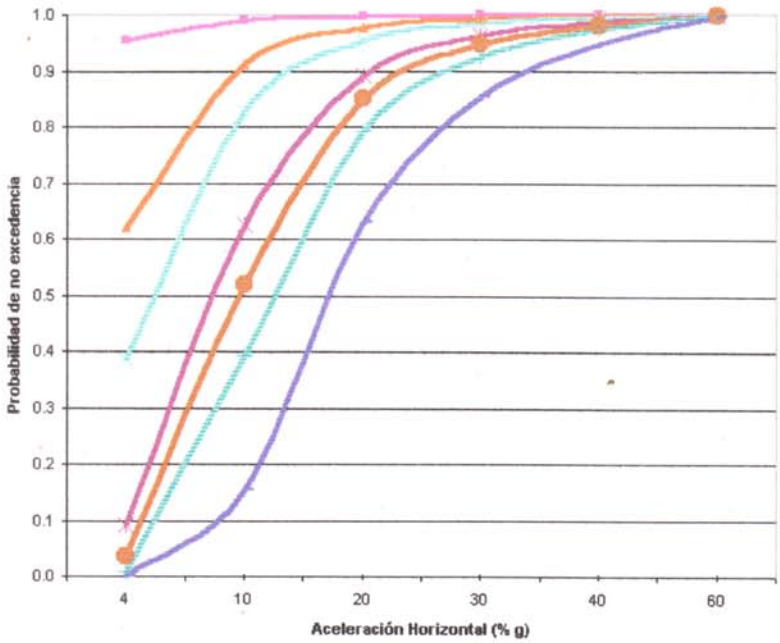
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DR. ANTONIO NUNEZ JIMENEZ.
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES SISMOLOGICAS.

ESTIMADOS DE PELIGROSIDAD SISMICA DE LA REGION SURORIENTAL DE CUBA, UTILIZANDO UN NUEVO ESQUEMA DE ZONAS SISMOGENICAS EN UN SECTOR DE LA FALLA TRANSFORMANTE ORIENTE



TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MASTER EN CIENCIAS GEOLOGICAS

MENCION: Geología Regional

AUTOR: Ing. Griselda Despaigne Longchamp

TUTORES: Dr. Tomás Jacinto Chuy Rodríguez
Dra. Alina Rodríguez Infante

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeras de Grupo que han compartido los momentos difíciles en este período.

A mis padres y hermana que han apoyado todo el esfuerzo realizado.

A todos aquellos que de una forma u otra han cooperado con la culminación exitosa de este trabajo.

A todos

Muchas Gracias.

" El ciudadano de hoy
no es verdaderamente culto
si no tiene un conocimiento,
al menos básico, del desarrollo
de la ciencia y la tecnología"

Rosa E. Simeón.

Indice

INTRODUCCION

CAPITULO 1. Características generales del área de estudio 14

1.1 Situación tectónica de la región de estudio. 14

1.2 Procesos Geodinámicos presentes zona de Falla Transformante Oriente. 16

1.3 Distribución de los sismos en la región. 19

CAPITULO 2. Estimación de los parámetros del Peligro Sísmico. 23

2.1 Aspectos Metodológicos 23

2.2 Esquema de Zonas Sismogénicas 26

2.3 Parámetros de Atenuación 33

2.4 Parámetros del Régimen Sísmico 37

CAPITULO 3. Enfoque regional y puntual del Peligro Sísmico en la región Oriental de Cuba. 45

45

3.1 Resultados regionales

3.2 Consideraciones específicas para la ciudad de Santiago de Cuba. 51

3.3 Valoración de los Resultados puntuales del Peligro Sísmico. 56

CONCLUSIONES 58

RECOMENDACIONES 59

BIBLIOGRAFIA 60

Resumen

Este trabajo forma parte del Proyecto Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba, encaminado fundamentalmente a caracterizar la Amenaza Sísmica de la región, a partir de los estimados que se obtienen de Peligrosidad Sísmica con la utilización de estructuras sismogénicas definidas en todo el país.

Sobre la base de la actividad sísmica reportada en la región Suroriental (Zona Sismogénica Bartlett - Caimán) y las interpretaciones más recientes de los procesos geodinámicos en la zona de Fallas Transformante Oriente, se delimitan cuatro Zonas sismogénicas: Cabo Cruz, Pilón, Oriente y Santiago, a partir de las cuales se propone un esquema de Zonas Sismogénicas y se precisan los niveles de Amenaza a que está sometida la región, además de actualizarse los estimados de Peligrosidad Sísmica de la región Suroriental y de la ciudad de Santiago de Cuba con fines del planeamiento y desarrollo socioeconómico de estos territorios.

Para la estimación del Peligro Sísmico se tuvieron en cuenta tres aspectos fundamentales: el modelo estadístico de la ocurrencia de terremotos y sus efectos, la definición de las Zonas Sismogénicas ZS con sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico y la Ley de Atenuación de la Intensidad Sísmica, para cuantificar los efectos de los terremotos con sus características regionales. Se emplea como programa de cálculo SACUDIDA.

Introducción

En muchos países propensos a la ocurrencia de terremotos, se necesita de una evaluación del riesgo sísmico para poder estimar las posibles pérdidas materiales y humanas, en dependencia del peligro a que estén expuestos. Cuando existe una actividad sísmica significativa se debe realizar una evaluación cuidadosa del Peligro Sísmico y realizar una zonación sísmica lo más detallada posible, lo cual constituye un requisito para un planeamiento regional efectivo, con el objetivo de mitigar los daños que pueden ser causados por estos fenómenos.

La zonación sísmica de cada región debe actualizarse cada cierto período, debido a que el conocimiento de las condiciones geológicas y sismológicas van en ascenso y por lo tanto introducen cambios en los aspectos fundamentales que se tienen en cuenta para realizar los estimados de Peligrosidad Sísmica. Estos estimados resultan importantes, sobre todo, si se quiere minimizar las pérdidas de vidas humanas, los daños sociales y económicos, convirtiéndose estos, en el primer escalón en la evaluación del Riesgo Sísmico.

En nuestro país se han reportado sismos fuertes que han afectado fundamentalmente a la región oriental de Cuba, donde se encuentra la ciudad de Santiago de Cuba. Es en esta región, caracterizada por una alta sismicidad por el número de eventos, que se registra anualmente, la que mayor nivel de peligro sísmico presenta. La estructura que tiene la principal incidencia en esto es la Zona Sismogénica Bartlett - Caimán, por constituir una zona de límite de las Placas litosféricas, la de Norteamérica y la Caribe.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas presentó el Proyecto Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba, donde se realizan estudios encaminados fundamentalmente, a caracterizar la Amenaza Sísmica de la región, a partir de los estimados que se obtienen de Peligrosidad Sísmica con la utilización de estructuras sismogénicas definidas en todo el país.

Partiendo de estas estructuras, en este trabajo, se propone un nuevo esquema de Zonas Sismogénicas de la región suroriental para determinar los parámetros del Peligro Sísmico y poder precisar los niveles de riesgos para distintos niveles de probabilidad. Para ello se emplea una valoración geodinámica de la región sobre la base de estudios realizados por Arango (1996) y una caracterización de la Sismicidad presente en el área, teniendo en cuenta que actualmente contamos con una mayor cantidad de datos instrumentales. Esto nos brinda la posibilidad de caracterizar las nuevas Zonas Sismogénicas desde el punto de vista sismológico.

Contar con la definición de las Zonas Sismogénicas y sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico, unido al modelo estadístico de la ocurrencia de terremotos y sus efectos, así como la Ley de Atenuación de la Intensidad Sísmica, para cuantificar los efectos de los terremotos con sus características regionales, nos permite realizar los estimación del Peligro Sísmico en este trabajo.

Se empleó el programa SACUDIDA (Alvarez, 1995), en uno de sus enfoques de cálculo:

- Una variante del método de Riznichenko (Alvarez y Buné, 1985), empleando zonas de Origen de Terremotos para las que se determinan los parámetros Mmáx, h, a, b y A/B.

Como resultado de todo el procesamiento se obtienen períodos de recurrencia y la estimación de la probabilidad de que no sean igualados o excedidos los valores de los parámetros (intensidad sísmica, aceleración, velocidad y desplazamiento), para diferentes tiempos de espera. Para completar nuestro trabajo se realizó un estudio de caso puntual, la ciudad de Santiago de Cuba. Todos los resultados obtenidos constituyen Bases de Datos para su inclusión en un Sistema de Información Geográfica.

Justificación

"En las regiones sísmicamente activas cualquier decisión tomada para el planeamiento urbano debe estar basado en las características probables de los terremotos que se esperan en el futuro. Estas características son suministradas por un procedimiento usualmente llamado Evaluación del Peligro Sísmico".

G. Gruntal

Los terremotos constituyen la mayor amenaza en gran parte de la Tierra y la vulnerabilidad hacia los desastres va en aumento al mismo tiempo que la urbanización y el desarrollo ocupacional de muchas áreas propensas a los efectos de los terremotos significativos. En aras de minimizar las pérdidas de vidas, daños de bienes sociales y económicos causados por los terremotos, es importante obtener los estimados de los niveles de peligro sísmico para el uso del mejoramiento del diseño estructural de las construcciones.

Partiendo de los estudios de los procesos geodinámicos en la región realizados por la expedición francesa SEACARIB-II (Calais, 1988), que detalló los elementos principales en la zona de contacto de las placas Norteamericana y del Caribe, posibilitando definir las principales características tectónicas de la zona de Falla Transformante Oriente y su relación con la sismicidad del área, que le permitió a Arango (1996), proponer un Modelo Geodinámico, donde se refleja la ocurrencia de diferentes procesos geodinámicos.

Es a raíz de este enfoque, que proponemos un esquema de Zonas Sismogénicas que se basa en evidencias geológicas, características tectónicas, sismicidad histórica y en al análisis Geodinámico nunca considerado en los estudios sismotectónicos anteriores, para determinar los parámetros del Peligro Sísmico regionales y precisar los niveles de riesgo a que están sometidas las estructuras y la población en general en la ciudad de Santiago de Cuba, teniendo en cuenta, que según Arango 1996, el proceso transpresivo que se desarrolla al Este de los 76.00° de Longitud Oeste constituye

potencialmente la zona más peligrosa para la ocurrencia de un terremoto fuerte con relación a la ciudad de Santiago de Cuba.

Planteamiento del problema:

En la confección del esquema de Zonas Sismogénicas que actualmente utilizamos para la estimación del Peligro Sísmico no se considera la influencia de los movimientos horizontales que ocurren en la región suroriental.

Hipótesis:

Con la utilización de un nuevo esquema de Zonas Sismogénicas, considerando los procesos geodinámicos y la actividad sísmica del área, se podrá obtener una mayor información sobre la génesis de los sismos en la región e introducir cambios en los valores de los niveles de Amenaza a que está sometida la misma.

Objetivos:

Generales:

Evaluar el Peligro Sísmico de la región suroriental a partir de la propuesta de esquema de Zonas Sismogénicas en la zona de Falla Transformante Oriente, para que se tenga en cuenta en el Planeamiento Urbano y Desarrollo Socioeconómico de la región.

Específicos:

1. Valorar los parámetros de atenuación y régimen sísmico de las Zonas Sismogénicas propuestas, considerando los procesos geodinámicos.
2. Obtener los parámetros de Estimados de Peligrosidad Sísmica de la región suroriental de Cuba, a partir de un nuevo esquema de Zonas Sismogénicas.
3. Analizar como se manifiesta este nuevo enfoque del Peligro Sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba.

Antecedentes

Los trabajos realizados por H. Alvarez (1970) y F. Boytell (1977), fueron los primeros que caracterizaron de cierta forma el Peligro Sísmico en Cuba, los mismos establecieron diferentes niveles de peligro sísmico para el país con la limitante de que utilizaron una pobre estadística de terremotos y una deficiente metodología.

En el trabajo "Estimación de la Peligrosidad Sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba" (Alvarez, 1983), al no tenerse suficiente información y elementos de atenuación sísmica, fue posible determinar los valores de los parámetros del régimen sísmico utilizando datos sólo de la región Suroriental de Cuba. Por primera vez se obtuvieron estimados cuantitativos de los períodos de recurrencia de las diferentes intensidades sísmicas en Santiago de Cuba, sobre la base del análisis de datos instrumentales. Estos resultados superaron los obtenidos por Chuy y Rodríguez (1980) para ese territorio.

En 1983 también se obtuvo un mapa de intensidades para tiempos de recurrencia de 100 años (Chuy, González, y Alvarez, 1983), que se utiliza actualmente como referencia cualitativa y formó parte de la Norma Cubana de Construcciones Sismorresistentes desde 1984.

En el Estudio Especial "Cálculo del riesgo sísmico para el archipiélago cubano" (Chuy, Rubio y Cotilla, 1985) se obtuvieron dos mapas de intensidades (para 100 y 10 000 años). Su principal limitación fue la escasez de información sismológica, histórica e instrumental, así como pocos datos geólogo - tectónicos (su base fueron las fotos cósmicas). Los estimados se obtuvieron utilizando el programa EQRISK (Mc Guire, 1976).

Hasta 1989, a pesar de los trabajos realizados, aún se presentaron algunas dificultades, una de ellas es haberse utilizado un esquema de Zonas Sismogénicas con características particulares: seis zonas propiamente para la región suroriental y para el resto del territorio (interior de placas), nudos de alineamiento determinados por Cotilla et

al (1988). Otra limitación de estos estimados (Alvarez, Cotilla y Chuy, 1989), es no considerar estructuras tectónicas activas en las acuatorias.

Las Zonas Sismogeneradoras, Sismogénicas o llamadas también Zonas de Origen de Terremotos (ZOT), son estructuras disyuntivas que poseen ciertas características geólogo - geofísicas, de forma que hacen posible el surgimiento de focos de terremotos en ellas y son evaluadas de acuerdo a sus características morfológicas y morfométricas, atendiendo a una clasificación de analogías con otras regiones del mundo, en la que inciden su historia y potencialidad sísmica. Tal evaluación le asigna una categoría y una magnitud máxima Mmáx.

Este enfoque ha sido sometido a modificaciones en el transcurso del tiempo. Si bien las condiciones geólogo - tectónicas usadas en la clasificación en categorías se ha mantenido sin variaciones esenciales, han sido sometidas a cambio las concepciones sobre Mmáx. y sobre todo la homogeneidad de las zonas. La determinación de Mmáx se hace combinando este método (Buné et al, 1971) con el de dimensiones del foco o fallas (Shebalin, 1971) y otros criterios geofísicos, entre ellos los sismológicos (Chuy, González y Polo, 1983).

En 1988, Chuy, González y Polo confeccionaron un modelo de Zonas Sismogénicas por fallas principales para la región occidental relacionados con los sismos perceptibles reportados y estimaron las magnitudes máximas Mmáx. de ellas teniendo en cuenta los criterios analizados por Shebalín (1971) sobre las dimensiones de fallas. Este modelo no tuvo en cuenta áreas preferentes de generación de terremotos en las Zonas Sismogénicas propuestas, ni la categoría de las diferentes estructuras tectónicas al esquematizarlas por sus parámetros geométricos solamente.

La definición de los parámetros espaciales de las Zonas de Origen de Terremotos para la región Oriental, tuvo en sus inicios algunas dificultades por la cantidad reciente de trabajos terminados de Sismotectónica, entre ellos los correspondientes a la CEN - Holguín (1989). Por lo que se hizo necesaria la creación de una Comisión Ad - Hoc, 1991 para la determinación de los más importantes de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas.

Esta Comisión tuvo su origen con el comienzo de los trabajos para la evaluación del emplazamiento de la Central Hidroenergética Toa - Duaba en el Norte de la provincia Guantánamo, para lo que se reunió un amplio grupo de especialistas cubanos que propusieron un nuevo mapa de Zonas Sismogénicas y un sistema de clasificación para la asignación de su Mmáx.

Este resultado obtenido (Figura 1), fue por consenso (Comisión Ad - Hoc, 1991), ya que a pesar del incremento de la información geológica - geofísica y sismológica y de nuevos métodos de trabajo, la carga subjetiva es muy alta, sobre todo a las soluciones Sismotectónicas aplicadas al caso de Cuba. Con relación al trazado y geometría de las zonas, es de destacar que estas contemplan los errores en las determinaciones epicentrales y la existencia de las zonas limite de placas litosféricas que no se valoraron en los modelos anteriores.

Con el desarrollo de las investigaciones sobre este tema, se llegó a la conclusión de que las estructuras tectónicas activas son la causa de la peligrosidad sísmica en las zonas de baja actividad de Cuba (Chuy, González y Orbera, 1994). Se analizaron para la región Occidental los niveles de actividad de cada zona desde el punto de vista neotectónicos y fueron categorizadas las Zonas Sismogénicas, en dependencia de estos criterios conjugados con sus parámetros geológicos, geofísicos y tectónicos, empleando simultáneamente el resultado de un voluminoso trabajo de recopilación de datos macrosísmicos.

Todo esto ha permitido calcular los parámetros del régimen sísmico con mayor precisión sobre la base de un catálogo más completo y de un mayor conocimiento de la atenuación sísmica de la región. A partir de entonces se obtuvieron trabajos regionales concluyentes para esa etapa de trabajo (Orbera et al, 1990; Chuy et al, 1992, González et al, 1994), con lo que se pudo integrar toda esta información en un Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana (Chuy y Alvarez, 1995), que como uno de sus principales aciertos es la introducción de probabilidades en los estimados del Peligro Sísmico.

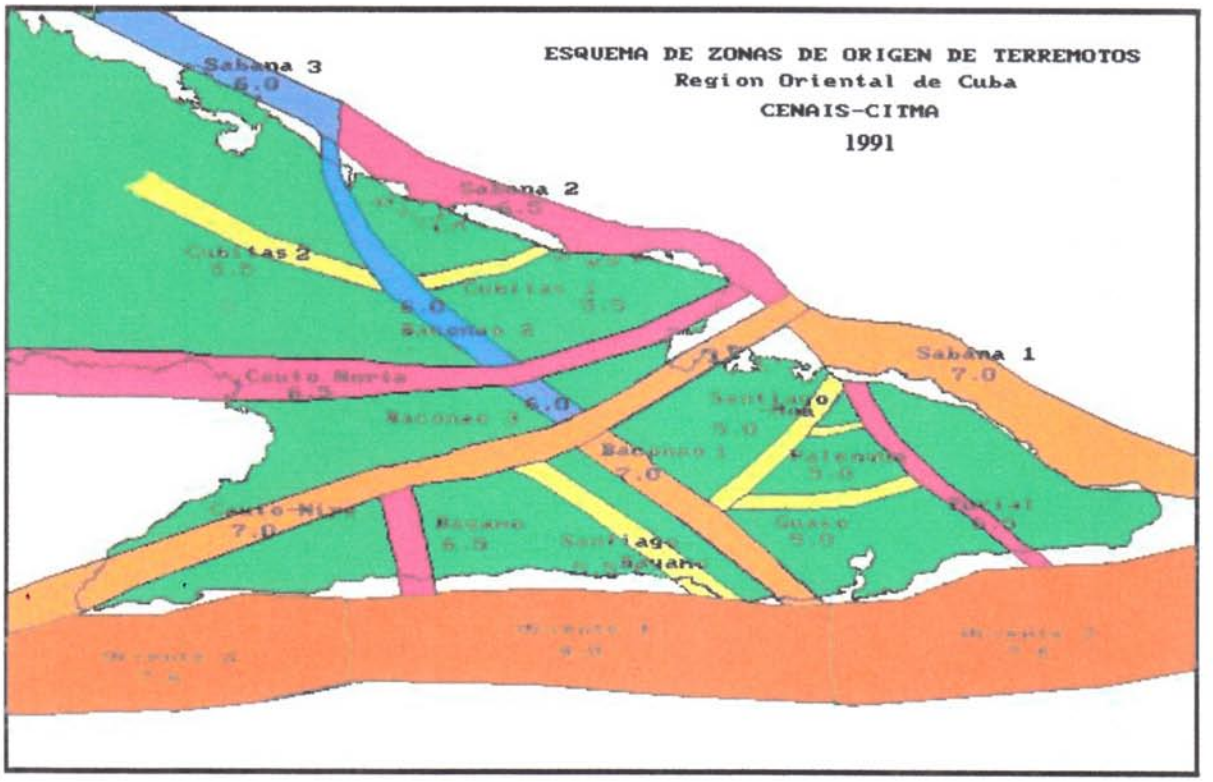


Figura 1. Esquema de Zonas de Origen de Terremotos. (Comisión Ad-Hoc, 1991).

Otro de los autores que ha tratado el tema ha sido Cuevas, 1994. El mismo realizó también una zonación de magnitudes máximas, utilizando información isostática y coincidentemente las zonas de más fuerte gradiente isostático están relacionadas en un 72 % con el trazado geométrico de las principales Zonas Sismogénicas (Bartlett - Caimán, Norte Cubana y Cauto - Nipe (Figura 1) de la Comisión Ad - Hoc (1991).

Como aspecto de suma importancia, para realizar una nueva zonación, es sin dudas, que entre las limitaciones de los trabajos precedentes se encuentra la no - consideración para la zona Oriental la influencia de los desplazamientos laterales en las características geólogo - tectónicas de la región.

Peligrosidad Sísmica. Problemática actual.

En el mundo:

Las Naciones Unidas designaron el periodo de 1990 – 2000 como Década Internacional para la Reducción de Desastres Naturales, en el cual fue necesario la realización de Proyectos dirigidos a establecer una estrategia para la reducción del riesgo. Estos se enmarcan dentro del Programa Global para la evaluación del Peligro Sísmico (*GSHPA)* propuesto por el Programa Internacional de la Litosfera (*ILP).*

En el primer año de sus funciones, el *GSHPA* se reunió en junio de 1992 con la participación de 27 países y con las principales agencias internacionales relacionadas con la evaluación del Peligro Sísmico, en esta reunión se estableció por consenso la necesidad de crear una red para el desarrollo de una metodología común para la evaluación del Peligro Sísmico.

El *GSHPA* y el Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales de las Naciones Unidas posibilitaron perfeccionar la evaluación del Peligro Sísmico considerando:

- La coordinación de esfuerzos en diferentes naciones y proyectos regionales.
- La obtención del consenso en una única metodología científica para la evaluación del Peligro Sísmico.
- La posibilidad de que las tecnologías más avanzadas estén disponibles a través de la transferencia de tecnología y de los programas educacionales.

El *GSHPA* ha coordinado con otros programas relacionados con el Peligro Sísmico, llevados a cabo por organizaciones internacionales (IASPEI, ICSU, IUGG, PAIGH, ESC, HABITAT, UNESCO) y con las comunidades internacionales de ingeniería sísmica (IAEE, WFEO/UATI). Se han incorporado los resultados a los tres proyectos del ILP: *World Stress Map, The World Map of Active Faults and Paleosesimicity of the Late Holocene*, iniciados para el aumento del conocimiento sobre los procesos sísmicos y la

integración de la información geolo-geofísica en función de proveer de bases sólidas la evaluación del Peligro Sísmico.

La clave para la implementación del *GSHAP* ha sido la creación de los Centros Regionales, que son los representantes de las actividades relacionadas con la evaluación del Peligro Sísmico. Estos están ubicados en los principales institutos geofísicos en todos los continentes:

1) Norte y Centro América (UNAM, México)
2) Sur América (CERESIS, Perú)
3) Centro y Noreste de Europa (GFZ, Postadam)
4) Mediterráneo (CNPCRST, Rabat)
5) Africa continental (Universidad de Nairobi)
6) Medio Oriente (IIEES, Teherán)
7) Nordeste de Eurasia (IPE, Moscú)
8) Centro y Sudeste de Asia (SSB, Beijing)
9) Asia oriental- Oceanía (PHIVOLCS. Manila)

La red del *GSHPA* adoptó un nuevo Programa y una Guía Técnica, para lo que se realizó una revisión de la evaluación del Peligro Sísmico Regional en todos los continentes y con la participación de reconocidos expertos internacionales se preparó una guía metodológica para su implementación en diferentes condiciones sismotectónicas encontradas en el mundo.

Los aspectos evaluados fueron: los Catálogos de Terremotos, las Zonas Fuentes, los Efectos de los Terremotos (atenuación sísmica) y los Programas de Cómputos.

En Cuba

Nuestro país a lo largo de 20 años ha venido trabajando en los Estimados de Peligrosidad Sísmica considerando los 4 factores priorizados por el Programa Global para la evaluación del Peligro Sísmico (zonas fuentes, atenuación del efecto de los terremotos, catálogo de terremotos y su estadística así como el algoritmo de cálculo).

De un trabajo a otro se ha ido aumentando el grado de conocimiento, se han precisado aún más los Catálogos de Terremotos, se han introducido nuevas metodologías de cálculo. Todo ello ha conllevado que en los momentos actuales contemos con una metodología para la Estimación del Peligro Sísmico, no muy diferente a la que se utiliza en el mundo, que tiene en cuenta dar tratamiento al régimen sísmico, la identificación de las zonas fuentes (considerando sus valores de magnitud máxima Mmax), la utilización de fórmulas elípticas de atenuación y el algoritmo de cálculo que se emplea en el SACUDIDA (Alvarez, 1995).

Con vistas al futuro, los estimados de Peligrosidad Sísmica deben estar encaminados al perfeccionamiento de los factores antes mencionados:

Zonas fuentes: En Cuba se han aplicado dos escuelas de estudios sismotectónicos, una rusa y otra de corte occidental. Las discusiones llevadas a cabo durante las Investigaciones Sismológicas del Complejo Hidroenergético Toa - Duaba (Chuy et al, 1992), pusieron de manifiesto que incluso en una región tan estudiada como Cuba oriental. Cualquier selección de un modelo de zonas fuentes es igualmente aceptable y toda queda en la apreciación personal de los que la realicen, por lo que los trabajos de sismotectónica tenian implícita una carga de subjetivismo, es decir, los datos utilizados para tomar muchas decisiones eran a todas luces insuficientes para definir claramente lo que planteaban los autores. Existe una carencia total de datos cuantitativos de la dinámica de fallas y solo se conoce su trazado en superficie, muchas veces parcialmente por lo que grandes sectores de las fallas son supuestos. En este sentido el estudio Geodinámico realizado por Arango (1996) aporta una gran información de la región suroriental en tal sentido, carente hasta entonces en este tipo de estudios.

Catálogo de terremotos y su estadística: El objetivo debe ser su perfeccionamiento, particularmente con aquellos sismos de magnitudes tan significativas como para que ameriten un estudio estadístico del mismo. Entre las tareas importantes a desarrollar deben estar en mejorar la precisión de las determinaciones epicentrales y el establecimiento de una escala de magnitud local.

Atenuación: La tarea más inmediata a desarrollar es el perfeccionamiento del modelo de isosistas, a través de la búsqueda e implementación de un método de que permita con precisión ajustar un modelo particular a un juego de datos especifico, de la determinación de fórmulas de atenuación para intensidad en forma elíptica y del desarrollo de forma integral de modelos de isosistas con otros patrones de forma.

Algoritmo de cálculo: Debe mejorarse el programa SACUDIDA, no solo en lo que respecta a sus capacidades de procesamiento, sino que se debe trabajar en la confección de una versión de un sistema totalmente interactivo. Ya en este trabajo de Tesis se utiliza una variante de este tipo de sistema de interacción con la salida de este programa, preparado por González L. en el marco del Proyecto de Riesgo Sísmico de Santiago de Cuba (Chuy, Despaigne y González, 2000). Igualmente es importante la obtención de programas que incluyen nuevas metodologías como forma de ampliar el espectro para estimar el Peligro Sísmico.

Capitulo 1. Características Generales del área de estudio.

1.1 Situación tectónica de la región de estudio.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el límite de Placas Caribe y de Norteamérica, que como describieran Heubeck y Mann (1991), se caracteriza por su complejidad tectónica y comprende a la falla Polochic – Motagua, la falla Islas Swam y la zona de expansión Caimán. Hacia el este, el mismo se divide en dos ramas, una hacia el noreste que une al extremo superior de la zona de expansión Caimán con la falla Oriente y la falla Septentrional. La otra localizada hacia el sureste de la zona de expansión Caimán incluye a la falla Walton, la falla Enriquillo Plantain Garden, la fosa Muertos y la falla Anegada Pasaje. Ambas ramas se conectan una con otra en la zona de subducción de las Antillas Menores (Figura 1.1A)

Diferentes autores sugieren la existencia de microplacas hacia el este del Caribe, Rozencrantz y Mann (1991). Distinguiéndose como una de ellas, la llamada Microplaca Gonave, en la región delimitada por la falla Oriente, la falla Walton y la falla Enriquillo Plantain Garden (Figura 1.1 A)

En la figura 1.1 se refleja la situación tectónica y sísmica en el límite de placas, dadas por:

1- Una zona de fallas convergentes de deslizamiento por el rumbo con desplazamiento lateral-siniestro, activa y con sistemas de fallas secundarias, mencionadas anteriormente (Figura 1.1A).

2.- Una zona de actividad sísmica superficial (Sykes et al, 1982, Calais et al, 1992) al oeste de los 71° W (Figura 1.1A).

3.- Zona de ruptura de fuertes terremotos históricos (Figura 1.1B).

4.- Zonas de elevadas terrazas marinas del Cuaternario Tardío (Figura 1.1C).

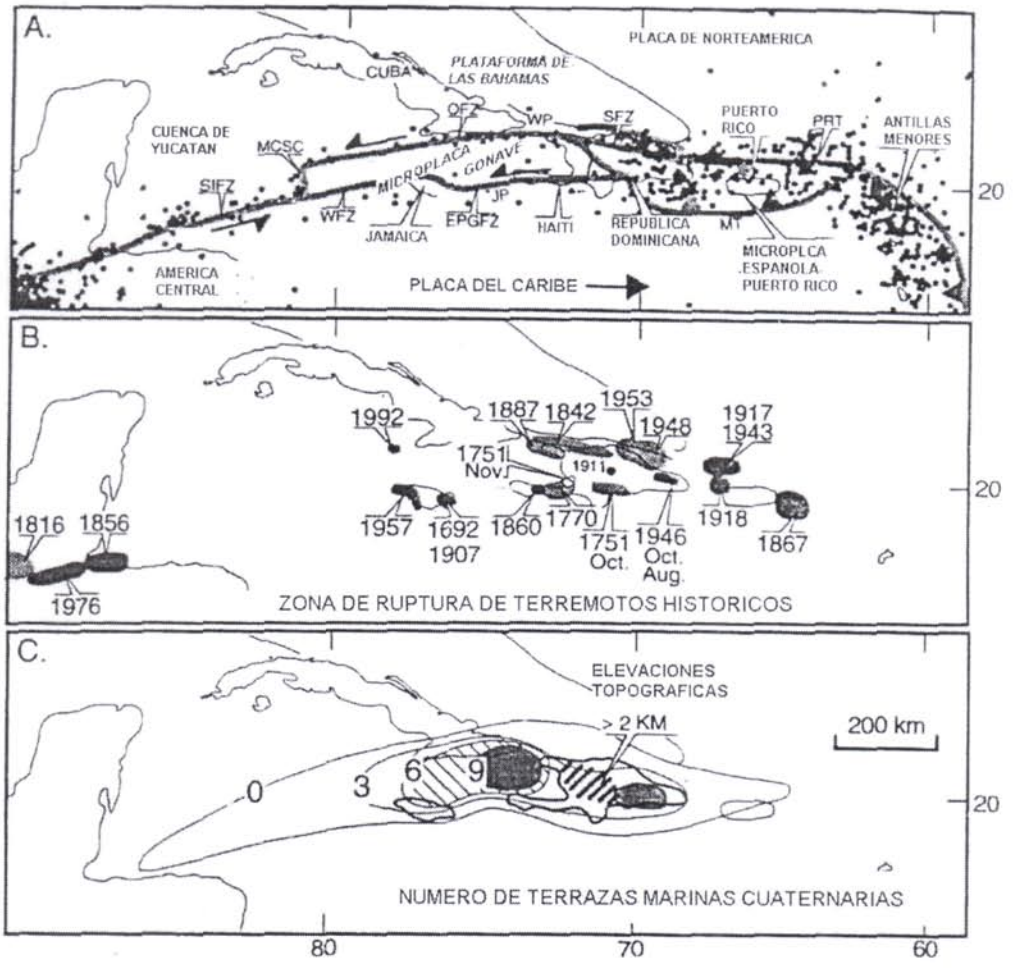


Figura 1.1.A Situación tectónica y Sismicidad (1963-1992, M>4.5, fuente ISC), del límite de placas Caribe y Norteamericana. Siglas: SIFZ- zona de falla de Islas Swams; WFZ-zona de fallas Walton; MCSC- zona de expansión Caimán; OFZ-zona de falla Oriente; EPFGZ- zona de falla *Enriquillo-Plantain Garden*; SFZ- zona de falla Septentrional; MT- Fosa Muertos. B Zonas de ruptura de terremotos históricos. C Número de terrazas marinas del Cuaternario (tomado de Mann et al, 1995).

El área de estudio específicamente está comprendida entre los 75.25-78.00 grados de Longitud Oeste y los 19.50-20.10 grados de Latitud Norte, que no es más que parte del área que ocupa la Zona Sismogénica Bartlett-Caimán.

En 1991, la Comisión Ad - Hoc, definió la existencia de la Zona Sismogénica Oriente (Bartlett – Caimán), al sur de la región oriental, desde la Cuenca de Cabo Cruz hasta el

Paso de los Vientos, la misma se subdividió, por su potencialidad sísmica, en cuatro sectores (Oriente 1, Oriente 2 y Oriente 3).

Esta zona sismogénica coincide con la presencia de la Falla Transformante Oriente, principal elemento Geodinámico del Caribe septentrional, y es a su vez el límite de placas de Norteamérica y Caribe, Bowin (1975), Case y Holocombe (1984), Burke (1988), Calais y Lepinay (1989).

La falla se encuentra ubicada al sur del territorio cubano y se corresponde, en el área de estudio, con un gran gradiente topográfico que va desde 2000 m de altura en La Sierra Maestra a una profundidad de 6500 m en la depresión Oriente.

El carácter transformante de la estructura donde basamos nuestro estudio, está dado por los procesos geodinámicos que ocurren en sus extremos: al oeste donde ocurre un proceso de expansión oceánica en la zona de Caimán y al este a partir de las inmediaciones del norte de Puerto Rico, donde ocurre un proceso de subducción de la Placa de Norteamérica por debajo de la Placa Caribe, Jordan (1975), Mc Donald(1976), Case y Holocombe (1980), Sykes et al. (1982), etc.

Esta estructura por demás, según Rosencrantz (1988) se caracteriza por un movimiento lateral siniestro de deslizamiento por el rumbo.

Calais y Lepinay (1991) expresaron que desde la zona de expansión hasta el borde occidental del margen de Cuba, la geometría de la Falla Oriente esta pobremente documentada. De cualquier modo su trazo y las estructuras asociadas a ella, han sido cartografiadas en detalle. A lo largo del margen de Cuba, la Falla Oriente es principalmente un sistema de desplazamiento siniestro con segmentos de fallas en escalón, responsable de la subsidencia de las cuencas de pull apart (Cabo Cruz, Chivirico y Baitiquirí) (Calais y Lepinay, 1991). En contraste, la parte oriental del margen de Cuba esta caracterizado por la transpresión y por la presencia de estructuras tectónicas de compresión activas (pliegues, fallas inversas) que forman el Promontorio Santiago. Su desarrollo esta relacionado con el régimen tectónico transpresivo a lo largo de la falla de deslizamiento por el rumbo Oriente. En el Paso de los Vientos la

base de la interpretación de los mapas batimétricos, gravimétricos, magnéticos de la región de estudio y del análisis de la sismicidad asociada a la zona de límites de placas, obtuvo como resultado que en esta región ocurren diversos procesos geodinámicos, derivados del movimiento lateral izquierdo de la Placa de Norteamérica con relación a la Placa Caribe, entre los 75.50° y los 78.00° de Longitud Oeste, definiendo cada uno de estos procesos las características de la sismicidad en esta región.

Los procesos geodinámicos propuestos por este autor son: transtensivo, de deslizamiento por el rumbo (sin un proceso geodinámico secundario de importancia), extensional y transpresivo (Figura 1.2)

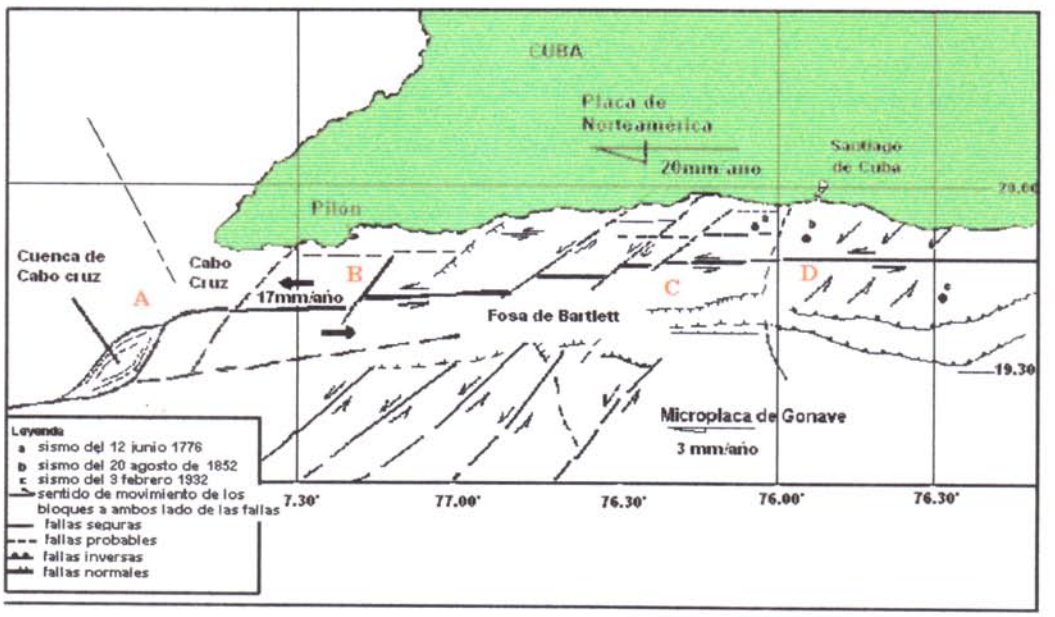


Figura 1.2 Procesos geodinámicos presentes en la región de estudio (Arango, 1996). A. Proceso Transtensivo; B. Deslizamiento por el rumbo; C. Proceso Extensional; D. Proceso Transpresivo

El primero de estos procesos se encuentra localizado en la cuenca de **Cabo Cruz**, situada alrededor de los 78.00° de Longitud Oeste y los 19.59° Latitud Norte, como estructura del tipo *"Pull Apart Basin"*, formada como resultado de un proceso **transtensivo**, a partir del desplazamiento hacia la izquierda de la Placa Norteamérica en una inflexión de la falla principal. La cuenca constituye en sí un Graben limitado por fallas normales con rumbos de 45° a 50° NE, las cuales pueden inferir directamente en los rasgos morfoestructurales del fondo marino.

En esta zona además de ocurrir la transtensión mencionada anteriormente, se evidencia su complejidad tectónica, caracterizada por la presencia de una estructura tipo horst, situada inmediatamente al este de la cuenca de Cabo Cruz, con dirección también de 45° NE.

La zona **Pilón**, situada al este de la zona transtensiva. En la misma se define con claridad el trazado de la falla principal, con un rumbo de 85° NE aproximadamente, expresado morfológicamente por el cambio de la pendiente del escarpe del fondo marino y en los campos geofísicos por los fuertes gradientes que se manifiestan en los mapas de anomalías magnéticas del campo total y anomalías gravimétricas de aire libre, alcanzando en el primero los 20nT/km y en segundo los 10 mlg/km.

Arango (1996) define a esta zona como de **deslizamiento por el rumbo "puro",** sin prácticamente ningún proceso geodinámico secundario de consideración.

Oriente, es el sector que se corresponde con la Fosa de Bartlett (o de Oriente), que por sus características morfométricas permiten interpretarlo como una estructura de tipo **extensional** (proceso propuesto por Boulter en 1990 para este tipo de situación), relacionado con un proceso de abertura de la corteza, que pudo haber comenzado al formarse la fosa y continuar hasta nuestros días, manifestándose además con un mínimo de -250 mlg en el mapa de anomalías gravimétricas de aire libre y los máximos valores de anomalías gravimétricas de Bouguer.

En este sector al que se le llama **Estructura Extensional "Oriente"**, la falla principal se encuentra dislocada por fallas de segundo orden del tipo sintéticas, que desplazan a la primera en forma escalonada y se aproximan más a la costa, coincidiendo con una pequeña depresión submarina muy cerca de la localidad de Chivirico.

Santiago, situada entre los 76.00° y los 75.25° de Longitud Oeste, donde se encuentra una elevación del fondo marino conocida como Promontorio de Santiago de Cuba, interpretada como una estructura formada como resultado de procesos **transpresivos** (Calais y Lepinay, 1993), sobre todo a partir del Plioceno.

1.3 Distribución de los sismos en la región.

Las condiciones geodinámicas han sido establecidas entre otros aspectos por el estudio de la sismicidad de una región, que pueden servir como punto de partida en la determinación de la Amenaza Sísmica. Por ello es necesario llevar a cabo el análisis de la distribución espacial y temporal de los terremotos, que permita interpretar la relación existente entre su comportamiento y los procesos geodinámicos presentes.

La Sismicidad de la región Oriental presenta una característica significativa y que al mismo tiempo hace que su evaluación sea compleja para algunas áreas. Esta consiste en el hecho de que en este territorio se presentan dos formas de génesis de sismos: de Entre Placas y de Interior de Placa.

Esto significa que en esta región no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes, destacándose en el primer tipo de Sismicidad la parte Suroriental por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente. Por estas razones, este territorio, es considerado la de mayor peligrosidad sísmica del país y se corresponde con la estructura de Bartlett - Caimán; señalándose en ella 22 reportes de terremotos fuertes (Chuy, 1999), de ellos 20 en el sector Chivirico - Baconao de la provincia de Santiago de Cuba y 2 en el sector Pilón - Cabo Cruz.

Es de especial interés significar que de estos sismos fuertes ocurridos en Santiago de Cuba, 2 de ellos produjeron intensidad I = 9.0 MSK en áreas de la provincia de este nombre en 1766 (Magnitud Richter Ms = 7.6) y 1852 (Ms = 7.3), reportándose de ambos considerables daños en toda la región oriental. Así también, que los más recientes que han afectado a la región oriental en su conjunto se reportan en 1932 (Ms = 6.75; I = 8.0) y 1947 (Ms = 6.75; I = 7.0) para la ciudad de Santiago de Cuba y 1976 (Ms = 5.7; I = 8.0) y 1992 (Ms = 7.0; I = 7.0) para el Sur de la provincia Granma.

En la región Suroriental de Cuba, se genera más del 90 % de los terremotos de nuestro país. Por los datos analizados del Catálogo de Terremotos del Centro

sísmicos en ella. Estos pueden ser observados en los mapas de distribución de epicentros (Figura 1.3), que nos han permitido establecer la relación que existe entre la distribución espacial de los mismos y la presencia de un límite de placas, en este caso el límite de la Placa de Norteamérica y la Placa Caribe, determinado por el número de eventos y la magnitud de los mismos.

El número de eventos de menor magnitud supera de forma creciente al número de eventos de magnitudes mayores, lo cual también es típico de zonas donde existen desplazamientos con deslizamientos por el rumbo, de acuerdo al Modelo de Relajación de Esfuerzos en la generación de terremotos (Udía y Mézcua, 1986). Este gran número de terremotos de pequeñas magnitudes, permite inferir que existen abundantes fracturas activas, que los originan.

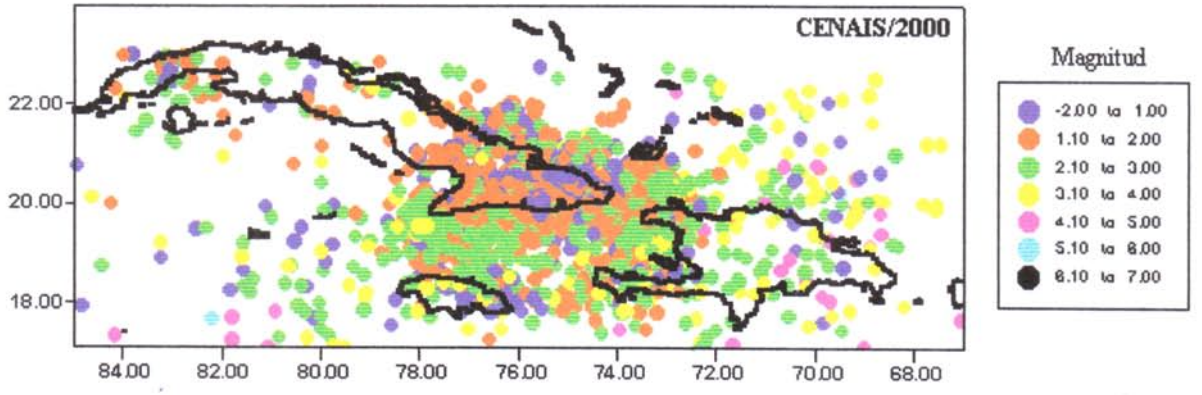


Figura 1.3 Distribución de los epicentros de terremotos registrados en el período 1985 - 1999.

Con respecto a las Magnitudes máximas anuales ($M \geq 2$) registradas durante 1985 hasta 1999, en la Figura 1.3 se puede apreciar que su distribución en los diferentes sectores de la región Oriental, muestra que la mayoría de ellas se corresponde con la zona de Santiago de Cuba, con excepciones en los años en que ocurrieron los sismos de Cabo Cruz (1992) y Moa (1998) entre otros.

La figura 1.4 muestra la distribución de hipocentros a lo largo de las líneas P1-P2 , que abarca el área de estudio. La mayoría de los terremotos tienen profundidad de menos de 35 kilómetros, lo que confirma este valor para el espesor de capa sismoactiva de las Zonas Sismogénicas. Sin embargo, algunos terremotos tienen más de 35 kilómetros de profundidad, lo que puede indicar la presencia de algunas fracturas muy profundas en dicha zona. En el perfil se observan tres de ellos, pertenecientes a la zona de Cabo Cruz.

Los sismos más significativos por la energía liberada (M ≥ 2 , M ≥ 3 y M ≥ 4) y que en su mayoría fueron perceptibles se comportan como promedio de más de 15 por años (Figura 1.5) y se localizan en la provincia de Santiago de Cuba fundamentalmente, en particular, en la estructura de Bartlett – Caimán, tal y como habíamos considerado con anterioridad.

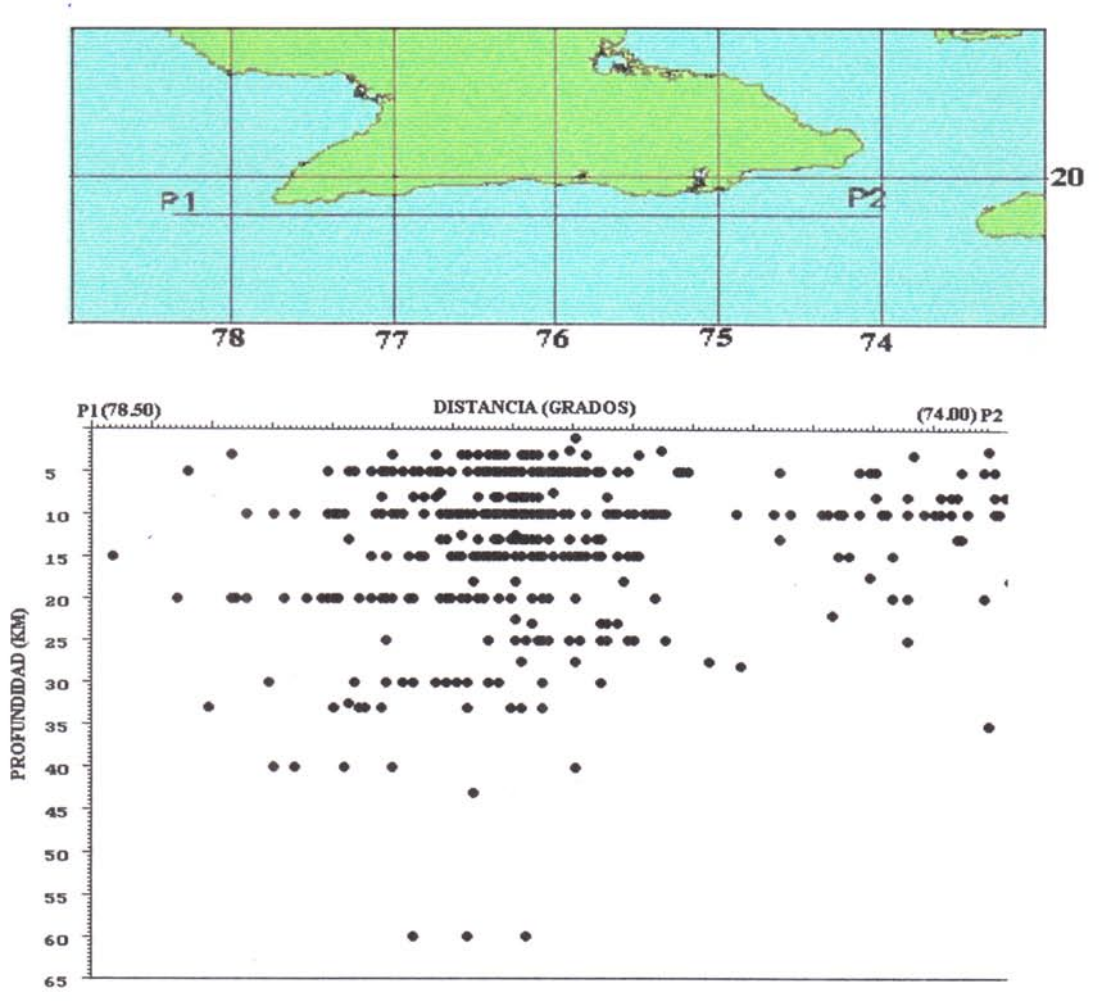


Figura. 1.4 Perfil longitudinal a lo largo de la región para terremotos con Ms≥2.0, desde los 19.70 Lat. N - 74.00 Long. W y los 19.70 Lat. N - 78.00 Long. W y con un ancho de 0.5 grados.

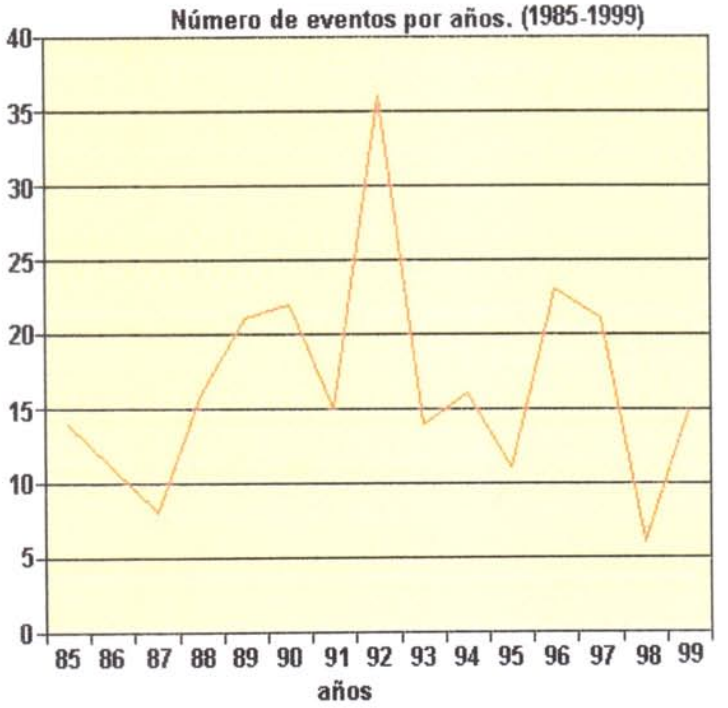


Figura. 1.5 Terremotos perceptibles de la región de estudio, en el periodo 1985-1999.

Consecuentemente, el nivel de Peligro Sísmico en la región de Santiago de Cuba está condicionado, entre otros factores, por la actividad manifestada por las estructuras sismogénicas que se localizan en esta región. Por estas razones, estimar este elemento de riesgo en ella se constituye en una prioridad que se evidencia a través de nuestra historia sísmica y la utilización de estos resultados serán imprescindible para proyectar, planificar y preservar nuestro patrimonio socioeconómico.

Capitulo 2. Estimación de los parámetros del Peligro Sísmico.

2.1 Aspectos metodológicos.

En las regiones sísmicamente activas, cualquier decisión para el planeamiento urbano regional, debe estar basada en las características de los terremotos probables que se esperan en el futuro. Estas características fueron obtenidas por el procedimiento usualmente llamado "evaluación del peligro sísmico".

El término "peligro sísmico" significa la probabilidad de ocurrencia de daños potenciales producto de los movimientos sísmicos del suelo en cierto lugar dentro de un intervalo de tiempo determinado. El proceso de determinación del peligro sísmico en una región es conocido como "zonación sísmica", el cual no implica un estudio especial de las condiciones locales del suelo (Figura 2.1). El resultado principal de la zonación sísmica son los mapas de peligro sísmico o mapas de zonación, referidos a una relación cuantitativa que evalúa la frecuencia y severidad de las sacudidas de los terremotos que se esperan en el futuro.

En la estimación del Peligro Sísmico entran a jugar un papel de primer orden, tres aspectos fundamentales: el modelo estadístico de la ocurrencia de terremotos y sus efectos, la definición de las Zonas Sismogénicas ZS con sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico y la Ley de Atenuación del parámetro a utilizar, para cuantificar los efectos de los terremotos con sus características regionales.

En la literatura existen infinidades de autores que han plasmado textos relacionados con la evaluación del Peligro Sísmico (Mc Guire et al, 1993). De forma general todas proponen el mismo enfoque condicionado por la suficiencia de sus bases de datos, el cual pretendemos describir en este epígrafe.

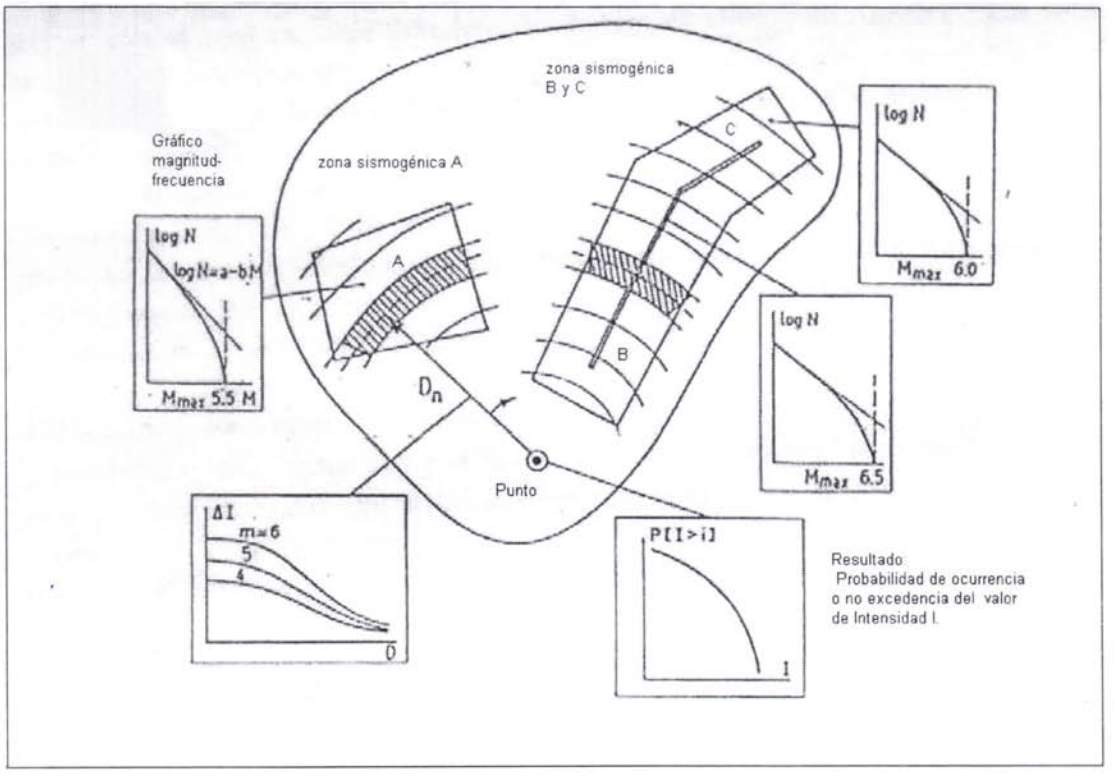


Figura 2.1 Esquema ilustrativo del procesamiento de datos para la estimación del Peligro Sísmico.

Para nuestra estimación de la Peligrosidad Sísmica se empleó el programa SACUDIDA (Alvarez, 1995), que permite utilizar dos enfoques de cálculo:

- El utilizado en el programa EQRISK (Mc Guire, 1976).
- Una variante del método de Riznichenko (Alvaraez y Buné, 1985), empleando zonas de Origen de Terremotos para las que se determinan los parámetros Mmáx, h, a, b y A/B, fundamentalmente).

En nuestro trabajo emplearemos el segundo método, en el cual la base de los estimados de peligrosidad sísmica es a partir del cálculo de la Sacudibilidad mediante la integral:

$$B_I = \iiint_V N_\Sigma (M_I)\, dv$$

Donde $N_\Sigma (M_I)$ es la frecuencia acumulativa de los terremotos para $M = M_I$, la cual es la magnitud mínima capaz de producir una intensidad mayor o igual que I en el punto en el cual se realizan los cálculos.

La Sacudibilidad es un estimado medio de la peligrosidad sísmica. Su inverso, el período de recurrencia de las sacudidas T, puede considerarse como la esperanza matemática de los intervalos temporales entre sacudidas con intensidad mayor o igual que I. Es entonces, que a partir de la Sacudibilidad que se puede calcular la probabilidad de que en un tiempo t (tiempo de espera) no ocurra ni una sacudida con intensidad mayor o igual que I. Considerando el flujo de sucesos analizados como Poissoniano (Chuy, 1999), la probabilidad de que no ocurra ni un evento con intensidad mayor o igual que I en un tiempo t será:

$$P(I,t) = \exp(-t / T_I)$$

El cálculo de la frecuencia acumulativa $N_\Sigma (M_I)$ se realiza de acuerdo a dos modelos alternativos, el "normal" de la caída abrupta según nos acercamos a Mmáx y el del Terremoto Característico (Schwartz y Coppersmith, 1984). La evaluación de M_I se realiza por el modelo de isosistas elípticas de Alvarez y Chuy (1985) con el programa MACRO (Pico y Chuy, 1990). La selección del modelo para $N_\Sigma (M_I)$ y de los parámetros del modelo de isosistas se realiza para cada Zona de Origen de Terremotos por separado.

La evaluación de la integral se realiza mediante su transformación en sumatoria. Esto implica una subdivisión del espacio V de integración de la forma siguiente:

- en la coordenadas (x, y) se crea un reticulado con espaciamiento (Δx, Δy).
- En la vertical se toman la profundidad de cada Zona de Origen de Terremotos (ZOT) como parámetros fijos y se preparan mapas con la representación en superficie, con un reticulado de las ZOT mencionadas, con la condición de que sean no intersectantes geométricamente.
- La normalización espacial de cada ZOT, se realiza sobre la base del número de cuadrículas que abarque la zona correspondiente y de la fracción de cada cuadrícula del reticulado que sea cubierta por ella.

El resultado fundamental del programa lo constituyen los períodos de recurrencia georeferenciados para todos los valores del parámetro utilizado, aunque

opcionalmente se pueden obtener valores de probabilidad de no ser igualados o excedidos los valores del parámetro para diferentes tiempos de espera.

En el caso general de los parámetros del movimiento del terreno, no existen estudios de variaciones de su atenuación y el campo de los mismos se representa por isolíneas circulares. En la versión más reciente del programa **SACUDIDA** (Alvarez, 1995), con la que se realizaron los cálculos de Peligrosidad Sísmica de este trabajo, están incluidas varias de estas variantes, aunque las utilizadas para estimar los Parámetros Dinámicos: Aceleración horizontal **Ah,** Aceleración vertical **Av** , Velocidad horizontal **Vh,** Velocidad vertical **Vv,** Desplazamiento horizontal **Dh** y Desplazamiento vertical **Dv,** fueron las propuestas por Trifunac y Brady (1985).

$$\log Ah = 0.30\ I + 0.014$$

$$\log Av = 0.30\ I - 0.018$$

$$\log Vh = 0.25\ I - 0.63$$

$$\log Vv = 0.28\ I - 1.10$$

$$\log Dh = 0.19\ I - 0.53$$

$$\log Dv = 0.24\ I - 1.13$$

donde **Ah** y **Av** se dan en cm/s^2 , **Vh** y **Vv** en cm/seg y **Dh** y **Dv** en cm. La conversión se realiza reduciendo a estos parámetros la intensidad **I,** lo cual permite el tratamiento de la aceleración, velocidad y desplazamientos con el Modelo de Isosistas de la región.

2.2 Esquema de Zonas Sismogénicas.

Nuestro esquema de Zonas Sismogénicas parte de los trabajos de la Comisión Ad - Hoc y del esquema geodinámico propuesto por Arango (1996), donde fueron analizados para su preparación de forma combinada, mapas batimétricos, gravimétricos, de epicentros de terremotos entre otros.

A partir de la información sismológica hicimos un análisis más detallado de la distribución de los sismos por zonas, apoyándonos en los gráficos espacio - temporales (Figura. 2.2), donde se pueden observar áreas en las que se concentra una cantidad significativa de epicentros de terremotos, fundamentalmente para magnitudes pequeñas, lo que evidencia, que existen procesos de diferenciación de generación de los sismos.

También es apreciable en los gráficos, como existe una diferenciación en dirección horizontal, marcando la diferencia en la actividad sísmica en cada zona. Esto nos sugiere plantear que tales diferencias en la distribución espacio - temporal y la duración de los períodos activos en diferentes sectores de la región, se debe a los diferentes procesos geodinámicos presentes en el área.

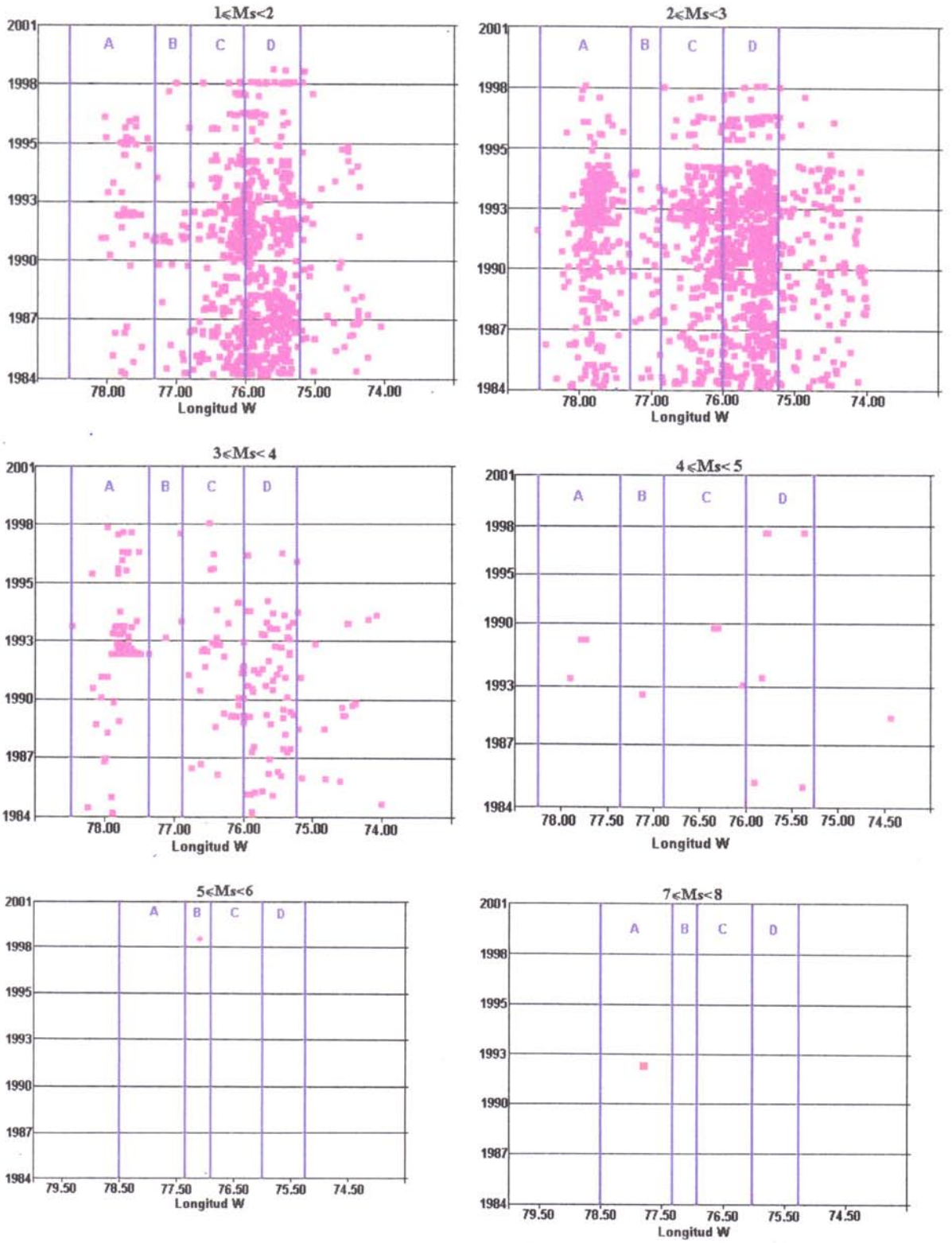


Figura 2.2 Gráficos espacio - temporales por rangos energéticos de los terremotos ocurridos en la región de estudio. Período 1985-1999. A- Cabo Cruz, B- Pilón, C- Oriente y D- Santiago.

Cuando analizamos la ocurrencia de los sismos perceptibles y sus magnitudes máximas, en el periodo 1985-1999, en el sector de estudio (Figura 2.3), el por ciento mayor de sismos corresponde al sector Santiago con 121, le sigue Oriente con 44, Cabo Cruz con 28 y Pilón con 12. De forma que, como ya es conocido, observamos que la liberación de energía marca una diferenciación por sectores en el área. Esta energía no está siempre relacionada con la cantidad de eventos que ocurren. Por lo que el orden de importancia en este sentido, no es debido solamente al número de eventos, así vemos que por ejemplo, Santiago y Cabo Cruz son las de mayor liberación energética, la primera por la cantidad de eventos de este tipo registrados y la segunda sin embargo es por haber registrado un sismo de gran magnitud Mmáx = 7.0 Richter. No obstante esta consideración nos permite diferenciar a las zonas propuestas.

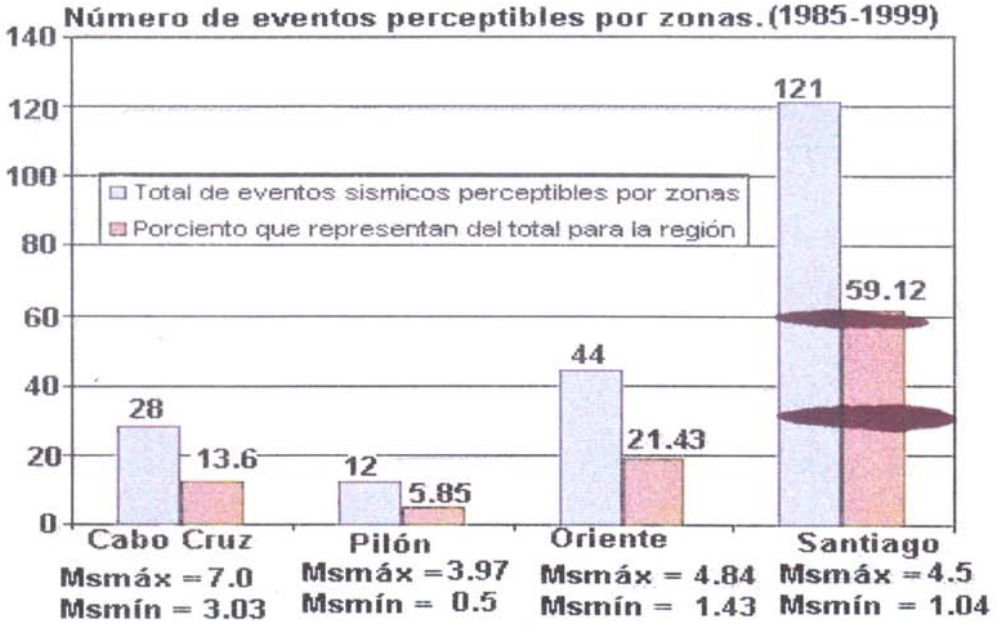


Figura 2.3 Número de eventos perceptibles por año, durante el período 1985-1989, en el área de estudio.

Es evidente que esto también nos permite llegar a conclusiones que se corresponden con elementos que podemos encontrarnos en la literatura, como son que en los lugares donde existen procesos extensionales como Oriente abundan los sismos de moderada magnitud (Udías y Mézcua, 1986). La poca actividad en el sector de Pilón se debe a que no existe un proceso geodinámico predominante y en los que ocurren procesos transtensivos y transpresivos son zonas donde existe acumulación y liberación de energía, que pueden provocar la ocurrencia de

abundantes sismos pequeños o bien un sismo de gran magnitud, como lo fue para la zona de Cabo Cruz, el sismo del 25 de mayo de 1992 (Ms=7.0, I = 7.0 grados MSK)

Con este análisis de la actividad sísmica, la cual se comporta de forma diferenciada para cada una de las zonas divididas, por lo que la Sismicidad es especifica para cada una. También se tuvo en cuenta el mecanismo focal que permite diferenciar las zonas por el mecanismo de generación de los sismos en cada una de ellas. Respecto a este último parámetro, aún siendo pocos terremotos a los cuales se les ha podido determinar, se contó con algunos ejemplos (Tabla 2.1) de soluciones focales para cada zona. Todo esto unido a los procesos geodinámicos que ocurren en el área nos permitió la división por zonas sismogénicas.

Tabla 2.1 Terremotos con Soluciones de Mecanismo Focales de la zona de Fallas Transformante Bartlett - Caimán (Alvarez, 1999).

Terremoto	Magnitud	Zona
11/10/68	Mb =4.3	Santiago
16/02/69	Mb =4.2	Santiago
22/12/70	Ms =4.3	Santiago
20/05/73	Mb =4.5	Santiago
19/02/76	Ms =5.7	Pilón
23/02/76	Ms =4.6	Pilón
24/02/76	Mb =4.8	Pilón
17/10/76	Ms =4.1	Santiago
13/11/78	Ms =4.7	Oriente
08/02/80	Ms =4.2	Santiago
01/09/85	Ms =4.4	Santiago
22/05/90	Ms =4.9	Oriente
26/08/90	Ms =4.7	Cabo Cruz
25/05/92	Ms =7.0	Cabo Cruz

Para facilitar el tratamiento de las zonas, usamos el mismo nombre para su identificación: Cabo Cruz, Pilón, Oriente y Santiago. Los límites se establecieron considerando espacialmente la actividad sísmica de la zona y la influencia de los procesos geodinámicos en cada área (Figura 2.4). Debemos señalar que se mantuvieron para este análisis el resto de las Zonas Sismogénicas del esquema anterior (Comisión Ad-Hoc, 1991).

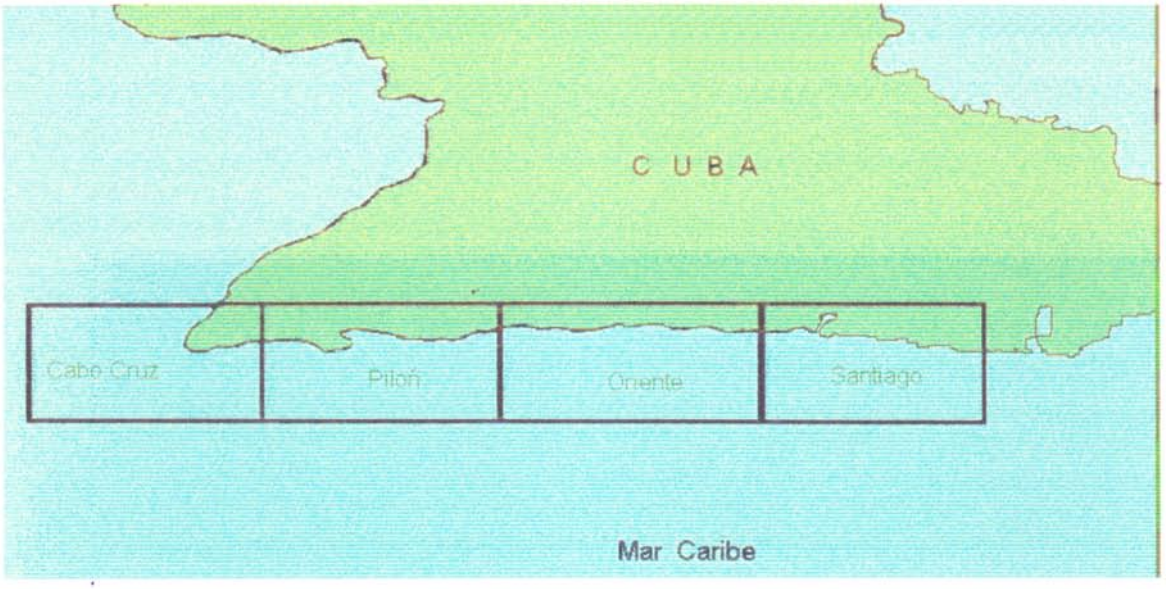


Figura 2.4 Esquema de Zonas Sismogénicas, propuesto por Despaigne, sobre la base de los procesos geodinámicos presentes en la zona de Fallas Transformante Bartlett - Caimán. **Cabo Cruz** (Latitud Norte 19.50 - 20.00; Longitud Oeste 77.30 - 78.50), **Pilón** (Latitud Norte 19.50 - 20.00; Longitud Oeste 76.83 - 77.30), **Oriente** (Latitud Norte 19.50 - 20.00; Longitud Oeste 76.13 - 76.83), **Santiago**, (Latitud Norte 19.50 - 20.00; Longitud Oeste 75.25 - 75.63)

Al cierre de la revisión de este trabajo, conocimos de las últimas investigaciones realizadas por un especialista de nuestra institución que nos facilitó más información sobre los mecanismos focales de terremotos localizados en la porción este de la Falla Oriente. Este trabajo se realizó para correlacionar la actividad sísmica con la presencia de fallas activas. Se utilizaron terremotos con M < 3.7 y la primera llegada de las ondas P (Moreno et al, 2001). Utilizaron el software SEISAN (Havskov y Ottemöller, 1999).

En la figura 2.5 se muestran todos estos mecanismos focales y diagramas de rosa que muestran la orientación de la máxima compresión horizontal. Al diagrama de la esquina superior izquierda se corresponden los sismos 1,2,3,4,5,6,11,13,14,15,18,19 y C3. Al diagrama de la esquina inferior derecha le corresponden los sismos 0,7,8,9,10,12,16,17,20,C1,C2 y C4. Los terremotos identificados como C1,C2,C3 y C4 fueron tomados del Catálogo de Harvard CMT. El primer grupo de terremotos es generado fundamentalmente por un deslizamiento por el rumbo. El segundo por fallas inversas. La orientación de la máxima compresión horizontal fue calculada de acuerdo a Zoback (1992).

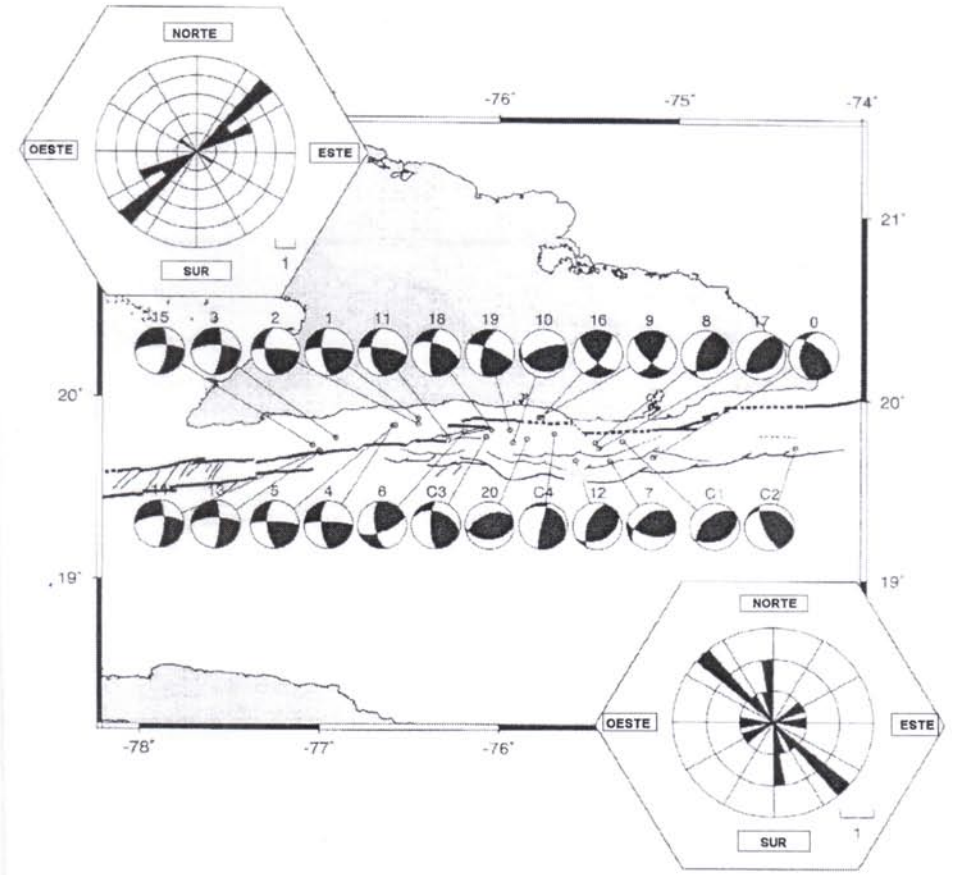


Figura 2.2 Mecanismos Focales de terremotos a lo largo de la porción este de la Falla Oriente. Los diagramas de Rosa muestran la orientación de la máxima compresión horizontal (Moreno et al, 2001).

Las características de estas zonas pudieron ser diferenciadas (Tabla 2.2), teniendo en cuenta los movimientos horizontales, no utilizados en estudios anteriores, es decir, cada zona en correspondencia con los procesos geodinámicos presenta un elemento predominante.

Tabla 2.2 Características de las Zonas Sismogénicas del esquema propuesto.

Zonas	*Extensión (km)*	*Prof. (km)*	*Tipo de proceso geodinámico*	*Sismicidad*	*Tipo de mecanismo focal característico*
Cabo Cruz	100	30	Transtensivo	Alta	Inverso rumbo deslizante y Normal rumbo deslizante
Pilón	70	25	Deslizamiento Por el rumbo	Moderada	Normal rumbo deslizante
Oriente	85	35	Extensional	Alta	Inverso rumbo deslizante
Santiago	80	35	Transpresivo	Alta	Inverso rumbo deslizante

2.3 Parámetros de Atenuación

La ley de atenuación y sus parámetros correspondientes en el caso de nuestra región, viene dada por la distribución de intensidades de los terremotos perceptibles y fuertes, y la evaluación de sus efectos. Por lo que para nuestro estudio el hecho de que estemos trabajando con una propuesta de un nuevo esquema de Zonas Sismogénicas no implica un cambio en esta Ley, ni en los métodos utilizados para determinar sus parámetros.

En nuestra región se han empleado diferentes modelos para la determinación de la intensidad sísmica **I**, que se produce por la ocurrencia de un terremoto de magnitud **M** en una Zona Sismogénica específica. Esto depende de la distancia que separa al foco del punto donde es sentida tal intensidad y de las condiciones físico - geológicas del medio por donde se propaga la onda sísmica. Estos modelos sirven para establecer los criterios de atenuación de una región determinada.

La primera descripción de un modelo de isosistas para la región del Caribe fue propuesta por Alvarez y Bune (1977). Estos autores llegaron a la conclusión, de que la ecuación de campo macrosísmico que mejor se ajustaba a los datos de esta región, era la obtenida para la Kamchatka por Fedotov y Shumilina (1971).

$$I = 1.5\ M - 2.63 \log r - 0.0087\ r + 2.5$$

donde $\mathbf{r = (h^2 + \Delta^2)^{1/2}}$ es la distancia hipocentral, **h** es la profundidad del foco, **I** el valor de intensidad producido por un sismo de magnitud **M** a una distancia Δ del epicentro.

Para adaptar esta fórmula a un modelo elíptico, se toma Δ como Δ**e,** que no es más que el radio efectivo de una isosista elíptica que pasa por el punto al considerar las ecuaciones paramétricas de la elipse junto a la primera ecuación. Estas isosistas se obtienen entonces en base al modelo propuesto por Alvarez y Chuy (1985) para las Antillas Mayores y que utiliza como elementos de cálculo la razón de los ejes mayor y menor de la elipse **A/B** y la dirección preferencial de atenuación **DP** en la que se cumple la ecuación de Fedotov – Shumilina.

Para la confección de este modelo Alvarez y Chuy (1985) realizaron una selección de los terremotos más representativos, bajo la condición de que sus epicentros instrumentales o macrosísmicos estuvieran localizados en o en las inmediaciones de Zonas Sismogénicas y que fueran lo suficientemente fuertes como para que pudieran compararse varias isosistas modeladas con las experimentales en cada uno.

Así se modelaron, utilizando el programa MACRO (Pico y Chuy, 1990) con fines de estimados de Peligrosidad Sísmica en Cuba, los parámetros de atenuación correspondientes a cada una de las Zonas Sismogénicas por regiones de interés durantes las investigaciones sismológicas complejas realizadas en cada una (Orbera et al, 1990; Chuy et al, 1992, González et al, 1994) y ajustada para toda Cuba por Chuy y Alvarez (1995).

Sin embargo, esta Ley si pudiera implicar un cambio de sus parámetros de cálculo por el establecimiento de las nuevas fronteras de las Zonas Sismogénicas. En lo particular, para nuestro caso, en las coordenadas de los 75.63-76.13 Longitud Oeste y los 19.70-20.00 Latitud Norte, existe una zona en que el parámetro de atenuación A/B, difiere en valor, de las zonas establecidas, por lo que para el análisis del Peligro Sísmico, la misma se trata como una nueva zona. Esta zona aparece también en los trabajos que se realizaron para las Investigaciones Sismológicas del Complejo Hidroenergético Toa-Duaba, al tomarse en cuenta una

muestra de terremotos perceptibles, a los cuales se les modelaron sus isosistas, con el propósito de definir sus parámetros de atenuación.

Teniendo en cuenta que por el análisis del ajuste de los modelos de isosistas, surge una subzona, a la que llamaremos Subzona 1, por diferenciarse ésta, en el parámetro A/B del Modelo de isosistas, del resto de las zonas Santiago y Oriente, por lo que se hace inevitable introducirla en el esquema de las zonas. Esta Suibzona 1 se encuentra localizada entre los 19.70 - 20.00 Latitud Norte y los 75.63 - 76.13 Longitud Oeste.

El modelo de Zonas de Origen de Terremotos que se utiliza para los cálculos se presenta en la Figura 2.6. En el mismo se incluye la Subzona 1 en la nueva propuesta y además se mantienen las otras Zonas Sismogénicas propuestas por la Comisión Ad-Hoc (1991) para el resto de la región oriental de Cuba y para Jamaica y La Española (Figura 2.7 - Cotilla et al, 1991).

Los valores de magnitud máxima **Mmax** y de profundidad de la Capa Sismoactiva **h**, utilizados en las estimaciones de este trabajo que completan nuestros criterios para la región oriental se corresponden con las propuestas por la Comisión Ad - Hoc (Comisión Ad - Hoc, 1991).

En la Tabla 3.3, **A/B** es la razón entre los semiejes de la elipse modelada (**A** - eje mayor de la elipse, **B** - eje menor de la elipse, **M** - radio medio de la elipse), **DV** es la dirección de validez (preferencial) de la ecuación de **Fedotov - Shumilina (1971)** para el cálculo de la distancia hipocentral, **H** es la profundidad, **Mmáx** es la magnitud máxima y **Az (p)** es el acimut preferencial o dirección principal de la Zona Sismogénica, medido desde el eje este - oeste en el sentido de las manecillas del reloj, que es el criterio de ángulo utilizado en el programa **MACRO** (Pico y Chuy, 1990).

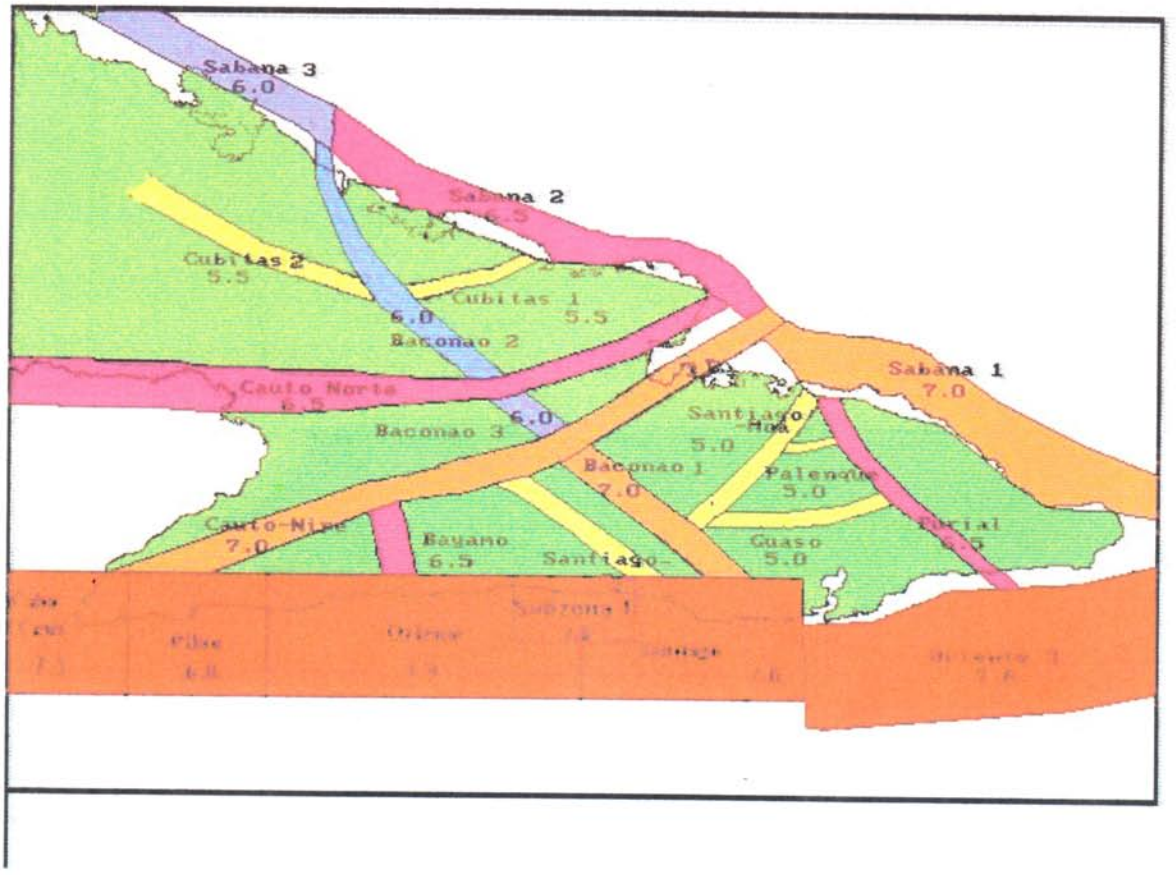


Figura 2.6 Zonas Sismogénicas utilizadas en el cálculo de los Estimados de Peligrosidad Sísmica.

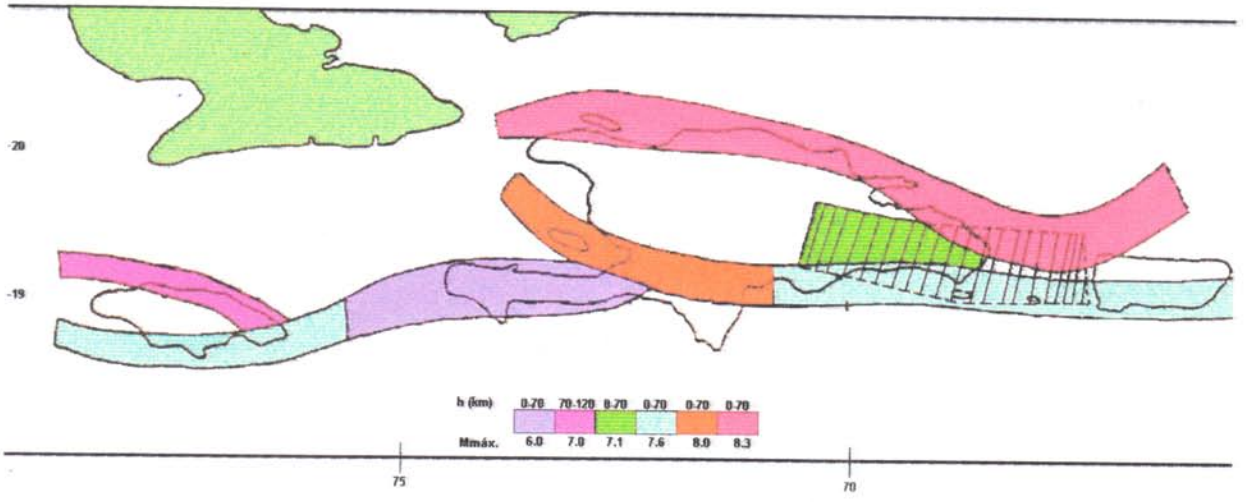


Figura 2.7 Zonas Sismogénicas de Jamaica y La Española aprobada por la Comisión Ad-Hoc en 1991 (Cotilla et al, 1991).

Tabla 2.3 Parámetros de atenuación de todas las zonas que entraron en los cálculos.

No.	ZONA SISMOGENICA (ZS)	A/B	DV	Az (p)	H (cs)	Mmax
1	Camagüey	1.5	A	40	10	5.0
2	Santa Cruz	(1.5)	(A)	25	15	5.1
3	Sur Cubana	1.5	M	35 (10)	15	6.5
4	Cabo Cruz	1.8	M	0	30	7.3
5	Pilón	1.3	A	0	25	6.0
6	Oriente	1.8	A	0	35	7.9
7	Santiago	1.8	A	0	35	7.6
8	Subzona 1	1.5	A	0	35	7.6
9	Oriente 3	1.8	M	5	40	7.6
10	Cauto Nipe	1.7	A	20	20	7.0
11	Cauto Norte	1.4	A	10	20	6.5
12	Sabana 1	2.4	M	25	35	7.0
13	Sabana 2	1.5	M	20	35	6.5
14	Sabana 3	(1.2)	A	40	25	6.0
15	Purial	2.1	M	40	15	6.5
16	Guaso	1.5	A	10	10	5.0
17	Palenque	(1.5)	(A)	5	10	5.0
18	Santiago Moa	(1.5)	(A)	50	10	5.0
19	Santiago Bayamo	1.6	A	25	15	5.5
20	Bayamo	1.3	A	65	25	6.5
21	Baconao 1	1.6	A	25	25	7.0
22	Baconao 2	1.2	A	50	15	6.0
23	Baconao 3	(1.2)	(A)	50	15	6.0
24	Cubitas 1	1.8	A	0	20	5.5
25	Cubitas 2	(1.8)	(A)	5	20	5.5
26	Caimán	2.0	M	5	30	7.6
27	Española Norte	2.7	M	5	50	8.3
28	Española Sur 1	2.5	M	5	50	7.6
29	Española Sur 2	2.1	M	30	50	8.0
30	Española Jamaica	2.1	M	5	30	6.0
31	Jamaica Norte	2.0	A	15	20	7.0
32	Jamaica Sur	1.6	A	10	30	7.6

Mmax y H(cs) por Orbera et al, 1990; Chuy et al, 1992 y González et al, 1994.
A/B Razón entre los ejes mayor y menor de la elipse modelada.
DV Dirección de Validez para el cálculo de r.
Az (p) Azimut de la ZS medido desde EW según manecillas del reloj.
H (cs) y Mmax Profundidad (capa sismoactiva) y Magnitud máxima (ZS).

2.4 Parámetros del Régimen Sísmico

El estudio del régimen sísmico nos permite esclarecer las particularidades de la distribución de epicentros en el espacio y establecer las regularidades a que obedece dicha distribución, en la que la determinación de la magnitud Mmáx y los valores **a** y **b** de la relación magnitud - frecuencia, de Gutenberg y Richter,

$$\log N_i (M_{ii}) = a - bM_i$$

constituyen los parámetros del régimen sísmico, donde Ni es el número de terremotos con valor de magnitud Mi.

Como Base de Datos fue utilizado el Catálogo (parte oriental fundamentalmente) de la Red de Estaciones del Servicio Sismológico Nacional SSN (1968 - 1999) y el Catálogo de Terremotos Perceptibles (Chuy, 1999), radicados en el Fondo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. En este caso como valor de magnitud se usó la Ms, por ser la más estable y se realizaron las conversiones a ella utilizando las siguientes fórmulas (Alvarez et al, 2000):

$$Ms = 1.66\ mb - 3.68$$

$$Ms = 0.48\ Kr - 1.5$$

$$Ms = 0.68\ Kd - 3.68$$

Donde **mb** es la magnitud por ondas de volumen, **Kr** es la clase energética obtenida por la amplitud de las ondas sísmicas, **Kd** es la clase energética obtenida por la duración del registro sísmico.

Representatividad de los datos

Un problema fundamental en la relación magnitud - frecuencia es el que concierne a la determinación de la magnitud y establecimiento del nivel de representatividad de los datos.

En este caso utilizamos el análisis estadístico de los datos, utilizando las tablas del número de terremotos en intervalos de magnitud y tiempo, con apoyo en gráficos del número acumulativo de eventos por intervalo de magnitud. Para ello se seleccionó el período 1985 - 1999 para incluir el período de tiempo no considerado por Chuy et al (1992), además del último grupo de sismos evaluados por ellos.

A partir del esquema propuesto se delimitaron 5 zonas que cumplen la condición de ser compatible con el nivel informativo y suficientes para tener sus propios parámetros. Debido a que la detección de los eventos sísmicos reflejados en el Catálogo no es homogénea en el área de estudio, se analizó la representatividad de

los datos para cada una de las zonas propuestas en este trabajo. El Catálogo se dividió en 5 zonas intersectantes para terremotos con M ≥1.5. Los intervalos de magnitud se escogieron a 0.5 unidades y los de tiempo se tomaron cada 3 años (Tabla 2.4).

Al realizar este análisis nos dimos cuenta que el período 1985-1998 que se analiza, tuvo problemas en el registro de los eventos sísmicos, debido al deterioro de la Red de Estaciones Sismológicas del país. Se registraron 19 642 sismos, de los cuales el 82,8 % ocurrió en la región de estudio y sólo el 62,9 % estaba apto para el procesamiento, es decir poseía los datos suficientes para ello. La Red de Estaciones del Servicio Sismológico registró para todo el país eventos sísmicos a los cuales no se les pudo detreminar sus hipocentros. En la Figura 2.8 se presenta un histograma que nos muestra cual fue el nivel de determinaciones epicentrales durante el período de análisis y vemos como existe un porciento de eventos sin ella, lo que nos permite tener una idea de la representatividad de los datos utilizados.

Por otro lado los parámetros que pudieran haber variado en el régimen sísmico: **a** y **b**, del gráfico magnitud - frecuencia, los cuales dependen del nivel de actividad sísmica, la heterogeneidad del medio, etc., no han cambiado en lo fundamental. Significativamente, se observa un aumento en el registro de terremotos de baja energía, particularmente a partir de la instalación de la nueva tecnología China en 1998, pero esto no significa un cambio en la Sismicidad de la región.

Estos terremotos de baja energía constituyen el límite inferior de magnitud de la relación magnitud - frecuencia y no ejercen una influencia considerable ni en ella ni en la frecuencia acumulativa, ya que se circunscriben a un período extremadamente pequeño. Sin embargo, la influencia en el límite superior es muy difícil de evitar, por lo que bajo la influencia de terremotos fuertes y moderados, es necesario recalcular los parámetros de la relación magnitud - frecuencia y la función de frecuencia acumulativa, lo cual no es nuestro caso.

Es importante destacar que para el caso de la zona de Cabo Cruz, la ocurrencia de un sismo fuerte (I = 7.0 grados MSK y M =7.0 Richter) el 25 de mayo de 1992, primero de esa característica que se registra en la historia de la zona y que no está incluido en el estudio del régimen precedente (Chuy et al, 1992) ya que el Catálogo

de Terremotos utilizado contempla hasta el año 1990, no llega al límite superior de magnitud calculado para esa zona o región, que es de Mmáx = 7.6.

Los eventos sísmicos en este período fueron escasos, nótese que con excepción del terremoto ocurrido en Cabo Cruz, se pueden localizar solamente 10 eventos con magnitudes mayores e iguales a 4.0 (ver Tabla 2.4), distribuidos de la siguiente manera:

Zona Cabo Cruz

1990, Ms =4.7, I = 5.0

1992, Ms =7.0, I = 7.0

Zona Santiago

1985, Ms =4.4, I =5.0

1988, Ms =4.0, I =5.0

Zona Pilón

No se registraron eventos con esas magnitudes.

Zona Oriente

1992, Ms =4.5, I =4.5

Zona Subzona 1

1985, Ms =4.5, I =5.0

1990, Ms =4.9, I =6.0

1990, Ms =4.5, I =6.0

1990, Ms =4.0, I =4.5

1999, Ms =4.4, I =4.5

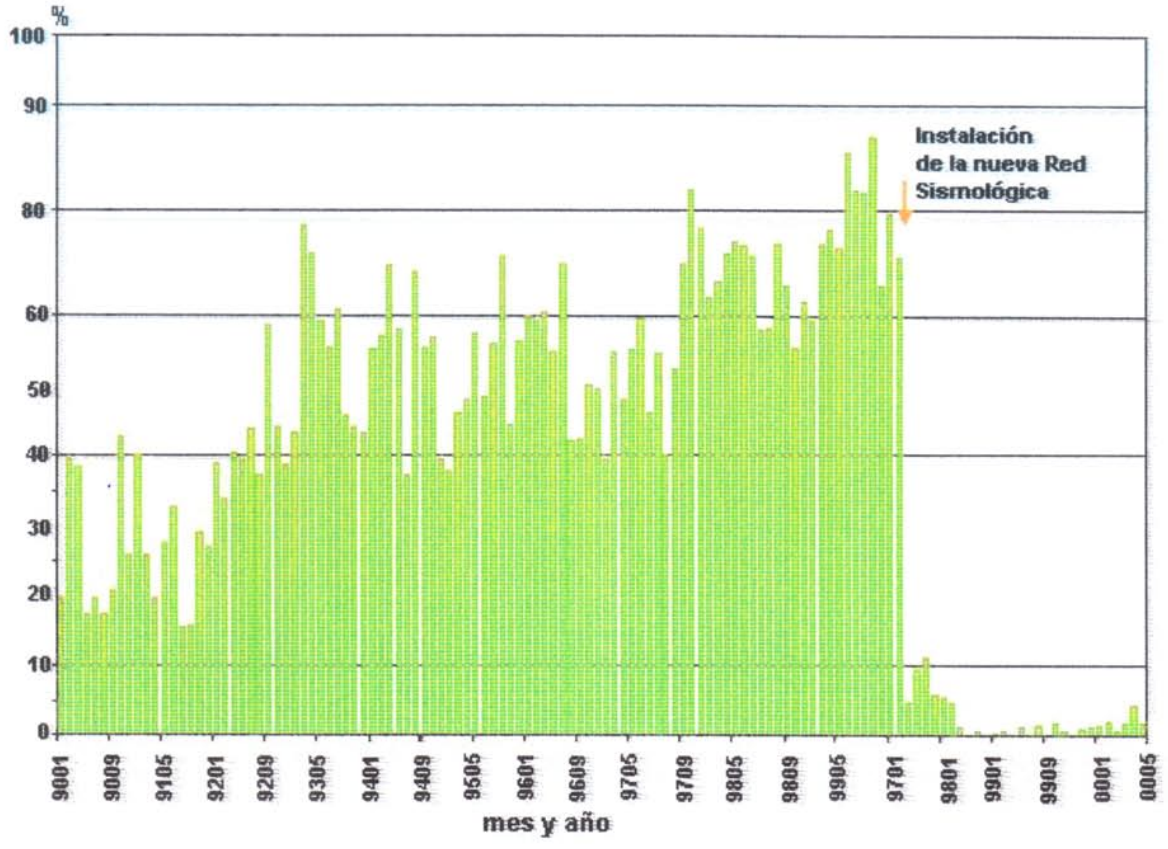


Figura. 2.8 Por ciento de terremotos por años y meses sin determinaciones hipocentrales. Período 1990 - 2000.

Sobre la base de estos elementos en el análisis del régimen sísmico, bajo esta nueva concepción geodinámica, no existe actividad sísmica significativa que implique una potencial variación de sus parámetros, por lo que no consideramos necesario recalcular la relación magnitud- frecuencia.

En consecuencia de lo anterior, se tomarán para nuestra estimación de Peligro Sísmico los parámetros **a** y **b** que se obtuvieron para la misma región en las investigaciones Sismológicas del Complejo Hidroenergético Toa-Duaba (Chuy et al, 1992), considerando su ajuste a las nuevas fronteras geométricas (ver Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Parámetros del régimen sísmico para las Zonas Sismogénicas del esquema propuesto.

Zona Sismogénica	a	b
Cabo Cruz	1.623	0.576
Pilón	1.603	0.576
Oriente	2.403	0.650
Santiago	2.403	0.650
Subzona 1	2.403	0.650

Las magnitudes máximas para cada Zona Sismogénica se estimaron por varios criterios:

- Que fuesen hasta 0.25 unidades por encima del valor máximo reportado (Shenk et al, 1981).
- Por criterios sismotectónicos (Shebalin, 1971).
- Por el método de Isostasia utilizado por Cuevas (1994).

Los estimados de cada uno y la propuesta de Mmáx se presenta en la Tabla 2.6.

Tabla 2.4 Zonas utilizadas para el análisis de la representatividad del Catálogo, a partir del año 1985 al 1999.

ZONA: Cabo Cruz

Magnitudes Periodos	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
85-87	5	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88-90	13	10	4	2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
91-93	13	15	11	2	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-
94-96	30	12	4	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97-99	13	54	47	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	74	96	70	15	3	-	1	-	-	-	-	1	-	-

ZONA: Pilón

Magnitudes Periodos	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
85-87	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88-90	5	4	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91-93	1	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94-96	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97-99	75	31	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	86	40	9	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ZONA: Oriente

Magnitudes Periodos	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
85-87	26	12	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88-90	24	28	13	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91-93	41	15	8	11	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
94-96	18	9	4	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97-99	116	137	37	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	225	201	64	22	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-

ZONA: Santiago

Magnitudes Periodos	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
85-87	31	19	12	7	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-
88-90	52	34	18	11	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-
91-93	55	21	10	12	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94-96	30	9	3	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97-99	18	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	186	86	48	34	12	1	1	-	-	-	-	-	-	-

ZONA: Subzona 1

Magnitudes Periodos	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
85-87	15	10	9	4	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
88-90	28	24	14	8	3	1	1	1	-	-	-	-	-	-
91-93	28	9	3	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94-96	20	10	5	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97-99	165	88	23	2	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	256	141	54	27	8	2	2	1	-	-	-	-	-	-

Tabla 2.6 Estimados de Mmáx por diferentes autores y métodos

Zonas Según nuevo esquema	Zonas (Comisión Ad-Hoc)	Shebalin, 1971	Chuy et al 1992	Cuevas, 1994 (Isostasia)	Mmáx reportada	Mmáx propuesta
Cabo Cruz	Oriente 2	5.33 - 6.2 / 8.0	7.6	6.7-8.8 / 7.5	7.0	7.3
Pilón					5.7	6.0
Oriente	Oriente 1		8.0	6.7-8.8 / 8.8	7.6	7.9
Santiago					7.3	7.6

Para el caso de Shebalin $\frac{\text{Rango de M por Longitud}}{\text{Valor de M por capa Sismoactiva}}$.

Para el caso de Cuevas $\frac{\text{Rango de M}}{\text{Valor de M propuesto}}$.

Capitulo 3. Enfoque regional y puntual del Peligro Sísmico en la región Oriental de Cuba.

3.1 Resultados regionales.

Sobre la base de los aspectos metodológicos planteados y utilizando el programa SACUDIDA (Alvarez, 1995) se obtuvieron los Tiempos de Recurrencia (años) de diferentes valores de Intensidad Sísmica y Aceleración Horizontal Máxima para la región suroriental de Cuba.

Con el Programa SACUCAP preparado por L. González en el marco del Proyecto del Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba (Chuy, Despaigne y González, 2000), que convierte la salida en formato texto del programa SACUDIDA a formato de base de datos con extensión DBF, se procesaron todos los valores de aceleración e intensidad para obtener las tablas finales y los mapas que se confeccionaron con ayuda del progrma SURFER (versión 6.02 para Window)

A manera de ejemplo, se presentan algunos mapas en los que se prefijaron intervalos de tiempo para una mejor comprensión de los valores obtenidos de Peligrosidad Sísmica en términos Aceleración horizontal máxima en % g e Intensidad MSK (Figura 3.1 y 3.2)

Estos Resultados pueden multiplicarse utilizando otras interpretaciones, ya que están referenciados a Perfiles de Suelos medios tipo S2, que lleva implícito el programa SACUDIDA. Este tipo de suelo está referido a la clasificación que se realizó para la Norma Sísmica Cubana, que lo constituyen depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 m y los estratos superiores están compuestos por arenas, gravas o arcillas duras (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante entre 240 y 450 m/seg.). Sus períodos están comprendidos entre 0.5 y 0.8 seg.

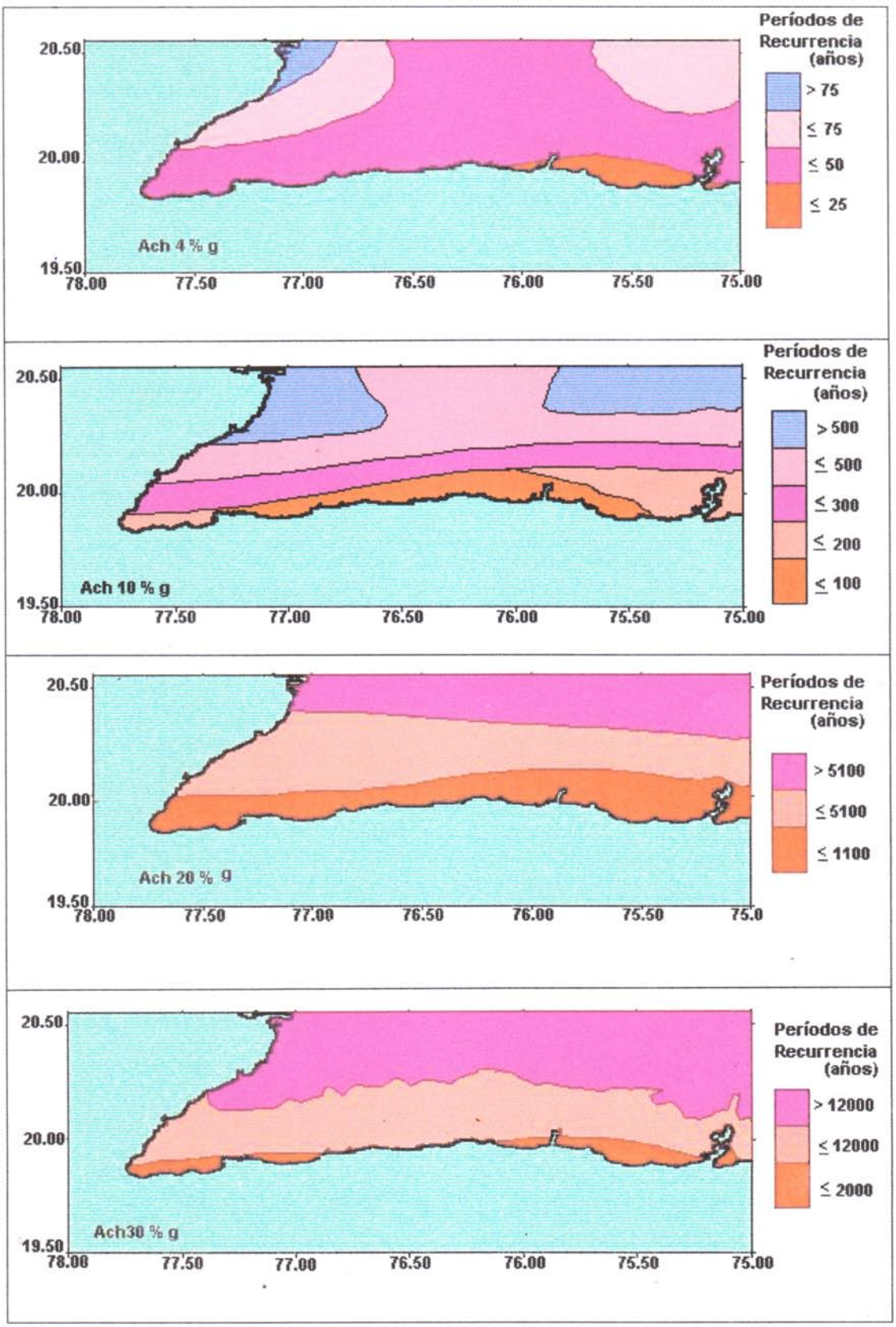
Para los parámetros equivalentes a estos resultados con otras condiciones de suelos, pueden también utilizarse otros tipos de particiones de tiempo o bien realizar

conversiones correlacionando otros parámetros, esto es, mapas de corte probabilístico en diferentes niveles de riesgo (Probabilidad de Ocurrencia – Tiempo de vida útil). Otras formas de interpretación pueden ser la integración de todos los elementos de cada parámetro dinámico en mapas únicos para cada uno, todo lo cual da una cantidad amplia de variantes a utilizar.

Es evidente al analizar las Figuras 3.1 y 3.2 que para la región de Santiago de Cuba se observan valores mayores de Tiempo de Recurrencia para los parámetros Aceleración Horizontal máxima e Intensidad, en comparación con los obtenidos en los estimados actualmente vigentes, es decir, el período para que ocurran eventos de un determinado valor del parámetro analizado es mayor. Esto introduce una disminución en los niveles de Amenaza para la región.

Figura 3.1 Mapas de Peligrosidad Sísmica de la región sur oriental de Cuba para diferentes valores de Aceleración horizontal máxima (% g) utilizando como indicador los Períodos de Recurrencia en años. Se tomaron Perfiles de Suelos medios S2.

ACH – Aceleración horizontal máxima.



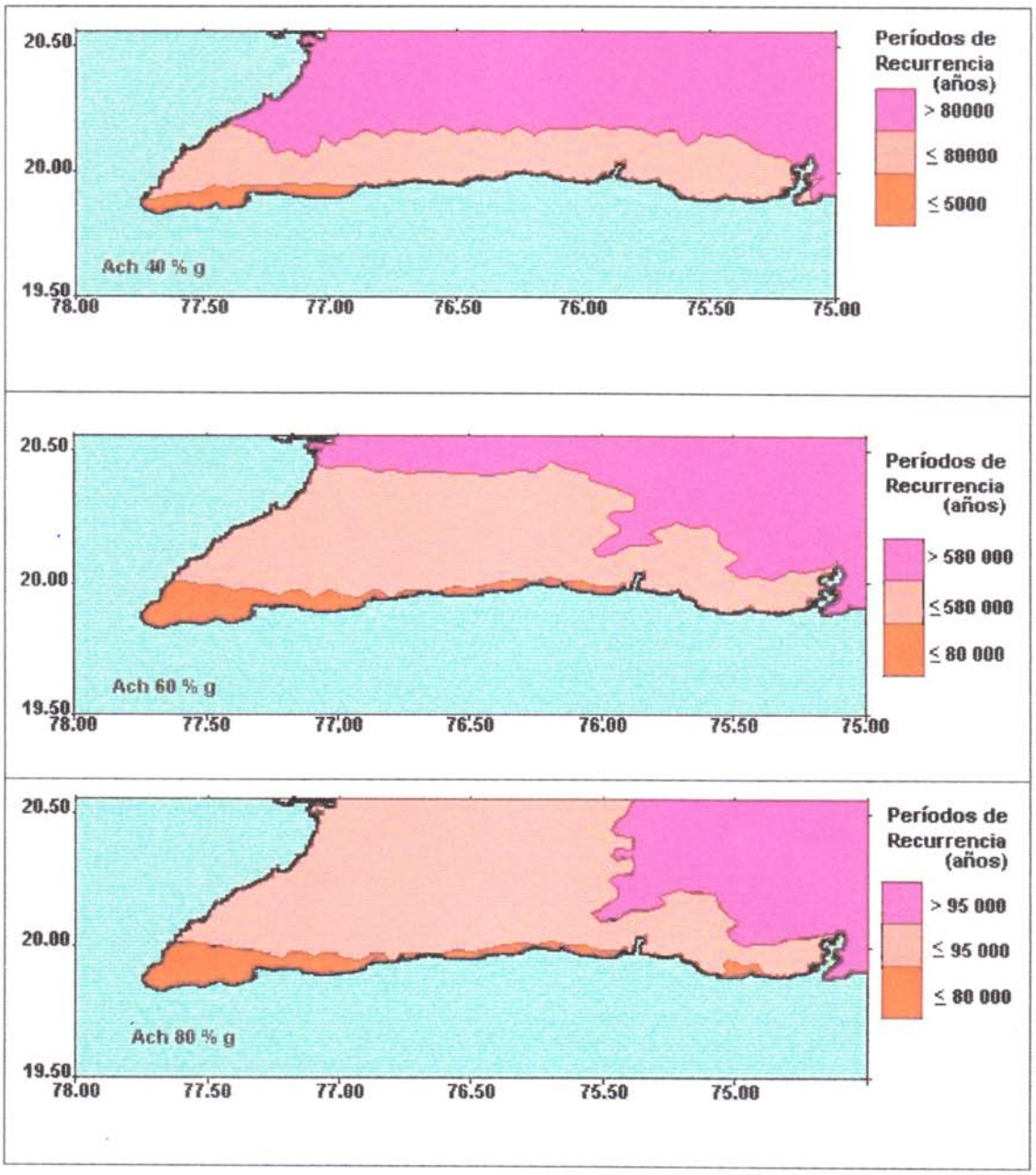
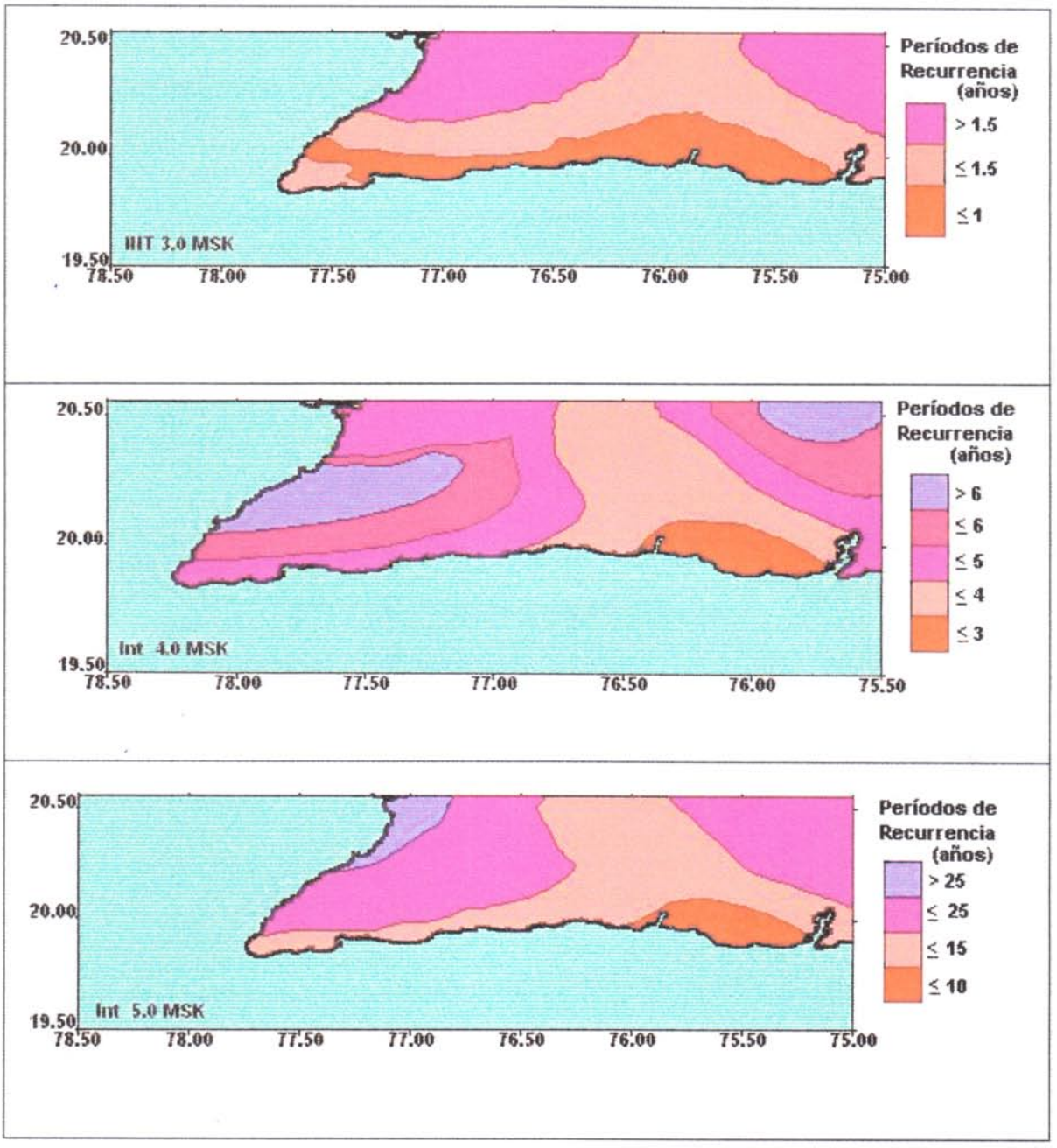
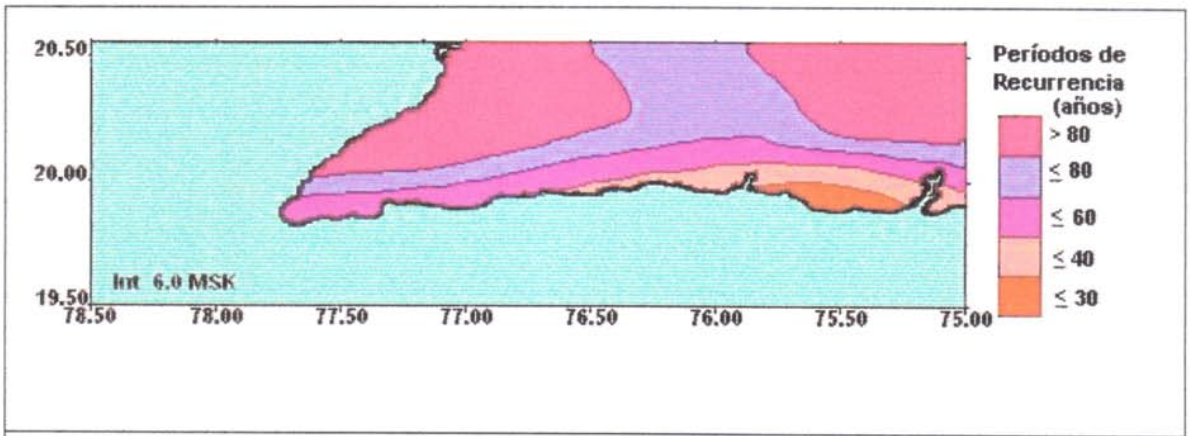
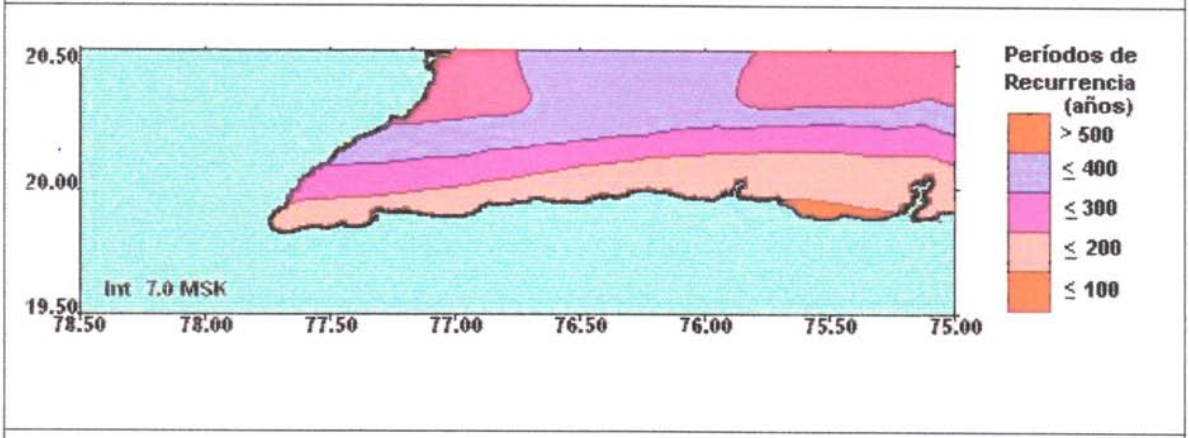

20.50
20.00
19.50
78.00
77.50
77.00
76.50
76.00
75.50
75.00
Ach 40 % g
Períodos de Recurrencia (años)
> 80000
≤ 80000
≤ 5000
Ach 60 % g
Períodos de Recurrencia (años)
> 580 000
≤ 580 000
≤ 80 000
Ach 80 % g
Períodos de Recurrencia (años)
> 95 000
≤ 95 000
≤ 80 000

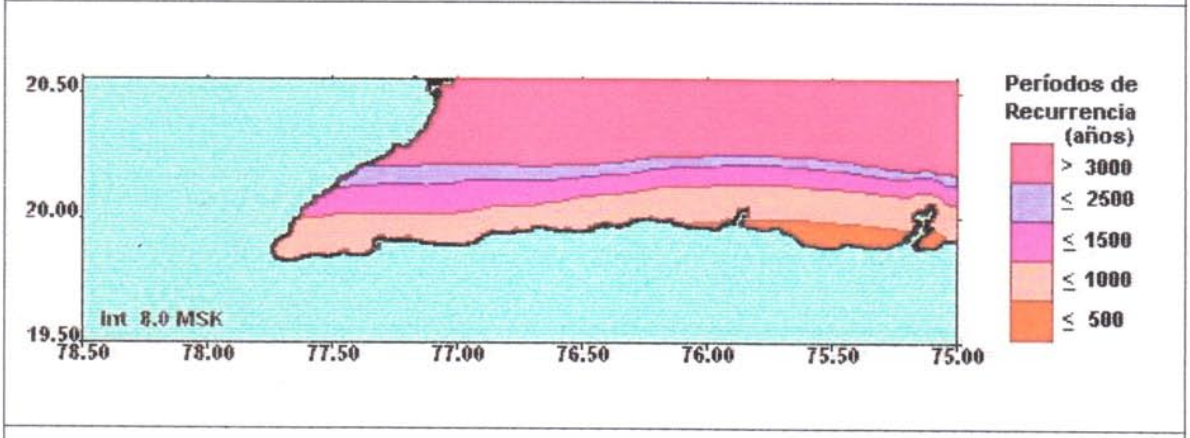
Figura 3.2 Mapas de Peligrosidad Sísmica de región sur oriental de Cuba para diferentes valores de Intensidad Sísmica (MSK) utilizando como indicador los Períodos de Recurrencia en años. Se tomaron Perfiles de Suelos medios S2.

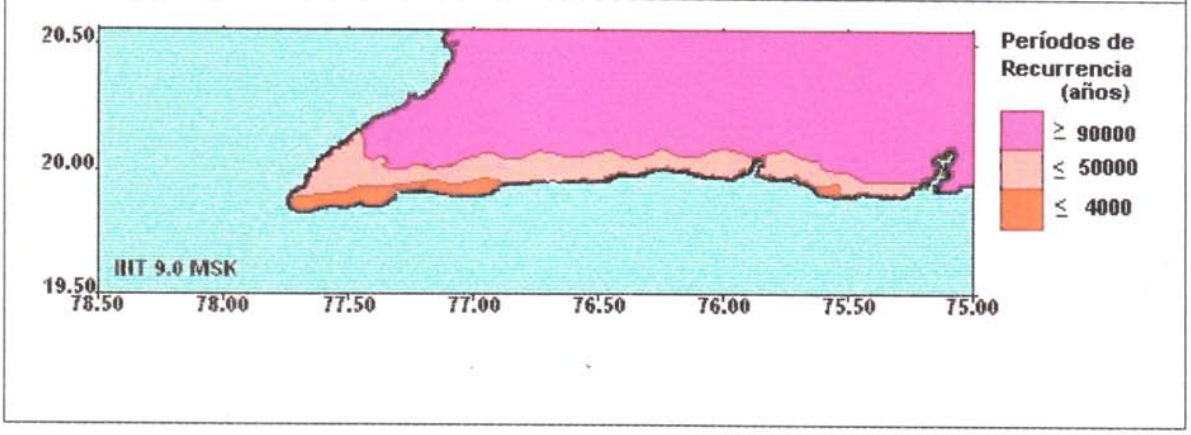
GIE – Grado de Intensidad en valores enteros.




20.50
20.00
19.50
78.50
78.00
77.50
77.00
76.50
76.00
75.50
75.00
Int 6.0 MSK
Períodos de Recurrencia (años)
> 80
≤ 80
≤ 60
≤ 40
≤ 30


20.50
20.00
19.50
78.50
78.00
77.50
77.00
76.50
76.00
75.50
75.00
Int 7.0 MSK
Períodos de Recurrencia (años)
> 500
≤ 400
≤ 300
≤ 200
≤ 100


20.50
20.00
19.50
78.50
78.00
77.50
77.00
76.50
76.00
75.50
75.00
Int 8.0 MSK
Períodos de Recurrencia (años)
> 3000
≤ 2500
≤ 1500
≤ 1000
≤ 500


20.50
20.00
19.50
78.50
78.00
77.50
77.00
76.50
76.00
75.50
75.00
IIIT 9.0 MSK
Períodos de Recurrencia (años)
≥ 90000
≤ 50000
≤ 4000

Como se puede observar se obtuvieron, utilizando un nuevo esquema de Zonas Sismogénicas para la región de Bartlett - Caimán, niveles de Amenaza en términos de Aceleración Horizontal máxima e Intensidad Sísmica equivalente, desde el punto de vista regional, y estos son menores en comparación con los niveles de Amenaza vigentes. En este caso se obtuvo el valor de Intensidad máxima para la región suroriental igual a 8.0 grados MSK contra 9.0 grados MSK de los estimados actuales. En correspondencia con la intensidad se obtiene un valor de Aceleración Horizontal máxima de 259,4 cm/s^2.

En estos mapas, en algunas zonas, se obtienen isolíneas abiertas hacia los laterales y un tanto hacia el norte de la región oriental, situación esta que se debe a la utilización de magnitudes más pequeñas y por tanto la influencia de otras Zonas Sismogénicas es mayor, entre las que podemos citar Cauto Nipe, Santiago - Baconao y Baconao.

3.2 Consideraciones específicas para la ciudad de Santiago de Cuba.

La ciudad de Santiago de Cuba se encuentra en la porción Suroriental del territorio cubano, por donde se encuentra entre la Placas de Norteamérica y la Placa Caribe. Este límite constituye la principal Zona Sismogénica del área del Caribe donde se han producido sismos de gran intensidad, muchos de los cuales pertenecen al territorio cubano, en particular a la región Suroriental, cuyos efectos se han sentido en la ciudad de Santiago de Cuba en la mayoría de los casos.

Esta Zona Sismogénica conocida como Bartlett - Caimán, ubica a la ciudad de Santiago de Cuba en una región de Peligro o Amenaza Sísmica de alta. Históricamente en ella han ocurrido sismos de gran intensidad (Chuy, 1999) entre los que se pueden mencionar, los Terremotos de 1766 (Ms=7.6; I=9.0 MSK) y 1852 (Ms=7.3; I= 9.0 MSK) como los más significativos.

Como vimos en los capítulos anteriores, esta zona está dividida en cinco sectores de acuerdo a las consideraciones geodinámicas y sismológicas que cada una presenta, incluyendo la Zona Sismogénica Oriente 3 y por supuesto, considerando todo nuestro sector suroriental. Estos sectores son capaces de generar magnitudes máximas de 6.0 a 7.9 Richter. De ahí la importancia que se realicen los Estimados

de Peligro Sísmico para precisar los niveles de Amenaza a que está sometida la ciudad de Santiago de Cuba.

En relación directa con la cuenca de Santiago de Cuba se realizaron los cálculos para una red de cuadrículas de 500 x 500 m que incluye a toda la zona urbana y sus alrededores. La región utilizada para los cálculos está comprendida entre los X: 598 000 - 613 000 y los Y: 145 000 - 160 000.

Como parámetros básicos de Amenaza Sísmica se tomaron la intensidad sísmica y la aceleración horizontal máxima. Esta última se obtiene a partir de la expresión de Trifunac y Brady (1975).

$$\text{Log } Ah = 0.3\ I + 0.014$$

Se obtuvieron los valores probabilísticos de Peligrosidad Sísmica para que los parámetros indicados no sean igualados o excedidos, para tiempos de vida útil de 1, 10,20, 50, 70, 100 y 200 años en forma de una Base de Datos interactiva para PC.

De esta forma, pueden estimarse para cualquier punto de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores diferentes niveles de Peligro Sísmico con fines de Riesgo, en función de cada necesidad en específico, al tiempo que pueden ser utilizados como Capas Informativas de un Sistema de Información Geográfico y establecen las necesidades prioritarias para cada área de desarrollo socioeconómico en particular.

A manera de ejemplo, se presentan las curvas extraídas de la Base de Datos obtenida, para 5 puntos distribuidos dentro del área estudiada (Figura 3.3), de forma que se pueda caracterizar espacialmente las variaciones del Peligro Sísmico en diferentes puntos de la ciudad. En la Figura 3.4 se representan las curvas para la de Aceleración Horizontal máxima y en la Figura 3.5 los de Intensidad Sísmica, en ambos casos para los perfiles de S2. Debemos señalar que con este resultado pueden ser obtenidas, al igual que en el caso anterior, otras variantes que puedan surgir en las evaluaciones de Riesgo Sísmico.

Consecuentemente, para estos mismos puntos, localizados en la cuenca de Santiago de Cuba, se presentan en la Tabla 3.1 los valores de Peligro Sísmico en

correspondencia con la Nueva Norma Sísmica Cubana NC 53 – 114 : 99; esto es, considerando una Probabilidad de Ocurrencia del 15 % para cada parámetro y tiempos de vida útil de 50 años, en perfiles de suelo S2, los cuales pueden ser utilizados con fines de planeamiento y de desarrollo socioeconómico.

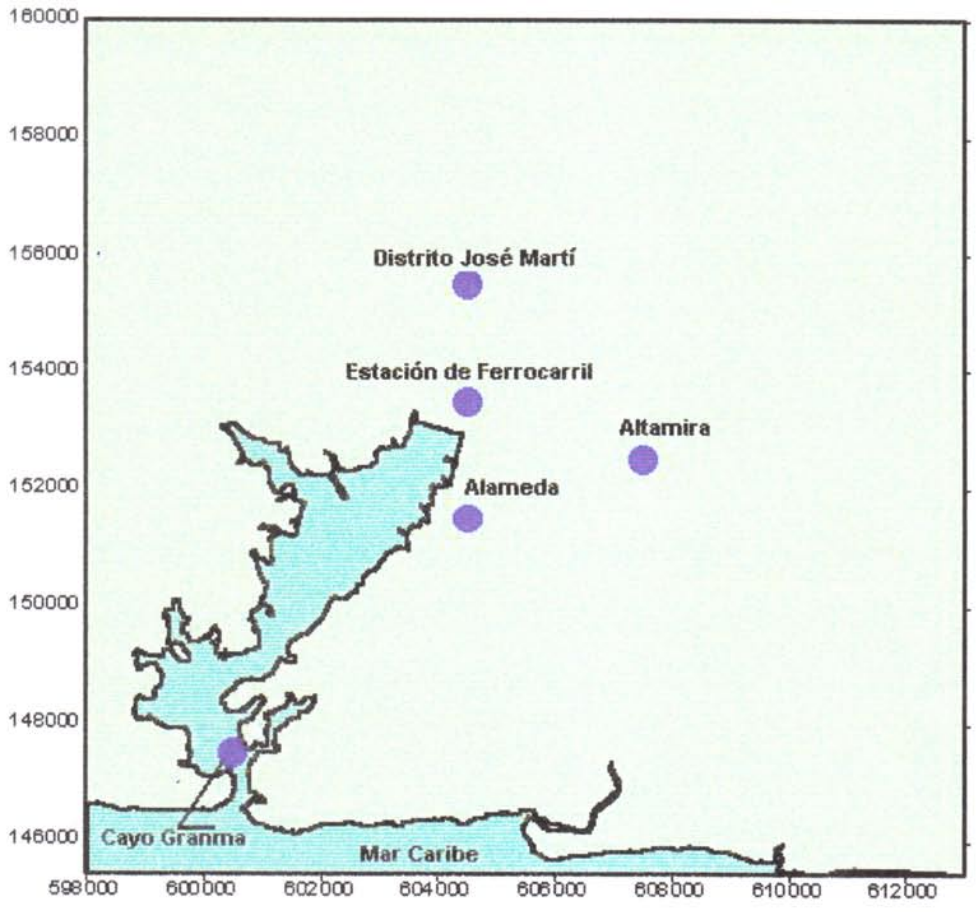
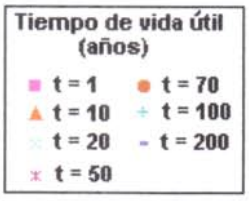
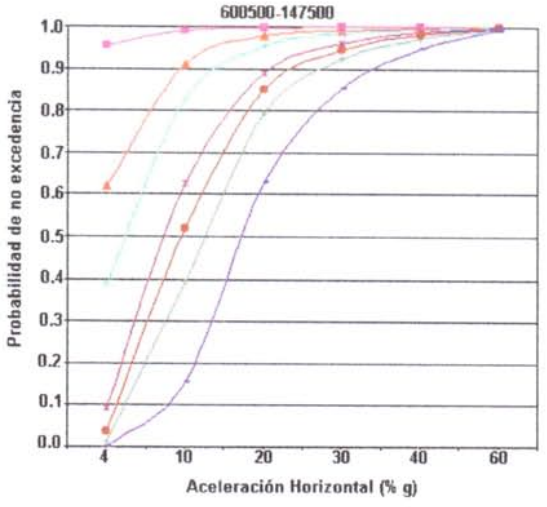
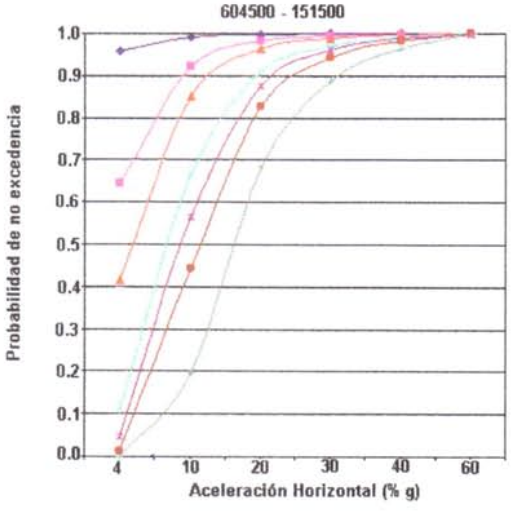


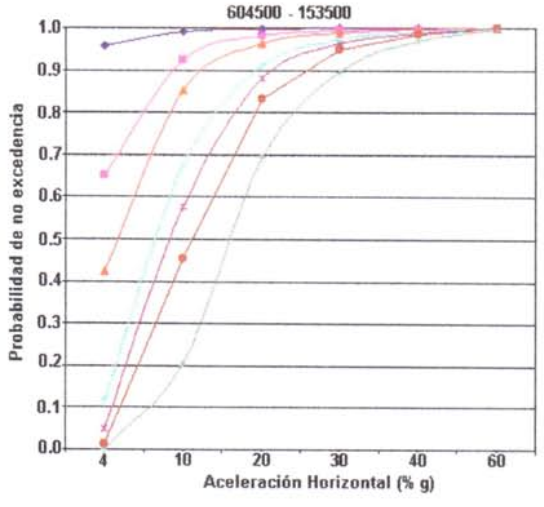
Figura 3.3 Distribución de los puntos en el área de estudio. Escala original 1:250 000

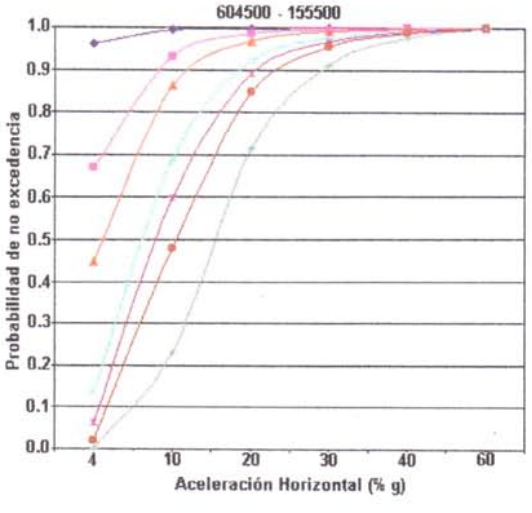
Figura 3.4 Curvas de Probabilidad de no excedencia para los valores de Aceleración Horizontal (cm/s^2).











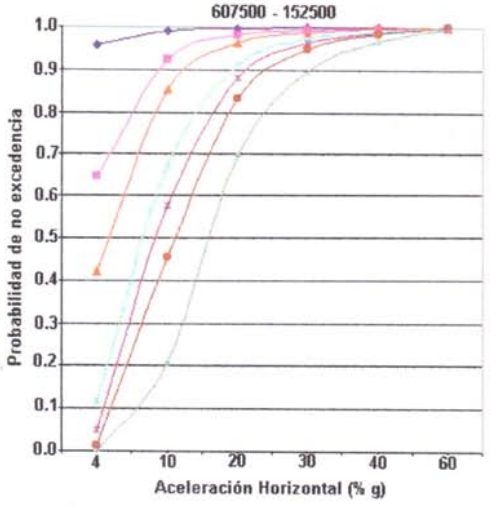
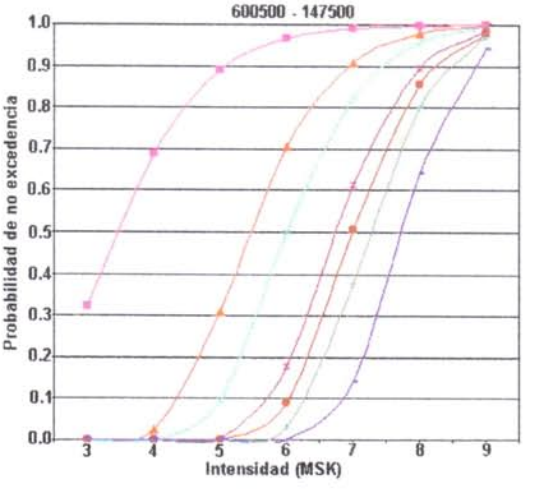
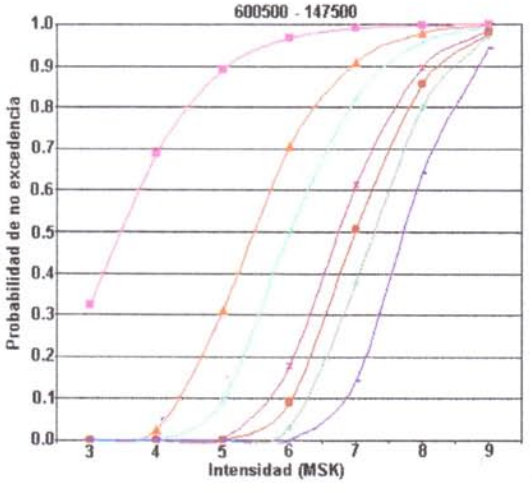
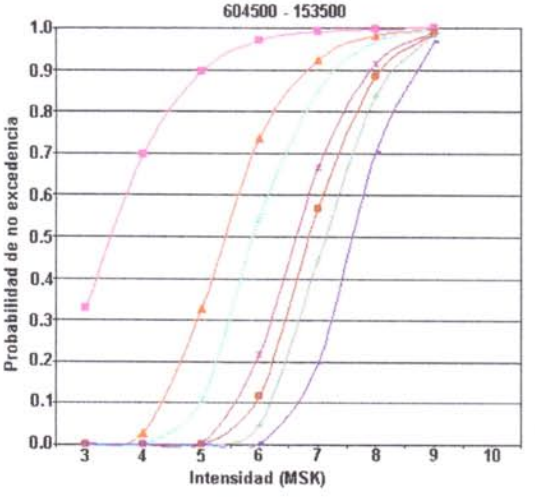


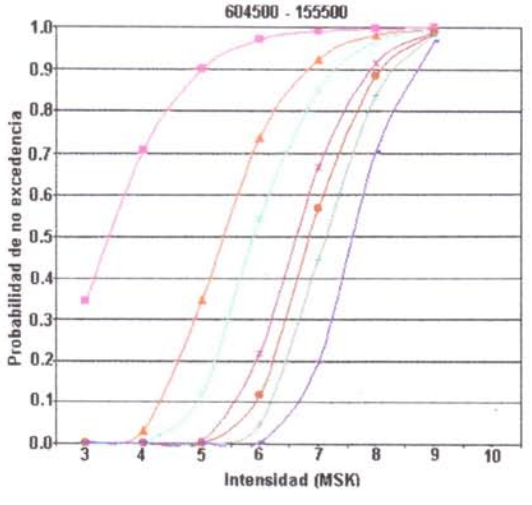
Figura 3.5 Curvas de Probabilidad de no excedencia para los valores de Intensidad Sísmica (MSK).











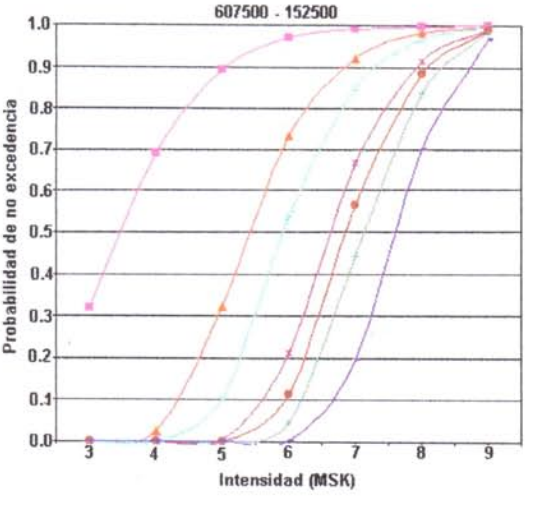


Tabla 3.1 Valores de los parámetros de peligrosidad sísmica para 5 puntos de la ciudad de Santiago de Cuba. Probabilidad de no excedencia 85% , tiempo de vida útil 50 años.

Latitud N (grados)	Longitud W (grados)	X	Y	Intensidad (MSK)	Ach (cm/s^2)
19.97	75.87	600500	147500	8.0	181.485
20.01	75.83	604500	151500	8.0	172.656
20.02	75.83	604500	153500	8.0	170.694
20.04	75.83	604500	155500	8.0	165.789
20.02	75.80	607500	152500	8.0	170.694

3.3 Valoración de los Resultados puntuales del Peligro Sísmico.

Los valores de las distintas Bases de Datos de Peligrosidad Sísmica obtenidas, se refieren a los valores picos, por lo que se hace necesario su conversión a valores efectivos caso a caso y considerar la distribución de diferentes perfiles de suelo sobre los que se encuentren las estructuras que se analicen. Es imprescindible la consideración de que todos los valores obtenidos y señalados, se corresponden con una coordenada que simboliza el valor espacial en una cuadrícula de 0.25 km^2, por lo que siempre existe la posibilidad de que una obra en particular no responda al valor recomendado de Peligro Sísmico.

Para los valores de Intensidad I= 8.0 MSK, las fluctuaciones en la Aceleración Horizontal son mínimas, pero pueden representar una significativa variación de un punto a otro por las condiciones ingeniero geológicas y el perfil de suelo particular de que se trate.

Finalmente, tanto las curvas probabilísticas presentadas para coordenadas específicas, como la Base de Datos interactiva, permiten establecer criterios a priori para el mantenimiento, desarrollo y planeamiento perspectivo de la ciudad de Santiago de Cuba.

A manera de ejemplo se presentan las curvas probabilísticas para diferentes niveles de Amenaza en cinco puntos distribuidos dentro del territorio investigado. El valor

máximo para la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores es de 8.0 grados MSK, equivalentes a una Aceleración Horizontal máxima de 181.48 cm/s^2. Estos valores son en comparación menores que los que se tienen en cuenta actualmente, debido a que se consideraron que las nuevas Zonas Sismogénicas que se utilizaron en los estimados del Peligro Sísmico de este trabajo, generan sismos de magnitudes menores que las Zonas Sismogénicas asociadas a la región Bartlett - Caimán del esquema de la Comisión Ad-Hoc, 1991.

Conclusiones

- Se proponen por primera vez cuatro Zonas Sismogénicas para un sector de la región Suroriental, asociado a la zona de Falla Transformante Oriente, considerando los procesos geodinámicos y la actividad sísmica asociada a ellas.

- Se propusieron los parámetros de cada Zona Sismogénica para realizar los estimados del Peligro Sísmico, teniendo en cuenta un análisis integral de la atenuación y el régimen sísmico de este sector, lo que permitió realizar una nueva estimación del Peligro Sísmico para la región oriental.

- Se determinó que la distribución de los Tiempos de Recurrencia son en proporción mayores a los que se obtienen con los estimados vigentes, debido a la utilización en nuestro trabajo de magnitudes más pequeñas, lo que posibilitó que el resto de las Zonas Sismogénicas ejercieran una mayor influencia en los niveles de Amenaza.

- Con la utilización del esquema de Zonas Sismogénicas propuesto, los niveles de Amenaza en términos de Aceleración Horizontal máxima e Intensidad Sísmica equivalente, desde el punto de vista regional, son menores en comparación con los niveles de Amenaza vigentes. En este caso se obtuvo el valor de Intensidad máxima para la región suroriental igual a 8.0 grados MSK contra 9.0 grados MSK de los estimados actuales. En correspondencia con la intensidad se obtiene un valor de Aceleración Horizontal máxima de 259,4 cm/s^2

- Se calcularon los parámetros del Peligro Sísmico para la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, teniendo en cuenta los requerimientos de la nueva Norma Sismorresistente Cubana, de manera que estos valores puedan ser utilizados en el Planeamiento Urbano y Desarrollo Socioeconómico. A manera de ejemplo se presentan las curvas probabilísticas para diferentes niveles de Amenaza en cinco puntos distribuidos dentro del territorio investigado. El valor máximo para la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores es de 8.0 grados MSK, equivalentes a una Aceleración Horizontal máxima de 181.48 cm/s^2.

- Se considera que estos resultados constituyen una actualización de los Estimados de Peligrosidad Sísmica, porque se utilizan elementos geodinámicos no considerados en investigaciones anteriores teniendo en cuenta la actividad sísmica reciente.

Recomendaciones

- Recomendamos a los organismos e instituciones, como el Poder Popular, Instituto de Planificación Física, el MICONS, la Defensa Civil, entre otros, vinculados con los Planes de Ordenamiento Urbano y Desarrollo Socioeconómico, tengan en cuenta los estimados de Peligrosidad Sísmica obtenidos.

Bibliografia

Adams, R. D.; Barazangi (1983): Seismotectonics and seismology in the Arab region. BSSA, No.3, vol.74, pp. 1011-1030.

Alvarez, H. (1970): Intensidad Sísmica de Cuba. Atlas Nacional de Cuba. La Habana, p.20

Alvarez, J.L. (1983): estimación de la Peligrosidad Sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba. Investigaciones Sismológicas en Cuba, No. 4, pp. 87-123.

Alvarez, J.L. (1985): Sismicidad de Cuba Oriental. [en ruso]. Tesis en opción al Grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas. Instituto de Física de la Tierra, Moscú, 181 pp.

Alvarez, J.L. (1995): Sacudida. Versión 2.0. Un Programa para la estimación de la Peligrosidad Sísmica. Editorial Academia, La Habana, 59 pp.

Alvarez, J.L. y Bune, V.I. (1977): Estimación de la peligrosidad sísmica de la región suroriental de Cuba. [en ruso]. Noticias de la AC de la URSS, Fizika Zemli, No.10, pp. 54 - 67.

Alvarez, J.L. y Bune, V. I. (1985): A computer program for Seismic Hazard Estimation. Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Liblice Castle, Czchoslovaquia, pp. 432 - 439.

Alvarez, J.L. y Chuy, T.J. (1985): Isoseismal Model for Greater Antilles. Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Liblice Castle, Czchoslovaquia, pp. 134 - 141.

Alvarez, J. L.; Chuy, T.J., Rubio, M. y González, B.E. (1981): Estudio del Riesgo Sísmico y Microrregionalización Sísmica en Cuba. Construcciones en Zonas Sísmicas. En: Memorias del Symposium Riesgo Sísmico y Riesgo Volcánico, Instituto Italo - Latino Americano, Roma, Italia.

Alvarez, J. L., Chuy, T. J. y Cotilla, M. (1991): Peligrosidad Sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del Territorio Nacional. En: Geofísica, No. 35, Instituto Panamericano de Geografía e Historía, México, pp. 125 - 150.

Alvarez J.L., Chuy, T.J., García, J., Moreno, B., Alvarez, H., Blanco, M., Expósito O., González O., y Fernández A.I. (1999): An Earthquake Catalogue of Cuba and Neighboring Areas. IC / IR / 99 / 1 , Internal Report, UNESCO – IAEA – ICTP, Miramare, Trieste.

Alvarez L., Cotilla M. y Chuy, T. J.(1989): Peligrosidad sísmica del área de ubicación del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN). Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS.

Alvarez L., Cotilla M. y Chuy T. J.(1989): Peligrosidad sísmica del área de ubicación del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN). Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS.

Alvarez, J.L., Rautian T.G. y Chuy T. J. (1983): Particularidades del campo macrosísmico y valoración de los posibles efectos macrosísmicos sobre el área de emplazamiento. Investigaciones de la sismicidad en zonas sísmicas de baja actividad (Cuba Central). [en ruso]. En: Resultados de Investigaciones en Proyectos Geofísicos Internacionales, Nauka, Moscú, pp. 86 - 96.

Alvarez, J.L., Rubio M., Chuy T.J. y Cotilla M.(1985): Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba. Informe Final del Tema 31001. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS y del Instituto de Geofísica y Astronomía.

Alvarez, J.L., Serrano M., Rubio M., Chuy T.J. (1984): El terremoto del 19 de febrero de 1976. Pilón, Región oriental de Cuba. En: Invest. Sism. Cuba, No. 5 , La Habana, pp. 5 - 60.

Alvarez, J.L., Chuy, T.J. y Cotilla, M. (1989): Seismic Hazard of Low Seismic Activity Zones. The case of Western Cuba. Proceedings of the 4th International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Bechyne Castle, Czchoslovaquia, pp. 517 - 524.

Alvarez, L., Cotilla, M. y Chuy, T. J.(1989): Peligrosidad sísmica del área de ubicación del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN). Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS.

Alvarez, L. Vaccari, F., Panza Giuliano F. (2000): Deterministic Seismic Zoning of Eastern Cuba. Internal Report of ICTP, Triete, Italia.

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 in Science. Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 111 pp.

Arango, E.; Guasch F. (1992): Valoración Sismotectónica del área de construcción de la presa "Avispero". Informe técnico. Fondos del CENAIS.

Arseniev, Y. M.; Carbeny Capote M.; Kalachov, S. N. (1983): Esquema Moerfotectónico de Cuba.

Belousov, T. P.; Krestuikov, V. N.; Shebalin N. V. (1983): Deleneation of seismogenetic zones and estimation of their maximun magnitudes. Research of seismicity in Seismic Zones of lees activity (Central Cuba). Moscú.

Boytell F. (1977): Carta de Sismicidad histórica de Cuba. Instituto de Planificación Física. Santiago de Cuba

Bowin, C. (1975): Caribbean gravity field and plate tectonics. Geol. Soc. Of America. Spec. Paper 169. Colorado, USA, p. 79.

Buné, V. I. Vvednskaia, N. A., Gzovskii, M.V y Gorbinova, I.V (1971): Sismicidad y Regionalización Sísmica de Asia Central [en ruso]. Terremoto de Taskent del 26 de abril de 1966, pp. 347-369.

Burke, K. (1988): tectonic evolution of the Caribbean. Ann. Rev. Earth Planet N. 16.

Calais, E. y M. de Lepinay (1990): From transtention to transpression along the northern Caribbean plate boundary of Cuba: implications for the recent motion of the Caribbean plate, pp. 329-350.

Calais, E. (1992): Aspectos estructurales de un límite de placas en colisión: la frontera Norcaribeña de Cuba y La Española (Antillas Mayores). p. 118.

Calais, E., Lapinay, M. (1989): Géométrice et régime tectonique le long d une limite de plaques en coulissage: la frontiére nord - Caraibe de Cuba á Hispanola, Grandes Antilles. Géodynamique. C R. Acad. Sci. Paris, t. 308, serie II, pp. 131- 135.

Calais, E., Lapinay, M. (1993): Semiquantitative modeling of strain and kinematics along the Caribbean/North America strike - slip plate boundary zone. Tectonophysics, J. Geophys. Res. Vol. 98 N B 5, pp. 8 293 - 8 308.

Case, J. E. y Holocombe, T. L. (1980): Geologic tectonic map of the Caribbean region U. S. Geolog. Surv. Misc. Invest. Serv., I-1100, escale 1: 2 5000,000.

Chuy, T. J. (1980): Régimen Sísmico de la región suroriental de Cuba. En: Invest. Sism. Cuba, No. 1, La Habana, pp. 58 - 68.

Chuy, T. J. (1984): Datos Macrosísmicos de las Antillas Mayores. En: Memorias del I Seminario Taller sobre Desastres Naturales, UNDRO - EMNDC, La Habana, pp. 50 - 53.

Chuy, T.J. (1987): Sismicidad Histórica de las Antillas Mayores. En: Resúmenes del Primer Congreso Internacional sobre Desastres Naturales (ACC - MINSAP - Cruz Roja- EMNDC), La Habana, pp. 15 - 16.

Chuy, T.J.(1988): Sismicidad Histórica de Cuba. En: Mov.Tectonic. Recientes Cuba, No. 2, ICGC, pp. 64 - 66.

Chuy, T. J. (1989): Epicentros de terremotos por datos macrosísmicos (1551-1983). Escala 1:2 000 000. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Mapa 33, Sección Características Geofísicas.

Chuy, T.J. (1995): Atenuación Sísmica de las principales Zonas Sismogénicas de Cuba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS. Categoría de Mención en el X Forum Provincial de Ciencia y Técnica (Santiago de Cuba).

Chuy, T.J. (1996): Mitigación del Riesgo Sísmico en la República de Cuba. IV Congreso Internacional sobre Desastres y I Conferencia Internacional de Bomberos, Noviembre 12 - 15, Palacio de las Convenciones, Ciudad Habana.

Chuy, T.J. (1996): Atlas de Isosistas de las Antillas Mayores. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS. Categoría de Mención en XI Forum Nacional de Ciencia y Técnica.

Chuy, T.J. (1996): Atenuación Sísmica en las Antillas Mayores. En: 3er Simposio Cubano de Geofísica (GPS - 18).

Chuy, T. J. (1999): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. 273 pp.

Chuy, T. J. y Alvarez, L. (1984): Catálogo de Terremotos Fuertes (I > VII, MSK) de las Antillas Mayores. Reporte de Investigación. Resumenes de la IV Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía.

Chuy, T.J. y Alvarez, J.L. (1995): Peligrosidad Sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS. Categoría de Destacado en X Forum Nacional de Ciencia y Técnica.

Chuy, T.J., Alvarez, J.L., Zapata, J.A., González, B.E. et al (1992): Investigaciones Sismológicas Complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS y ENERGOPROYECTO.

Chuy, T. J., Despaigne G. y González L. (2000): Peligrosidad Sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. En: Proyecto Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS.

Chuy, T. J. y González, B. E. (1980): Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba. En: Invest. Sism. Cuba, No. 1. La Habana, pp. 18 - 32.

Chuy, T.J., González, B. E. y Alvarez, J. L. (1983): Sobre la Peligrosidad Sísmica en Cuba. En: Invest. Sism. Cuba, No.4 La Habana, pp. 37 - 52.

Chuy, T. J., González, B. E. y Orbera, L. (1994): Seismicity and Seismic Hazard Assessment for Western Cuba. En: Geología y Minería, Vol. XI, No. 3, ISMMM, pp. 45 - 51.

Chuy, T. J., González, B.E. y Polo, B. (1988): Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba. En: Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, No. 4, La Habana, 21 pp.

Chuy, T. J., Rubio, M. y Cotilla, M. (1985): Cálculo del riesgo sísmico para el archipiélago cubano". Informe Final del Estudio Especial 70006. Reporte de Investigación. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía.

Chuy, T. J. y Rodríguez, M. (1980): La actividad sísmica de Cuba por datos históricos. En: Invest. Sism. Cuba, No. 1, La Habana, pp. 5 - 17.

Cobiella, J. (1984): Algunas consideraciones sobre el origen de la Fosa Bartlett. Rev. Minería y Geología, No. 1, pp. 29-56.

Cornell, C. A. (1968): Engineering Seismic Risk Analysis. En Bull. Seism. Soc. America. Vol. 58, No. 5, pp 1583-1606.

Cotilla, M. y Alvarez, L. (1991): Principios del mapa Sismotectónico de Cuba. Revista Geofísica del Instituto Panamericano de Geofísica e Historia 35, pp.113-124.

Cotilla M., Alvarez J. L., Rubio M. (1997): Sismicidad de tipo intermedio en Cuba. Rev. Geología Colombiana, No. 22.

Cotilla, M. et al (1988): Peligrosidad Sísmica de Cuba(2). Algunos criterios sobre la Peligrosidad Sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba. Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, No. 5, p.19.

Cuevas, J. L. (1994): Estudios de Isostasia en Cuba: una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas. Boletín Geológico y Minero. Vol. 109-3, pp. 265-278.

Cuevas, J. L (1998): Estudios sobre la isostasia en Cuba: Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas. Boletín geológico y Minero. Vol. 109, No.3. pp. 53-66.

Fedotov S. A y Shumilina L. S. (1971): Sacudibilidad sísmica de Kamchatka (en ruso). Fizika Zemli, No.9, pp.3-15.

González, B. E.; Chuy, T. J.; Alvarez J. L. et al (1994): Estudio Sismológico regional Complejo de Cuba centro oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares. Resporte de Investigación. Fondos del CENAIS y del MINBAS.

Havskov, J. y Otemöller, L.. (1999): SEISAN: The erathquake análisis software, versión 7.0. Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway, 226 p.

Horsfuld W. T. (1975): Quaternary vertical movements in the Greater Antillas. Geol. Soc. Amer. Bull., vol. 86.

Lay T. y Wallace, T. (1995): Modern Global Seismology. Academic Press. Inc. USA, 495 p.

Mandl G. (1987): Tectonic deformation by rotanting parallel faults the "bookshelf" mechanism. Tectonophysic, 141, pp. 277-316.

Mann, P.; Burke, K. (1984): Neotectonic of the Caribbean- Review of Geophysic and Sapace Physic. Vol. 22, No. , pp. 309-362.

Mann, P., Taylor, F. W., Edward, R. L. y Ku, J. (1995): Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean plate margin. En: Tectonophysics, No. 246, pp. 1 - 69.

Mc Guire, R.K. (1993): Computations of Seismic Hazard. En: Annali di Geofísica, Vol. XXXVI, No 3-4, pp. 181-200.

Mc Guire, R. K. ed. (1993): The Practice of Earthquake Hazard Assessment. International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior and European Seismological Commission. IASPEI - UNESCO - IDNDR. 284 pp.

Mc Guire, R.K. (1976): Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis. Open File Rep. 76 - 67.

Minaya R. E.; Cabré R. S. J (1980): Sismos intraplaca premonitores de sismos interplacas. Rev. Geofísica No.13, pp. 116-117. México.

Moreno, B., Gradison, M. y Arakan, K. (2001): Crustal velocity model along the southern Cuban Margin: implication for thetectonic regime in an active plate boundary. Submitted Geophys. J. Int.

Norma Sísmica Cubana (1999): Propuesta de nueva Norma Cubana Sismorresistente, p.110.

Light M., Maslanys P. R.; M. P. & Banks N. L. New geophysical evidence for extensional tectonics on the divergent margen off shore Namibia.

Orbera, L.; González B. E.; Chuy T. J. et al (1990): estudio de sismicidad en áreas de la construcción del Centro de Investigaciones Nucleares en la República de Cuba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIS y de la SEAN.

Pico R.; Chuy T. (1989): MACRO: Sistema para el procesamiento de datos macrosísmicos de las Antillas Mayores. Resúmenes "V Jornada Científica. IGA", p. 68.

Pindell J. L.; Barett, S. F (1988): Geological evolution of the Caribbean region; a plate - tectonic perspective. Geological Soc. Ame.

Pindell J. L.; Barett, S. F (1990): Geological evolution of the Caribbean region. A plate tectonic perspective. The Caribbean region. Decade North American Geology. The Geological Society of America. USA, pp. 139-158.

Reisner T. I. (1984): Seismotectonicheskie metodi rechenia problem ovchebo seismicheskovo raionirovania. Rev. Fisica y Zemli, No.4-3. Ed. Nauka. Academia de Ciencias URSS.

Rosencrantz, E. et al (1988): The age spreading history of the Cayman Trough as determined from depth, heat flow and magnetic anomalies tectonophysics, Geodynamics Conference, Special Volume.

Rosencrantz, E. y Mann P. (1991): Sea MARC II Mapping of transform faults on the Cayman Trouhg, Geology 19, pp. 690-693.

Rosencrantz, E. (1996): Basament structures and tectonics in the Yucatan Basin, in M. A. Iturralde –Vinent (eds), Ofiolitas y Arcos Volcanicos de Cuba, pp. 36-47. Museo Nacional de Historia Natural, Ciudad Habana. Cuba

Rubio, M. (1985): The Assessment of Seismic Hazard for the Republic of Cuba. Tesis en opción al Grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía. 224 pp.

Rueda H. J.; et. Al. (1987): Carácter oscilatorio de la geodinámica endógena reciente en zonas sismogeneradoras cubanas. Rev. Ciencia de la Tierra y el Espacio No. 13, pp. 23-31. Ed. Academia de Ciencias.

Rueda H.J. et. Al. (1990): Principales nudos morfoestructurales sismoactivos de Cuba Sur oriental. Rev. Ciencia de la Tierra y el Espacio No. 17, 67. Ed.

Ruíz, J., Pico, R., Alvarez, J.L., Chuy, T.J. y Cotilla, M. (1992): Modelación matemática del pronóstico de magnitudes máximas de los terremotos en la región del Caribe. En: Reconocimiento de Elementos de Estructuras Espaciales, ICIMAF - IGA, Editorial Academia, pp. 81 - 101.

Schenk, V. y Schenkova, Z. (1981): Relation between Intensity and Ground Motion Parameters. Review and Generalization. En: Gerlands Beitr. Geophysik, Vol. 90, No. 3, pp. 247 - 254.

Scholz C . H.; Aviles C. A. & Wesnovsky S. G. (1986). Scalling differnces between large interplate and intraplate earthquakes. BSSA, vol. 76, pp. 65-70.

Shimazaki K. (1976): Intra-plate seismicity and Inter-plate Earthquakes. Historical activity in southwest Japan. Tectonophysics. 33, pp. 33-44.

Shimazaki K. (1978): Correlation between intraplaca seismicity and interplate earthquakes in Tohoku, North east Japan. Bulletin of America. 68, No.1, pp.181-192.

Singh, S. y Ordaz, M. (1994): Sismicidad y Movimientos Fuertes en México: Una visión actual. En: Cuadernos de Investigación, No. 18, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.

Smith, D.L., Bellini, J.J., Bartolini, T.J. y Lord, K.M. (1994): Significance of Caribbean and regional earthquake events in the determination of Seismic Attenuation and Hazard Assessment in Florida. En: Proceedings of the Caribbean Conference on Natural Hazards: Volcanoes, Earthquakes, Windstorms, Floods. St. Anns, Trinidad and Tobago, pp. 94 - 99.

Suppe, J. (1985): Principies of Structural Geology. Prentice Hall, Inc. Englewood cliffs, New Jersey. USA, pp. 254 - 308.

Sykes, L. R. et al (1982): Motion of Caribbean palte diuring last 7 million years and implications for earlier cenozoic movements. Journal Geophys. Research, No. B-13, pp. 10656-10676.

Trifunac, M.D. y Brady, A.G. (1975): On the correlation of Seismic Intensity scales with the peaks of ground motion records. En Bull. Seism. Soc.Am., Vol. 65, No. 1, pp. 139 - 162.

VermaR. K.; Manoj M.; Ahluwalia M. S. (1976): Seismicity, Gravity, and Tectonics of northeast Indi and northern Burma. BSSA No.5, Vol. 66, pp.1683-1694. Ed. Commite.

Walser J. I.; Watterson J. (1988): Analisys of the relationship between displacements and dimensions of faults. Journal of Structural Geology, No.10, pp. 239-248.

Ziegler P. A. (1987): Late Cretaceous and Cenozoic intraplate compressional deformations in the Alpine foreland – a geodynamic model. Tectonophysics, 137, pp. 387-420.

Zoback, M. L. (1992): Modelos de tensión litósferica de primer y segundo orden.