5), y no incluir la meteorización aunque se conoce que el tipo de intemperismo predominante es el físico-mecánico sobre todo en las rocas del Grupo El Cobre, pero no fue posible realizar un estudio de la meteorización. En la Tabla 2.10 se presenta la clasificación de la influencia geológica, de acuerdo a las condiciones generales.
- 3) **S_h es la Susceptibilidad por Humedad de suelo:** Para la obtención del S_h se tuvo en cuenta las precipitaciones mensuales (mm/mes) en un periodo de 15 años (1984-1998), a partir de las cuales se calcularon las precipitaciones anuales promedio por pluviómetro (6 en el área de estudio) de 9 años (Zamora, 1999), según las Tablas A1.2 y A1.3 y luego estos promedios fueron sumados y se obtuvo el valor promedio a partir del cual se clasificó el S_h como se plantea en el método (Tabla A1.4).

Tabla 2.10. Clasificación de la influencia geológica, de acuerdo a las condiciones generales en el área de estudio.

Litología	Susceptibilidad	Valor SG
Calizas permeables, basaltos, andesitas, bajo grado de intemperismo, poca fracturación, rocas con alta resistencia al corte, bajo nivel de las aguas subterráneas.	Baja	1
Alto grado de intemperismo de las rocas encima mencionadas y en las rocas sedimentarias clásticas masivas, baja resistencia al corte, fractura de cizallas.	Moderada	2
Rocas o suelos poco consolidados, considerable intemperismo de las rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas, fluctuaciones del nivel freático.	Media	3
Suelos no consolidados del Cuaternario, relleno arcilloso, suelos piroclásticos y fluvio-lacustres no consolidados, niveles freáticos superficiales.	Alta	4

- 4) **Tp es la Influencia de las Precipitaciones:** Para determinar este índice utilizamos las precipitaciones máximas caídas en 42 años (1955-1996), en 5 pluviómetros ubicados en el área, a estas series se realizó un tratamiento estadístico para determinar su correlación y reponer datos faltantes. Se calculó la lluvia máximas para un tiempo de recurrencia de 100 años que se corresponde con la probabilidad del 1 % a partir de la utilización de programas específicos de Recursos Hidráulicos (Zamora, 1999) para el tratamiento de series pluviométricas. Los valores obtenidos fueron clasificados según la Tabla A1.5.
- 5) **Ts es la Influencia de la Intensidad Sísmica:** La metodología propuesta por Mora y Vahrson (1991) considera el peligro sísmico a partir de las intensidades máximas reportadas para un periodo de recurrencia de 100 años, sin tener en cuenta las variaciones locales de este parámetro, debido a la tipología de los suelos. En nuestro caso, decidimos modelar el peligro sísmico regional a partir de la ocurrencia de un evento sísmico similar al ocurrido el 3 de Febrero de 1932 ($I_{max}=8$), con epicentro macrosísmico en la principal zona sismogeneradora del área (Santiago-Baconao, promontorio al sur de la meseta San Juan) (MT-8), cuyas intensidades máximas serán modificadas localmente por la influencia de los suelos (MTP-9). El mapa resultante es el de Efecto de Sitio que se clasificó según Mora y Vahrson, 1991 (Tabla A1.6).

El resultado final de la aplicación del método lo constituye el Mapa de Peligro por deslizamiento, empleando una combinación de los mapas confeccionados para cada factor evaluado, y sustituyendo los valores obtenidos en la fórmula de SD (Ver Anexo No.). Este fue clasificado según la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Clasificación del Peligro por Deslizamiento

Valor de SD	Clase	Peligro
0 - 18	I	Insignificante
19 - 32	II	Bajo
33-120	III	Moderado
120-312	IV	Medio

A pesar de que el resultado final es la obtención del Mapa de Peligro por deslizamiento, es necesario conocer como influye la presencia de fallas activas sobre el Peligro de Deslizamiento en caso de producirse un sismo de gran intensidad; para lo que se confeccionó un Mapa de Inestabilidad Tectónica a partir del Mapa de Fallas Activas (MT-7) donde se tomó un ancho de afectaciones para las fallas principales de 200 metros y para las secundarias de 100 metros, el que combinamos con el mapa de SD para ver donde se produce un aumento en los efectos por este fenómeno.

Tomando como criterio que en la ciudad de Santiago de Cuba las principales afectaciones relacionadas con las fallas activas ante la ocurrencia de un sismo fuerte están dada sobre todo en el hecho de que estas constituyen zonas débiles en superficie donde se producen incrementos de la intensidad sísmica, son zonas donde pueden ocurrir movimientos diferenciales por constituir estas límites de bloques con diferente dinámica, así como por servir las mismas como guía de ondas desde el foco sísmico o hipocentro. La categorización que se realizó es la siguiente: Primaria: aumenta un grado el Peligro y Secundaria: aumenta medio grado; la forma en que se cruzaron los mapas para obtener las categorías del Peligro por Inestabilidad Tectónica se presentan en las Tablas 2.12 y 2.13, donde los sombreados del mismo tono representan las categorías similares en la Tabla 2.12y en la Tabla 2.13 se dan las categorías.

Tabla 2.12. Cruces para la categorización del Peligro por Inestabilidad Tectónica

Inestabilidad		Peligro de Deslizamiento			
		1 (0)	2 (0)	3(0.2)	4 (0.5)
Clases	100 (0.5)	0	0	0.2	0.25
	200 (1)	0	0	0.2	0.5

Tabla 2.13. Categorización del Peligro de deslizamiento por inestabilidad tectónica

Peligro de deslizamiento por Inestabilidad Tectónica.		
Clases	Categorías	Tipos
1	Nada	0
2	Pueden aparecer efectos	0.2, 0.25
3	Máximos efectos	0.5

IV. Riesgo por deslizamiento.

Para realizar la estimación del riesgo partimos de la definición dada por Ayala (1987), que expresada matemáticamente nos es más que el producto de tres factores: la probabilidad (P) que ocurra un fenómeno natural extremo dañino para los elementos expuesto, esto es conocido como peligro o amenaza, llamado en este caso peligro por deslizamiento, el segundo factor es la vulnerabilidad que presentan estos elementos (V) y el tercer factor es el valor de los elementos (C); por tanto, el riesgo por deslizamientos puede representarse por la fórmula:

$$R = PVC$$

El Riesgo por deslizamiento se obtuvo de combinar el Mapa de Peligro de Deslizamiento (SD) y el Mapa de Uso de Suelo (MT-6). El cruce y la categorización se realizaron según las Tablas.2.14 y 2.15, los sombreados del mismo tono representan categorías similares en la Tabla 2.14 y en la Tabla 2.15 los dos dígitos indican los niveles cruzados.

Tabla 2.14. Cruces para la categorización de la variación del riesgo por deslizamiento

Vulnerabilidad Uso Suelo		Peligro de Deslizamiento			
		1	2	3	4
C l a s e	1	11	12	13	14
	2	21	22	23	24
	3	31	32	33	34
	4	41	42	43	44

Tabla 2.15. Variaciones del Riesgo por deslizamiento

Riesgo por Deslizamiento.		
Clases	Categorías	Tipos
1	Muy Bajo	11,12,13,14,21,22,31,32,41,42
2	Bajo	23,24,33,43
3	Moderado	34,44

V. Implementación del SIG.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituyen actualmente una herramienta poderosa para la recopilación, almacenamiento, actualización, análisis y visualización de la información concerniente a la evaluación y manejo de riesgos, cualquiera que sea su origen (naturales, inducidos o mixtos), facilitando la toma de decisiones en caso de desastres como la ocurrencia de un evento sísmico que puede aumentar su magnitud al inducir fenómenos secundarios como el deslizamiento.

Al asociar información sobre geología, geomorfología, tectónica activa, fenómenos físico-geológicos, uso de suelo, vulnerabilidad, entre otras; a bases cartográficas resultantes de estudios realizados en un área determinada permite realizar análisis y obtener resultados para el manejo y evaluación del Riesgo en tres líneas fundamentales:

1. Evaluación del Peligro
2. Evaluación de la Vulnerabilidad.
3. Cálculo de las pérdidas potenciales.

En este trabajo se utilizaron 2 Sistemas de Información Geográfica, el ArcView 3.2 para determinar el Peligro de Deslizamiento por Inestabilidad Tectónica y el Geoinfo adquirido por convenio con la Empresa GEOCUBA Santiago en Junio del 2001 para el análisis del Riesgo. Para su implementación se ejecutaron las tareas establecidas para ello, donde:

Una vez obtenidos los mapas de Peligro de Deslizamiento, Inestabilidad Tectónica y de Uso de Suelo, se prepararon las Bases de Datos, con el formato adecuado en Hojas de Cálculo Excel, donde se reflejan los atributos más importantes y los que servirán de llaves para los diferentes análisis que se realicen. Se crearon las Bases Cartográficas Digitales en AutoCAD Mapa 2000 que serian vinculadas, representadas por objetos lineales y areales, a los que se asociaron los diferentes atributos que se derivaron de las diferentes bases de información creadas; quedando de esta forma vinculada toda la Base de Información Geográfica existente.

Las capas que conforman los mapas que intervienen fueron tratadas como:

- Peligro de Deslizamiento: A este mapa lo conforman 4 capas donde los objetos están representados como polígonos (areal). Las capas son: Insignificante, Baja, Moderada y Media.

- Inestabilidad Tectónica: Se crearon dos capas areales (*buffer* primaria y *buffer* secundaria) donde se representan los *buffer* de las fallas como polígonos.
- Uso de Suelo: En este mapa las capas son areales y lineales, en las areales fueron representados como polígono los elementos vegetación, cultivos, poblados, ciudad, objetivos económicos de I y II orden, todos en capas independientes. Los viales fueron tratados en una solo capa como elementos lineales.

Complementan estas capas en cada uno de los mapas el polígono creado con el límite de la costa y el nombre de los repartos en capas independientes.

El análisis se realizó de forma parcial, obteniendo resultados que en algunos casos modificaron las bases existentes, tanto del punto de vista de atributos como cartográfica, creando nuevos mapas de resultados que sirvieron de base para otros análisis. Con la información surgidas producto de los resultados de análisis anteriores se realizaron nuevas capas de trabajo.

Con todos los mapas anteriormente descritos, así como las bases de datos resultantes del cálculo implementados en un SIG mediante el cual a partir de consultas geoespaciales, se puede manejar el Riesgo por Deslizamiento bajo el cual se encuentra la ciudad de Santiago de Cuba; mejorando el nivel de conocimiento del fenómeno y la toma de decisiones para su mitigación, así como en trabajos futuros se podrán actualizar y mejorar las bases cartográficas y de cálculo usadas en este análisis e incorporarlas al SIG.

En el Anexo No.3 se muestra el esquema general de los procedimientos realizados en esta investigación.

Capítulo 3.- Análisis de los Resultados.

Como bien se plantea en la metodología partimos de la confección de los Mapas Temáticos que recogen la información preliminar que caracteriza las variables que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

Mapas Temáticos.

Se obtuvo un total de 9 mapas temáticos, estos son: Mapa de Disección Vertical, Mapa de Pendiente, Mapa de Susceptibilidad Litológica, Mapa de Profundidad del Nivel Freático, Mapa de Fracturación, Mapa de Uso de Suelo, Mapa de Fallas Activas, Mapa de Peligro Sísmico Regional y Mapa de Respuesta de Suelo. La valoración de los resultados de estos mapas se detalla a continuación.

Los resultados obtenidos en el **Mapa de Disección Vertical (MT-1)** se muestran en la Figura 3.1, donde se pueden delimitar claramente 3 formas de relieve, hacia el sur un relieve de meseta asociado con las rocas carbonatas y margosas de la Formación La Cruz, un relieve llano en la parte central donde aparecen las rocas más deleznable de esta formación (Miembro Santiago) y hacia el norte un relieve de cresta (las elevaciones del Bonete) y cuesta (meseta de Boniato) determinado por las rocas estratificadas, plegadas y falladas del Grupo El Cobre. La disección vertical toma valores entre 0 y 175 en la zona de desarrollo urbano (centro del área de trabajo). Hacia el norte, en las periferias de la ciudad, así como en su límite sur, y en la meseta de San Juan los valores son entre 175 y 500. Esta alcanza los máximos valores en el extremo norte de la cuenca, en dos sectores pequeños de las mesetas de Boniato y El Bonete (>500).

En correspondencia con los resultados de este mapa, se obtuvo la influencia de otro factor del relieve en la susceptibilidad a los deslizamientos a través del **Mapa de Pendiente (MT-2)** que se presenta en la Figura 3.2, apareciendo las pendientes mayores de 10 grados en los bordes de las mesetas hacia el sur y en los valles de los ríos Sardinero y San Juan. Hacia el norte, noreste y noroeste del área, en las laderas abruptas de las cuestas, existiendo un predominio de estas pendientes hacia el noreste por el relieve en forma de cresta imperante en la zona. A tendiendo a esto existe en la región de estudio un mayor desarrollo de pendientes con ángulos entre 0 y 10 grados (susceptibilidad baja) para toda la región, los valores de pendientes entre 10 y 20 grados (susceptibilidad media) se observan en el litoral costero, en

los bordes sureste y suroeste de la bahía y al norte del área de estudio. Los máximos valores (30–70) (susceptibilidad alta y muy alta) coinciden con algunos sectores de las elevaciones del Bonete y Puerto Boniato siendo estos muy escasos.

Aunque este último mapa no es utilizado en la aplicación del método para la determinación del peligro consideramos que se podía presentar como una forma de comparación entre ambos, donde existe una estrecha correspondencia entre las zonas que presentan los mayores valores de susceptibilidad del relieve a la ocurrencia de los deslizamientos.

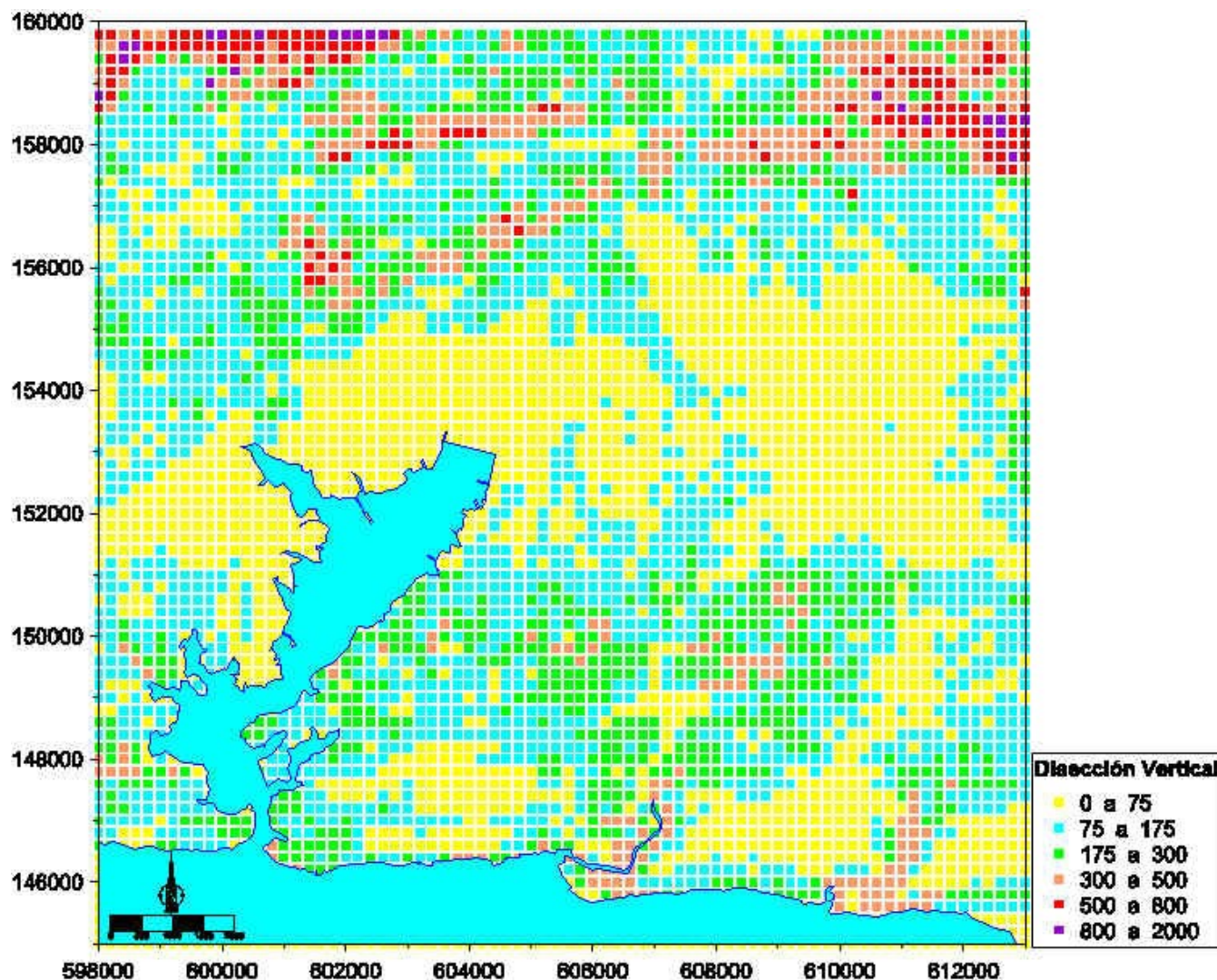


Figura 3.1. Mapa de Disección Vertical de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala: 1:25 000.

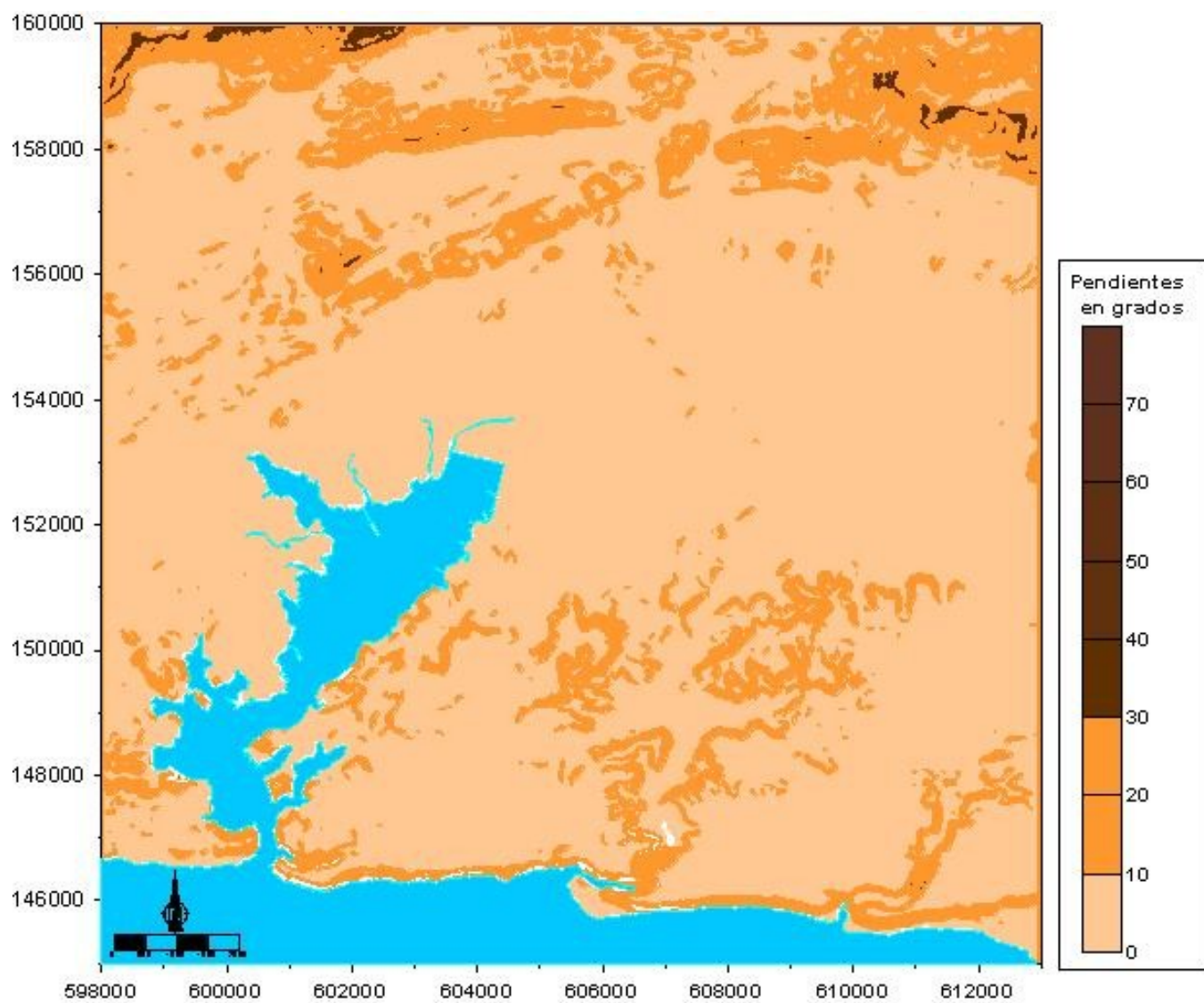


Figura 3.2. Mapa de Pendiente de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala: 1:25 000.

En el **Mapa de Susceptibilidad Litológica MT-3** de la Figura 3.2 se observa que en todo el límite sur y noreste del área de estudio aparecen litologías de susceptibilidad baja correspondiendo con las calizas y calcarenitas cuaternarias, que se presentan con estructura masiva, yacencia casi horizontal y poco afectadas tectónicamente, con gran dureza y resistencia al corte; localizándose en la parte superior de las elevaciones de la costa, estas se presentan con gran estabilidad. Las calizas, calcarenitas y las margas en estado seco del Neógeno que forman las elevaciones de la parte sur de la cuenca, poco alteradas, masivas o con estratificación gradacional bien establecida, así como con yacencia horizontal o con ángulos muy pequeños, y la tectónica plicativa y disyuntiva poco desarrollada, presentando gran resistencia al corte y gran estabilidad. Las rocas volcánicas del Paleógeno clasificadas como rocas duras, según Savarenski-Lomtadze (1970) y Guardado (1982), que aparecen hacia el sudeste y noreste caracterizadas por una menor afectación de agrietamiento y meteorización, y con gran resistencia.

Las litologías de susceptibilidad media son las que aparecen con mayor extensión en la región, comprendiendo toda la parte central, norte y noroeste, donde se encuentran las secuencias del Neógeno con características de litologías inestables a pesar de comportarse en la región con cierta estabilidad como son las margas que con aumento de la humedad y el contenido del material arcilloso aumenta su capacidad de hinchamiento, disminuye su resistencia y se comportan de forma inestables. Por otra parte las argilitas y conglomerados que son considerados litologías inestables. Sin embargo, se localiza en la parte central del área de trabajo, donde predomina un relieve llano a suavemente ondulado lo que determina a pesar de sus características que la susceptibilidad sea media. Las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del Grupo El Cobre agrupadas según Savarenski-Lomtadze (1970) y Guardado (1982) como rocas semiduras presentan una fuerte meteorización y agrietamiento lo que hace que disminuya su resistencia y por tanto disminuye su estabilidad. En las fotos que aparecen en el Anexo No.4 se puede observar el comportamiento de estas litologías en taludes artificiales en la región de estudio.

Por último las zonas de susceptibilidad litológica alta aparecen en las zonas llanas; bordeando la bahía y en las llanuras aluviales del río San Juan y Sardinero; donde se localizan los depósitos marinos y aluviales que son litologías inestables, generalmente sedimentos sueltos, sin cohesión y de poca resistencia, y con una alta inestabilidad.

El análisis del **Mapa de la profundidad del nivel freático (MT-4)** (ver Figura 3.6) arrojó que la profundidad de las aguas subterráneas en el área de trabajo varía en un rango de 0 a 10 metros, pudiendo ser mayor en algunos sectores hacia el norte y el sur del área, lo que indica que las zonas donde mayor

influencia tiene este factor en la susceptibilidad a los deslizamiento son los alrededores de la bahía y en la cuenca del río San Juan, específicamente las área con cotas topográficas favorables a la ocurrencia del fenómeno. Hacia en norte y sur donde predominan las elevaciones su influencia es baja ya que la profundidad de las aguas subterráneas sobrepasa los 10 metros.

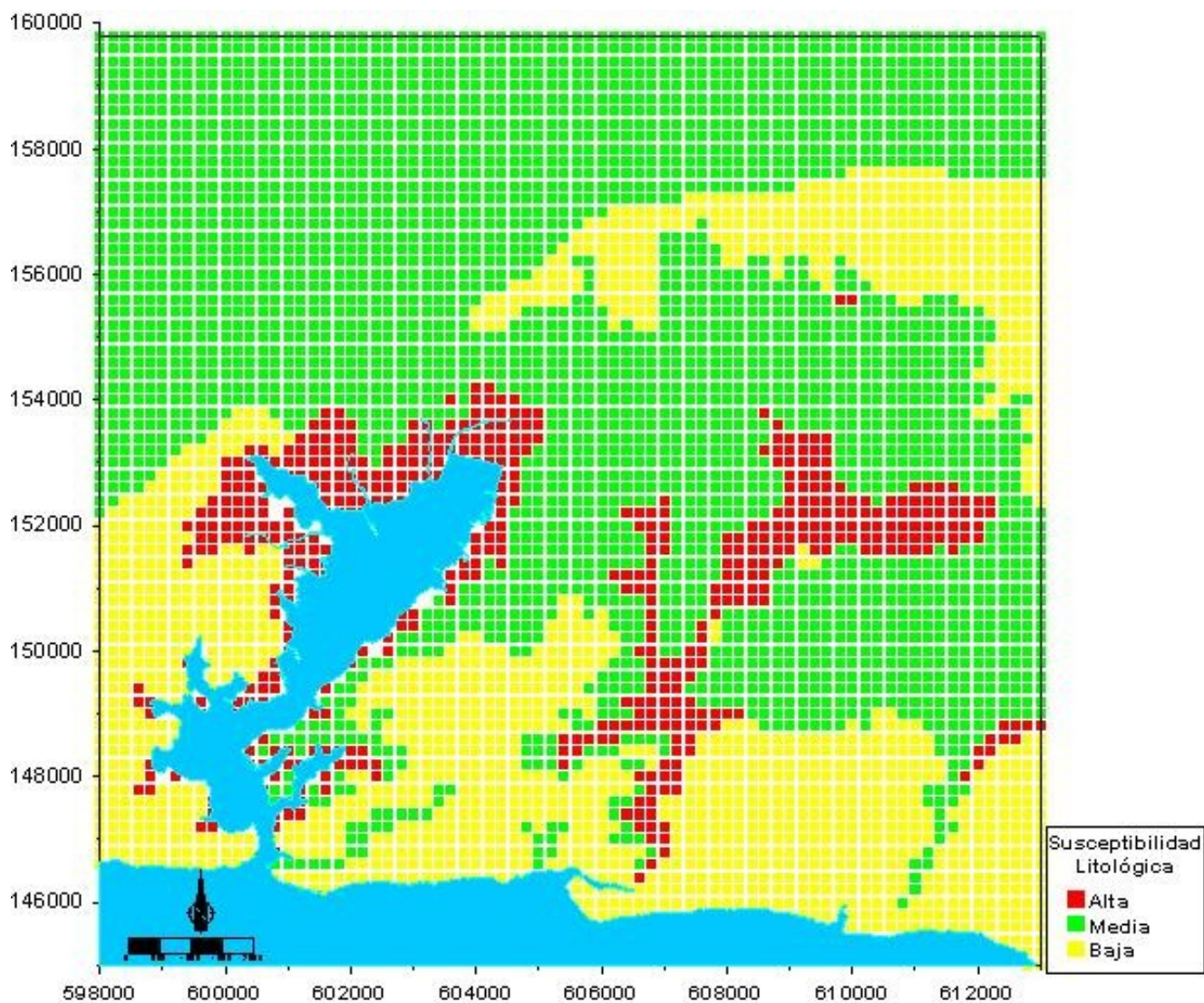


Figura 3.5. Mapa de Susceptibilidad Litológica de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala: 1:25 000.

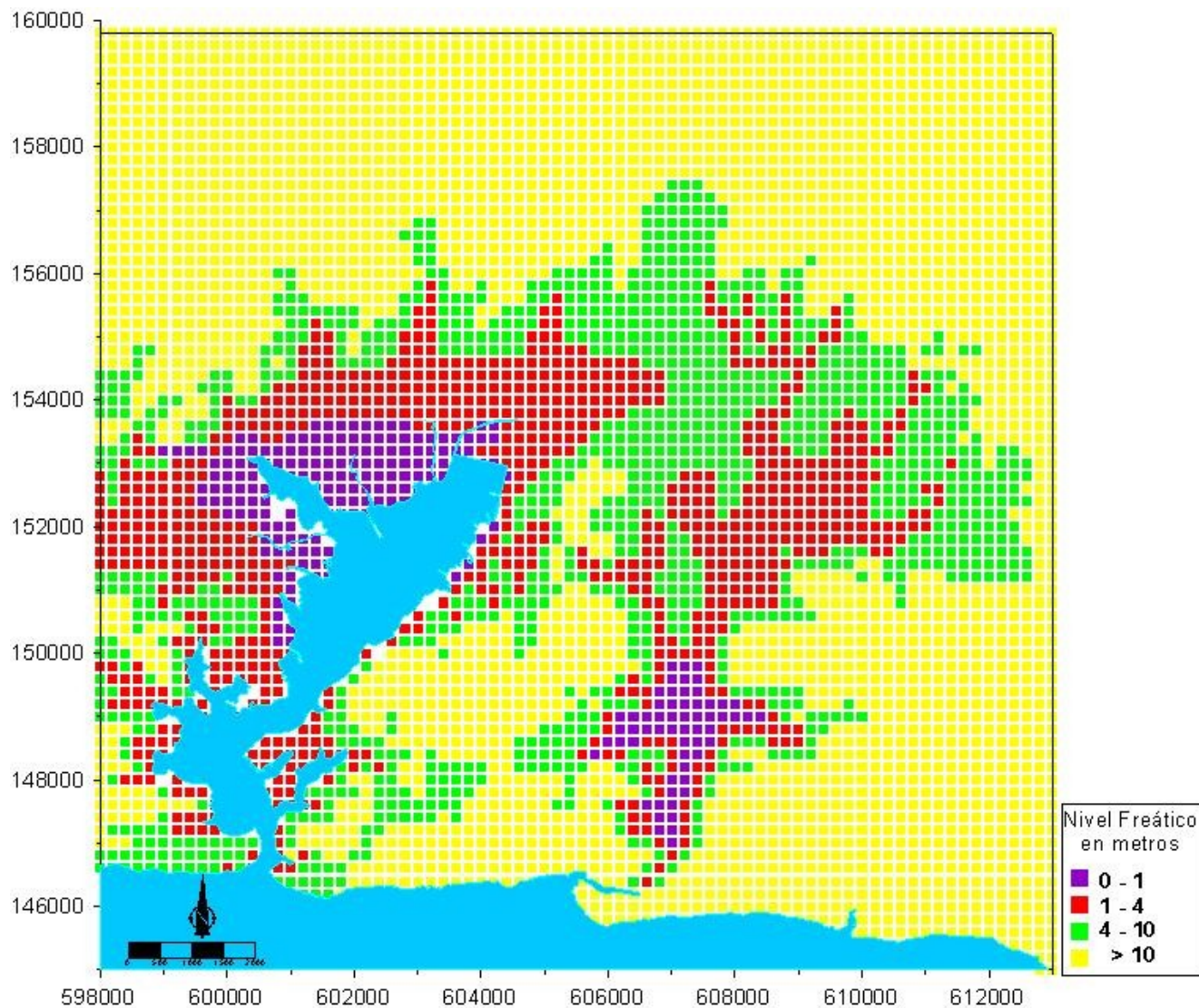


Figura 3.4. Mapa de profundidad del nivel freático de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores. (González y otros, 1984) Escala: 1:25 000.

En la Figura 3.5 se presenta el **Mapa de Fracturación (MT-5)**. Las rocas que aparecen en el área de estudio en sentido general tienen una elevada cohesión y resistencia, su estabilidad a la ocurrencia de fenómenos gravitacionales está dada en mayor medida por las discontinuidades que estas presenten, factor al que mayor peso le dimos en este estudio, como se puede observar en el mapa existe una gran diferencia entre las rocas y semirrocas más jóvenes de edad Neógeno - Cuaternario y las rocas del Grupo El Cobre del Paleógeno, destacándose en estas últimas un mayor número de sistemas de fracturas que dividen al macizo en diferentes bloques jerárquicos, lo que conjuntamente con los planos de estratificación y las diferentes fallas que la atraviesan, condicionan la mayor susceptibilidad de estas secuencias de rocas.

En el caso de las secuencias carbonatadas Neógeno-Cuaternarias, tienen menor dureza llegando en ocasiones a constituir suelos. Sin embargo, manifiestan mayor estabilidad porque prácticamente presentan en menor grado discontinuidades o aparecen de forma muy esporádica, aunque en las rocas que aparecen en la cuenca del río San Juan existe un aumento del número de fracturas lo que indica la existencia de varios sistemas que afectan la estabilidad del macizo en esta zona (ver fotos del Anexo No. 4).

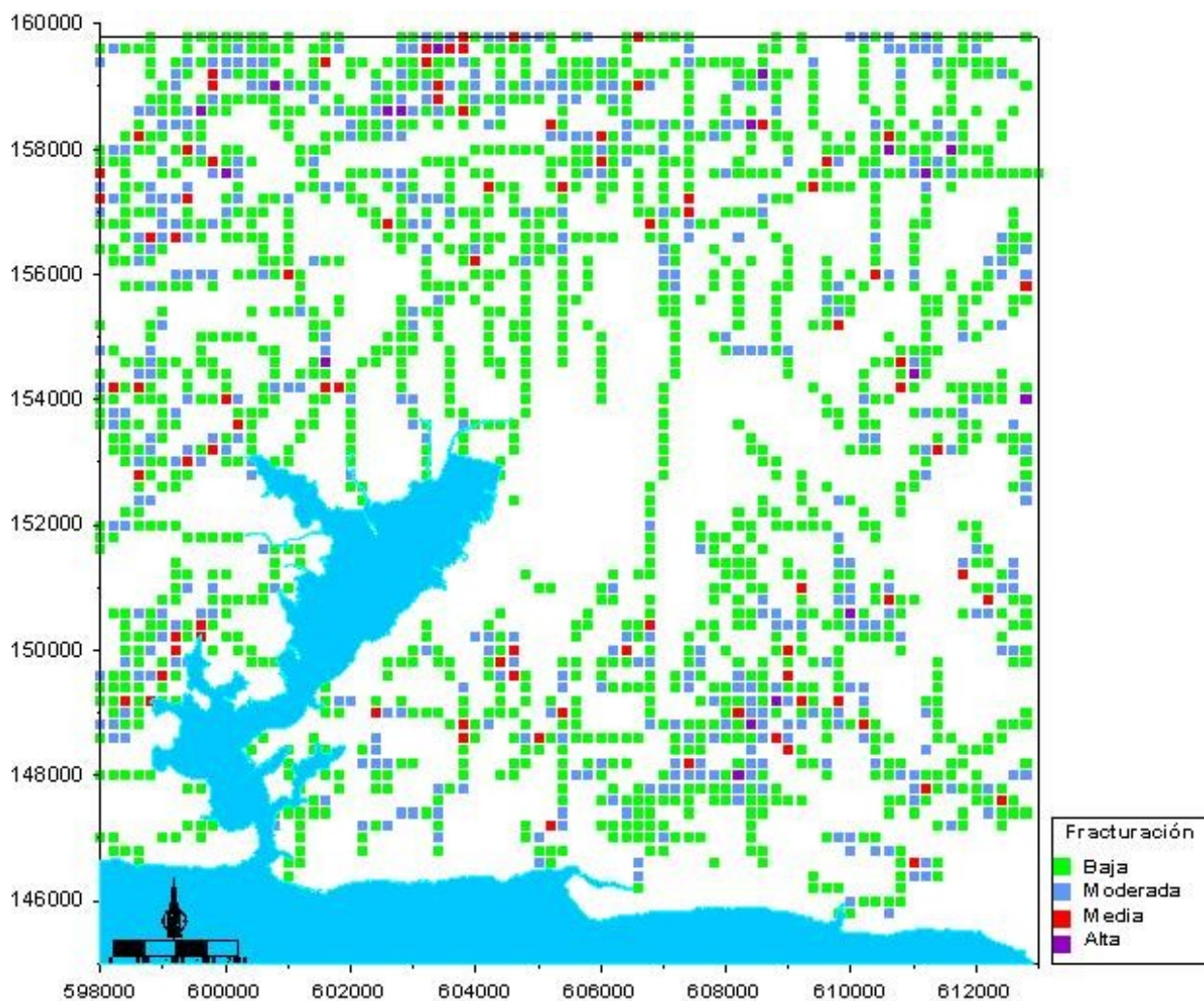


Figura 3.5. Mapa de Fracturación de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

Escala: 1:25 000.

En el **Mapa de Uso de Suelo (MT-6)** (Figura 3.6) los objetivos económicos Q son: Frigorífico “Santiago I”, Frigorífico “Santiago II”, Fábrica de Hielo “La Unión”, Fábrica de Hielo “Los Guaos”, Fábrica de Helados “Siboney”, Fábrica de Productos Químicos “La Cubana”, Base Espectral CATM, Combinado “30 de Noviembre”, Empresa. Mayorista Productos del Mar, Planta de Filtro,

Termoeléctrica “Héctor Pavón”, Fábrica de Cemento “José Mercerón”, Acueducto “San Juan”, Termoeléctrica “Antonio Maceo”, Fábrica de Hielo “Santiago”, Fábrica de Hielo “Búlgara”, Refinería “Hermanos Días”, Cervecería Destilería “Hatuey” y la Fábrica de Productos Lácteos. Además de la zona portuaria por su vitalidad.

Como *objetivos de II orden*: Presa Parada, Micro Presa La Campana, Escuela de Trabajadores Sociales, Retomed, Pedagógico Frank País, Universidad de Oriente, Hospitales, Almacenes de la Empresa Mayorista. Como *poblados* se tomaron el poblado EL Caney con sus repartos (El Espejo, Las Flores Militar, Las Flores, El Modela, San Andrés, La Caridad, Santa Teresa y Ducoreaux), el poblado de Boniato con sus repartos (La Barbina, Entronque de Boniato y Prosperidad) y los repartos El Morro, La Socapa, Ciudadamar, Barrio Técnico, Nuevo Santiago, Miramar, Punta Gorda, La Caoba, El Castillito, Kilómetro Diez, y Barrio Militar.

En *los cultivos* aparecen las áreas sembradas de mango en la zona del poblado de El Caney, con mayor extensión, los huertos, hortalizas y organopónicos de la llanura del río San Juan y en pequeños sectores en la ciudad, algunos campos de caña y café hacia la parte norte de la región. El resto del área se encuentra cubierto por una *vegetación* típica para cada zona.

En este Mapa queda claramente definido que la *clase 1 o de importancia baja* abarca aproximadamente un 68.9 % de área de estudio (color verde claro), la *clase 2 o moderada* un 3.5 % (color verde), la *clase 3 o media* un 3.9 % (color violeta claro y rosado) y la *clase 4 o de importancia alta* un 15 % del área de trabajo (violeta y rojo). No se incluyen los viales.

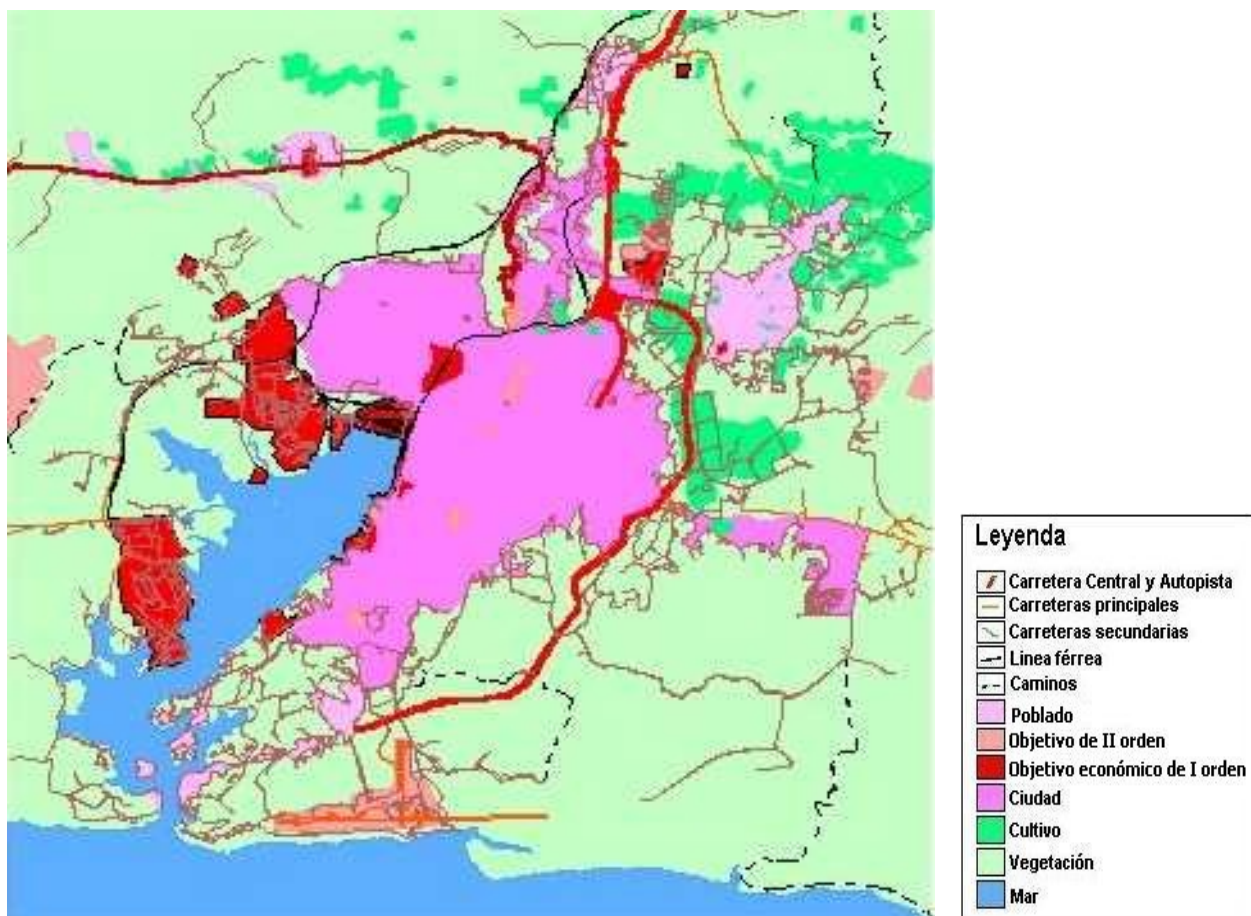


Figura 3.6. Mapa de Uso de Suelo de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores
Escala 1:25 000.

Como regla general, el esquema de fallas activas obtenido en el **Mapa de Fallas Activas (MT-7)** (Figura 3.8) refleja que las principales direcciones de debilidad tectónica son NE-SW, parten de Mar Verde - Ermitaño a El Cristo - La Maya - Alto Songo, bordeando al este (E) y al norte (N) a la cuenca de Santiago de Cuba en forma de arco. Esta zona de fallas se refleja muy bien en los puntos de las líneas que las cortan, donde el comportamiento de las deformaciones alterna en las diferentes estructuras disyuntivas delimitadas. Considerando que las principales afectaciones ante la ocurrencia de un sismo fuerte en la ciudad de Santiago de Cuba pueden verse incrementadas en estas zonas, porque son zonas débiles donde se producen incrementos de la intensidad sísmica, movimientos diferenciales por constituir límites de bloques con diferente dinámica, así como por servir las mismas como guía de ondas desde el foco sísmico o hipocentro; de ahí la importancia de considerar su influencia en el Peligro por Deslizamiento en caso de un sismo de moderada o gran intensidad.

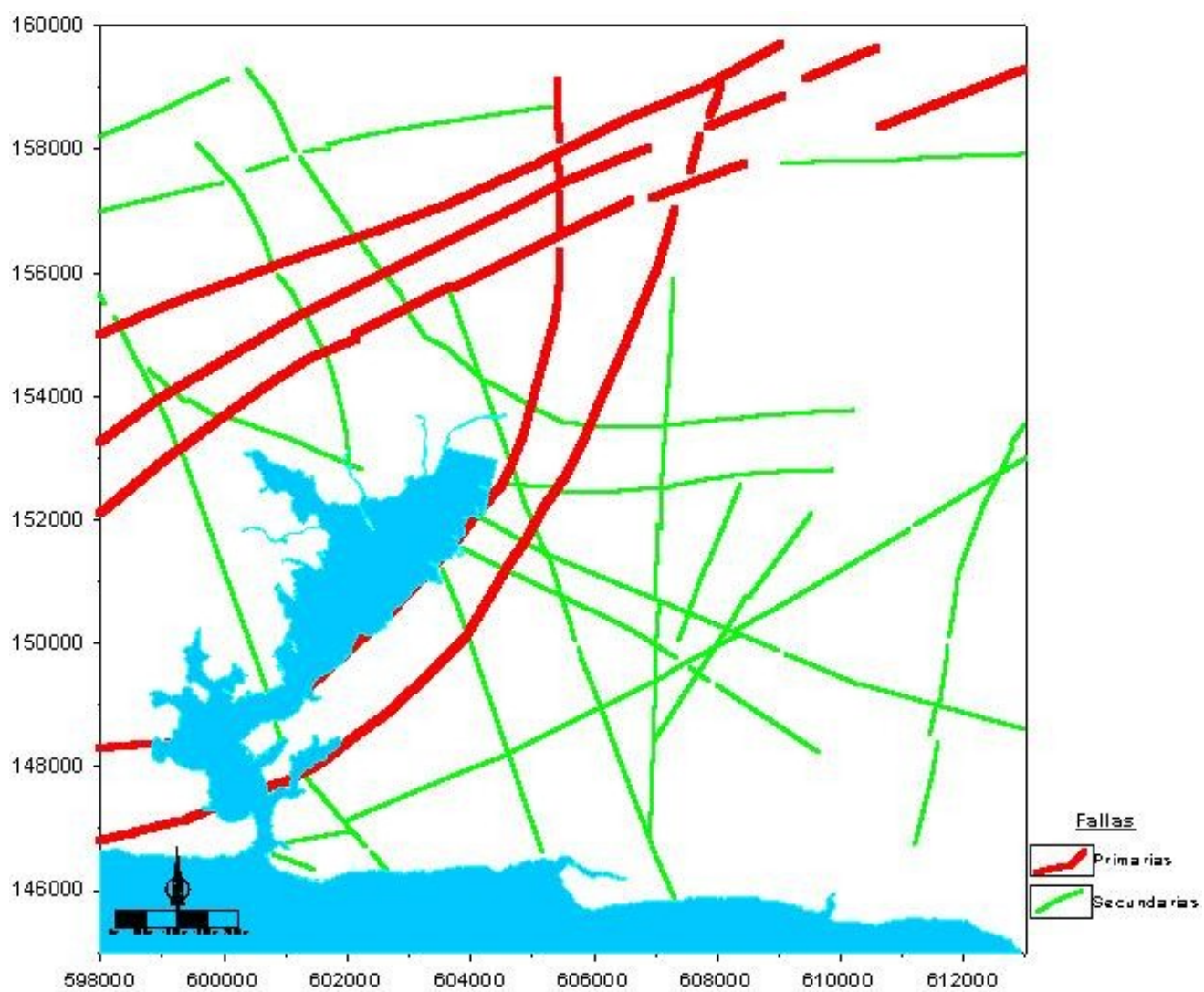


Figura 3.7. Mapa de Fallas Activas de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000.

Los valores de intensidad (I) obtenidos del **Mapa Peligro Sísmico Regional (MT-8)**, $T \approx 100$ años van de 8 a 9 grados (MSK), como se observa en la Figura 3.8. La intensidad de 9 grados se localiza al sureste del área, desde la cuenca del río Sardinero hasta el límite de la ciudad, la intensidad de 8.5 grados predomina en toda la región incluyendo todo el oeste, centro y noreste, zonas donde se localiza todo el desarrollo urbano e industrial de la ciudad de Santiago de Cuba, y por último los valores de 8 grados solo aparecen hacia el extremo noroeste, en una pequeña zona despoblada.

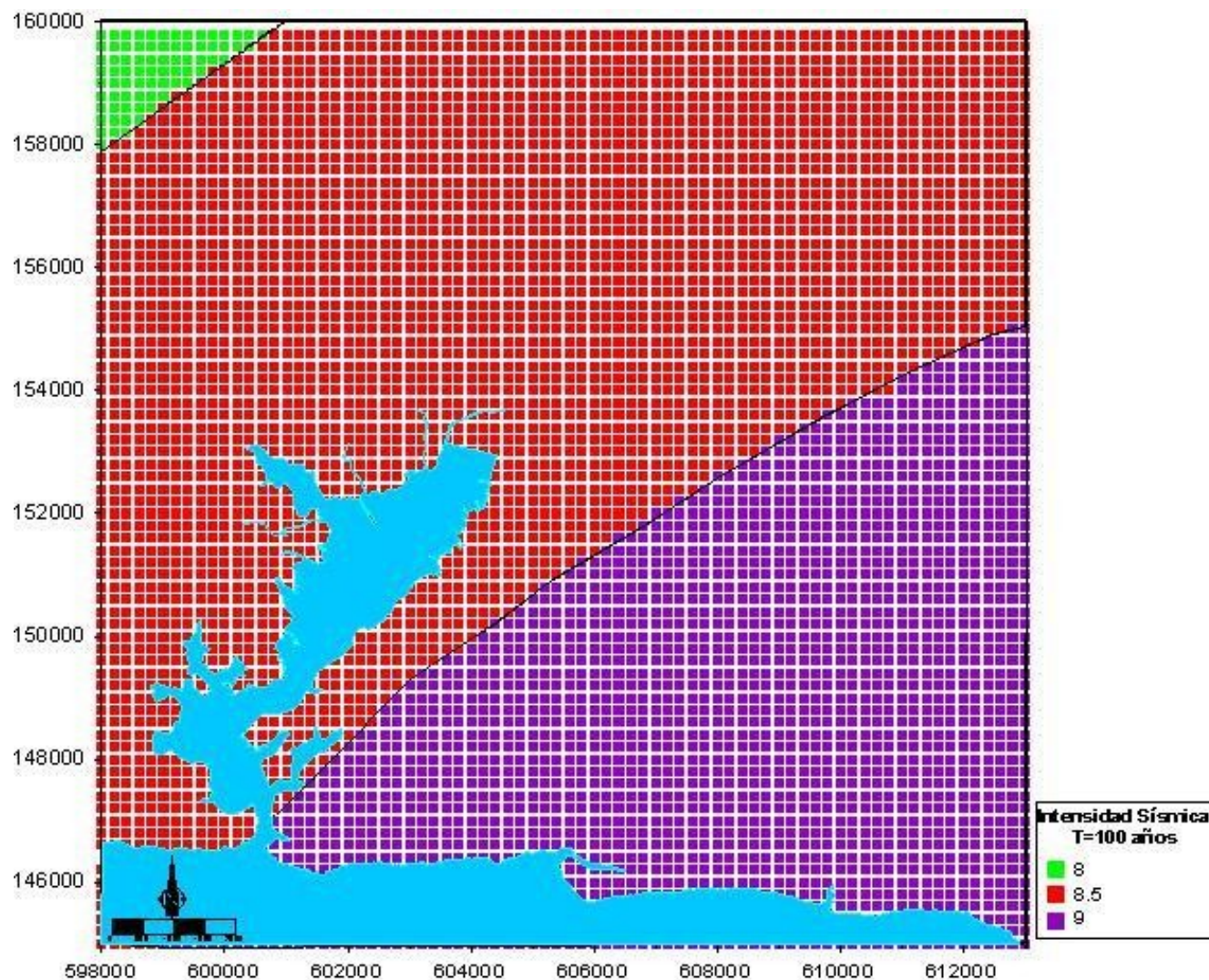


Figura 3.8. Mapa de Peligro Sísmico Regional de la ciudad de Santiago y sus alrededores (Terremoto 3 de febrero de 1932). Escala 1:25 000.

Los resultados obtenidos del **Mapa de Respuesta de Suelo (MT-9)** se presentan en la Figura 3.9, donde para un terremoto dado:

- Existirán incrementos de + 2 grados de intensidad en los alrededores de la bahía siendo mayores en la zona norte de la misma que incluye la parte baja del Distrito José Martí, los repartos San Pedrito, Agüero, Marimón, Nuevo Vista Alegre, también las zonas alrededor de las Avenidas Lorraine con la parte baja del Casco Histórico y Yarayó hasta la Plaza Antonio Maceo y el Teatro Heredia. Hacia el oeste en la bahía de Miradero.
- Existirán incrementos de + 1 grado de intensidad en la zona media y alta del Distrito José Martí, el resto del Casco Histórico los repartos La Risueña, Sueño, Santa Rosa, Los Pinos, Veguita de Galo, Portuondo, parte de Santa Bárbara y la zona de Trocha, además en la zona central del valle de inundación del río San Juan entre la Carretera de Siboney y el área de la EIDE.
- Sin incrementos de intensidad estarán la zona de los Distritos Abel Santamaría y Antonio Maceo, los repartos Versalles y Vista Hermosa, además la zona del Aeropuerto, el Morro hacia la costa.
- Existirán decrementos de – 1 grado de intensidad en la zona al norte de la Carretera Central.
- Existirán decrementos de – 2 grados de intensidad en la zona oeste de la bahía y la zona del poblado de El Caney y zonas de los alrededores.

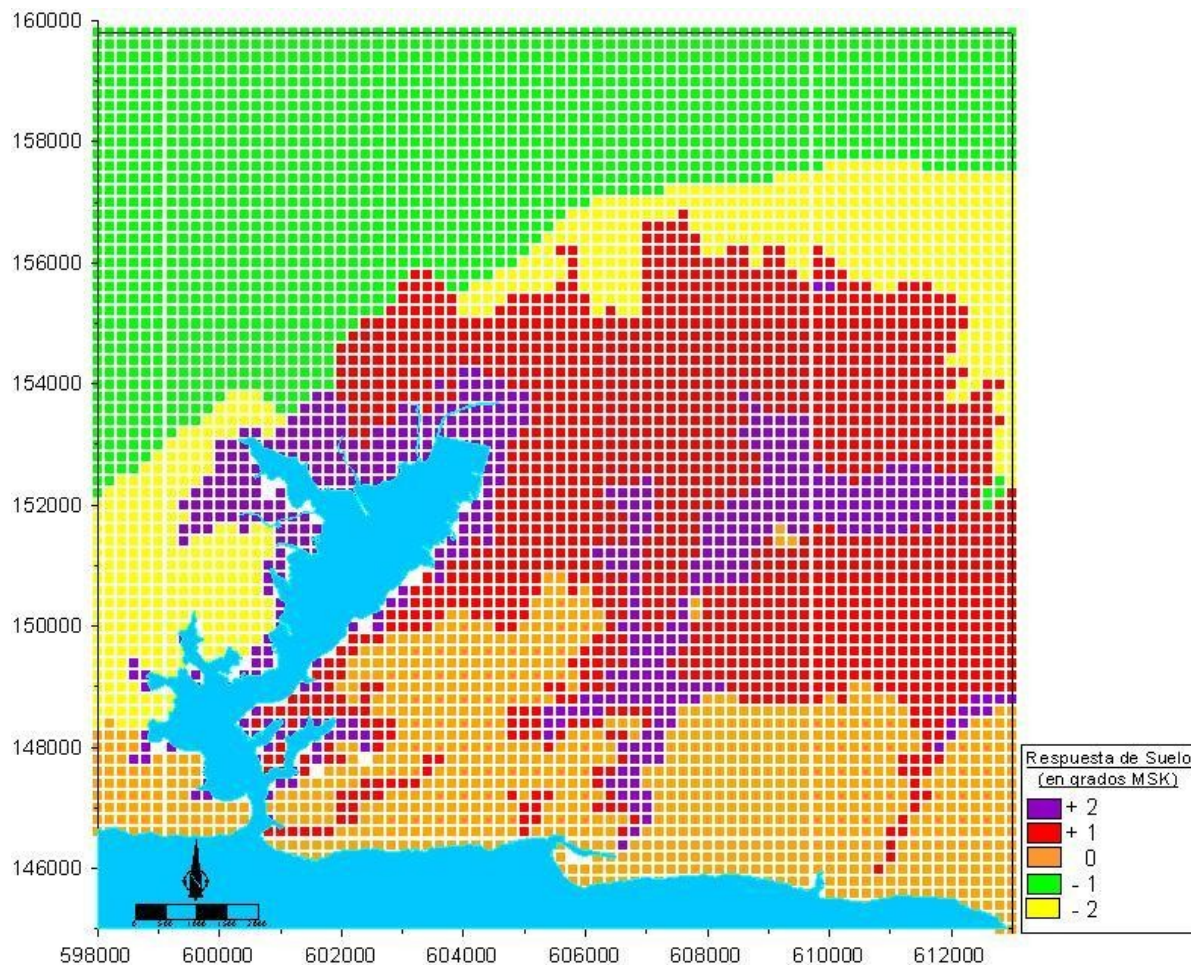


Figura 3.9. Mapa de Respuesta de Suelo de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000

Determinación del Peligro por Deslizamiento.

De la aplicación del método de Mora y Vahrson (1991) se obtuvo que los factores de susceptibilidad y disparadores se comportaron como se expone a continuación:

Factores de Susceptibilidad.

➤ **Sr (susceptibilidad por el relieve).**

El factor Sr alcanza valores de susceptibilidad de insignificante hasta muy alta (0-5), observándose un predominio de valores bajos de susceptibilidad (0 y 1) coincidiendo con la zona del desarrollo urbano de la ciudad. Los valores de susceptibilidad 2 y 3 se localizan hacia el norte, en las periferias de la ciudad, así como en su límite sur, la meseta de San Juan. La susceptibilidad por el relieve (Sr) alcanza valores de

4 y 5 en el extremo norte de la cuenca en un pequeño sector en la meseta de Boniato y El Bonete. (Ver Figura 3.1)

➤ **Sh (susceptibilidad por humedad del suelo).**

Al sumar los valores asignados a las precipitaciones mensuales de los 9 años analizados, según la tabla A1.2 y realizar el ajuste artificial de las precipitaciones según tabla A1.2, se obtuvo que las sumas de los valores asignados por pluviómetro toman valores de 3 y 4 (Anexo No.5), que al clasificarlos por la tabla A1.4, el valor de este índice en el área es de $Sh=1$ (Tabla 3.1). Por tanto la influencia de las precipitaciones en la humedad del suelo para el período analizado es muy *baja*.

Tabla 3.1. Ajuste artificial de precipitaciones mensuales promedios y valor de Sh.

Equipos	Suma de las precipitaciones promedios	Valor de Sh
829 – Aeropuerto	3	1
1331 – Paradas	3	1
1486 – Chalóns	4	1
1504 – Ambrosio Grillo	3	1
1528 – El Caney	3	1
1529 – El Cobre	3	1
1647 – Santiago 4	4	1
1648 – Santiago 6	4	1
1655 – Santiago 2	4	1

➤ **Sg (susceptibilidad geológica).**

Los valores de mayor susceptibilidad geológica se localizan en los valles aluviales de los ríos donde se encuentran las condiciones ingeniero-geológicas más desfavorables y algunas zonas dentro del grupo El Cobre donde el nivel de fracturación es elevado. Las zonas con susceptibilidad moderada y media coinciden con los sedimentos no consolidados de la zona de la bahía y los valles aluviales, la susceptibilidad baja se localiza en las rocas del grupo El Cobre con poco nivel de fracturación, en las calizas estables de la Formación La Cruz, calcarenitas y calizas de las formaciones Maya, Jaimanitas y el Conglomerado Camaroncito, como se muestra en la Figura 3.11.

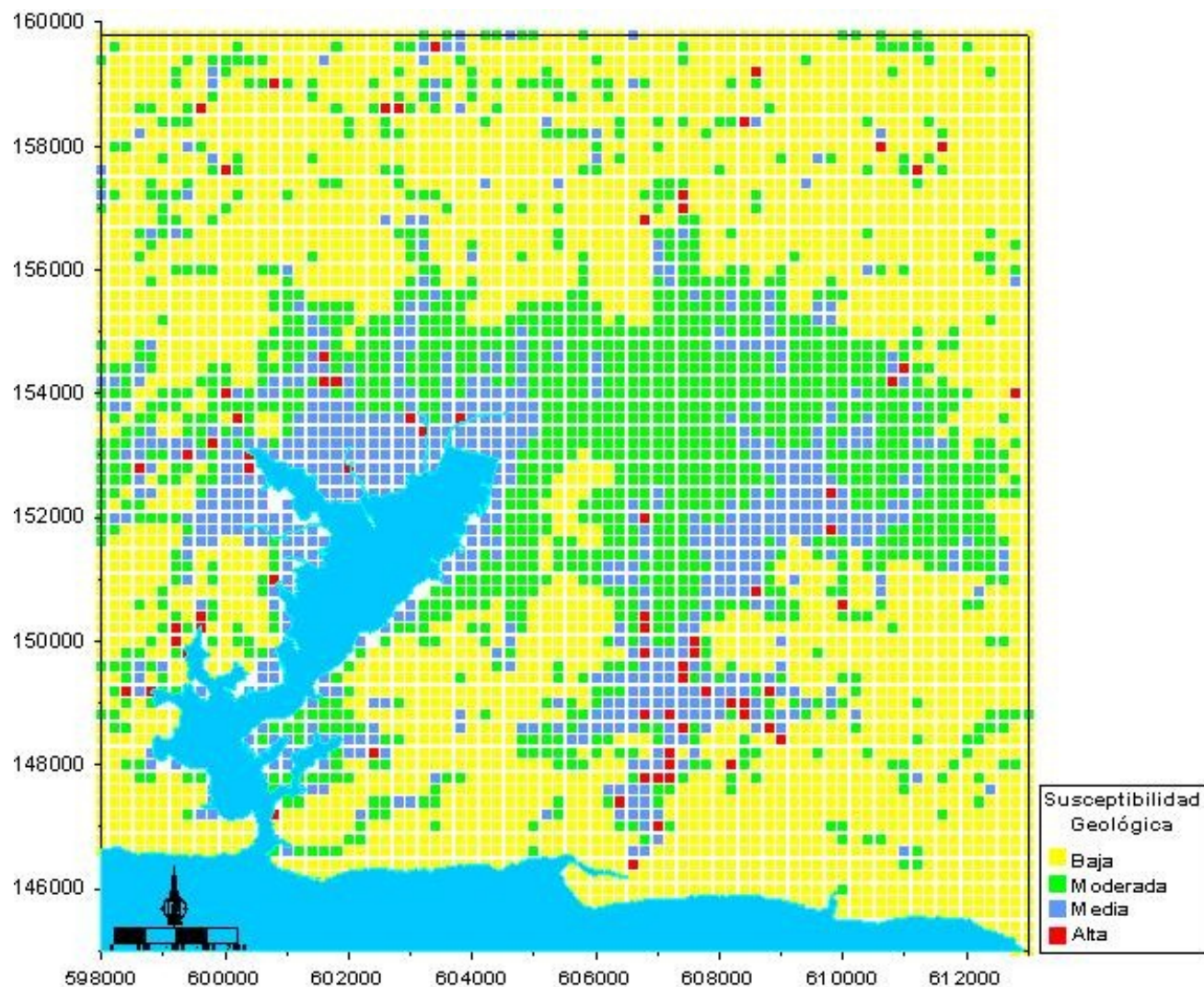


Figura.3.10. Mapa de Susceptibilidad Geológica de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000.

Potencial Disparador.

➤ **Tp (influencia de la intensidad de las precipitaciones):**

A las series de observación de los equipos pluviométricos Santa Rosa, Universidad, San José, Aeropuerto y Caney, mediante el programa DEPURA (Depuración de Datos) del Centro de Investigaciones Hidráulica, ISPJAE, se comprobó la correlación y homogeneidad con el T' Student, Fisher y con el T' Crámer, resultando ser homogéneas y con buena correlación. Luego con el método de Regresión Lineal se le completó los datos faltantes.

Para obtener la intensidad de las lluvias máximas que pueden ocurrir en el área de estudio, fue sometida a pruebas de distribuciones teóricas de probabilidades las series de lluvias máximas anuales para 24 horas de los equipos pluviométricos con vista a definir bien la lámina máxima de las lluvias para el 1 % de probabilidad de ocurrencia (período de retorno de 100 años) mediante el software AFM (Análisis de Frecuencia Multi) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina, el cual contempla el análisis con las distribuciones teóricas: Log Gauss, Gumbel, GEV, Pearson, Log Pearson y Exponencial. Del análisis realizado se obtuvo que las curvas de distribuciones teóricas las de mejores ajustes son la GEV, Pearson y Log Pearson por presentar los menores errores cuadráticos medios de la variable, por tanto los valores de lluvia máxima que serán utilizados son los que se corresponden a estas curvas.

Las lluvias máximas para la probabilidad del 1 % varían entre 310 y 430 mm, por tanto el valor de T_p varía entre 4 y 5 es decir de Alta a Muy Alta, en este caso solo trabajamos con el valor de 4 (alta) porque no era posible establecer esta variación en el área de estudio teniendo en cuenta el radio de influencia de los equipos y además porque el $T_p = 5$ solo era en un equipo donde el valor de lluvia máxima es muy próximo al límite superior del $T_p = 4$ (Tabla 3.2). En el Anexo No.6 se muestran el ajuste de las curvas de distribuciones y sus errores cuadráticos medios de la frecuencia y de la variable, obtenido para la serie de los equipos analizados.

Tabla 3.2. Valores de lluvia máxima para una probabilidad del 1% y de Tp

Equipos	Curva de Mejor Ajuste	Lluvia máxima para el 1 % (mm)	Valor de Tp
Santa Rosa	GEV	335.2	4
Universidad	GEV	425.2	5
San José	LOGPEARSON	346.0	4
Aeropuerto	LOGPEARSON	310	4
Caney	PERSON	330	4

➤ **Ts (influencia de la Intensidad Sísmica):**

Las zonas de mayor peligro ($I_{max} = 10$ y 11 grados en la escala MSK), están localizadas en el valle aluvial del río San Juan y el borde de la bahía tanto en la zona urbana (afectadas con un grado similar en el 1932) como en la zona industrial, mientras que en la parte norte de la zona urbana y el límite norte del Distrito Urbano “Abel Santamaría” se esperan sacudidas de 9 grados en la misma escala. En casi toda la porción sur, coincidiendo con el límite costero se esperan intensidades de 8 grados e intensidades de 7 y 6 grados en toda la zona norte de la cuenca, coincidiendo con las rocas del Grupo El Cobre. Al clasificar este mapa según la tabla A1.6 obtuvimos que la influencia de la intensidad sísmica (T_s) en la región de estudio alcanza valores entre 4 y 9, es decir desde moderada hasta muy alta.

Peligro de Deslizamiento.

Como se observa en el mapa de la Figura 3.12, los valores obtenidos del Peligro por deslizamiento van de insignificante a medio, lo que significa que la ocurrencia de este tipo de fenómeno es poco probable en gran parte del área, bajo la acción de sismos de gran intensidad o intensas lluvias; siendo la zona situada al norte y la cuenca del río San Juan, las que mayor grado de peligro presentan por la incidencia del conjunto de factores de Susceptibilidad evaluados en este trabajo. Las zonas con peligro medio en el borde este de la bahía a lo largo de la carretera turística desde Altamira hasta Punta Gorda están condicionadas por el alto grado de susceptibilidad del relieve presente en esta área, por tanto es necesario tener en cuenta su Peligrosidad para el desarrollo socio-económico futuro de la ciudad.

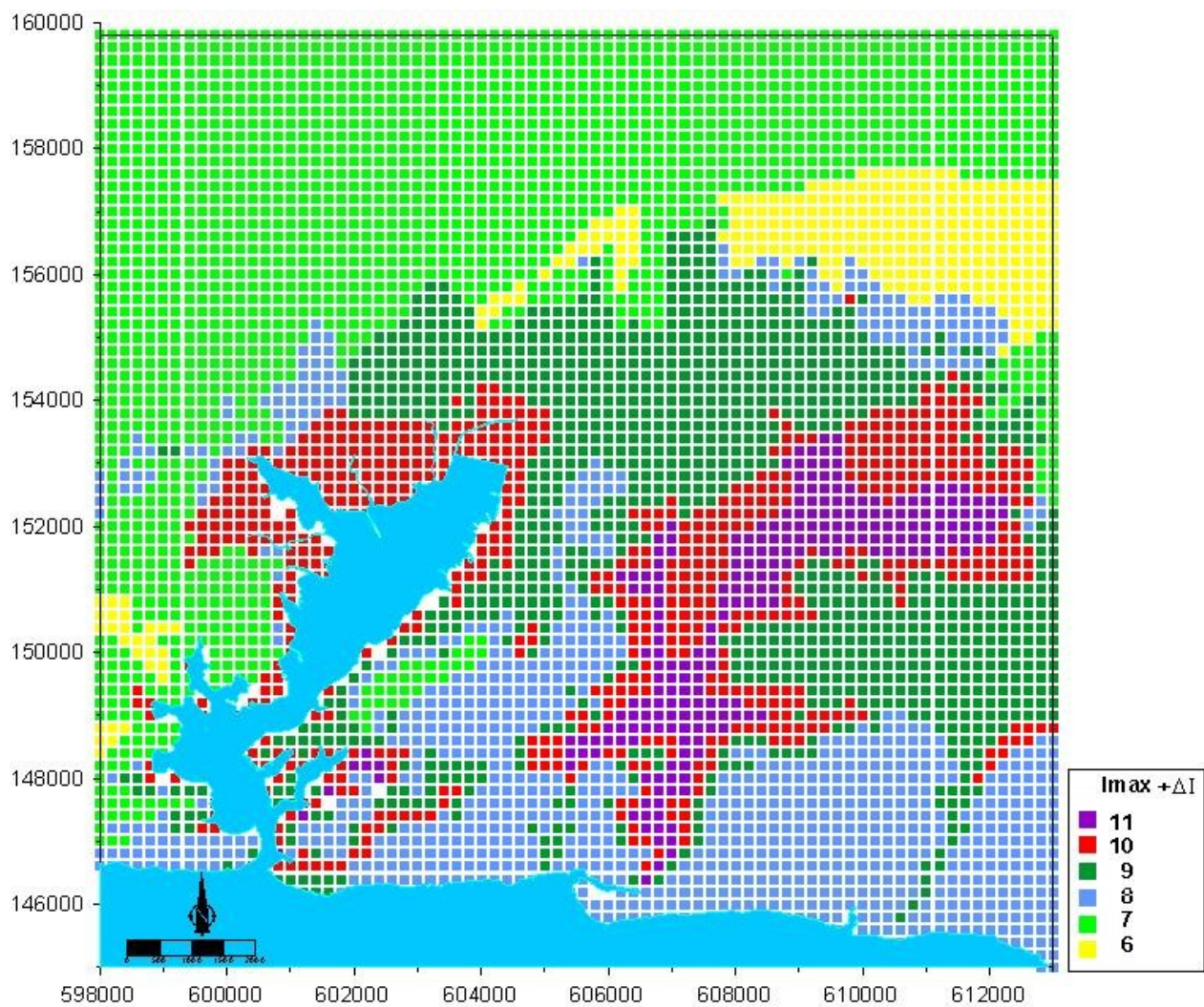


Figura 3.11. Mapa de Efecto de Sitio de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000.

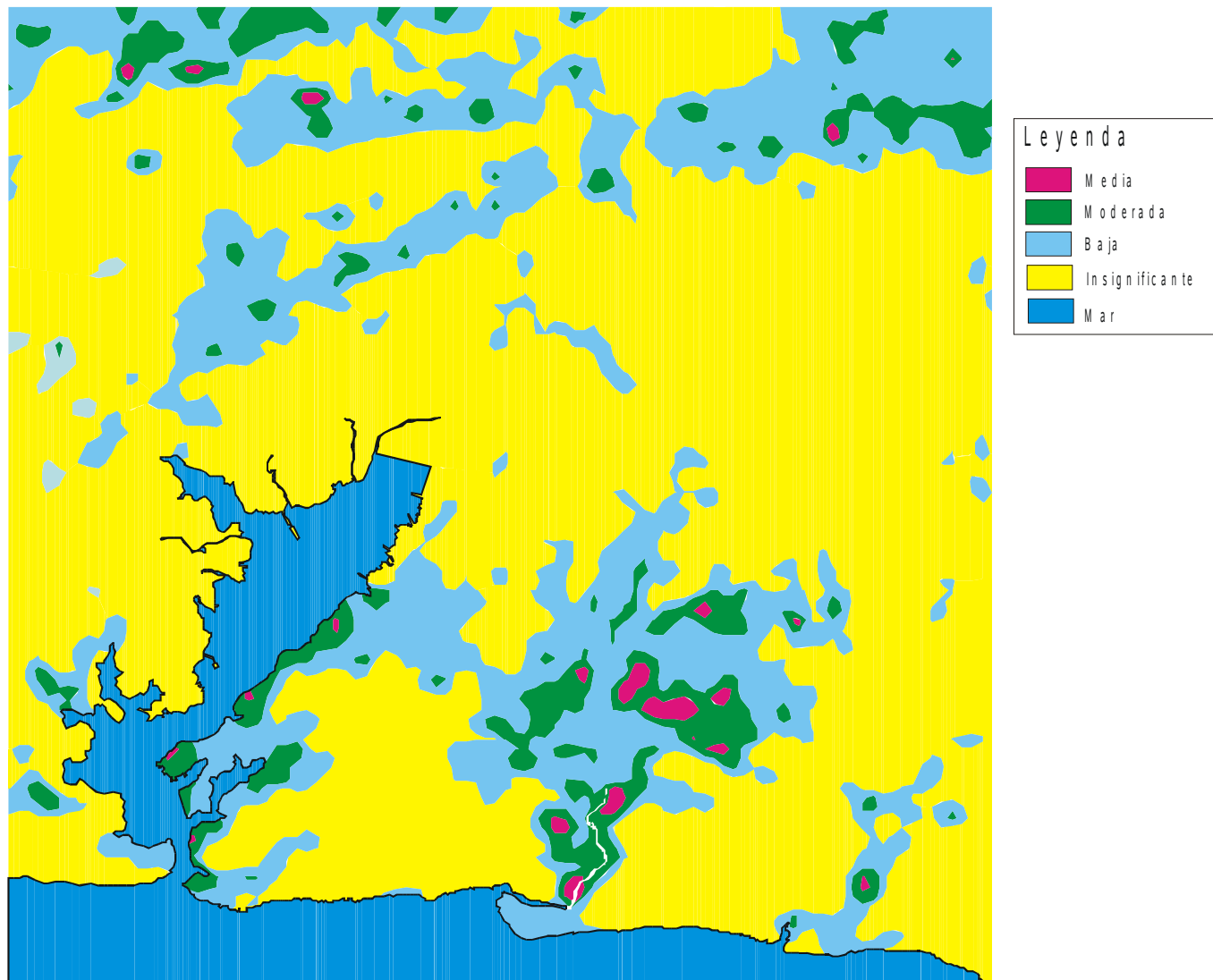


Figura 3.12. Mapa de Peligro por Deslizamiento de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000

Peligro de Deslizamiento por Inestabilidad Tectónica.

Como resultado del cruce de los mapas del Peligro por Deslizamiento y el de Inestabilidad Tectónica que se muestra en la Figura 3.13, se obtuvo que se producirán los máximos efectos en el borde este de la bahía donde se encuentran los repartos Vigía, Técnico y Punta Gorda. Pueden aparecer efectos al norte de los repartos Marimón, La Risueña, Cuabitas y el Distrito José Martí, así como en la cuenca del San Juan (Figura 3.14)

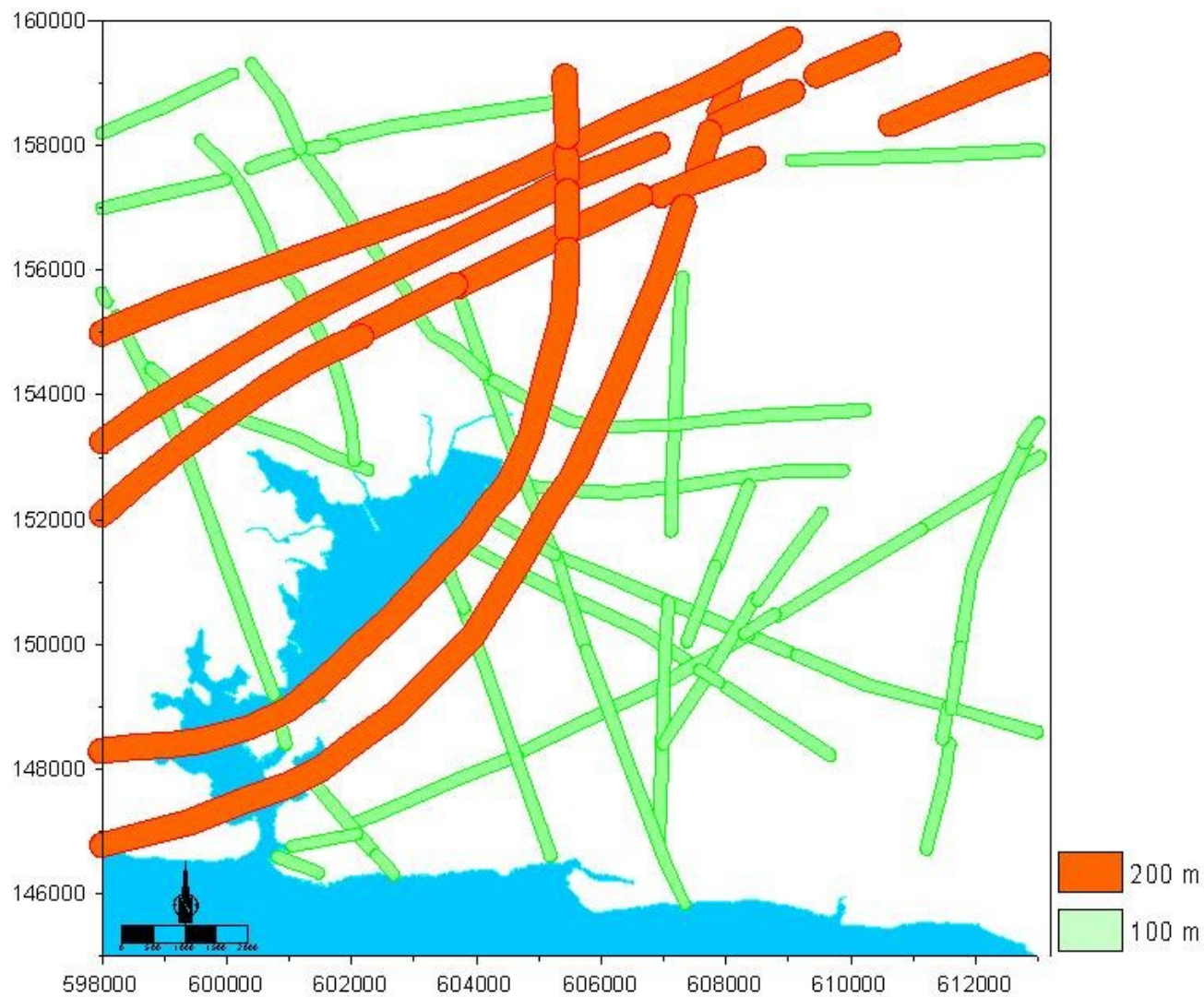


Figura 3.13. Mapa de Inestabilidad Tectónica de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000.

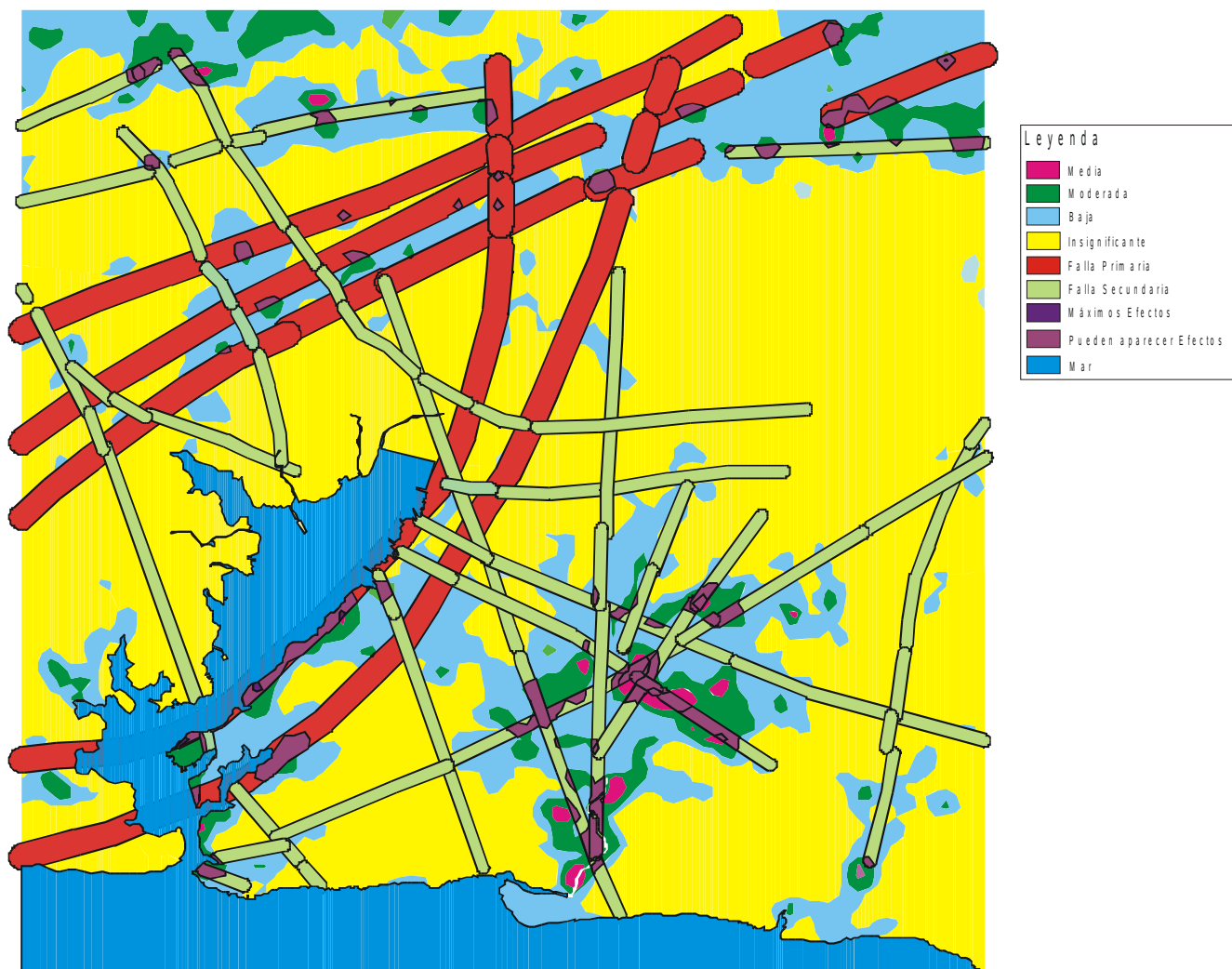


Figura 3.14. Peligro de Deslizamiento por Inestabilidad Tectónica de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores. Escala 1:25 000.

Estimación del Riesgo

La estimación la realizamos de forma cualitativa partiendo de que el peligro por deslizamientos se puede considerar como bajo, alcanzando valores medios solo en pequeños sectores en la región de estudio. Como resultado se obtuvo que el Riesgo también es de bajo a muy bajo, solo alcanza valores *moderados* en las áreas donde se encuentran la Fábrica de Cemento “José Merceron”, la Textilera “Celia Sánchez”, los repartos La Vigía, La Socapa, Ciudadamar, Cuabitas, y en la ciudad entre Versalles y el reparto Antonio Maceo, en los repartos Van Van y Venceremos (Figura 3.15, 3.16).

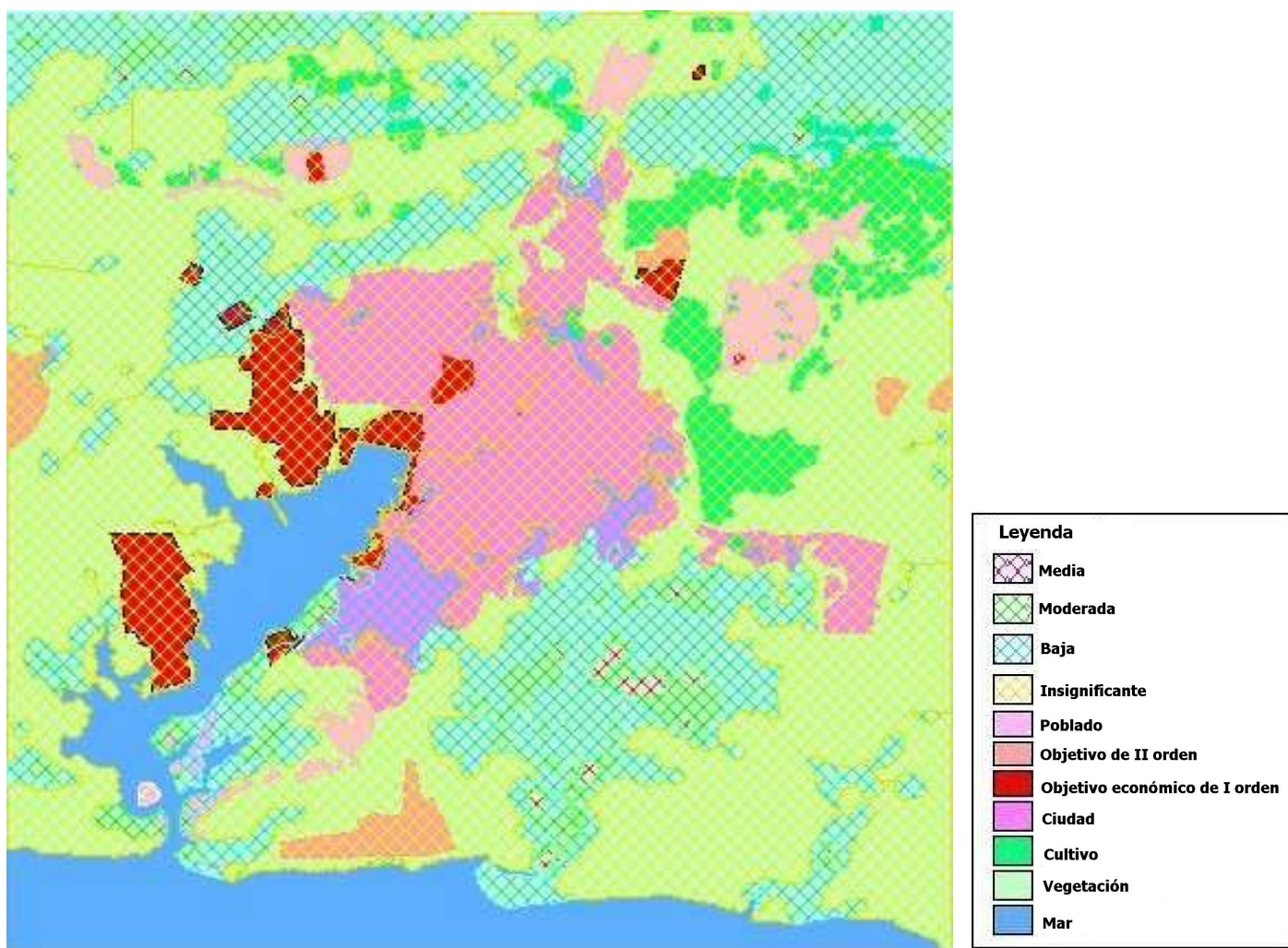


Figura 3.15. Riesgo por Deslizamientos en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.
Escala 1:25 000.

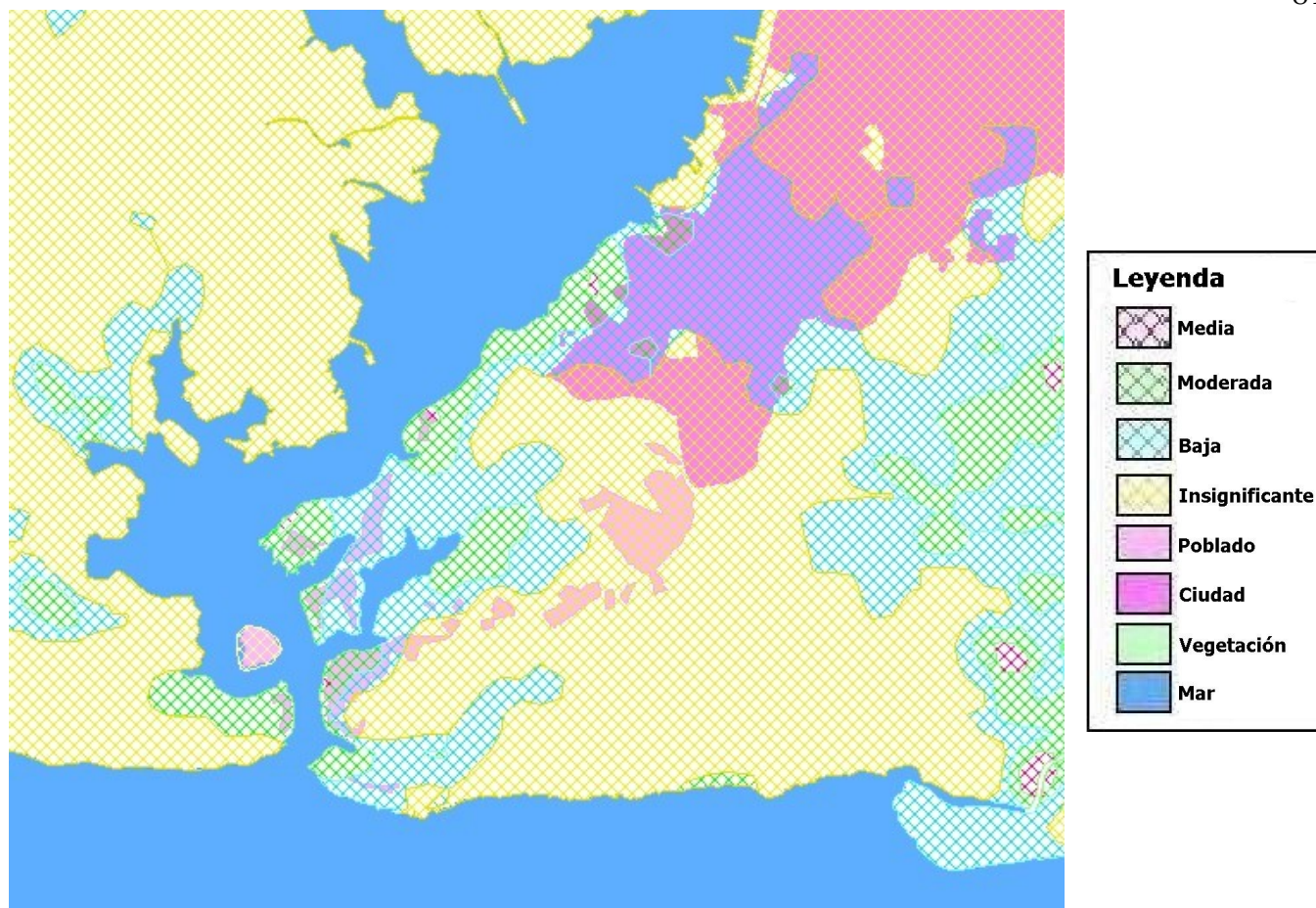


Figura 3.16. Ampliación de las zonas donde el Riesgo por Deslizamiento es Moderado.

Queremos plantear que el elemento *ciudad* se había subdividido en 5 subclases atendiendo a la susceptibilidad poblacional obtenida por García, 2001 de combinar la susceptibilidad habitacional y la densidad poblacional existente en la ciudad de Santiago de Cuba, (Ver Anexo No.7), pero la misma no la incluimos en la estimación del riesgo porque el elemento *ciudad* solo se ve afectado por valores del peligro insignificante y bajo, por tanto el riesgo es de muy bajo a bajo.

En los viales existentes en la región de estudio el riesgo muy bajo (Figura 3.15, 3.16), siendo moderado en cuatro tramos de la Circunvalación, específicamente en:

Tramo	X	Y	Longitud (metros)
1	605685-605945	148683-148709	260
2	606607-606907	149184-149676	576
3	607230-607251	150489-150622	185
4	697377-607583	150760-150914	255

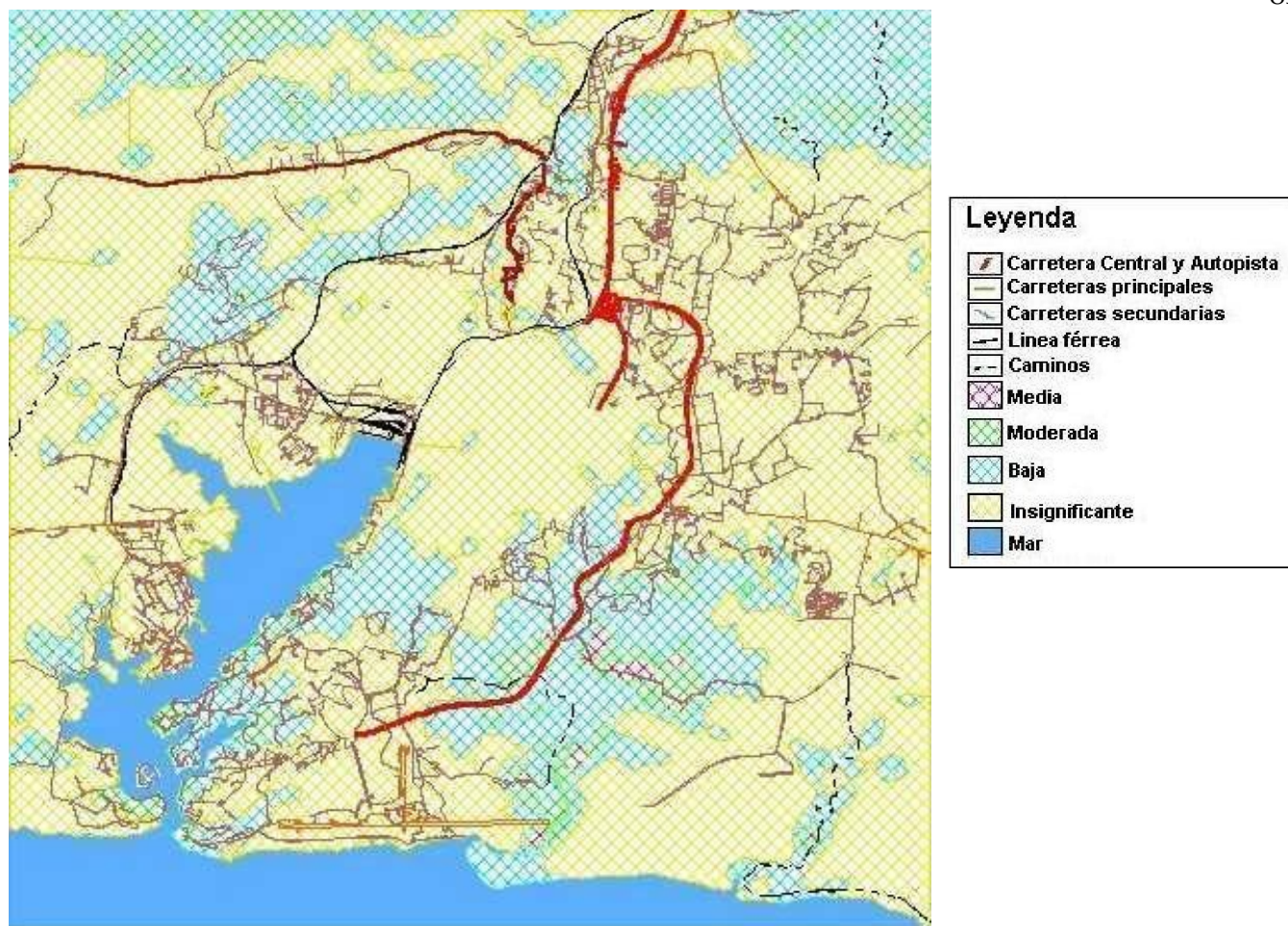


Figura 3.16. Riesgo por Deslizamiento en los Viales de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores. Escala 1:25 000.

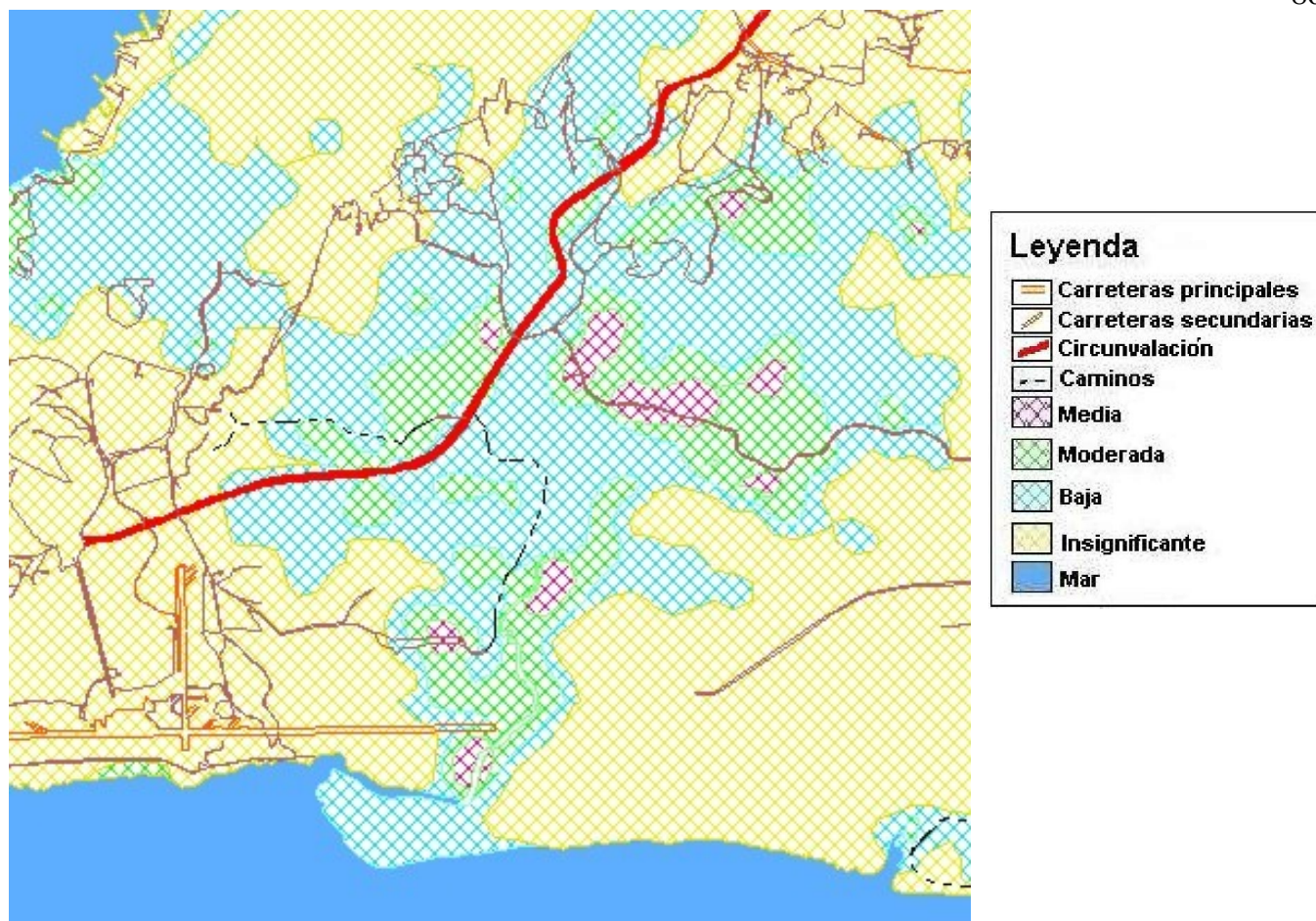


Figura 3.17. Ampliación de la zona donde el Riesgo por Deslizamiento en los Viales es Moderado.

CONCLUSIONES.

A modo de conclusiones podemos plantear las siguientes:

1. Para la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores se obtuvo el grado de susceptibilidad de la litología, nivel freático, fracturación, disección vertical, pendiente, peligro sísmico regional y respuesta de suelo a la ocurrencia de deslizamiento; los que se presentan en formas de mapas a escala 1:25 000.
2. Las áreas donde el relieve es menos susceptible a la ocurrencia de deslizamiento es en las zonas llanas o relativamente llana de la ciudad como son la zona Industrial, límite norte del Casco Histórico de la ciudad, llanura de inundación del río San Juan y algunas zonas del Poblado El Caney.
3. La incidencia de los elementos geológicos en el peligro por deslizamiento es baja en la región de estudio; pero ésta se puede incrementar en dependencia del grado de fracturación y la profundidad del nivel freático existente. Así lo demuestran las rocas semiduras del Grupo El Cobre y las rocas de la Formación La Cruz que forman las cuestas y crestas del norte y terrazas del sur respectivamente.
4. La influencia de las lluvias mensuales en la humedad del suelo como factor de susceptibilidad es baja. Sin embargo, si se analiza la influencia de las lluvias máxima es alta, ya que para un periodo de retorno de 100 que se corresponde con la lluvia máxima para el 1% de probabilidad alcanza valores entre 330 – 425 mm en los equipos utilizados para el análisis.
5. El Sismo como agente catalizador toma valores de T_s entre 4 – 9, es decir desde susceptibilidad **Moderada** hasta **Muy alta**. Se destacan las áreas más significativas en:
 - El valle aluvial del río San Juan y el borde de la bahía tanto en la zona urbana (afectadas con un grado similar en el 1932), como en la zona Industrial con $I_{max} = 10$ y 11 grados en la escala MSK ($T_s = 8$, $T_s = 9$)

- En la parte norte de la zona urbana y el límite norte del Distrito Urbano “Abel Santamaría” se esperan sacudidas de 9 grados en la misma escala ($T_s = 7$).
 - En casi toda la porción sur, coincidiendo con el límite costero se esperan intensidades de 8 grados ($T_s = 6$)
 - En toda la zona norte de la cuenca, coincidiendo con las rocas del Grupo El Cobre las con intensidades de 7 y 6 grados ($T_s = 4$, $T_s = 5$).
6. El Peligro por Deslizamiento es el resultado más importante en esta investigación, los valores obtenidos van de **Insignificante** a **Media**. Las zonas que mayor grado de peligro por deslizamiento presentan son:
- Pequeños sectores situados al norte del área y bordeando la cuenca del río San Juan.
 - Pequeños sectores al norte de los repartos Marimón, La Risueña, Cuabitas y el Distrito José Martí
 - El borde este de la bahía desde Altamira hasta el Morro.
 - En algunos sectores situados al suroeste de la bahía entre los que se incluye La Socapa.
7. La diferencia de este resultado con el existente anteriormente (Zapata, 1995) consiste en que este autor presenta zonas donde ocurre o no ocurre el deslizamiento, y en el presente trabajo se realiza una valoración cualitativa de la ocurrencia de este fenómeno donde el peligro es considerado como bajo llegando a ser medio solo en algunos sectores
8. Además de la interpretación del Peligro por Deslizamientos se presenta variaciones que se producirán en el Peligro por Deslizamiento ante la ocurrencia de un sismo de gran intensidad en las zonas de fallas activas, pudiendo aparecer efectos al norte de los repartos Marimón, La Risueña, Cuabitas y el Distrito José Martí, así como en la cuenca del río San Juan y los máximos efectos en el borde este de la bahía donde se encuentran los repartos Vigía, Técnico y Punta Gorda.

9. Como Resultado de la Estimación cualitativa del Riesgo por Deslizamiento podemos concluir que:

- Presentan **Riesgo Moderado** la Fábrica de Cemento “José Mercerón”, la Textilera “Celia Sánchez”, los repartos La Vigía, La Socapa, Ciudadamar, Cuabitas, en un sector al sureste de la ciudad entre Versalles y el reparto Antonio Maceo, reparto Van Van y el reparto Venceremos. En el resto del área el Riesgo es de **Muy Bajo a Bajo**.
- Solo en cuatro tramos de la Circunvalación entre El Barrio Militar y Santa Elena presentan **Riesgo Moderado**, en el resto de las vías analizadas toma valores de **Muy Bajo a Bajo**.
- Las vías férreas en el área de estudio se encuentran en zonas donde el peligro por deslizamiento es insignificante y bajo por tanto el riesgo es **Muy Bajo**

Recomendaciones.

Con el objetivo de minimizar las posibilidades de ocurrencia de los deslizamientos, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Se orienten medidas encaminadas a evitar que continúe el incremento indiscriminado de los asentamientos poblacionales en las laderas de las elevaciones en las zonas de Chicharrones, Distrito Antonio Maceo, Distrito José Martí (Micro VII) y Distrito Abel Santamaría, donde se realizan cortes de las laderas sin ningún estudio previo de estabilidad. Se utilicen los resultados de esta Investigación en la actualización de los Planes de Medidas de la Defensa Civil, en lo referido al Peligro por Deslizamiento, centrandó su atención a la zona del borde este de la bahía desde Altamira hasta el Morro, donde el riesgo alcanza su máximo valor.
2. Se realicen estudios detallados en los taludes artificiales que se encuentran en la ciudad, en la red vial y en las instalaciones socioeconómicas que la rodean, aplicando el grado 3 de la metodología propuesta en este trabajo, teniendo en cuenta que en esta investigación no se incluye estudio de taludes artificiales.

BIBLIOGRAFIA:

- Alvarez, H, L S. (1970): Intensidad Sísmica de Cuba. Atlas Nacional de Cuba, La Habana, 20pp.
- Alvarez, H. (1994): Análisis de la actividad sísmica en la zona de Santiago de Cuba, desde 1568 hasta la actualidad, de terremotos con $M > 5.0$. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas. CENAIS, Santiago de Cuba.
- Alvarez, H, L, Hteinberg, V. V., Blanco, P., Medvedev, S. V., Menéndez, L. A. (1970): Condiciones sísmicas de la ciudad de Santiago de Cuba (en ruso). Fizika Zemli No. 5, pp81-86.
- Alvarez, L. (1992): SACUDIDA, versión 2: Un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones sismológicas (CENAIS), ACC.
- Alvarez, L. y Bune, V. I. (1985b): Sismicidad de Cuba Oriental (en ruso). Tesis para la opción por el grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico Matemáticas. Instituto de Física de la Tierra, Moscú.
- Alvarez, L, Chuy, T y Cotilla, M. (1991): Peligrosidad Sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del Territorio Nacional. Revista Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia No. 35, pp125-150.
- Alvarez, J.L., Serrano, M., Rubio, M., Chuy, T.J. (1984): El terremoto del 19 de febrero de 1976. Pílon, Región oriental de Cuba. En: Invest. Sism. Cuba, No. 5, La Habana, pp. 5 - 60.
- Arango, E. (1996): Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis en opción al Grado de Master en Science. Instituto Politécnico Nacional, México, D. F, 111pp.
- Arango, E., Reyes, C. y Fernández, B. (1997): Evaluación cualitativa del peligro geológico de la red vial en la provincia Santiago de Cuba para casos de sismos de gran intensidad. Reporte de Investigación, Fondo del CENAIS, 32pp.

Arango, E., Zapata, J. Fernández, B. y Reyes, C. (1997): Evaluación del Peligro Geológico sobre la carretera Granma, entre las localidades de Chivirico y Río Macío, en el municipio Guamá. Provincia de Santiago de Cuba. Informe de Investigación, Fondos del CENAIS, 40pp.

ArcView GIS software. Versión 3.2.

Augusto Filho, O. (1992): Deslizamientos. Aspectos de Protección Ambiental. Vol. I, pp29-47.

Ayala, F. J. (1987): Introducción a los Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España, pp 3-19.

Barceló, G., González, B. E., Cotilla, y Chuy, T. J. (1984): Análisis de la fracturación de la región de Santiago de Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio, Editorial Academia, No.8, pp. 17 – 28.

Brand, E. W. et al. (1984): Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. Proceedings. International Symposium on Landslides. IAEG.Toronto. Vol. 1, pp 337-384.

Bieniawski, Z.T. (1976): Clasificaciones de los macizos rocosos en la ingeniería de roca. Acta del Symposium sobre “Exploración para la ingeniería de rocas”. Johannesburgo, 22pp.

Cardona, O. M. (1990): Proyecto Integral de mitigación de riesgo sísmico urbano. VI Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Ciudad México, 36pp.

CEN (1985): Norma Cubana “Elaboración de Proyectos de Construcción. Construcciones Sismo Resistentes” NC 53-114, Especificaciones de proyectos y métodos de cálculo, La Habana. 60pp.

Cendero, A. (1997): La interpretación de la problemática ambiental: enfoques básicos. Riesgos naturales e Impacto ambiental. Colección Medio ambiente y educación ambiental, Madrid. 8 (3), pp23-84.

Chuy, T. (1980): La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos. Investigaciones Sismológicas en Cuba. No. 1, pp5-17.

- Chuy, T. (1988): Influencia de las condiciones geológicas en la intensidad sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. *Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba* No. 2, pp46-63.
- Chuy, T. (1999): *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica*. Tesis de opción de Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAIIS y Instituto de Geofísica y Astronomía, 273pp.
- Chuy, T y Alvarez, L. (1984): Catálogo de terremotos fuertes (I>VII, MSK,1978) de las Antillas Mayores. IV Jornada Científica del IGA. 77pp.
- Chuy, T.J. y Alvarez, L. (1989): Sismicidad histórica de La Española. En comunicación científica sobre Geofísica y Astronomía, No 16, La Habana, pp16.
- Chuy, T., Alvarez, J. L.; Zapata, J. A. y González, B. E. (1992): *Investigaciones complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba*. 5 Tomos. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- Chuy, T. y Alvarez, L. (1995): Mapa de peligrosidad sísmica de Cuba con fines de ingeniería. Reportes de Investigación. Fondos del CENAIIS.
- Chuy, T., Cotilla, M. (1988): Sismos perceptibles en Cuba, período 1985-1986. *Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba* No. 2, pp16-18.
- Chuy, T., González, B., Alvarez, L. (1983): Sobre la Peligrosidad Sísmica en Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No.4, pp37-52.
- Chuy, T., Pino, O. (1982): Datos macrosísmicos de los terremotos en la provincia de Santiago de Cuba. *Investigaciones sismológicas en Cuba*, No.2, pp47-136.
- Chuy, T., Rubio, M. y Zapata, J. A. (1990): Isosistas del terremoto del 20 de Agosto de 1852; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.

Chuy, T. y Zapata, J. A. (1990): Intensidad sísmica promedio puntual de la ciudad de Santiago de Cuba; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.

Colectivo de autores. (1983): Informe del levantamiento geológico de Cuba Oriental. Escala 1: 100 000. Brigada cubano-húngara. Texto explicativo y mapa geológico. Instituto de Geología y Paleontología. ACC. Editorial Científico-Técnica. La Habana, 273pp.

Colectivo de autores (1986): Aspectos Fundamentales de la Geología y la Sismología para la Microzonificación Sísmica. En "Física de la Tierra", Editorial de la Universidad Complutense, 217pp.

Colectivo de autores. (1989): Estabilidad de taludes y laderas naturales. Proyecto de cooperación U.P.C - I.S.M.M de Moa. Universidad Politécnica de Cataluña, 248pp.

Comisión Nacional del Léxico Estratigráfico de la A.C.C. (1989).

Comisión Ac Hod para la determinación de las zonas sismogeneradoras de Cuba y zonas aledañas (1991): Dictamen conclusivo. Reporte de investigación. Fondos del CENAIIS y de ENERGOPROYECTO. MINBAS, 24pp.

CONCE (en preparación): Proyecto de Nueva Norma Constructiva Cubana "Elaboración de Proyectos de Construcción. Construcciones Sismo Resistentes" Especificaciones de proyectos y métodos de cálculo, Santiago de Cuba.

Corominas, J., (1989): Clasificación y reconocimiento de los movimientos de laderas. Curso sobre Estabilidad de taludes y laderas naturales. Barcelona. Monografía No.3. sociedad Española de Geomorfología.

Corominas, J., Moya, J. (1992): Movimientos de Laderas: Predicción y Medidas Preventivas. 1er Congreso Iberoamericano sobre técnicas aplicadas a la Gestión de emergencias para la reducción de desastres naturales. Universidad Politécnica. Valencia, España, pp55-77.

- Corominas, J., Moya, J. (1999): Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorfology* 30, pp79-93.
- Cotilla, M., Chuy, T. y Arteaga, F. (1988): Características morfométricas y valores anómalos de la intensidad sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. *Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba* No. 2 pp67-74.
- Dasko, R. E., Shalimov, A. I., Heredia, N. y Romero, J. (1972): Proyecto de las Investigaciones ingeniero-geológicas para la cuenca de Santiago de Cuba con fines de su microregionalización sísmica. Escuela de Geología, Universidad de Oriente, 157pp.
- Escobar, E., Guasch, F., Mondelo, F. y Chuy, T. (1991): Investigaciones geofísicas detalladas para la estimación del riesgo geológico en la cuenca de Santiago de Cuba. IV Jornada de la Sociedad Cubana de Geología. Santiago de Cuba.
- Fernández, B., Rivera, Z., Reyes, C. R. y Zapata, J. A. (1995): Comprobación de áreas de posible aparición de fenómenos físico-geológicos de la ciudad de Santiago de Cuba. Su comportamiento en la construcción de obras de fortificación. X Forum de Ciencia y Técnica del Estado Mayor Provincial Santiago de Cuba y del Ejercito Oriental. 15p.
- Flores, R., Millán, G., Chang, J. L., Pérez, C. Castellanos, E. y Nuñez, K. (1998). *Tectónica de Cuba Oriental. Geología y Minería' 98. Memorias I*, pp240-243.
- Garcías, J., Arango, E., Zapata, J., Oliva, R., Fernández, B., Chuy, T., Reyes, C. (2001): Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba. Informe Final del Proyecto del Programa Nacional de la Defensa. Fondos del CENAIIS, 87pp.
- GEOCUBA (1998). GEOINFO Versión 2.02. Sistema de Información Geográfica.
- Golden Software (1998). Sistema de mapeo SURFER. Versión 7.

- González, B. E. (1991): Estimación del efecto sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba; Tesis de opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físicas, Instituto de Geofísica y Astronomía, ACC, 115pp.
- González, B. E., Mirzoev, K., Chuy, T., Golubiatnikov, V., Lyskov, L., Zapata, J. A., Alvarez, H. (1984): Estudio del Riesgo Sísmico y de la Variación de la Intensidad Sísmica de los Terremotos en el Territorio de la Ciudad de Santiago de Cuba. Archivo Departamento Sismología, IGA-ACC, 150pp.
- Guardado, R. (1982): Ingeniería Geológica. Ingeniería Petrológica”. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 301pp.
- Guardado, R. (1983): Los terremotos. Ed. Oriente, 86pp.
- Guardado, R. (1985): Geología aplicada a la ingeniería de la ciudad de Santiago de Cuba. Ira Jornada Científica Internacional sobre Planificación Regional Urbana. Instituto de Planificación Física –JUCEPLAN. Ciudad de la Habana, 18pp.
- Guardado, R. Carmenate, J. (1995): Evaluación de ingeniero geológica de las áreas con peligro y riesgo geológicos. Revista Minería y Geología Vol. No.1. pp45.
- Heredia, N., Seisdodos G., Oliva R. (1982): Análisis ingeniero-geológico del área de Santiago de Cuba con fines constructivos. Reporte de Investigación. Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente. 57pp.
- Hernández, J. S., Chuy, T., González, R. (1988): Influencia de las características morfoestructurales sobre la atenuación sísmica en Cuba Suroriental. Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba No. 2, pp19-29.
- Hernández, J. R., Bouza, O., González, Magaz, A. (1989). Pronóstico geomorfológico de ocurrencia de deslizamiento en la Sierra Maestra, Cuba Geografía No.3. A. C. C, 10pp.

- Hutchinson, J. N. (1988): Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. 5th. Int. Congress on Landslide. Lausanne. Vol.1, pp3-35.
- Ishihara, K. Nakamura, S. (1987): Landslide in mountain slope during the Ecuador earthquake of march, 5 1987. US-Asia Conferencie on Engineering for Mitigating Natural hazards Damages.
- Ishihara, K. Nakamura (1991a): Manjil earthquake of 21 june, 1990, Iran. Landslide News. No.5, pp2-4.
- Ishihara, K. Nakamura (1991b): Earthquake –induced landslides ner Spitak,Armenia. USSR. Landslide News. No.5, pp25-26.
- Iturralde-Vinent, M. (1991). Recomendaciones para un estudio sobre la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos y descensos del terreno en el flanco meridional de la Sierra Maestra. Morfotectónica de Cuba Oriental. Editorial Academia. La Habana.
- Ivonet P. E.; Salas D., A.; Lorente D.,R. y Calderin M.,C. (1995): Consideraciones sobre la relación sismología-planeamiento territorial. Taller sobre Manejo de Riesgo Sísmico, Santiago de Cuba. VRS-1.
- Japan Road Association (1988): Manual for Retrofit, and post-earthquake Measures of Facilities.
- Japan Working Group for TC-4 Committee (1993): Seismic Zoning on Geotechnical Hazards (draft) 114 pp.
- Kanagawa Prefectural Government (1986): Prediction of seismic Damage in Kanagawa Prefecture, pp 13-63.
- Keefer, d., K., Wilson, R. C. (1989): Predicting earthquake-induced landslides with emphasis on arid and semi-arid environments. Publications on the Inland Geological Society, Vol. 2, pp118-149.

- Kempena, A. (2000): Cartografía y Evaluación del Impacto Geoambiental de un sector costero de Moa a través de un Sistema de Información Geográfica (GIS). Tesis en opción al Grado de Master en Science. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. ISMM, Moa, 87pp.
- Lontadze, V. D. (1986): Geología aplicada a la ingeniería. VNSHTORGIZDAT. Editorial Pueblo Y Educación, 560pp.
- Lumb, P. (1975): Slopes failures in Hong Kong. Quaterly Journal of Engineering Geology. Vol. 8, pp31-61.
- Medina, A., Escobar, E., Ortíz, G. Ramírez, M., Díaz, L., Móndeño, F., Montejó, N., Dúguez, H., Guevara, T y Acosta, J. (1999): Reconocimiento geólogo-geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba, con fines de Riesgo Sísmico. Empresa Geominera de Oriente, Santiago de Cuba. 32pp.
- Medvedev, S. V. (1973): Recomendaciones para la Microregionalización Sísmica RSM-73, Serie "Cuestiones de Ingeniería Sísmica" Vol. 15, Moscú.
- Marquéz, M. E., Chuy, T. Cotilla, M., Rueda, J. y Veneroso, A. (1988): Algunos resultados de las investigaciones complejas en el polígono geodinámico de Santiago de Cuba. Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba No. 2, pp5-15.
- Mora, S., Mora, R. (1992): Landslides triggered by the Limón-Telire, Costa Rica Earthquake and comparison with other events in Costa Rica. U. S. Geological Survey Professional Paper, in press.
- Mora, S., Vahrson, W. (1991): Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination, Bull, Intl. Ass. Eng. Geology, in press.
- More et al. (1993): Pendientes en grados. Golden Software. SURFER. Versión 7.

- Naranjo, J. L. (1992): Análisis de Amenazas por movimientos de masa usando Sistemas de Información Geográfica. Caso de Estudio en el municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Columbia. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Vol.I, pp5-60.
- Nuhfer, E. B., Proctor, R. J. (1993). Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos. Publicado en español por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (1997), 196 pp.
- Opadeyi, J. (1994): The use of G.I.S. as Disaster Preparedness and response Tool. Proc. of the Carribean Conf. on Natural Hazards. St Anns, Trinidad and Tobago. pp389-394.
- Orbera, L. y Ramírez, R. (1994) Neotectónica de Santiago de Cuba y su influencia en el riesgo geológico. III Encuentro Nacional de Investigaciones sismológicas Aplicadas, Santiago de Cuba.
- Paoli, C., Cacik, P, Bolzeco, J.(1996). Programa “AFM”. Cátedra de Hidrometeorología. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fé. Argentina. Departamento de Estudios Hidrológicos. INRH Santiago de Cuba.
- Peralta, A. (1989). Programa “DEPURA”. Centro de Investigaciones Hidráulicas. ISPJAE. Departamento de Estudios Hidrológicos. INRH Santiago de Cuba.
- Pérez, N. (1983): Aspectos ingeniero–geológicos del levantamiento geológico de Cuba Oriental. Contribución a la Geología de Cuba Oriental. Editorial Científico–Técnica, La Habana, pp173-185.
- Pérez, C., García, D. y Cañete, C. (1994). Tectónica de la Sierra Maestra y áreas adyacentes. Informe final del resultado 555. Problemas de Ciencias Naturales. Estudio geológico integral de la Sierra Maestra. MINBA. IGP. Ciudad Habana, 170pp.
- Poey, A. (1855a): Tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'ile de Cuba de 1551 á 1855. París.

- Poey, A. (1855b): Supplement au tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'île de Cuba de 1551 á 1855. París.
- Popov, V. V. (1959): Criterios Ingeniero - Geológicos de la Regionalización Sísmica Detallada (en ruso). Trabajo IFZ, No 5 (172).
- Quintas, F; (1994): Origen y evolución del arco de islas volcánicas Sierra Maestra. Informe inédito. Archivo del CENAIIS. 20pp.
- Rodríguez, V. H., González, B. E., Hernández, I. (1995): Obtención de un mapa del índice de potencialidad de amenaza de deslizamientos para la provincia de Pinar del Río, a escala 1:250 000. Reporte de Investigación, Fondo del CENAIIS, 16pp.
- Romana, M. (1992): Métodos de corrección de taludes según la Clasificación Geomecánica SMR. III Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables. La Caruña, pp629-633.
- Rueda, J. S., Arango, E. D. y Lobaina, A. (1994): Algunos resultados del estudio de los movimientos recientes de la corteza terrestre en el Polígono Geodinámico Santiago de Cuba. Edit. ORISOL Holguín, 20pp.
- Salvador, M. y Junco, E. (1988). Estabilidad de los macizos rocosos en zonas de corte en carreteras. Facultad de Construcciones. ISPJAM, Santiago de Cuba, 12pp.
- Salvador, M. (1989): Estabilidad de taludes. Vías de Comunicación. ISPJAM, Santiago de Cuba, 52pp.
- Seisdedos, G., Reyes, C. R., Guasch, F., Avich, B.(2001). Altas de Peligros Naturales del municipio Guamá, provincia de Santiago de Cuba. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Editorial Academia, 93pp.
- Scharfhausen, M. (1991): Sistema de información geográfica. Ayuda a la investigación. Topografía y Cartografía, Vol. III. No. 46. Sept-Oct, pp37-48.

- Seed, H. B. e Idriss, I. M. (1969): Influence of soil conditions on ground motion during earthquakes. J. Soil Mech. Found. Div, Procc. ASCE, 95 (SM1): pp99-137.
- Seed, H. B. (1988): Earthquake effects on soil-foundations systems. Foundation Engineering Handbook, pp700-732.
- Siyahi, B. G., Ansal, A. M. (1993): Slope stability by Koppula Method. Geotechnique, Vol.34. No.1, pp71-79.
- STOP-Disasters (1994): Sistemas de Información Geográfica, No. 18, pp24-26.
- Tamura, T. (1978): An analysis of relationship between the areal distribution of earthquake-induced landslides and the earthquake magnitude. Geographical Review of Japan, 51-8, pp662-672.
- Tanaka, A. (1983): Development for classification method of surface ground conditions by dinamic properties from Kanais microtremors observation, 26pp.
- Trujillo, R., Vega, N. (1994): Léxico. Sistema computarizado de información acerca del léxico estratigráfico cubano. ISMM, Moa.
- Tatizana, C. et al. (1987 a): Análise da correlasao entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, municipio de Cubatao. Congresso Brasileiro de Geología de Engeharia, 5. Vol.5, Sao Paulo, pp225-236.
- Tatizana, C. et al. (1987 b): Modelamento numérico da análise de correlasao entre chuvas e escorregamentos ás encosta da Serra do Mar, municipio de Cubatao. Congresso Brasileiro de Geología de Engenharia, 5. Vol.5, Sao Paulo, pp225-236.
- Varnes, D. J. (1978): Slope movement types and processes. Landslides analysis and control. National Academy of Sciences. Washington .C., pp11-33.
- Viña, B. N., Viña, D. N. y Pons, A.(1994): Bases de datos morfométricos de la zona de Oriental de Cuba. Grupo de Biogeografía. BIOECO-ACC. Santiago de Cuba.

- Wilson, R., Eiczorek, G., Harp, E. (1979): Development of criteria for regional mapping of seismic slope stability, 1979 annual Meeting of Geological Society of America.
- Yagi, et al. (1985): Slope failure mechanism and prediction meted due to rainfall. International Conference and Field Worshop on Landslides, 4. Japan Landslide Society, pp 209–214.
- Yasuda, S., Sugitani, T. (1988): Case histories of slope failure during past earthquakes in Japan. Proc. of the 23th JSSMFE, pp891–892.
- Zamora, I. (1999): Recopilación de datos Hidrológicos e Hidrogeológicos. Zona Sísmica. Santiago de Cuba. DPRH Santiago de Cuba, 9pp.
- Zapata, J. A. (1995): Utilización de variantes metodológicas de Microzonación Sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAIIS y del Instituto de Geofísica y Astronomía.

ANEXO No.1

ANEXO No. 1. Tablas de Clasificación del Método de Mora y Vahrson, 1991.

Tabla A1.1. Valores de Relieve Relativo (Rr) y clases de influencia en la susceptibilidad al deslizamiento (Mora y Vahrson, 1991).

Relieve Relativo (m/Km ²)	Susceptibilidad	Parámetro Sr
0 -75	Muy baja	0
76 - 175	Baja	1
176 - 300	Moderada	2
301 - 500	Media	3
501 - 800	Alta	4
> 800	Muy alta	5

Tabla A1.2. Clasificación de la influencia litológica, de acuerdo a las condiciones generales (Mora y Vahrson, 1991).

Litología	Susceptibilidad	Valor Sg
Calizas permeables, intrusivos fisurados, basaltos, andesitas, ignimbritas, gneis, bajo grado de intemperismo, nivel del agua subterránea cercano, fracturas limpias y rugosas, rocas con alta resistencia al corte.	Baja	1
Alto grado de intemperismo de las rocas encimas mencionadas y en las rocas sedimentarias clásticas masivas, baja resistencia al corte, fractura de cizallas.	Moderada	2
Rocas o suelos poco consolidados, considerable intemperismo de las rocas sedimentarias, intrusivas y volcánicas, fluctuaciones del nivel freático.	Media	3
Rocas hidrotermales alteradas considerablemente meteorizadas, fuertemente fracturadas y fisuradas, arcillas pobremente compactadas y suelos fluvio – lacustres con nivel de agua subterránea cercano ala superficie.	Alta	4
Rocas extremadamente alteradas, suelos coluviales con bajos esfuerzos cortantes y nivel de agua subterránea cerca de la superficie.	Muy Alta	5

Tabla A1.3. Clases de precipitaciones mensuales promedios (Mora y Vahrson, 1991).

Precipitaciones mensuales promedios (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2

Tabla A1.4. Ajuste artificial de las precipitaciones anuales (Mora y Vahrson, 1991).

Suma de las precipitaciones promedios*	Susceptibilidad	Valor de Sh
0 -4	Muy baja	1
5 – 9	Baja	2
10 – 14	Media	3
15 – 19	Alta	4
20 - 24	Muy alta	5

*Suma de los valores asignados en la tabla 4.6 para 12 meses.

Tabla A1.5. Influencia de la intensidad de las precipitaciones como un factor disparador de los deslizamientos (Mora y Vahrson, 1991).

Lluvias máximas n > 10 años; Tr = 100 años	Lluvias promedios n<10	Susceptibilidad	Valor de Tp
< 100 mm	<50 mm	Muy baja	1
100 - 200	51-90	Baja	2
200 - 300	91-130	Media	3
300 - 400	131-175	Alta	4
> 400	>175	Muy alta	5

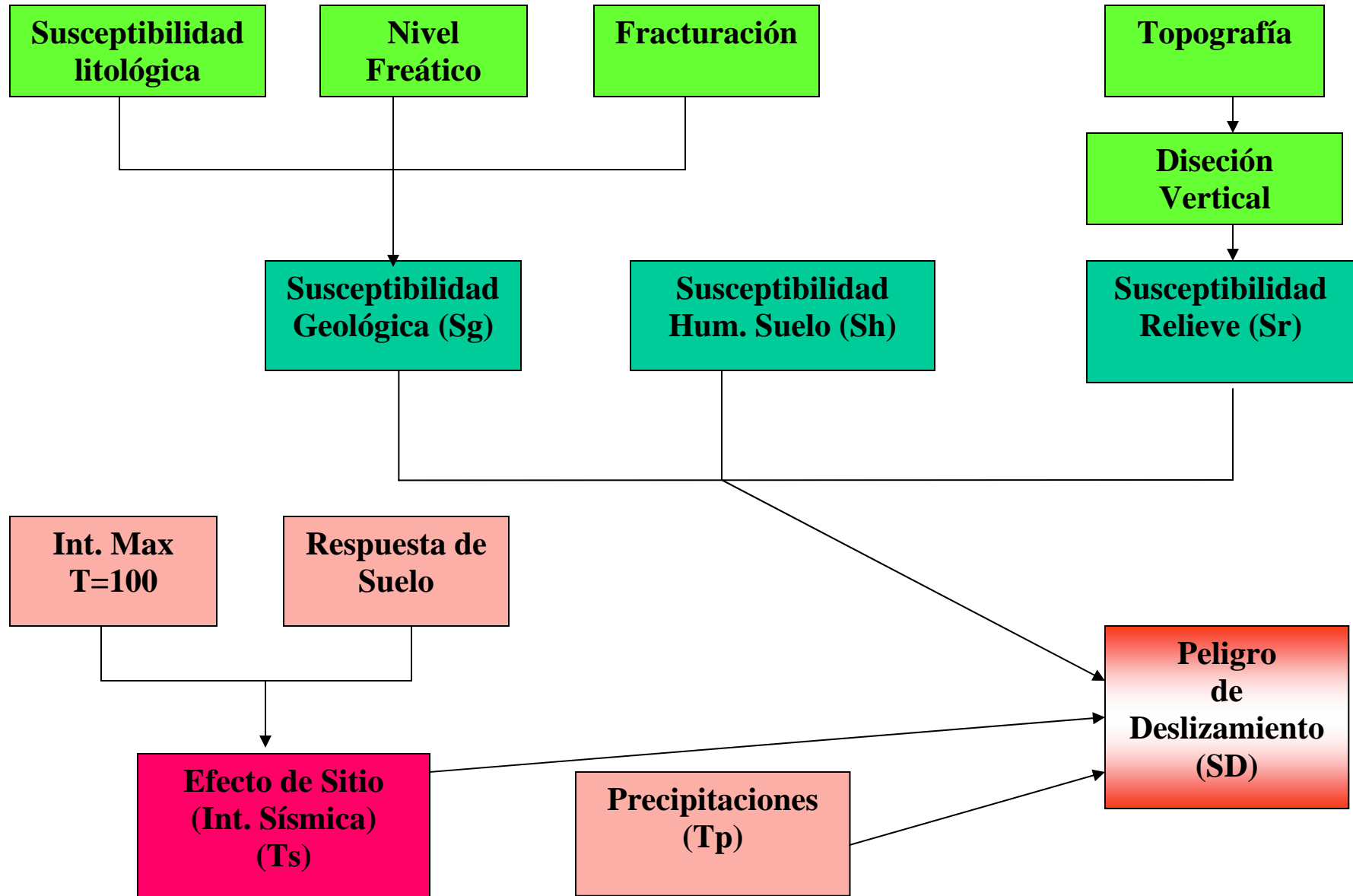
Tabla A1.6. Influencia de la intensidad sísmica como factor disparador de generación de deslizamientos (Mora y Vahrson, 1991).

Intensidades Tr = 100 años	Susceptibilidad	Valor Ts
III	Leve	1
IV	Muy baja	2
V	Baja	3
VI	Moderada	4
VII	Media	5
VIII	Considerable	6
IX	Importante	7
X	Fuerte	8
XI	Muy fuerte	9
XII	Extremadamente fuerte	10

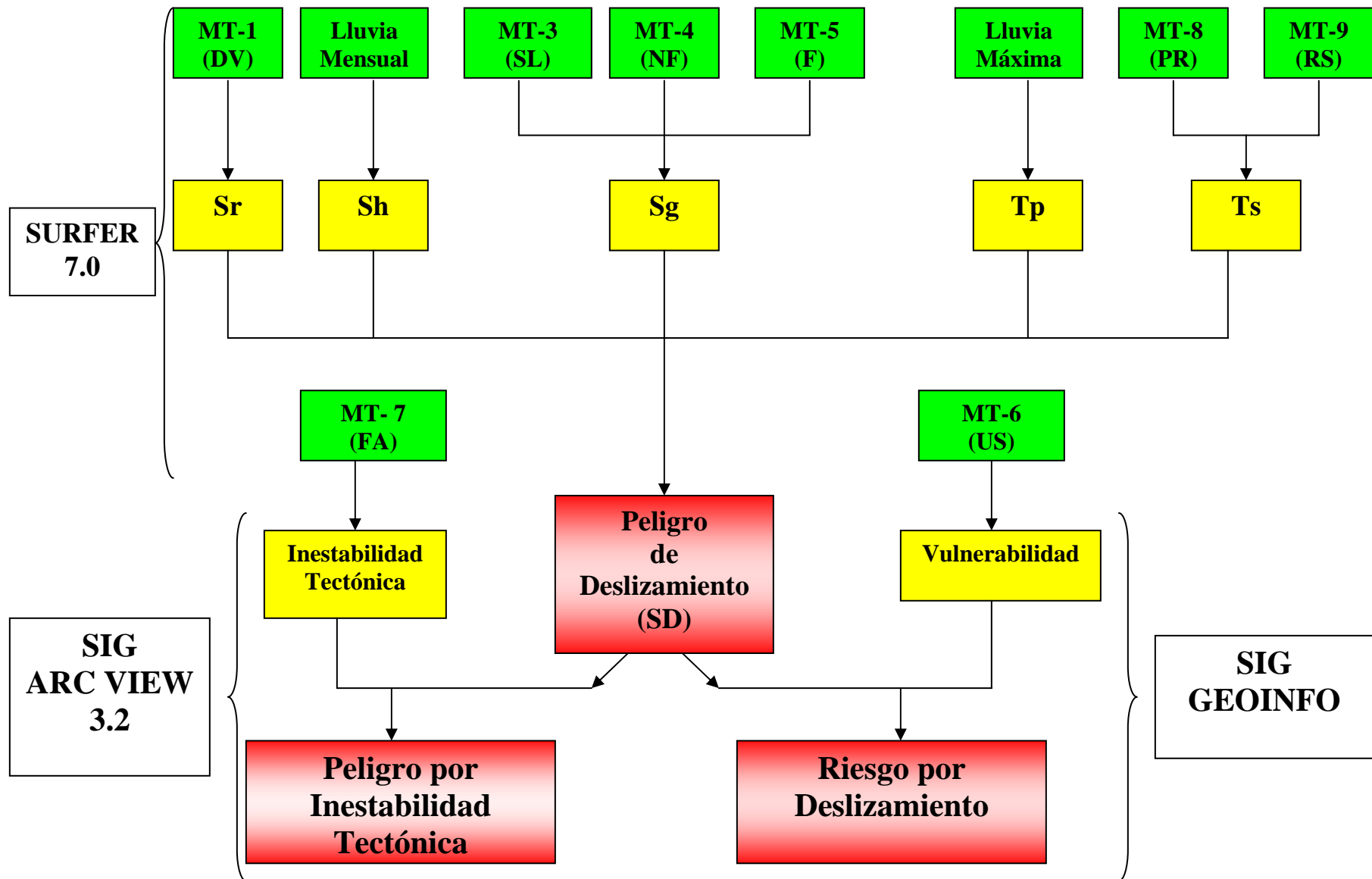
Tabla 2.7. Clasificación del Peligro por Deslizamiento (Mora y Vahrson, 1991).

Valor de SD	Clase	Peligro
0 - 6	I	Insignificante
7 - 32	II	Bajo
33-162	III	Moderado
163-512	IV	Medio
513-1250	V	Alto
>1250	VI	Muy Alto

ANEXO No. 2. Esquema de aplicación del método de Mora y Vahrson (1991)



Anexo No. 3: Esquema de la metodología seguida para la obtención de los resultados.



El color verde se refiere a los mapas temáticos, el amarillo a los resultados intermedios y el rojo a los resultados finales del trabajo.

ANEXO No. 4. FOTOS DE TALUDES EN SANTIAGO DE CUBA.



Secuencia de capas de margas y areniscas calcáreas muy estable en un talud de 90°, en la entrada del Rpto 30 de Noviembre yendo por la Circunvalación.



Casa construida al pie de un talud de marga de la Fm. La Cruz en el Rpto Antonio Maceo. Refiérase que solo en caso de fuertes lluvias hay desprendimiento de pedazos de rocas.



Rpto Van Van, talud de aproximadamente 80 metros de altura y casi 80° de pendiente muy estable, en la cima Pedagógico Frank País.



Rpto Van Van, casas construidas en las pendientes estables de la Formación La Cruz.



Loma del Kake, taludes verticales muy estables, en roca margosa y calcarenita.



Loma de la iglesia de los desamparados, fuertes pendientes y rocas estables.



Cantera de la fábrica de cemento, en calizas margosas.



Rpto Van Van, al fondo talud estables de marga de la Fm La Cruz.



Rpto Antonio Maceo, pendientes abruptas muy estables.



Loma del Rpto El Polvorín, vista desde la Circunvalación.



Fondo de la Polivalente, donde aparecen capas de conglomerados del Mbro Santiago, pendientes estables en los taludes.



Casas colgantes en las pendientes en el Rpto Ateneo.



Casa construida al lado de un talud vertical en roca margosa, de la Fm La cruz, donde se producen derrumbes en época de fuertes lluvias. Continuación de la secuencia



Cont. de la secuencia. Observe el muro, derrumbado en un aguacero, qué protegía la casa, en época de lluvia se desprenden pedazos de rocas. En una ocasión se hubieron de sacar 3 camiones de tierra del patio.



Escuela de artes y oficios, donde se observa la marga en taludes casi verticales, con buena estabilidad.



Continuación de la secuencia de la foto anterior en otra vista.



Calle 10 y Gasómetro, al fondo se observa un talud vertical en marga y calcarenita. Se refiere en una oportunidad un desprendimiento de roca donde se sacaron 3 camiones de tierra.



Continuación de las secuencias anteriores, observe la casa pegada al fondo del talud, se refiere que en un aguacero intenso de junio del 97, hubo un desprendimiento.



Autopista Santiago-Habana, observe las pendientes en los taludes casi verticales.



Talud de 90° en porfirita andesítica, en la Autopista muy estable.



Rocas del Grupo El Cobre, cortadas en la Autopista, formando taludes muy estables.



Rocas de composición basáltica del Grupo El Cobre, fracturadas, donde se observan pequeños bloques desprendidos.



Talud en la Autopista, cortado en tobas con yacencia casi vertical, formando un talud muy estable a los deslizamientos.



Tobas del Grupo El Cobre plegadas formando un sinclinal, con un comportamiento muy estable antes los taludes de fuertes pendientes.



Micro 9 en el Distrito José Martí, arriba calizas masivas de la Formación Puerto Boniato.



Micro 7 en el Distrito José Martí, rocas vulcanógenas sedimentarias en pendientes de 90° muy estables.



Al fondo atraviesa la línea del ferrocarril en la pendiente del talud afloran las tobas las cuales buzan contrariamente a la pendiente del talud no favoreciendo la ocurrencia de deslizamientos.



Rocas vulcanógenas del Grupo El Cobre, formando pendientes estables.

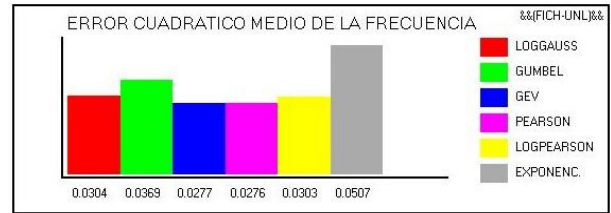
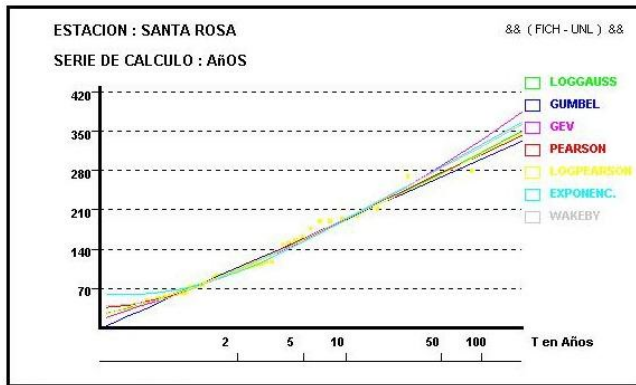
Anexo No.5. Ajuste artificial de las lluvias mensuales de 9 años, en 6 pluviómetros de la ciudad de Santiago de Cuba

Equipo	MES	1989	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998
829	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	5	1	0	1	0	2	1	0	1	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	9	0	0	1	1	0	1	0	0	0
	10	0	2	1	0	0	2	1	0	0
	11	0	0	1	1	2	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de Valor Asignado		1	3	4	5	4	5	1	3	2
Promedio del Valor Asignado										3
1331	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	5	1	0	2	1	2	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	10	0	2	1	0	0	1	2	0	0
	11	0	1	2	1	1	0	1	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de Valor Asignado		2	4	5	5	3	2	3	2	3
Promedio del Valor Asignado										3
1486	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	5	1	0	1	1	2	1	1	0	0
	6	0	1	0	0	0	0	0	2	0
	7	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	9	1	1	1	0	1	1	0	0	2
	10	0	2	1	0	1	2	2	0	1
	11	0	0	1	2	1	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Suma de Valor Asignado		3	5	4	6	6	6	3	3	7
Promedio del Valor Asignado										4

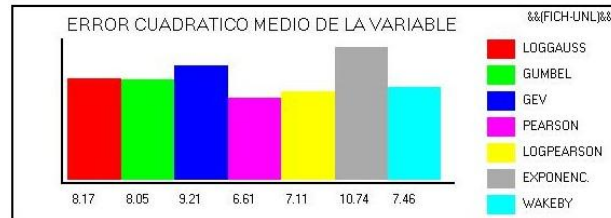
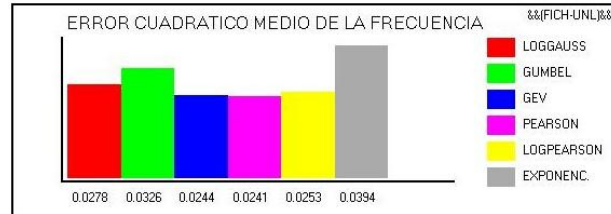
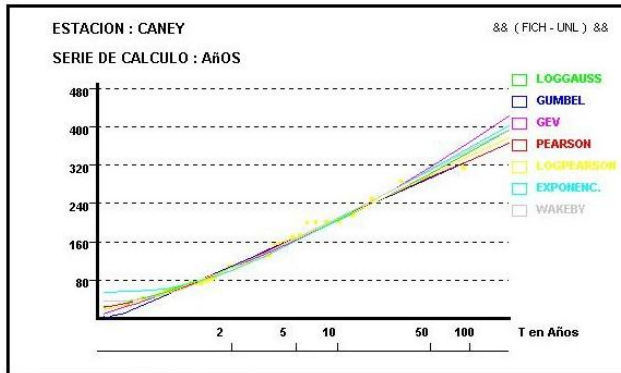
Equipo	Mes	1989	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1504	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	5	1	0	1	1	0	1	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	9	0	0	1	1	0	1	0	1	2
	10	0	1	0	0	0	1	1	1	0
	11	0	0	1	1	1	0	1	0	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Suma de Valor Asignado		1	1	3	4	1	3	3	5	6
Promedio del Valor Asignado										3
1528	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	2	0	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	7	1	1	0	0	0	2	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	9	0	1	1	0	0	1	0	0	2
	10	0	2	1	0	0	1	1	0	0
	11	0	0	1	0	0	0	1	0	2
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma de Valor Asignado		2	4	4	3	2	4	3	3	5
Promedio del Valor Asignado										3
1529	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	1	0	2	0	0	0	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	9	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	10	0	1	1	0	0	2	1	1	0
	11	0	0	2	1	0	0	1	0	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Suma de Valor Asignado		2	1	5	4	0	2	4	5	6
Promedio del Valor Asignado										3

Equipo	Mes	1989	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1647	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	4	0	0	1	1	1	2	0	0	0
	5	1	0	2	1	2	2	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	7	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	9	0	1	0	1	2	1	1	0	0
	10	0	2	1	0	1	2	1	0	0
	11	0	0	1	2	2	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Suma de Valor Asignado		1	4	5	8	10	9	2	0	2
Promedio del Valor Asignado										4
1648	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	5	1	0	2	1	2	0	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	2	0
	7	0	1	0	0	0	2	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	9	0	1	0	1	0	1	0	0	2
	10	0	2	0	0	1	0	1	0	1
	11	0	0	2	1	2	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Suma de Valor Asignado		2	4	4	7	5	4	2	3	7
Promedio del Valor Asignado										4
1655	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	1	1	0	0	0	1
	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	5	1	0	2	1	2	1	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	7	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	9	0	0	0	2	0	1	1	0	2
	10	0	2	1	0	0	1	1	0	0
	11	0	0	1	2	2	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Suma de Valor Asignado		3	2	4	8	7	6	2	2	4
Promedio del Valor Asignado										4

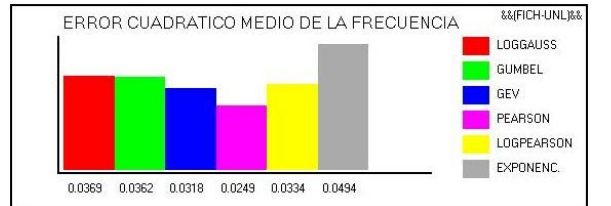
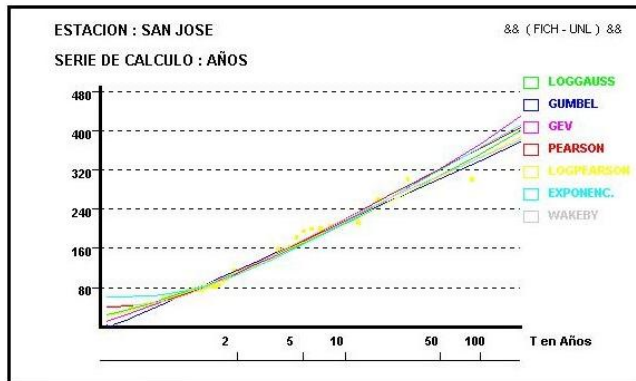
Anexo No. 6. Ajuste de curvas de distribución de lluvias máximas y valores de errores cuadráticos medios de la frecuencia y de la variable, en 5 equipos de medición de Santiago de Cuba.



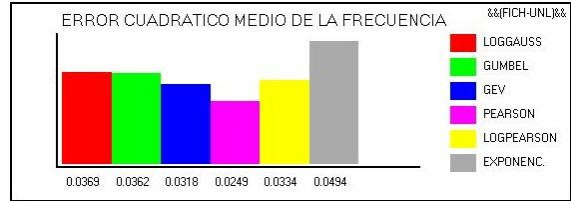
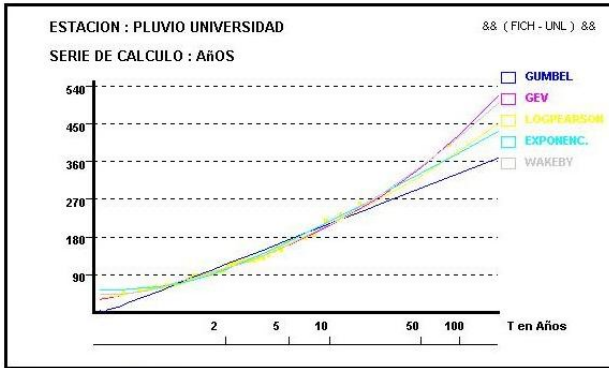
Serie de lluvias máximas de 1955 – 1996 del equipo Santa Rosa.



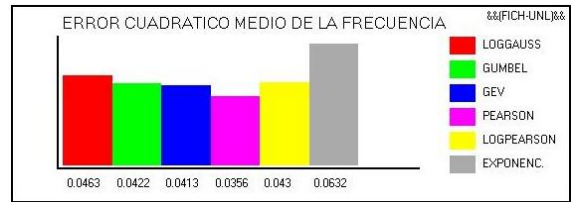
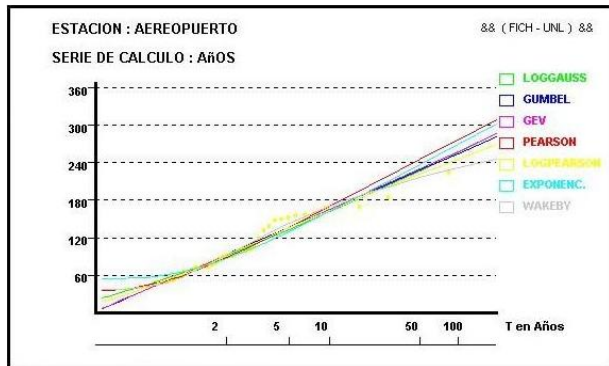
Serie de lluvias máximas de 1955 – 1996 del equipo Caney.



Serie de lluvias máximas de 1955 – 1996 del equipo San José.



Serie de lluvias máximas de 1955 – 1996 del equipo Universidad.



Serie de lluvias máximas de 1955 – 1996 del equipo Aeropuerto.

Anexo No. 7: Mapas de Susceptibilidad Habitacional y Poblacional de la ciudad de Santiago de Cuba, García, 2001.

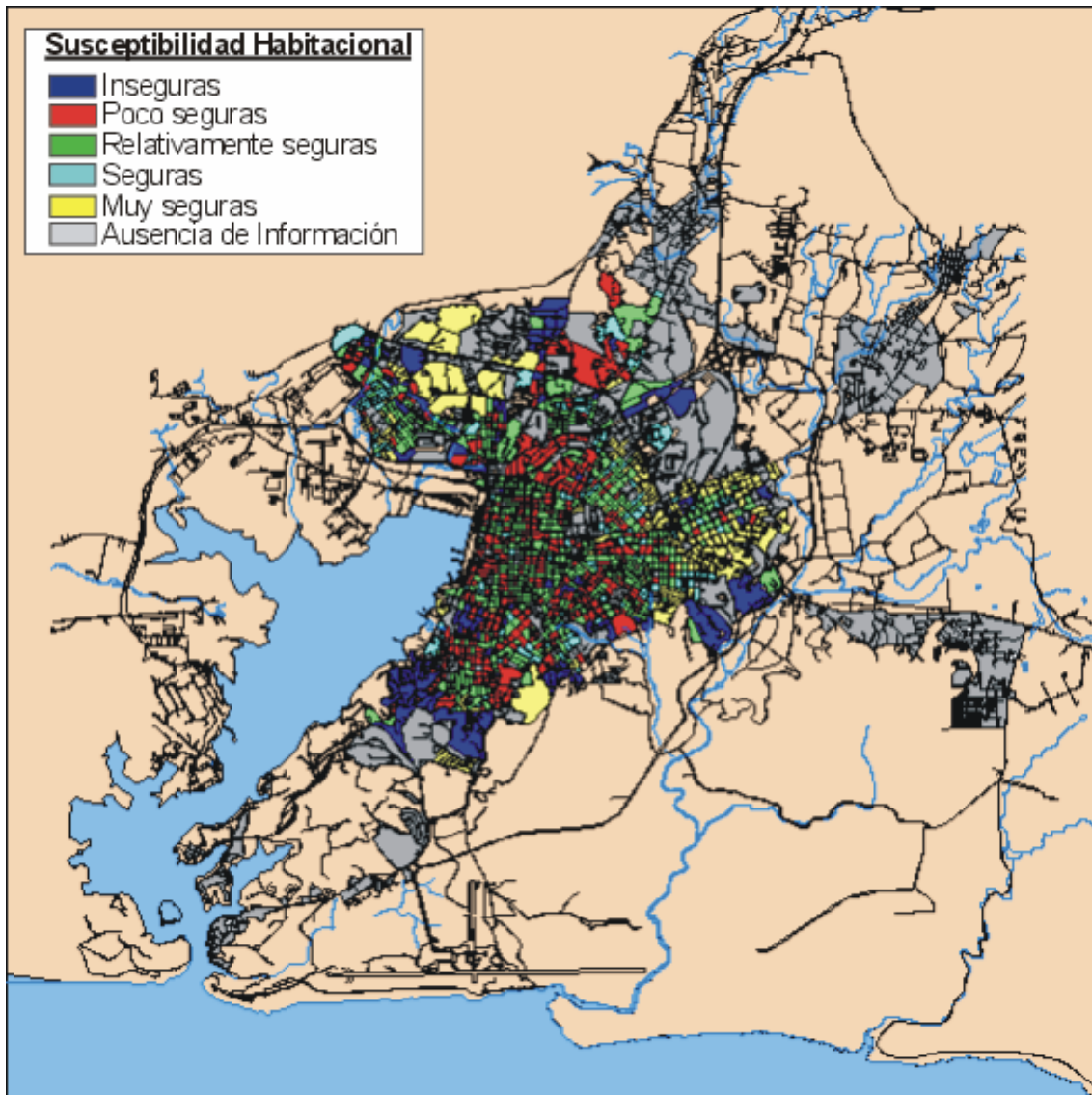


Figura 1. Susceptibilidad Habitacional de la ciudad de Santiago de Cuba, García, 2001.

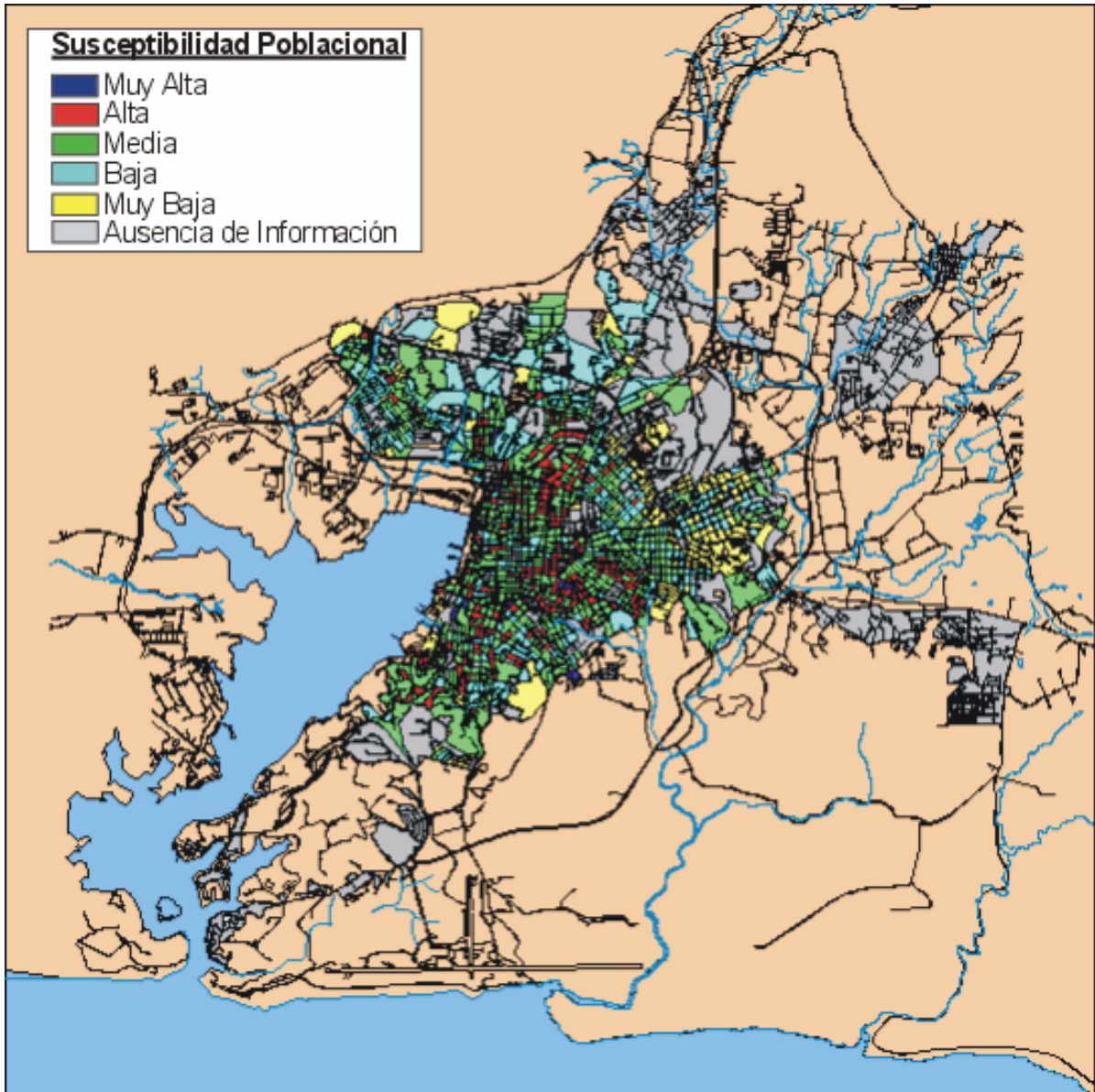


Figura 2. Mapa de Susceptibilidad Poblacional de la ciudad de Santiago de Cuba, García, 2001.