

MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**  
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

## **Riesgo sísmico para el planeamiento urbano de la Ciudad de Bayamo**

**TEMA PRESENTADO EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MASTER EN  
GEOLOGÍA.**

**AUTOR : Ing. Zulima C. Rivera  
Alvarez**

**TUTOR(S): Dr. Rafael Guardado Lacava  
Dr. José A. Zapata Balanqué**

**Moa, 1999**  
**“Año del 40 Aniversario del Triunfo de la Revolución”**

## Resumen.

El estudio del Riesgo Sísmico en la ciudad de Bayamo se realizó dada la necesidad de un estudio detallado del suelo y su comportamiento ante la ocurrencia de sismos fuertes y moderados, el cual no era posible realizar a partir de trabajos anteriores por la escasez y dispersión de los datos existentes entre las diferentes Instituciones que realizaron estudios en el área, además de tener estas un cubrimiento incompleto del área de la Ciudad y la no existencia de mediciones microsísmicas instrumentales.

Para este trabajo se realizaron:

- Estudios preliminares de recopilación de datos.
- Muestreos de campo.
- La clasificación de los suelos teniendo en cuenta:
  - Características litológicas.
  - Niveles freáticos.
  - Potencia de los estratos.
  - Propiedades físico-mecánicas.
- Selección del suelo patrón y categorización de los suelos por diferentes métodos.
- El establecimiento de una red densa de mediciones microsísmicas instrumentales triaxiales.
- El análisis del comportamiento en amplitud-frecuencia del suelo en base a las mediciones microsísmicas.

Como resultado, se presentan en el trabajo los esquemas de Riesgo Sísmico Microzonificación y Vulnerabilidad, por métodos como: Analogías ingeniero-geológicas, los esquemas de Amplitudes, Frecuencias, Similitud de Espectros y

Factor de Amplificación para las distintas componentes (NS, EW y Z), así como el mapa de ubicación de los puntos de mediciones microsísmicas instrumentales; además se elaboraron los mapas de ubicación de los diferentes repartos, los de porcentaje de daños, pérdidas humanas y cantidad de afectados a esperar en la ciudad. Se realizó el cálculo de los elementos de Riesgo y su correspondiente mapa.

A partir del conjunto de los esquemas elaborados, se pudo conformar el Mapa de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bayamo, el cual permite conocer la respuesta dinámica de los suelos, la vulnerabilidad sísmica y el riesgo a que se encuentra sometida la ciudad en caso de ocurrir sismos capaces de ocasionar daños considerables, así como las variaciones zonales de intensidades para un grado sísmico base, información de utilidad en la planificación del ordenamiento urbano.

Todo permitió validar los datos y completar la información en las áreas pobres o desprovistas de éstas, permitiendo realzar el cálculo del Riesgo Sísmico y evaluar los posibles efectos de los sismos en las estructuras, dadas las condiciones locales. Se analizaron dos metodologías de cálculo del Riesgo Sísmico con el propósito de seleccionar la variante más factible de aplicar dadas las condiciones de estudio y los datos con que se contaban.

Con el uso de estos resultados se posibilita una mejor ubicación para los objetos de obras importantes, al conocer las áreas más favorables desde el punto de vista constructivo y qué medidas tomar en caso de existir construcciones en áreas desfavorables o ser necesario realizar nuevas obras en estos lugares; lo cual constituye una herramienta de utilidad para los planes urbanísticos en caso de desastres.

## **Introducción.**

La ciudad de Bayamo se encuentra en la parte Sur Oriental de Cuba, área en la existen referencias de actividad sísmica desastrosa desde 1522 en general y 1551 en particular para Bayamo. Situada muy cercana a la principal y más activa zona sismogeneradora del país, está además rodeada por numerosas estructuras tectónicas activas; en ella existe una población para 1996 de más de 129859 habitantes, en 2398 viviendas de las cuales 1189 están en estado de regular a malo, lo cual hace que los efectos a esperar en la misma ante la ocurrencia de terremotos moderados o fuertes sean más considerables, haciéndose necesario la evaluación de los mismos.

Por estos motivos el área de la ciudad ha sido objeto de estudios detallados desde el punto de vista Sismológico desde 1986 y por haber sido afectada en numerosas ocasiones por terremotos fuertes y perceptibles y otra cantidad considerable de sismos con epicentro en la misma, unas veces perceptibles y otras no, tal como fueron los sismos de 1551 y 1624 con intensidad de 8.0 y 7.0 grados en la escala MSK y de los cuales sólo se tienen reportes históricos, Entre los más recientes aparecen los de 1987 y 1988, ambos con intensidad de 5.0 grados en la escala MSK que a su vez constituyen los primeros terremotos con epicentro en la ciudad en ser reportados instrumentalmente y del 25 de mayo de 1992 con epicentro en Cabo Cruz que fue sentido en la localidad con una Intensidad de 6.0 grados en la escala MSK.

De ahí la necesidad del conocimiento del riesgo sísmico para su empleo en la localización de las zonas con probabilidad de ocurrencia de terremotos fuertes, para la confección proyectos con fines constructivos y de planificación urbanística, así como la actualización de planes contra sismos de gran intensidad

en sitios de interés económico y social en la región de estudio. Todo esto debe de contribuir a lograr objetivo de un desarrollo económico-social sostenido y sustentable y contribuir a que dicho desarrollo se logre con una relación costo-beneficio lo mas adecuada posible.

En este trabajo no solo se utilizan los resultados obtenidos durante nuestros trabajos de campo, sino además la documentación de informes ingeniero - geológicos de la ENIA y EGMO, datos de Acueducto, Hidroeconomía y DAU. En los trabajos de campo se hicieron levantamientos geológicos y de muestreo en el sistema de túneles para la Defensa de la Ciudad de Bayamo, se realizaron 194 mediciones sismológicas puntuales para el área de estudio.

Para la realización del análisis de la información obtenida para nuestro trabajo se utilizaron un complejo de métodos que permitieron determinar los factores que condicionan el riesgo sísmico en la ciudad de Bayamo, así como las causas y los parámetros cualitativos y/o cuantitativos que le dan lugar y lo condicionan.

Con la información geológica se pudieron conocer parámetros tales como distribución de los tipos litológicos, potencia, características de los suelos, profundidad de yacencia de las capas, nivel freático, propiedades físico-mecánicas de los estratos y las características morfológicas; mientras que la sismológica nos brinda información sobre las coordenadas epicentrales, distancia, magnitud e intensidad de los eventos.

Para los análisis de los estimados de peligrosidad sísmica se partió de los catálogos de sismos históricos donde aparecen los terremotos de épocas pasadas evaluados según la intensidad de sus efectos principales en determinadas zonas

las cuales han sufrido ciertas afectaciones. La peligrosidad sísmica está dada por el efecto sobre el suelo producido por los terremotos cercanos a ella; para su análisis existen dos formas, la determinista que se basa en el principio de que la sismicidad futura de una región sea idéntica a la del pasado y la probabilística basándose en leyes estadísticas que gobiernan los fenómenos sísmicos pasados de una región.

El conocimiento adecuado del riesgo sísmico de una región es fundamental para la prevención y mitigación de daños, al poder diseñarse los edificios y estructuras de acuerdo con las intensidades máximas que se espera alcanzar en ella. El daño a edificios depende del tipo de construcción y de su localización.

Los resultados presentados en el trabajo son de gran utilidad para ingenieros, proyectistas, planificadores y organismos de gobierno de la ciudad de Bayamo, para la toma de decisiones en el planeamiento urbanístico e industrial de esta ciudad así como tomar medidas que se deben tener en cuenta para mejorar las obras construidas en zonas afectadas y con posibilidad de afectaciones. El mismo tiene gran aplicación en el programa de prevención y mitigación de desastres, para una mejor elaboración en los planes de medidas contra catástrofes de la provincia, así como para el programa director de planificación y desarrollo de la ciudad.

Los resultados en su primera etapa formaron parte del Programa de Investigaciones Sismológicas de la Provincia Granma, los cuales dieron respuesta a las necesidades del Gobierno de la provincia, Defensa Civil y organismos planificadores y constructores. El mismo en su conjunto es objeto de este trabajo de Tesis de Maestría.

## Capítulo 1: Generalidades.

### 1.1- Antecedentes.

Por el grado de actividad sísmica en la localidad de Bayamo y sus alrededores y su peligro al encontrarse próxima a zonas sismogeneradoras importantes capaces de generar magnitudes entre 6.5 y 8.0 Richter, se llevaron a cabo estudios tales como el Polígono Geodinámico de Bayamo para la realización de mediciones geodésicas de alta precisión al servicio de la CEN del norte de Holguín en 1986 por la Empresa GEOCUBA de Holguín, las cuales se continúan realizando en la actualidad.

Alfaro, R. (1987), realizó un "Esquema ingeniero-geológico de la ciudad de Bayamo" a partir de los datos de las calas de perforación de la ENIA. Con estos datos confeccionó el mapa ingeniero-geológico de la ciudad y estableció una caracterización ingeniero-geológica de la misma para fines constructivos. El mismo tuvo como limitante que por la poca densidad de las perforaciones no se cubrió todo el área de la ciudad.

Chuy, T. J. et al, (1998), realizó el Estudio Macrosísmico detallado de la actividad sísmica perceptible alrededor de Bayamo en abril de 1987 y marzo de 1988, el cual ha servido de fuente importante de datos para trabajos investigativos, pero se limita a analizar el comportamiento de los terremotos y sus efectos.

Torres, D. (1990), realizó una Tesis de grado "Esquema de microzonificación sísmica de la ciudad de Bayamo por el método de analogías ingeniero-geológicas". Para la realización de la misma utilizó la información ingeniero-

geológica obtenida de la ENIA, pero por ser un trabajo de curso se limitó a hacer el estudio de analogías por un solo método, el de Categorías Ingeniero-Geológicas de Medvedev.

Tomando como base este estudio Fernández, B. (1990), la misma realizó la "Valoración de los efectos sísmicos por el método de analogías ingeniero-geológicas en la ciudad Bayamo", utilizando para el mismo la información de la ENIA pero con mayor nivel de estudio. Para la categorización de los suelos empleó los métodos de analogías de Medvedev y el de Popov, además confeccionó los acelerogramas sintéticos para el cálculo de los efectos sísmicos.

Ambos fueron trabajos investigativos del Departamento de Geofísica y Astronomía en Santiago de Cuba, realizados en 1990, con el objetivo de tener un mayor nivel de conocimiento en las zonas de perceptibilidad de los terremotos en los años 1997 y 1998. Pero tenían la limitante de que no se realizaban mediciones instrumentales, ni levantamiento ingeniero-geológico, quedando zonas sin información ya que los datos aportados por la ENIA no eran suficientes.

Oliva, R. et al (1992), confeccionaron el primer Plan de Medidas para Sismos de Gran Intensidad y Guasch, F. et al (1992), el Plan de Preparación para Catástrofes para las Direcciones Políticas, Estatales, Defensa Civil y población en general. Estos fueron trabajos solicitados por la dirección del Gobierno de la provincia.

Rivera, Z. y Hernández, E. (1997), realizaron la Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bayamo a escala 1:10 000. A solicitud del Gobierno y el Estado Mayor de la provincia, con el objetivo un estudio más amplio en la ciudad que incluyera toda la información existente hasta la actualidad de la ENIA y EGMO, con la



realización de mediciones instrumentales. El mismo se concibió en dos etapas fundamentales, la primera se basó en la recopilación de datos, trabajos de campo y el empleo de diferentes métodos de clasificación de los suelos para realizar las analogías ingeniero-geológicas, este estudio sirvió de base para la segunda etapa de mediciones instrumentales, permitiendo la selección del punto patrón y el trazado de una red densa de mediciones en los lugares adecuados. Su limitación fue el no realizar un estudio de riesgo en la ciudad.

Vega, I. et al (1997), partiendo de los datos de la DAU y la Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bayamo, Rivera, Z. et al (1997), realiza la Valoración del Riesgo Sísmico de la ciudad de Bayamo a partir del cálculo de la vulnerabilidad sísmica y susceptibilidad, referidos a las pérdidas esperadas en la ciudad a causa de la amenaza sísmica que actúa sobre la población y la infraestructura socio-económica de la misma. Los resultados son presentados por niveles de los repartos en que está dividida la ciudad. Este trabajo realmente es un estudio de vulnerabilidad y tiene como limitante que no llega a dar parámetros de riesgo.

A pesar de estos trabajos investigativos, la ciudad de Bayamo ha sido poco estudiada, por lo cual para esta posterior investigación sobre el riesgo sísmico en la ciudad de Bayamo y áreas aledañas se tomara como patrón de estudio la ciudad de Santiago de Cuba. Siguiendo su experiencia obtenida podemos mencionar algunos trabajos realizados.

Alvarez, Shteinberg et al. (1970), presentan algunas evaluaciones sismológicas con la definición del grado de intensidad máxima a esperar, así como sus efectos para Santiago de Cuba; Dasko et al. (1972) para la ciudad de Santiago de Cuba presentan un proyecto de investigaciones complejas fundamentadas en trabajos

geológicos, tectónicos, ingeniero-geológicos y geotectónicos y de fenómenos físico-geológicos inducidos; Heredia et al. (1973) presentan un esquema 1:50 000 de fenómenos físico-geológicos e incrementos de la intensidad por el método de las analogías de la cuenca con 5 zonas; y Puyada y Díaz (1973), presentan los resultados de la aplicación del método de rigidez sísmica con los valores de velocidad de las ondas para los tipos de rocas más comunes.

En 1980 se reinician los trabajos de microzonación sísmica de Santiago de Cuba, con mediciones de microsismos de banda ancha, con tres componentes dos horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste) y una vertical, con características del canal entre 0,1 a 1,2 segundos (García, 1981), que no fueron utilizadas por los especialistas soviéticos en las investigaciones posteriores. Entre 1982 y 1984 se aplicaron los métodos de las analogías ingeniero-geológicas y las mediciones microsismos con estaciones selectoras por frecuencias (CHISS) en ocho bandas entre 0,12 y 33 hercios.

En el curso de estas investigaciones Chuy, J.T. et al. (1982) presentan un esquema a escala 1:25 000 de zonación de los niveles freáticos de la cuenca de Santiago de Cuba; González, B. et al. (1984) presentan el esquema fotogeológico a escala 1:37 000 y esquemas a escala 1:25 000 de tipos básicos de suelos, potencia de sedimentos superficiales, variaciones de intensidad, similaridad de los espectros CHISS y velocidades de los microsismos.

Se presentó un proyecto de investigaciones complejas fundamentadas en trabajos geológicos, tectónicos, ingeniero geológicos y geotectónicos y de fenómenos físico-geológicos inducidos, donde Heredia et al. (1982) publican un esquema a escala 1: 25 000 con cinco categorías de variaciones de la intensidad, en función de las propiedades ingeniero geológico de las rocas y nivel de las aguas

subterráneas, además proponen como suelo patrón las rocas de la formación La Cruz. Consideramos que los valores de intensidad que proponen están sobrestimadas porque los valores que utilizan tiene en cuenta como suelo patrón al granito.

La limitación principal de los resultados presentados en 1984, al igual que Heredia et al (1982) radico en el procesamiento, pudiéndose explotar con mayor eficiencia la información obtenida, en lo cual influyo la no existencia de una estación patrón dentro la ciudad para el registro de terremotos, además de la poca información sismológica, los valores de variación de la intensidad sísmica que se tienen en cuenta no se ajustan con la información sismológica existente y publicada en esa época (Alvarez y Menéndez, 1969; Alvarez, 1970; Alvarez, et al. 1970 y Chuy, T. J. 1980) que proponían VIII grados de intensidad para Santiago de Cuba

González et al (1984) presentan un Esquema de Analogías Ingeniero-Geológicas para Santiago de Cuba, donde se definen cuatro zonas de variación de intensidad:

- *disminución de un grado* ( $DI < 1$ )
- *sin variación de intensidad* ( $DI = 0$ )
- *aumento de un grado* ( $DI > 1$ )
- *aumento de más de un grado* ( $DI > +1$ )

Las características ingeniero-geológicas de Santiago de Cuba están presentadas en los trabajos precedentes. Además se tuvo en cuenta el nivel de las aguas freáticas, el grado base de partida considerado es de 8 grados. (Chuy, T. et al, 1983).

González et al. (1989) reevalúan las analogías ingeniero-geológicas por el método de los cortes ingeniero-geológicos típicos (Popov, 1959); con la información de microsismos CHISS obtenida en 1984 (Rubio, et al., 1989) aplican métodos de clasificación numérica para el reconocimiento de patrones no supervisados en la que usa como variables la forma del espectro CHISS y las funciones de transferencia calculadas con los registros de la estación de Río Carpintero como patrón, pero no fueron mapeados los resultados ni comparados con los esquemas anteriores.

Oliva, R. et al (1989), realizan la Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba, estableciendo un análisis de la vulnerabilidad de las viviendas a nivel de manzanas, valorando el riesgo sísmico de las mismas, además de un estudio de las obras educacionales y de la salud.

En 1991, González presenta la reevaluación de la información instrumental existente (espectros CHISS) y un polígono de experimentación de métodos de microzonación (Zapata et al., 1993). González (1991), presenta una zonación empleando los cortes típicos cuyas áreas no difieren en gran medida de la obtenida en 1984 por el método de las analogías ingeniero-geológicas. En el caso de la microzonación sísmica, presentó además los resultados de los efectos sísmicos en Santiago de Cuba a partir de la misma información instrumental obtenida en 1984. Dentro del trabajo realizó la evaluación del esquema de analogías con el método de las condiciones ingeniero-geológicas típicas, donde obtuvo 8 tipo de perfiles típicos que son comparables con las cuatro zonas obtenidas anteriormente. El esquema corrobora el anterior presentado en 1984.

Zapata (1995) en su Tesis de Doctorado propone un esquema pronóstico de fenómenos físico-geológicos para sismos con intensidades mayores de 7 y 8 grados utilizan como herramienta de procesamiento un sistema de información geográfica con cuadrículas de 200 \* 200 metros cuadrados y evalúan parámetros de relieve, ingeniero-geológicos, tectónicos y de microzonación sísmica a escalas 1:10 000 y 1:25 000. El procesamiento es realizado con el sistema PC-GEO (Viña et al, 1994) lo que permitió realizar las categorizaciones, clasificaciones y la confección de mapas para diferentes variables, al unísono, con apoyo del análisis estadístico multivariado. Este es el trabajo más reciente donde el autor propone zonas con posibilidad de ocurrencia de fenómenos físico-geológicos.

Como limitante consideramos que se utilizan las características geológicas, profundidad de las aguas subterráneas y grados de pendientes para las categorías y no tiene en cuenta las características ingeniero-geológicas de la cuenca de Santiago de Cuba, las cuales se encuentran resumidas actualmente en una base de datos creada en formato DBF, donde aparecen resumidas las propiedades físico mecánicas de los diferentes suelos.

## 1.2- Problema.

El estudio del riesgo sísmico en la ciudad de Bayamo constituye una herramienta de trabajo de gran utilidad para ingenieros, proyectistas, planificadores y organismos de gobierno para la prevención y mitigación de desastres, ya que permite tomar decisiones en el planeamiento urbanístico e industrial de la ciudad, así como las medidas que se deben tener en cuenta para mejorar las obras construidas en zonas afectadas y con posibilidad de afectaciones. Constituye la base para la elaboración de los planes de medidas contra catástrofes de la

provincia, así como para el programa director de planificación y desarrollo de la ciudad.

### 1.3- Objetivos.

Este trabajo en su primera etapa respondió al Programa de Investigaciones Sismológicas de la Provincia Granma, con el cual se proponen en estos momentos los siguientes objetivos:

- 1- Unificar la información de Microzonificación y Vulnerabilidad Sísmica.
- 2- Evaluar los resultados de las mediciones instrumentales, las cuales caracterizan cuantitativamente la respuesta dinámica del suelo y la determinación del riesgo sísmico.
- 3- Dar parámetros de las zonas con probabilidad de riesgo sísmico.

### 1.4- Hipótesis.

Como hipótesis de trabajo partimos del conocimiento de la ocurrencia de terremotos moderados y fuertes con epicentro en la ciudad y zonas aledañas a ella, así como del conocimiento de las características y propiedades de los suelos, los métodos de clasificación y análisis de los mismos, el empleo de mediciones instrumentales y sistemas computarizados avanzados como son el SISMOLAB, CLUSTER y SURFER, los cuales nos permiten procesar los resultados y con esto el conocer el comportamiento del suelo ante eventos sísmicos fuertes y catastróficos y estimar el riesgo sísmico que estos pueden ocasionar.

## 1.5- Justificación.

A pesar de que el concepto de riesgo es concreto y cuantificable (OPS/OMS, 1994), este es un parámetro relativo porque depende de la percepción que sobre él tengan las comunidades. La población intenta disminuir constantemente su vulnerabilidad ante las amenazas, mientras que trata de mantener un equilibrio entre el riesgo tolerable y los beneficios asociados.

Las Naciones Unidas el 11 de Diciembre de 1987, en su Resolución 42/169, declara el decenio de 1990 al 2000 como un "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales" (DIRDN), el objetivo del mismo es reducir, especialmente en los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, la pérdida de vidas, los daños materiales y las perturbaciones sociales y económicas causadas por desastres naturales como terremotos, deslizamientos, etc.

Por estas razones se llevó a cabo el Plan Hemisférico de acción (OPS/OMS, 1994) para la Reducción de la Vulnerabilidad del Sector Educativo y de Salud a los Desastres, como educación formal en la gestión de riesgo, esto se ha hecho extensivo a toda la población. A partir de aquí se han realizado cumbres, conferencias, reuniones, acciones y ejercicios de preparación, todo esto con el apoyo de organismos provinciales, nacionales e internacionales.

Con el DIRDN se realizó la elaboración de medidas para la evaluación, predicción, prevención y mitigación de los desastres naturales, mediante programas de asistencia técnica y transferencia tecnológica, proyectos de ensayo y actividades de educación y formación, adaptadas al tipo de riesgo, el desarrollo del país y al lugar específico de que se trate.

Pareciera que la cuantificación de los riesgos más bien los hace aparecer como incontables. Sin embargo, es diferente la medida del riesgo que establecen los planificadores, de la aceptación que la comunidad pueda tener de estas cifras, de modo que no sólo desee reducir el riesgo sino que disponga de los medios para hacerlo.

Cuba, por su posición geográfica ha sido afectado en numerosas ocasiones por los efectos de los fenómenos naturales, como son los sísmicos y los meteorológicos, catalizadores a su vez de fenómenos secundarios. Al estar integrados al DIRDN, el Gobierno, por medio de la Defensa Civil y el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), desarrolla un programa integral, dirigido a la reducción y mitigación de los desastres ocasionados por los terremotos fuertes y moderados en las zonas con alto riesgo sísmico.

La provincia Granma se encuentra ubicada en la región Sur Oriental de la República de Cuba, constituyendo la región de mayor peligro sísmico en todo el país debido a su gran actividad sísmica por su proximidad al contacto entre las placas tectónicas de Norteamérica y el Caribe siendo esta la principal zona sismogeneradora del área del Caribe.

La ciudad de Bayamo ha sido objeto de estudios por haber estado expuesta a numerosos peligros sísmicos y efectos secundarios de los mismos, desde 1551 (Chuy, T. J. 1999) hasta la actualidad ha sido sacudida por 74 terremotos perceptibles con epicentro en la misma y otros como son, el ocurrido en Manzanillo en 1926 con  $I=7.0$  grados MSK y los mas recientes el de Pílon en 1976 con  $I=8.0$  grados MSK y el de Cabo Cruz en 1992 con  $I=7.0$  grados MSK, ambos sentidos en la ciudad de Bayamo con  $I=5.0$  y  $6.0$  grados MSK respectivamente.



Con estos datos históricos, resulta evidente la necesidad de hacer el estudio de Riesgo Sísmico en la ciudad, delimitando las subzonas donde se pueden producir incrementos o decrementos en el valor de la intensidad sísmica debido a las propiedades físico-mecánicas de los suelos y evaluando la potencialidad de ocurrencia del riesgo sísmico, inducidos por terremotos moderados y fuertes. De esta forma se podrá prevenir y mitigar los daños en la población y construcciones minimizando sus efectos.

## **Capítulo 2: Características geólogo-tectónicas y sismológicas del área de estudio.**

### 2.1- Características generales de la región.

#### 2.1.1- Características físico-geográficas.

La ciudad de Bayamo con un total de habitantes de 129859 (DAU, 1996), se localiza en la parte centro este de la provincia Granma, es la más importante del municipio con el mismo nombre y este a su vez es la cabecera de la provincia; la mayor parte de la ciudad presenta un relieve llano salvo en la parte Sur donde está situada la Sierra Maestra. Las coordenadas del área de estudio son:

X1- 517 000 X2- 522 000

Y1- 189 000 Y2- 195 000

#### 2.1.2- Características hidrogeográficas e hidrogeológicas generales.

La ciudad de Bayamo se encuentra atravesada por el río Bayamo; este la bordea hacia la parte Oeste, observándose grandes y numerosos meandros, lo cual indica su cambio de curso en repetidas ocasiones. Solapando la llanura del río Bayamo, se interpone la llanura aluvial del río Salado, el cual le sirve de afluente al antes mencionado.

Se observan además varios arroyos hacia la parte Norte de la ciudad. Por lo general en esta zona los ríos corren en dirección de Sur a Norte y son afluentes

del río Cauto.

Las aguas subterráneas se encuentran en intercalaciones y lentes de arenas; aumentando el contenido de agua hacia la parte inferior del corte y en el contacto con las rocas más antiguas. No existen los datos suficientes para determinar la composición química de las aguas, aunque se supone que sean mineralizados ya que los suelos existentes en el lugar generalmente son carbonatados y con algunos componentes de Fe, Mn y otros.

En los pozos analizados, (Hidroeconomía; Acueducto, 1996) los cuales se encuentran en los alrededores de la ciudad prácticamente en los límites de esta, se puede apreciar que los niveles estáticos de las aguas subterráneas se encuentran a profundidades que oscilan entre 4.53 y 19.10 m, mientras que en las calas realizadas en la ciudad (ENIA, 1996) los niveles freáticos son muy variables oscilando entre 1.90 y 10.00 m. aunque es bueno señalar que en sentido general los niveles freáticos en la mayor parte del área investigada alcanzan profundidades mayores a los 4 m.

## 2.2- Características geólogo-tectónicas.

### 2.2.1- Estratigrafía.

Geológicamente (Nagy, E. 1983) plantea que la región de la ciudad de Bayamo está constituida por las siguientes formaciones:

- Formación Bayamo (Fm. BAY); Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior.

Está constituida por arcillas, areniscas polimícticas de variada granulometría de cemento calcítico y calcítico-arcilloso débil con intercalaciones lenticulares de arcillas, arenas arcillosas, capas de arcillas bentoníticas e inclusiones ocasionales de yeso; las areniscas tienen con frecuencia nódulos de calcita, goethita y fragmentos ferromangánicos. La coloración es abigarrada y la estratificación es fina, lenticular o cruzada, a veces indefinida.

Las arcillas tienen color carmelita y abigarrado, son plásticas y a veces arenosas, ocasionalmente tienen fractura concoidal irregular. Contiene concreciones de  $\text{CaCO}_3$  y están manchadas por un pigmento ferromangánico. Entre otros minerales arcillosos predomina la montmorillonita y está presente la clorita. Las arcillas bentoníticas son de color verde grisáceo y carmelita, con manchas blancas y negras, a veces contienen intercalaciones de yeso.

Las arenas arcillosas tienen color verde grisáceo o carmelita, son de grano fino a mediano, a veces de grano grueso, formando gravas de 2-15 mm de material vulcanógeno con pátina negra superficial de pigmentos de  $\text{FeO}$  y  $\text{MnO}$ . Las gravas son subangulares y a veces redondeadas, también contienen pisolitas ferromangánicas de 1-2 m.

Las areniscas son de color amarillo blancuzco y carmelita, de grano fino a medio. Generalmente son friables, a veces compactas (cementadas con material carbonítico). El material de los clastos es de caliza, tufitas y cuarzo subredondeado. Las arcillas y las areniscas generalmente contienen gravas de material vulcanógeno y caliza con pátina de  $\text{FeO}$  y  $\text{MnO}$ , pisolitas ferromangánicas de 1-2. y manchas o concreciones de  $\text{CaCO}_3$ .

- Sedimentos aluviales indiferenciados del Pleistoceno Superior-Holoceno.

Se extiende en el cauce de los ríos, orilla y en la desembocadura de los mismos. Se observa una potente secuencia de los sedimentos aluviales, capa vegetal, bloques, gravas, cantos rodados, arenas no consolidadas y aleurolitas subordinadamente arcillas.

### 2.2.2- Tipos de suelos predominantes en el área.

En el área de estudio aparecen diferentes tipos de suelos (Rivera, 1997) de acuerdo a sus características y propiedades físico mecánicas (Tabla No. 1), descritos a continuación:

- Capa vegetal mezclada con arcilla orgánica y en algunos casos gravas y arenas, de coloraciones gris oscuro, carmelita oscuro o negro. Su espesor varía desde 0.15 hasta 1.90.
  - Relleno de color carmelita oscuro a grisáceo, constituido por arena, arcilla, limo, gravas, cantos rodados de diferentes diámetros, pedazos de hierro y fragmentos de ladrillos; puede aparecer mezclado con la capa vegetal. Su espesor varía desde 0.50 hasta 4.00 m.
1. Suelos arcillosos, generalmente plásticos de color carmelita amarillento con diferentes tonalidades, en ocasiones fisuradas, contenido variable de cantos rodados, gravas y arenas, con cierta limosidad. Puede presentarse con manchas de óxido de hierro y manganeso, con fragmentos de caliza y nódulos de  $\text{CaCO}_3$ . Consistencia de media a dura. Su espesor varía desde 0.75 hasta 10.00 m. Por su contenido se clasifican en:

- \* Arcilla de alta plasticidad
- \* Arcilla limosa
- \* Arcilla arenosa
- \* Arcilla calcárea

2. Arenas de granos finos a gruesos de color carmelita amarillento, mezcladas con arcillas, limo y gravas de granulometrías pequeñas a medianas; compacta. Su espesor varía desde 2.50 hasta 10.00 m. Por su contenido se clasifican en:

- \* Arena gravosa
- \* Arena arcillosa
- \* Arena limosa con fragmentos de gravas

3. Suelo gravoso o conglomerático constituido por gravas y fragmentos de rocas de origen volcánico y sedimentario, de coloraciones carmelitas con tonalidades amarillentas, grises y blancuzcas; en una matriz de arcilla limo-arenosa, con gran contenido de  $\text{CaCO}_3$ . Compacto. Su espesor varía desde 2.50 hasta 6.00 m.

4. Areniscas de granos finos cementadas por material carbonatado, aparecen mezcladas con pequeñas gravas de calizas y material volcánico y en ocasiones con un material arcillo-limoso.

5. Suelo calizo, representado por arcilla calcárea de color carmelita a blancuzco con tonalidades grises, con gravas y fragmentos de rocas.

6. Suelo aluvial de color carmelita amarillento con tonalidades gris clara y composición arcillo-gravosa, con abundante contenido de arena de diferentes

granulometrías y cantos rodados. De semicomacto a compacto. Se encuentra fundamentalmente en el cause y los alrededores del río Bayamo. Su espesor varía desde 2.00 hasta 11.00 m.

**Tabla No.1:** Propiedades Físico-Mecánicas (Resumido de los informes ingeniero-geológicos de la ENIA y EGMO).

SUEIO	G g/cm <sup>2</sup>	rf g/cm <sup>2</sup>	rd g/cm <sup>2</sup>	W %	e	S %	LL %	LP %	IP %	B Kg/cm <sup>2</sup>	IC	E Kg/cm <sup>2</sup>	Ø	Rs Kg/cm <sup>2</sup>	C	Ng
1	2.75	1.91	1.52	25	0.80	84	54	24	31	0.49	0.96	130	16	2.25	0.79	41
2	2.75	1.95	1.61	21	0.70	79	44	20	24	0.47	0.30	152	21	2.20	0.90	58
3	2.76	1.90	1.59	19	0.71	73	54	23	31	0.63	1.13	80	12	2.00	0.46	41
6	2.78	2.00	1.69	18	0.64	77	40	19	21	0.17	1.15	350	28	3.00	0.30	88

### 2.2.3- Tectónica.

El territorio donde se encuentra ubicada la ciudad esta caracterizado por una compleja constitución geólogo-tectónica, debido diferentes etapas evolutivas, pudiéndose diferenciar en la actualidad distintas regiones con características propias, litología, edad y tectonismo.

En la provincia Granma se pueden citar las siguientes estructuras regionales (Comisión Ad-hot, 1991) de Norte a Sur, que afectan en gran medida la ciudad:

- Cuenca del Cauto
- Falla Cauto-Nipe
- Anticlinorium Sierra Maestra
- Sistema de Fallas Bartlett-Caimán

Las Fallas Cauto-Nipe y Bartlett-Caimán son estructuras tectónicas de gran importancia debido a que son estructuras activas y las de máxima responsabilidad

de la actividad sísmica en esta región, junto a otras como Bayamo, Santiago-Bayamo y Baconao.

La Falla Cauto-Nipe se encuentra atravesando la región Oriental con una dirección Noroeste-Suroeste, desde la Bahía Nipe hasta las inmediaciones de Niquero-Cabo Cruz con una longitud de más de 260 Km, con un movimiento lateral vertical.

El Sistema de Fallas transformantes Bartlett-Caimán se extiende en dirección sublatitudinal al Sur de la región Oriental con una longitud de más de 1800 Km, con una profundidad aproximada de 50 Km y un ancho entre 10 y 15 Km. Se caracteriza por una actividad sísmica significativa, concentrada en tres sectores fundamentalmente, de los cuales el sector central (75-77 grados) y el Occidental son los que representan el mayor peligro para el área de estudio.

### 2.3.1- Sismicidad de la región de la ciudad de Bayamo.

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

La frontera entre la Placa Norteamericana y la del Caribe, se localiza en las acuatorias de la parte Sur Oriental de Cuba y a su vez de la provincia Granma, este contacto entre ambas placas tectónicas constituye la principal zona



sismogeneradora del área del Caribe, en la cual se han producido sismos de gran magnitud que han provocado a su vez los mayores daños en esta región.

El peligro sísmico en Cuba presenta una particularidad interesante y que al mismo tiempo hace que su estudio sea para algunas áreas de carácter complejo. Esta consiste en el hecho de que en el Archipiélago cubano se presentan dos génesis de sismos dadas por la ubicación espacial y origen de los terremotos: de entre placas y de interior de placas.

Esto significa que en nuestro territorio no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes, destacándose el primer tipo de sismicidad la Región Sur Oriental por la frecuencia con que históricamente ocurren en ella terremotos de alta magnitud e intensidad, lo que implica que sea considerada como la de mayor peligrosidad sísmica del país y se corresponde con la Zona Sismogénica de Bartlett-Caimán, donde se han reportado 22 terremotos fuertes, de ellos 20 en la provincia de Santiago de Cuba y 2, los más recientes en la provincia de Granma (Chuy, T. J. 1999).

A esta se asocia la zona sismogeneradora ORIENTE 2 con magnitud máxima de 7.6 Richter, donde se reportó el sismo de Pílon en 1976 ( $M=5.7$  Richter;  $I=8.0$  MSK) y el de Cabo Cruz en 1992 ( $M=7.0$  Richter;  $I=7.0$  MSK), sentidos en la ciudad de Bayamo con intensidades de 5.0 y 6.0 grados MSK y los de ORIENTE 1 con  $M=8.0$  Richter, al cual se asocian los terremotos de Santiago de Cuba en 1766 ( $M=7.6$  Richter) y 1852 ( $M=7.3$  Richter), ambos con Intensidad de 9.0 grados MSK y el de 1932 ( $M=6.75$  Richter;  $I=8.0$ ), los dos primeros sentidos en la ciudad de Bayamo con  $I=8.0$  grados MSK y el último con  $I=7.0$  grados MSK.

Esta sismicidad de interior de placas se manifiesta en zonas sismogénicas de baja actividad, presentando menor magnitud y frecuencia de ocurrencia de terremotos; a pesar de esto, su ubicación cercana a las costas o en el interior del territorio y la poca profundidad de los hipocentros, hace que en ocasiones se reporten afectaciones significativas en las diferentes estructuras como la BAYAMO con  $M=6.5$  Richter, SANTIAGO-BAYAMO con  $M=5.5$  Richter y CAUTO-NIPE con  $M=7.0$  Richter, a esta última se asocian los terremotos de Bayamo en 1551 ( $M= 5.8$  Richter;  $I=8.0$  MSK) y 1624 ( $I=7.0$  MSK), el de Manzanillo en 1926 ( $I=7.0$  MSK), sentido con en la ciudad de Bayamo con intensidad de 7.0 grados MSK y los más recientes ocurridos en 1987 y 1988 con epicentro en Bayamo ( $I=7.0$  MSK).

En las inmediaciones del municipio se localizan otras Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) que pueden producir afectaciones, es el caso de CAUTO-NORTE con  $M=6.5$  Richter, SABANA 2 con  $M=6.5$  Richter donde se produjo el terremoto de Gibara en 1914 ( $I=7.0$  MSK), sentido en la ciudad de Bayamo con intensidad aproximada de V grados en la escala MSK. Existe un reporte (SSN, 1996) del sismo ocurrido en Jamaica el 13 de enero de 1994 ( $I=7.0$  MSK), el cual pertenece a la zona sismogénica JAMAICA NORTE con  $M=7.7$  Richter y fue sentido en la ciudad de Bayamo con ( $I=7.0$  MSK).

La mayor intensidad sentida en la ciudad de Bayamo es de 8.0 grados MSK, según reporte de un terremoto ocurrido con epicentro en la misma (Chuy, T. J., 1999), en el año 1551 y además debido a efectos secundarios de terremotos con epicentro en Santiago de Cuba de IX grados.

Durante los años 1968-1995 se han registrado por la Red de Estaciones Sismológicas de la región 72 terremotos con epicentro en la ciudad de Bayamo y

2 que fueron sacados de los datos de sismicidad histórica.

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

### 2.3.2- Peligro Sísmico de la región.

La Figura 2.3.1 representa las *Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) para la Región Oriental*, (Comisión Ad-hoc, 1991) las cuales influyen directamente en la ocurrencia de terremotos en la región Oriental. A cada zona se le asocia una magnitud determinada y en dependencia del valor que se le asocia se categorizan. Al Sur con Categoría 1 tenemos la zona Bartlett-Caimán; con Categoría 2 tenemos a la zona Cauto-Nipe y Baconao, y con Categoría 3 tenemos a Cauto Norte, Bayamo y Purial.

Para definir la Peligrosidad Sísmica (Chuy, T. J. 1999) de una región determinada se toman en cuenta tres aspectos fundamentales:

- El modelo estadístico de la ocurrencia de terremotos y sus efectos.
- Las Zonas Sismogénicas localizadas en la región y sus zonas cercanas con sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico.
- La Ley de Atenuación de la intensidad sísmica, para cuantificar los efectos y afectaciones de los terremotos con sus características regionales,

transformando luego sus valores en términos de la intensidad sísmica y de la aceleración horizontal.

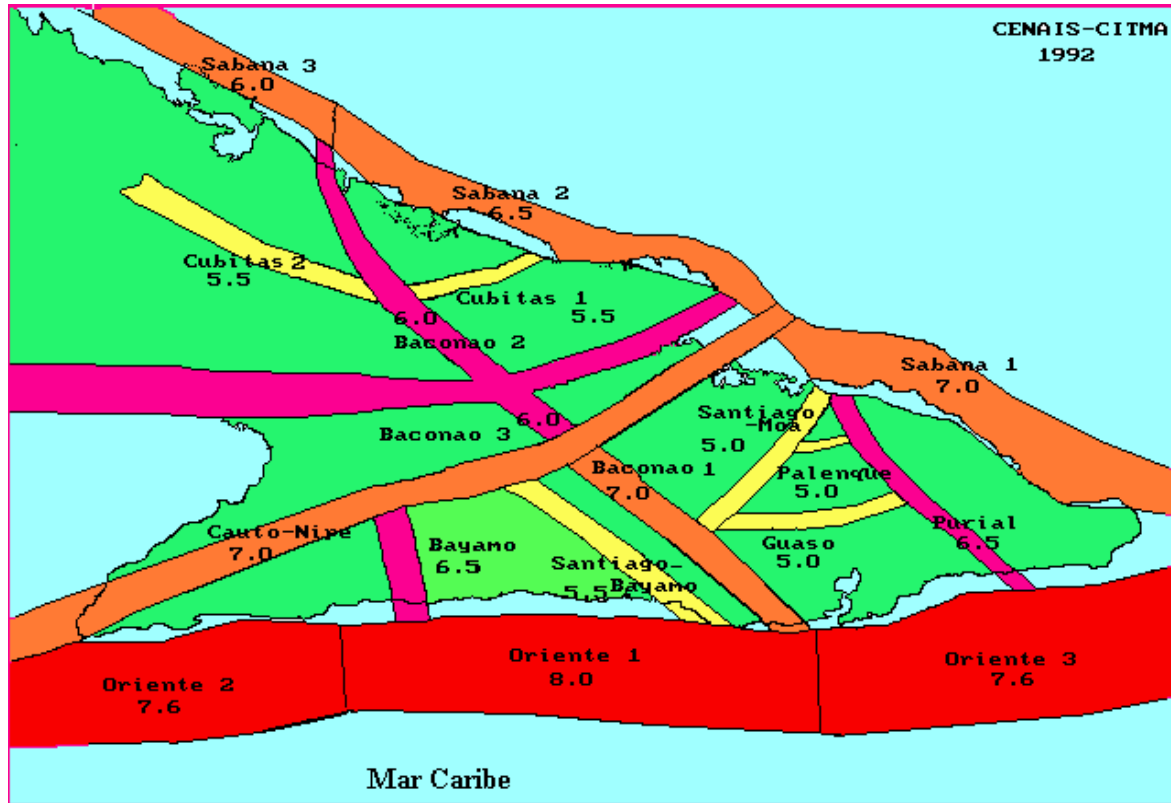


Figura 2.3.1: Esquema de Zonas de Origen de Terremotos de la Region Oriental

Chuy y Alvarez, (1995) para obtener los mapas de intensidad sísmica (I) y aceleración horizontal máxima (Ah-m) de Cuba, procesaron la información existente macrosísmica e instrumental; considerando suelos medios del tipo de perfiles de suelo S2 (depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 m) y una probabilidad de ocurrencia del parámetro de amenaza sísmica del 15 % con tiempos de vida útil de las instalaciones de 50 años. En los mapas detallados, que se presentan en las Figuras 2.3.2 y 2.3.3, (Chuy et al, 1992) se evidencia que las zonas de mayor peligrosidad en la región de estudio se localizan al Sur de la misma.

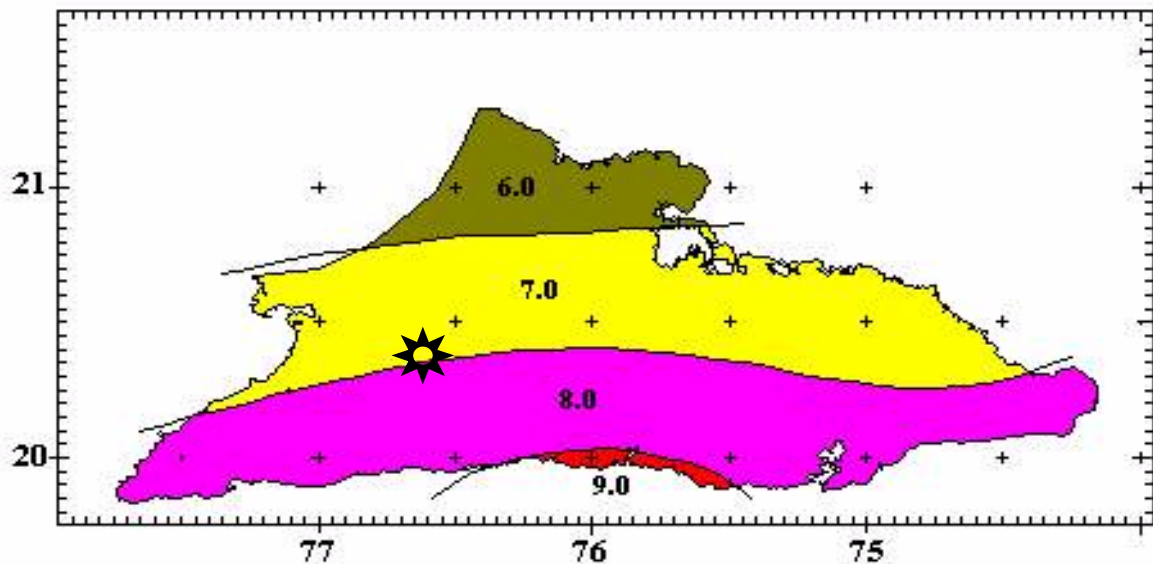


Figura 2.3.2: Mapa de Intensidades Máximas para Tiempos de Vida Util  $t=50$  años y Probabilidad de ocurrencia del 15% de la Región Oriental. Escala Original 1:1 000 000. Tomado de Chuy et al, 1992.

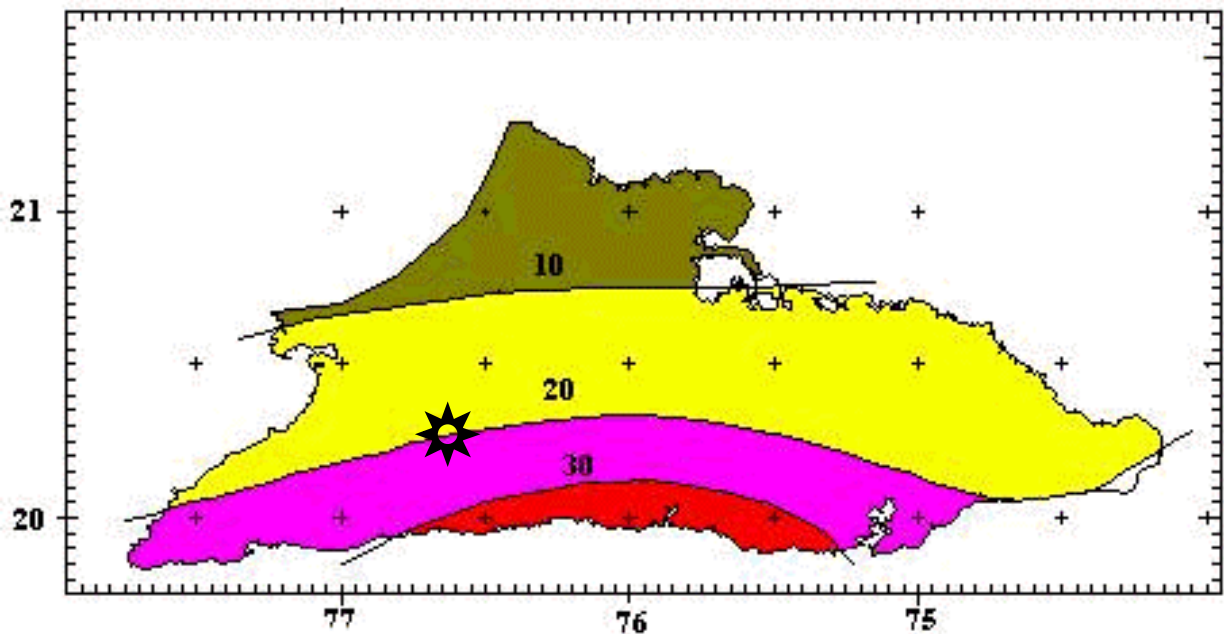


Figura 2.3.3: Mapa de aceleraciones horizontales máximas  $A_h$  (%g) para tiempos de vida util  $t=50$  años y Probabilidad de ocurrencia del 15% de la región Oriental. Escala Original 1:1 000 000. Tomado de Chuy et al, 1992.

En los mapas de peligrosidad los valores obtenidos para cada franja o zona pueden sufrir modificaciones (incrementos o decrementos) en dependencia del

punto particular en que se localice, así como de las condiciones ingeniero-geológicas y tipos de los suelos en que estos se encuentren.

Se evaluaron los efectos (Chuy, T. J, 1996) en términos de intensidad que podrían producirse en la ciudad de Bayamo por la ocurrencia de sismos fuertes en las Zonas de Origen de Terremotos que se localizan en los alrededores de la misma y que a su vez son las que generan mayores magnitudes, considerando para cada una de ellas el terremoto posible correspondiente a sus características sismotectónicas potenciales y tiempos de espera de 50 años, obteniéndose los siguientes resultados:

ZOT	I (MSK) esperada
ORIENTE 1	7.0
ORIENTE 2	7.0
CAUTO-NIPE	5.0
CAUTO-NORTE	5.0
BAYAMO	5.0

El grado base de la ciudad es de 7.0 grados en la escala de intensidades MSK (Chuy, T. J.; Despaigne, G. 1996), calculado para un período de recurrencia de 100 años y un 15 % de probabilidad de ocurrencia de este sismo en el área más cercana a la ciudad. No obstante el valor estimado de la intensidad a esperar en una región determinada depende de la ubicación del epicentro, por tanto la influencia de las Zonas Sismogénicas regionales es de obligatoria observación, porque en muchas ocasiones el mayor peligro sísmico a que una región está sometida no proviene de Zonas Sismogénicas localizadas en ella, sino de zonas vecinas en las que sus condiciones sismotectónicas le imponen una marcada peligrosidad.

## **CAPITULO 3: Determinación del riesgo sísmico.**

### 3.1- Cuestiones Metodológicas para la determinación del Riesgo Sísmico.

Numerosos investigadores se han encargado del estudio del riesgo tanto cualitativo como cuantitativo, pero para su evaluación se requiere determinar lo siguiente:

- 1- El valor de las nuevas estructuras, edificios, etc, a implantar y el número adicional de personas en la zona.
- 2- La vulnerabilidad de los mismos.
- 3- La posible aparición de nuevos procesos existentes.
- 4- Posible modificación de los procesos existentes.
- 5- Posible variación de la periodicidad de ciertos procesos.

Algunos autores plantean que el problema del riesgo sísmico puede resolverse utilizando diversos modelos estadísticos; uno muy generalizado es el método de los Valores Extremos que permite extender el período de observación a épocas remotas; existen otros métodos como son los Bayesianos. Todos estos tienen sus ventajas e inconvenientes y su utilización depende del conocimiento que se tenga de la historia sísmica.

Para evaluar el riesgo sísmico se necesita además conocer la Ley de Atenuación de la intensidad con la distancia, cuanto mayor sea la distancia del epicentro al punto en que se evalúa el riesgo, menor será su influencia.

Partiendo de los datos aportados por la vulnerabilidad sísmica de la ciudad (Vega, I. 1997) y los datos de la Peligrosidad Sísmica (Chuy, T. J. 1998), es posible

hacer el cálculo del índice de riesgo en la ciudad partiendo de la siguiente fórmula (Fournier, D' Albe, 1979; Cendrero, 1988):

$$IR = V \cdot v/P \text{ (pesos/años)}$$

Donde: V- es el valor de los elementos humanos y de interés existentes, en pesos  
v- vulnerabilidad de tales elementos (% del valor que se espera sea dañado en caso de episodio violento.  
P- periodicidad o intervalo promedio entre episodios peligrosos, en años.

El inconveniente para la realización de este cálculo radica en que se piden los datos de V y v en valor monetario, lo cual se hace muy complicado por la no existencia de los mismos, además estos son parámetros de estimación difícil incluso para aseguradores.

Scandone (1981), define el riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un proceso geológico o de un suceso (peligrosidad) por el valor del daño producido y se expresa como:

$$R_i = P_i \times D_i$$

En la misma se incluye la valoración del daño o pérdidas socioeconómicas en términos económicos.

Varnes (1984), distingue dos tipos de riesgo y establece sus métodos de cálculo, ellos son:

- Riesgo Específico (Rs); como el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural, partiendo de la probabilidad y la vulnerabilidad.



$$R_s = P \times v$$

- Riesgo total ( $R_t$ ); como las pérdidas debidas a un fenómeno natural concreto. Aunque en realidad estas son pérdidas potenciales anuales y no totales. Relaciona los elementos bajo riesgo con un valor económico y el riesgo específico.

$$R_t = E \times R_s$$

Al igual que la fórmula de Fournier, (1979), se hace muy complicado su cálculo porque se necesitan para la misma los datos en valor monetario.

Otro método de cálculo (González de Vallejo et. al., 1981), es el del Riesgo Sismotectónico (PR), el cual expresa el grado de periodicidad referente a la necesidad e importancia relativa con que deben llevarse a cabo planes de medidas encaminadas al control y mitigación del riesgo sismotectónico, el resultado de la misma se da a partir de zonas de diferente periodicidad de ocurrencia. Este se expresa como;

$$PR = 2SG \times PA \times BI \times RC$$

Donde; RC: Riesgo de catástrofe; se estima a partir del mapa de sismicidad histórica y el de zonas sísmicas generalizadas.

BI: Beneficio inmediato; se establece considerando que para las ciudades en pleno desarrollo no es posible modificar su emplazamiento ni actuar con normativas antisísmica sobre las edificaciones existentes, al contrario de lo que podría suceder en áreas que se están planificando y construyendo actualmente.

PA: Población anual; hace referencia a la densidad poblacional por  $\text{Km}^2$ .

SG: Severidad histórica y se determina a partir de los siguientes parámetros:

$$SG = (SH + PS + AN + EG)/4$$

Donde; SH: Sismicidad histórica; es la delimitación de las zonas donde se han producido los terremotos más fuertes catalogados hasta el presente (I=7.0 grados).

RS: Riesgo Sísmico; se consideran aquellas zonas que han sufrido movimientos sísmicos de intensidad mayor que 7.0 grados en un período de recurrencia de 50 años.

AN: Actividad neotectónica; se considera como aquella actividad producida en estructuras geológicas después del Mioceno más reciente.

EG: Estabilidad de las formaciones geológicas; según las características de los materiales que conforman el suelo y subsuelo.

Los parámetros relacionados en estas fórmulas son cuantificados según la escala de coeficientes con un valor comprendido entre 0 y 3 en dependencia de las condiciones o características exigidas para cada caso de forma independiente o atribuyéndole valores probabilísticos.

Existen otros métodos de análisis del riesgo sísmico, algunos de los cuales mencionamos a continuación:

- El método zonificado, a partir de los epicentros de los terremotos y los mapas de isosistas de los mismos.
- Mapas de peligros, procesos o peligrosidad.

- Mapas de microzonificación sísmica.
- Mapas de vulnerabilidad sísmica.
- Mapas de riesgo o nivel de riesgo.
- Mapas de pérdidas potenciales.

### 3.2- Cálculo del Riesgo Sísmico de la ciudad de Bayamo.

El riesgo producido por la ocurrencia de terremotos (Udias, A. 1986) puede estudiarse bajo dos puntos de vista. El primero es la probabilidad de ocurrencia de una cierta intensidad o movimiento del suelo en un cierto lugar, producidos por un terremoto, lo cual se denomina peligrosidad sísmica y el segundo es la probabilidad de que una cierta estructura sufra un daño apreciable, ante la acción de un terremoto, denominado vulnerabilidad. El conjunto de los dos en términos del valor económico es lo que se denomina Riesgo Sísmico.

En este trabajo nos daremos a la tarea de realizar el cálculo del riesgo sísmico (PR) partiendo de la relación presentada por (González de Vallejo et. al., 1981), analizada anteriormente, haciendo algunas modificaciones en la misma para la obtención de los parámetros a analizar.

El cálculo se realizó por repartos, estableciéndose los parámetros correspondientes en dependencias de las condiciones presentadas en la ciudad, la sismicidad histórica (SH), se obtuvo a partir del catálogo de sismos históricos ocurridos en la ciudad, para el riesgo sísmico (RS), se consideraron las zonas que han sufrido movimientos sísmicos mayor o igual a 7.0 grados de intensidad para un período de recurrencia de 100 años para un 15 % de probabilidad de ocurrencia de este sismo en el área de la ciudad, la actividad neotectónica (AN), se determinó por la manifestación neotectónica presente en la región de estudio,

la estabilidad tectónica (EG), se determinó partiendo de la presencia en la ciudad de suelos arcillosos y arenosos fundamentalmente con grandes espesores, compactos y de consistencia de media a dura y los sedimentos aluviales indiferenciados, con arenas y arcillas no consolidadas, con estos parámetros se calculó el grado de peligrosidad geológica (SG), estableciéndose diferentes zonas a partir de los valores aportados por la misma.

La población anual (PA), se obtuvo a partir de los datos de la DAU de la población existente en cada reparto, el beneficio inmediato (BI), se estableció considerando que para los repartos en pleno desarrollo constructivo el valor del índice (BI) es muy bajo, considerando que se pueden hacer algunas transformaciones en las edificaciones, mientras que para las áreas de los repartos en pleno desarrollo de planificación constructiva este parámetro será mayor, el riesgo de catástrofe (RC), se tomó a partir del esquema de microzonificación sísmica de la ciudad, donde las zonas con  $DI=+1$  poseen coeficiente 3, las de  $DI=0$  poseen coeficiente 2 y las de  $DI=-1$  poseen coeficiente 1.

Los diferentes coeficientes determinados para los diferentes repartos, así como el resultado del cálculo del riesgo sísmico son presentados en la Tabla No.2.

Para el riesgo sismotectónico (PR) se han establecido 4 zonas:

- 1- Zona de prioridad muy alta ( $PR > 30$ )
- 2- Zona de prioridad alta (PR entre 15 y 30)
- 3- Zona de prioridad moderada (PR entre 8 y 14)
- 4- Zona de prioridad baja ( $PR < 8$ )

**Tabla No.2: Coeficientes para el cálculo del Riesgo Sísmico por repartos y resultado del mismo.**

Repartos	SH	RS	AN	EG	SG	PA	BI	RC	PR
1- La Mosquera	3	1	3	3	1	2	3	3	36
2- Rosa la Bayamesa	3	1	3	2	1	3	2	3	36
3- La Unión	3	1	3	2	1	3	2	3	36
4- Viviendas Campesinas	3	1	3	2	1	3	2	3	36
5- Marianao	3	1	3	2	1	3	1	3	18
6- Siboney	3	1	3	3	1	3	1	3	18
7- Pedro Pompa	3	1	3	2	1	3	2	3	36
8- Aeropuerto Viejo	3	1	3	2	1	3	3	3	54
9- El Valle	3	1	3	2	1	3	1	3	18
10- Ciro Redondo	3	1	3	2	1	3	1	3	18
11- El Cristo	3	1	3	3	1	3	1	3	18
12- Roberto Reyes	3	1	3	2	1	3	1	3	18
13- San Juan	3	1	3	3	1	3	2	3	36
14- Camilo Cienfuegos	3	1	3	2	1	3	1	3	18
15- Izert	3	1	3	2	1	3	1	3	18
16- Galindo	3	1	3	3	1	3	1	3	18
17- Ojeda	3	1	3	3	1	3	1	3	18
18- Las Caobas	3	1	3	2	1	3	3	3	54
19- Barrio Azul	3	1	3	3	1	3	1	3	18
20- Latinoamericano	3	1	3	3	1	3	1	2	12
21- Fco. Vicente A.	3	1	3	3	1	3	2	2	24
22- Jesús Menéndez	3	1	3	2	1	3	2	3	36
23- La Hacienda	3	1	3	3	1	3	3	2	24
24- Campamento de P.	3	1	3	3	1	1	3	2	12

Donde: SH: Sismicidad histórica.

RS: Riesgo sísmico.

AN: Actividad neotectónica.

EG: Estabilidad de las formaciones geológicas.

SG: Severidad histórica.

PA: Población anual.

BI: Beneficio inmediato.

RC: Riesgo de catástrofe.

PR: Riesgo sismotectónico.

A partir de su clasificación y analizando los resultados presentados en la Tabla No. 2, se determinaron para el área de la ciudad de Bayamo tres zonas, ellas son:

- 1- **Zona de prioridad muy alta:** que comprende los repartos La Mosquera, Rosa la Bayamesa, La Unión, Viviendas Campesinas, Pedro Pompa, Aeropuerto Viejo, San Juan, Las Caobas y Jesús Menéndez.
- 2- **Zona de prioridad alta:** comprende los repartos Marianao, Siboney, El Valle, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Barrio Azul, Francisco Vicente A. y La Hacienda.
- 3- **Zona de prioridad moderada:** comprende los repartos Latinoamericano y Campamento de pioneros.

Este resultado se encuentra representado en la Figura 3.2.1.

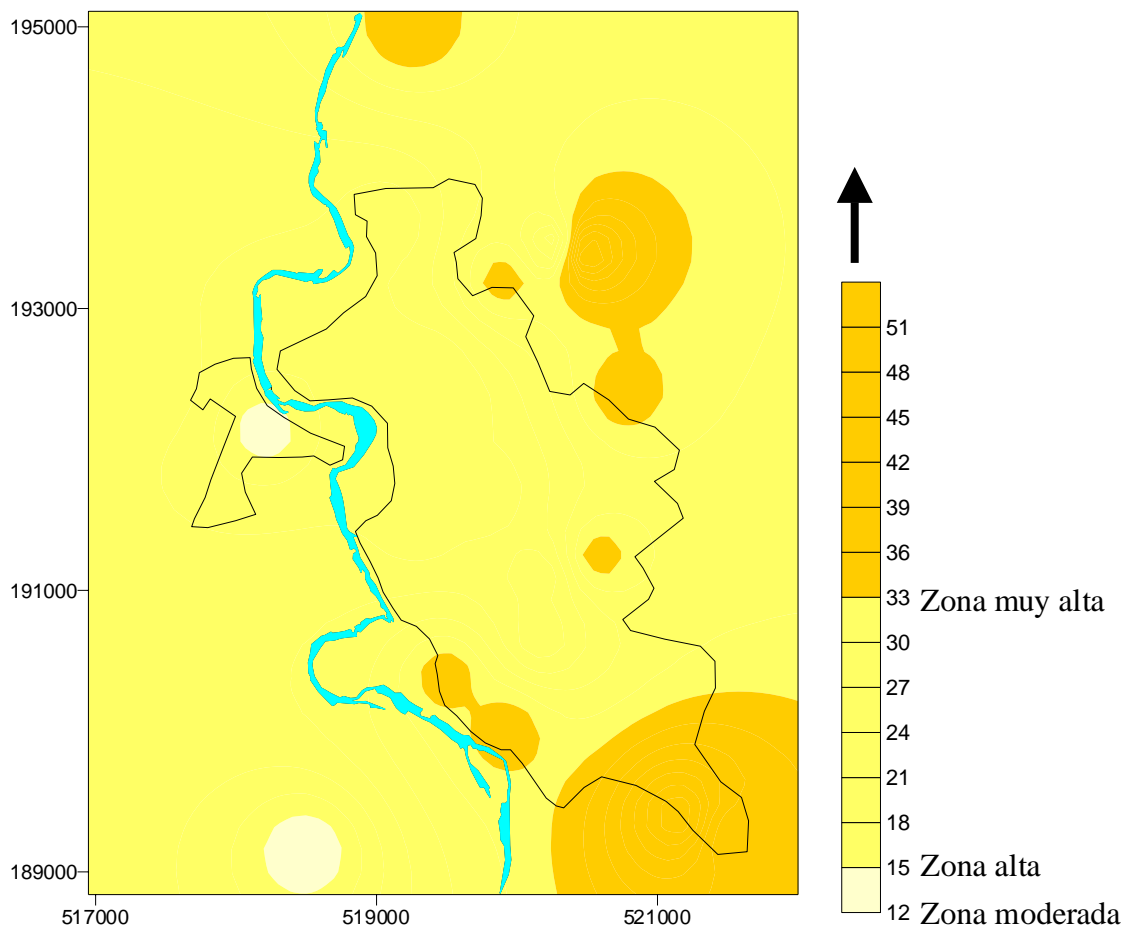


Figura 3.2.1: Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Bayamo. Escala 1: 1000

## **CAPITULO 4: Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bayamo.**

### **4.1- Suelo y punto patrón**

El suelo patrón, según Medvedev (1973) se define como aquel litotipo con las características promedios de los terrenos que se estudian en el área, valorando su potencia, las propiedades físico-mecánicas, la profundidad de las aguas freáticas y las características litológicas de los suelos presentes en el área de estudio. La determinación del punto patrón es muy importante al realizar las mediciones instrumentales en las investigaciones, para lo cual la respuesta del paquete de estratos es la media de los existentes a partir de criterios ingeniero-geológicos.

Para este análisis se tomaron los datos presentados en las Tablas: 3, 4 y 5, donde se muestran los resultados del método de analogías ingeniero-geológicas, la interpretación de los puntos del recorrido geológico por las márgenes del río y la interpretación de los puntos del recorrido en túneles.

En el área de estudio el suelo patrón está constituido por arcilla plástica, en ocasiones fisurada, carmelita, con nódulos y bolsones calizos, con algunas gravas pequeñas y  $\text{CaCO}_3$ ; de consistencia de media a dura. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores de 6.80 m. La cala patrón es la # 23 por ser la que requiere las mejores características del suelo en comparación con el resto de las calas analizadas, posee una potencia del estrato predominante de 7.90 m. y el nivel freático hasta la profundidad máxima de 10.00 m. no se encontró.

El punto patrón de acuerdo a las características promedio del suelo y las condiciones sociales de la región se seleccionó en las inmediaciones del área investigada en las coordenadas X-522 230; Y-189 250. A pesar de estar un poco alejado del área de estudio, el punto seleccionado cumple con los requerimientos para el análisis posterior; está constituido por suelo arcilloso potente con una potencia de la capa vegetal de hasta 1.00 m. aproximadamente y el nivel freático a más de 7.00 m. de profundidad. A estos suelos se les asigna el valor base de VII grados de intensidad en la escala MSK.

#### 4.2- Resultado del método de Analogías Ingeniero - Geológicas

Para la confección del esquema de analogías ingeniero-geológicas se evaluaron de forma compleja las diferentes categorías de los suelos presentes en el área teniendo en cuenta la distribución de los tipos litológicos, en particular la potencia, características de los suelos friables y la profundidad de yacencia, poniendo especial interés en el tipo de suelo, nivel freático y propiedades físico-mecánicas (Tabla No.1); así como el análisis de las particularidades morfológicas que pudieran incidir en un potencial incremento del grado de intensidad sísmica tales como pendientes abruptas, contrastes significativos de alturas, etc.

A partir del método de Categorías Medvedev (1973), se determinaron dos zonas fundamentales:

**Categoría II:** Está representada por suelos arcillosos, arenas arcillosas y areniscas. Ocupa un área considerable de la ciudad y representa los suelos de comportamiento medio; no se producen variaciones en valor de la intensidad Sísmica, o sea,  $DI=0$ .



**Tabla No. 3: Resultados del método de Analogías Ingeniero - Geológicas.**

Obra	Coord.x	Coord.y	Prof.Máx. Calas(m)	Prof.Min N.F. (m)	Pot.Est Predom.	Estrato Predom	Categoría de Suelo	DI Estimado	Suelo Popov	DI Estimado	Repartos
1	518 800	193 090	6.00	6.00	5.50	1	III	+1	7	0	Barrio Azul
2	518 440	190 770	3.00	-	2.80	1	III	+1	7	0	La Hacienda
3	520 200	190 300	3.00	-	2.60	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
4	522 100	189 900	10.50	7.00	5.60	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
5	517 500	191 600	3.00	13.00	2.90	1	II	0	7	0	Latino Americano
6	521 150	191 600	8.00	4.00	5.60	6	III	+1	8	+1	Pedro Pompa
7	520 100	191 020	6.00	-	-	1	II	0	7	0	Isert
8	520 340	190 590	10.00	5.50	5.00	6	III	+1	7	0	Roberto Reyes
9	520 340	190 590	10.00	-	5.00	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
10	521 670	189 770	12.00	7.70	9.40	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
11	519 800	193 750	8.10	-	4.70	2	III	+1	7	0	La Unión
12	518 650	192 500	10.20	-	9.00	1	III	+1	7	0	Ojeda
13	518 500	192 500	10.00	-	8.00	2	III	+1	7	0	Ojeda
14	521 950	189 050	10.00	-	6.00	3	III	+1	7	0	Viviendas campesinas
15	520 900	190 580	12.00	7.80	11.00	6	III	+1	7	0	Roberto Reyes
16	520 300	189 900	10.00	4.53	6.00	1	II	0	7	0	San Juan
17	520 400	189 750	15.00	10.00	5.25	2	III	+1	7	0	San Juan
18	520 800	189 800	8.00	-	5.00	3	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
19	521 650	189 570	10.00	8.30	6.00	1	III	+1	7	0	Viviendas campesinas
20	520 870	189 000	15.00	10.00	10.00	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
21	524 700	189 500	8.40	-	6.30	1	II	0	7	0	
22	523 850	189 250	10.00	-	8.00	2	III	+1	7	0	
23	519 810	191 750	10.00	-	6.70	1	III	+1	7	0	C. Cienfuegos
24	519 670	193 700	8.00	-	7.40	1	II	0	7	0	La Unión
25	520 470	191 170	8.00	3.85	6.40	1	III	+1	8	+1	Pedro Pompa
26	520 800	191 800	10.00	5.80	6.00	6	III	+1	7	0	Rosa La Bayamesa
27	520 820	190 250	10.00	4.90	9.00	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
28	520 525	191 000	10.00	4.00	5.50	1	III	+1	8	+1	Pedro Pompa
29	521 600	189 900	10.00	8.00	3.50	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
30	521 500	190 000	8.00	-	5.50	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
31	521 900	190 000	10.00	-	5.20	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
32	521 400	190 300	8.00	-	7.50	1	II	0	7	0	Jesús Menéndez

**Tabla No. 3: Resultados del método de Analogías Ingeniero - Geológicas. (Continuación).**

Obra	Coord.x	Coord.y	Prof.Máx. Calas(m)	Prof.Min N.F. (m)	Pot.Est Predom.	Estrato Predom	Categoría de Suelo	DI Estimado	Suelo Popov	DI Estimado	Repartos
33	520 400	190 400	10.00	-	8.00	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
34	518 620	192 760	6.00	-	5.60	1	III	+1	7	0	Barrio Azul
35	519 870	190 670	8.00	7.00	6.40	1	III	+1	7	0	San Juan
36	519 470	193 900	10.20	-	7.00	1	III	+1	7	0	La Unión
37	522 700	188 600	8.40	-	6.00	1	III	+1	7	0	
38	521 500	189 750	10.00	6.80	6.00	2	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
39			11.35	-	9.60	-	II	0	7	0	La Hacienda
40	520 850	191 800	10.00	7.30	9.20	1	III	+1	7	0	Rosa La Bayamesa
41	520 700	190 700	10.00	2.30	5.80	1	III	+1	8	+1	Jesús Menéndez
42	521 000	190 500	15.00	1.90	12.00	2	III	+1	8	+1	Jesús Menéndez
43	519 600	193 500	8.00	6.80	7.00	1	II	0	7	0	La Unión
44	519 580	191 500	8.00	-	6.50	1	II	0	7	0	El Cristo
45	520 100	190 350	8.00	-	7.80	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
46	521 000	189 000	10.00	7.30	8.80	1	III	+1	7	0	Las Caobas
47	521 800	190 200	5.00	-	4.50	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
48	521 250	190 400	10.00	6.90	9.50	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
49	519 000	193 900	10.00	-	6.50	1	III	+1	7	0	Siboney
50	521 000	190 070	10.00	7.00	4.00	1	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
51	521 375	189 600	10.00	7.10	4.90	6	III	+1	7	0	Jesús Menéndez
52	520 000	189 000	8.00	-	6.90	1	III	+1	7	0	
53	518 920	193 930	10.00	-	8.00	1	III	+1	7	0	Siboney
54	521 050	190 250	8.00	4.30	7.40	1	III	+1	8	+1	Jesús Menéndez

**Tabla No.4:** Interpretación de los puntos de Recorrido Geológico por las Márgenes del Río Bayamo.

Pto.	Coord.x	Coord.y	Altura corte (m)	Categoría de Suelo	DI Estimado
1	518 710	190 730	12.0	III	+1
2	518 620	190 620	12.0	III	+1
3	518 515	190 620	-	III	+1
4	518 650	190 170	5.0	III	+1
5	518 150	192 390	3.0	III	+1
6	518 730	191 890	10.0	III	+1
7	518 640	191 750	3.0	III	+1
8	518 615	191 400	1.50	III	+1
9	518 480	193 250	5.0	III	+1
10	518 460	193 250	10.0	III	+1
11	518 400	193 255	9.0	III	+1
12	518 350	193 255	15.0	III	+1
13	518 340	193 260	10.0	III	+1
14	518 650	193 300	12.0	III	+1
15	518 760	193 615	17.0	III	+1
16	518 665	190 200	10.0	III	+1
17	519 670	189 520	13.0	III	+1
18	518 700	190 040	5.0	III	+1

**Tabla No.5:** Interpretación de los puntos de Recorrido en Túneles

Pto.	Coord.x	Coord.y	Prof. máxima Túnel (m)	Categoría de Suelo	DI Estimado	Repartos
1	519 100	194 040	5.45	II	0	Siboney
2	518 875	193 965	2.10	III	+1	Siboney
3	518 985	193 930	3.00	III	+1	Siboney
4	518 970	191 200	2.00	II	0	El Cristo
5	518 940	191 215	11.00	II	0	El Cristo
6	519 970	191 150	11.00	II	0	El Cristo
7	519 990	191 110	11.00	II	0	El Cristo
8	519 025	191 050	10.00	II	0	El Cristo
9	519 040	191 030	10.00	II	0	El Cristo
10	519 050	191 010	10.00	II	0	El Cristo
11	519 250	190 775	11.14	II	0	El Cristo
12	519 300	190 790	11.14	II	0	San Juan
13	519 260	190 810	11.14	II	0	San Juan
14	518 330	190 850	11.14	II	0	San Juan
15	519 170	190 870	11.00	II	0	San Juan
16	519 050	193 060	9.00	II	0	San Juan
17	519 020	193 035	9.00	II	0	San Juan
18	519 550	192 450	9.00	I	0	El Valle
19	519 600	192 465	9.00	II	0	El Valle

**Categoría III:** Está representada fundamentalmente por sedimentos aluviales, que aparecen en el cauce del río y algunos sectores de la ciudad y suelos arcillosos. Se pueden producir incrementos en el valor de la intensidad sísmica, o sea,  $DI=+1$ .

Además se pudo comprobar que en algunos taludes con pendientes pronunciadas a lo largo de río es posible que se produzcan fenómenos físico-geológicos como efecto secundario ante la acción de sismos fuertes o intensas lluvias, tales como desprendimientos y/o derrumbes.

Se debe prestar mucho cuidado en la construcción de los túneles, las cuales se han estado efectuando sin analizar las propiedades físico-mecánicas del suelo, especial interés en las bocas de los túneles 5, 6, 7, 8, 9, 10; por encontrarse ubicadas en un talud muy próximo a una de las márgenes del río.

A partir del comportamiento de los suelos estudiados y su clasificación según los perfiles típicos de Popov (1951), se establecieron las posibles variaciones de la intensidad sísmica en el área, apareciendo los siguientes cortes típicos de suelos:

**Corte No.7:** Son formaciones arcillosas friables, bastante potentes (arcillas, arenas, guijarros, etc.), saturados con agua a una profundidad mayor de 5 m. Aquí no se producen incrementos en el valor de la intensidad sísmica ( $DI=0$ ).

**Corte No.8:** Son formaciones friables bastante potentes (arcillas, arenas, guijarros, etc.), pero saturados con agua a una profundidad menor de 5 m. Aquí si se producen incrementos en el valor de la

intensidad sísmica (DI=+1).

Se ubicaron los complejos acuíferos presentes en el área de estudio, particularizando en la variación espacial de la profundidad del manto freático a partir de los datos de las Tablas No. 6 y 7. Para analizar la influencia de las aguas subterráneas en las variaciones de la intensidad sísmica Medvedev (1973), se utilizó la siguiente relación exponencial:

$$-0.04 h$$

$$DI = a e$$

Donde:  $a = 1$  para suelos friables arcillosos y areno arcillosos.

$h$  profundidad del manto freático con respecto a la superficie, en (m).

**Tabla No. 6:** Pozos de Acueducto.

	Fuente	Coordenadas	No. Pozo	Prof (m)	NE(m)	MI mg/l	Repartos
A1	El Almirante 1	189 550-519 850	4877-II-78B	42.0	4.71	1.453	San Juan
A2	El Almirante 3	189 900-520 200	4877-II-77	42.0	4.53	-	San Juan
A3	El Almirante 4	188 700-520 050	4877-II-124A	38.0	9.00	0.3-0.5	
A4	El Almirante 5	188 300-518 850	4877-II-81	40.0	6.50	0.5	
A5	Pupa 1	194 200-517 500	4877-II-491	50.3	12.60	1.085	Barrio Azul
A6	Pupa 2	194 600-517 900	4877-II-513	57.0	19.10	-	Barrio Azul
A7	Rosa la Bayamesa	190 375-521 000	4877-II-574	26.2	6.90	-	J.Menéndez
A8	Rosa la Bayamesa	190 375-521 000	4877-II-71A	26.2	6.90	-	J. Menéndez
A9	Rosa la Bayamesa	192 575-520 400	4877-II-651	27.0	5.85	-	
A10	Materia Prima	190 850-521 500	4877-II	-	-	-	
A11	Jábaco	190 600-517 950	4877-II-158A	35.7	13.17	-	
A12	MININT	192 300-517 750	4877-II-526	44.3	13.30	-	Tamayito
A13	H. de Ancianos	189 700-521 320	4877-II-495	41.0	7.10	-	J. Menéndez

**Tabla No. 7: Pozos de Hideoeconomía**

Cuenca	Propietario	Coordenadas	# pozo	Prof (m)	NE(m)	ND	Repartos
H1-GR-I-1	Laboratorio Suelos	191 450-517 650	1097	42.0	13.0	26-86	Latino A.
H2-GR-I-1	Acude. Jabaquito	190 600-517750	1173	44.5	12.0	23-60	La Hacienda
H3-GR-I-1	Casa Central	189 850-518 300	1177	43.0	11.8	24-46	La Hacienda
H4-GR-I-1	Embotelladora Cerv.	194 200-517 500		71.0	125	31-90	Barrio Azul
H5-GR-I-1	Agru.Viv.ECOA #20	187 330-519 080	1001	29.0	11.0		
H6-GR-I-1	Emp. Prov. Jardines	188 650-518 800	1002	30.0	5.45		

Resultando que para los rangos de profundidades del manto freático analizados: 0-4, 4-10 y > 10 m; el DI varia en los intervalos 0.53-0.87 (DI=1), 0.02-0.53 (DI<0.5) y 0-0.02 (DI=0) respectivamente.

Para la confección del Esquema de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bayamo se tuvieron en cuenta los DI obtenidos por los diferentes métodos, dando como resultado dos zonas bien definidas, una con DI=0 de categoría II y otra con DI=+1 de categoría III. (Figura. 4.1.1).

En el mismo se pueden apreciar las zonas favorables desde el punto de vista constructivo y a la vez con menor riesgo sísmico, estas son las de categoría II y las desfavorables o de categoría III, en las que se encuentran ubicadas obras de importancia como son: Combinado de Veterinaria, Fábrica de Intimas, Base Grúa - Camión, Centro de Operaciones, Almacén de Fertilizantes, Unidad gráfica PCC, 2 Tanques elevados, Centro Provincial de Higiene, Tribunal del PPP, Fábrica de galletas, Fábrica de yogur y Estación de Radio; centros de enseñanza tales como: 4 Seminternados, 3 ESBU, Politécnico de la Construcción, 6 Círculos Infantiles, Politécnico de Comercio y Gastronomía, Escuela de oficios, Escuela Técnica, Filial de Ciencias Médicas, Escuela de Estráxicos, Escuela Vocacional y otros centros sociales como son los edificios de 5 y 8 plantas ubicados en el área de la Plaza de la Revolución, Piscina docente recreativa, Policlínica tipo III

y el Reparto Nuevo Centro de Bayamo, además de toda la zona muy próxima al cauce del río Bayamo.

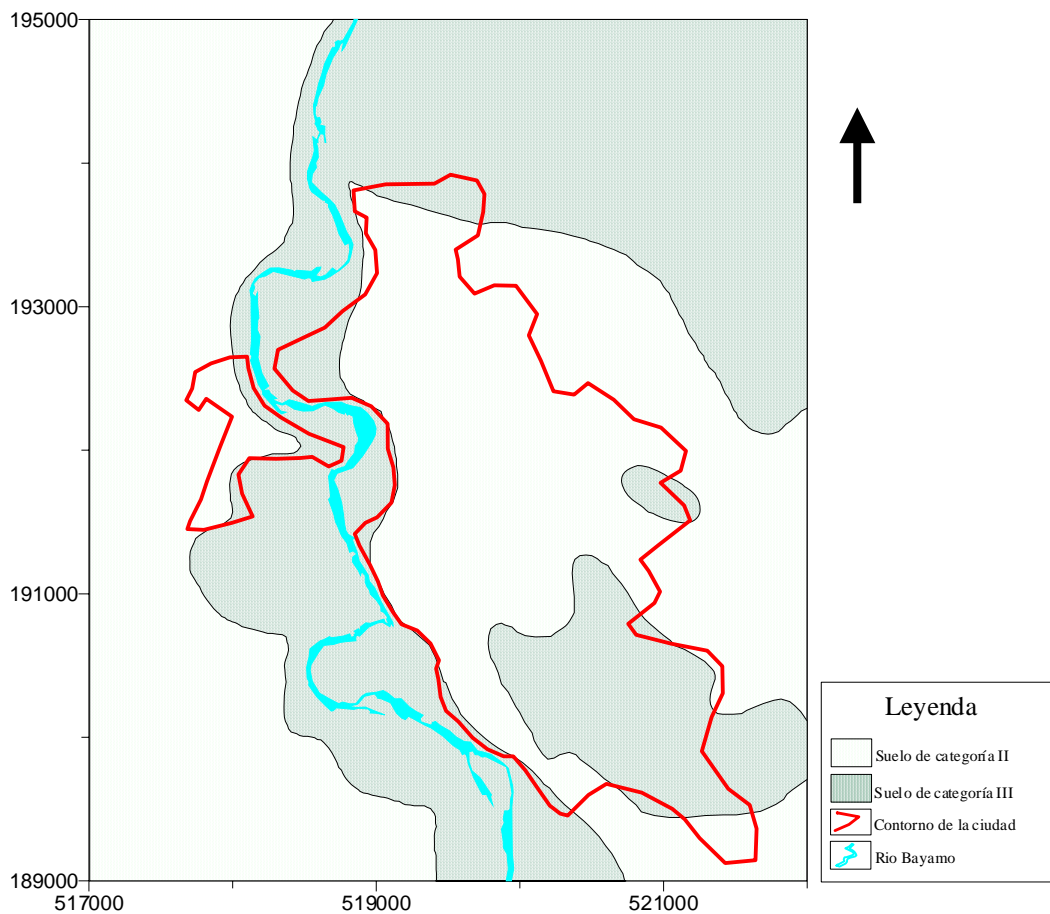


Fig.4.1.1 Esquema de Microzonación Sísmica de la ciudad de Bayamo

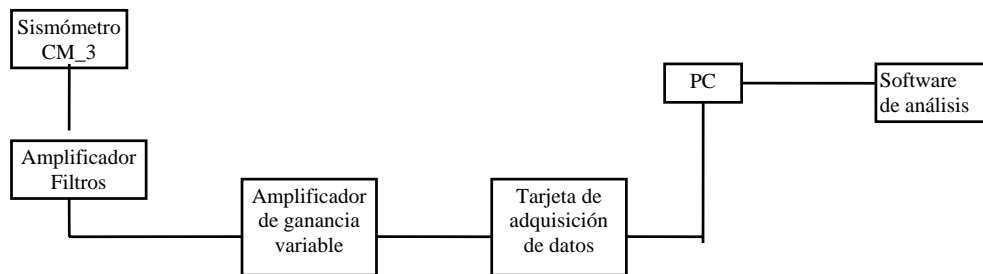
Escala 1: 1000

### 4.3- Análisis y resultado de las mediciones instrumentales.

#### 4.3.1- Método de microsismos.

Para este estudio se empleó el método de microsismos, el cual permite determinar a partir de la medición de ruidos naturales y/o fuentes de ruido de baja frecuencia los parámetros de amplitud, frecuencia y/o período predominante, factor de amplificación, variación de la intensidad y

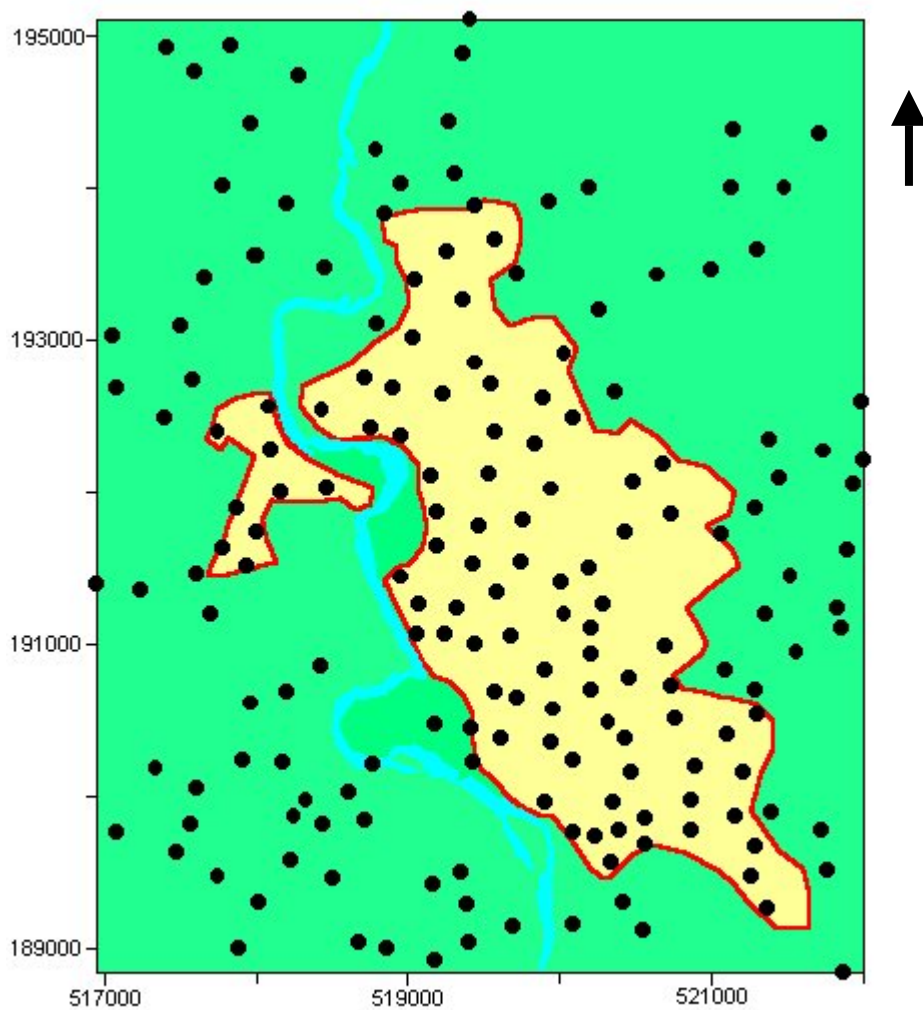
caracterización espectral de los suelos. Para la aplicación del mismo por primera vez se puso en práctica el método Analógico con Registro Digital de medición con un equipo triaxial, o sea, tres componentes 2 horizontales (NS y EW) y una vertical (Z), se midió la variable Velocidad en un total de 194 puntos, 10 de estos repetidos en los mismos lugares pero en otro horario a modo de comparación y un grupo de mediciones continuas en el punto patrón (Figura 4.3.2). A continuación se muestra un diagrama del equipamiento utilizado:



Los puntos medidos para el análisis están representados en el mapa en cuadrículas de 1 Km x 1 Km, estableciendo que el criterio para mapa según la escala de trabajo de 1:10 000 debe ser de una representatividad de 8 a 10 puntos por cuadrícula; quedando de esta forma: 10 cuadrículas con datos muy confiables (> 8 puntos), 9 con datos que cumplen los requerimientos para mapa (% 5-7 puntos) y 11 con datos que se aproximan a esquema (< 4).

De lo cual se deduce que para un área total de trabajo de 30 Km<sup>2</sup> aproximadamente, el 63.30 % de esta reúne las condiciones para ser tomada como mapa y el 33.70 % corresponde a un área con condiciones para ser tomada como mapa - esquemático.





**Figura 4.3.2: Esquema de ubicación de los puntos de medición. Ciudad de Bayamo.**

#### 4.3.2- Análisis de frecuencia y amplitud.

Para hacer el análisis de las frecuencias y las amplitudes (Figuras 4.3.3, 4.34, 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7 y 4.3.8) se tomo como criterio de clasificación los rangos de las mismas partiendo de los datos obtenidos, se consideran frecuencias bajas los valores menores de 1 Hz, medias de 1 a 10 Hz y altas los mayores de 10 Hz, mientras que para las amplitudes se consideran bajas los valores menores de 20 micrones, medias entre 20 y 50 micrones y altas los mayores de 50 micrones.

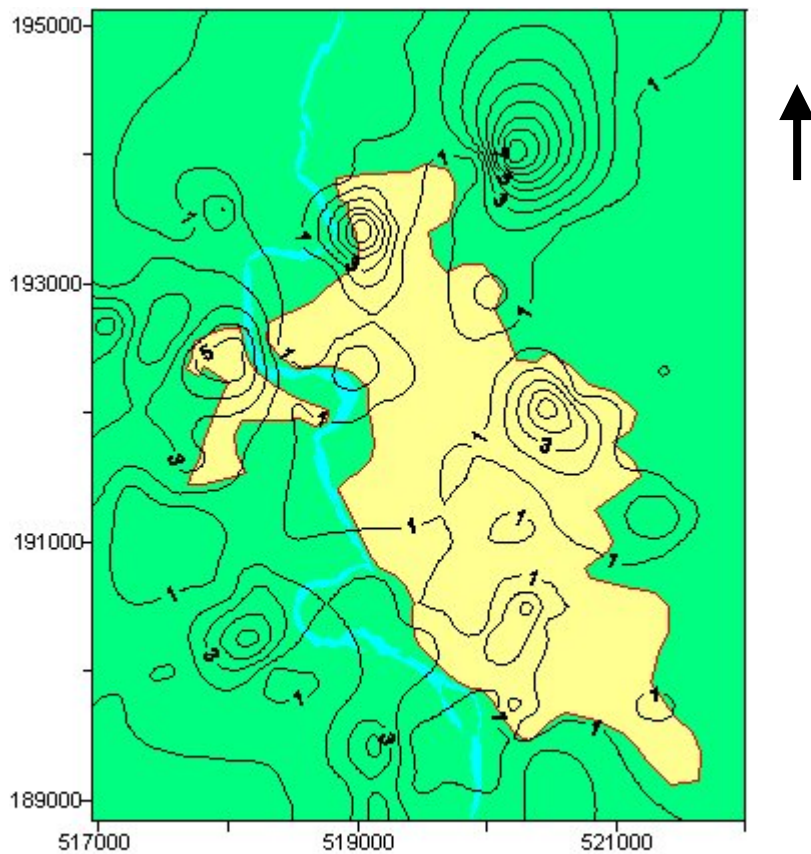
Luego de realizar la interpolación de los datos y determinados los rangos de los valores de frecuencias y amplitudes se obtienen 4 zonas, agrupadas de la siguiente forma:

Zona	Frecuencias	Amplitudes
1	Altas	Bajas
	Altas	Moderadas
2	Altas	Altas
	Moderadas	Moderadas
3	Bajas	Altas
	Bajas	Moderadas
4	Bajas	Bajas

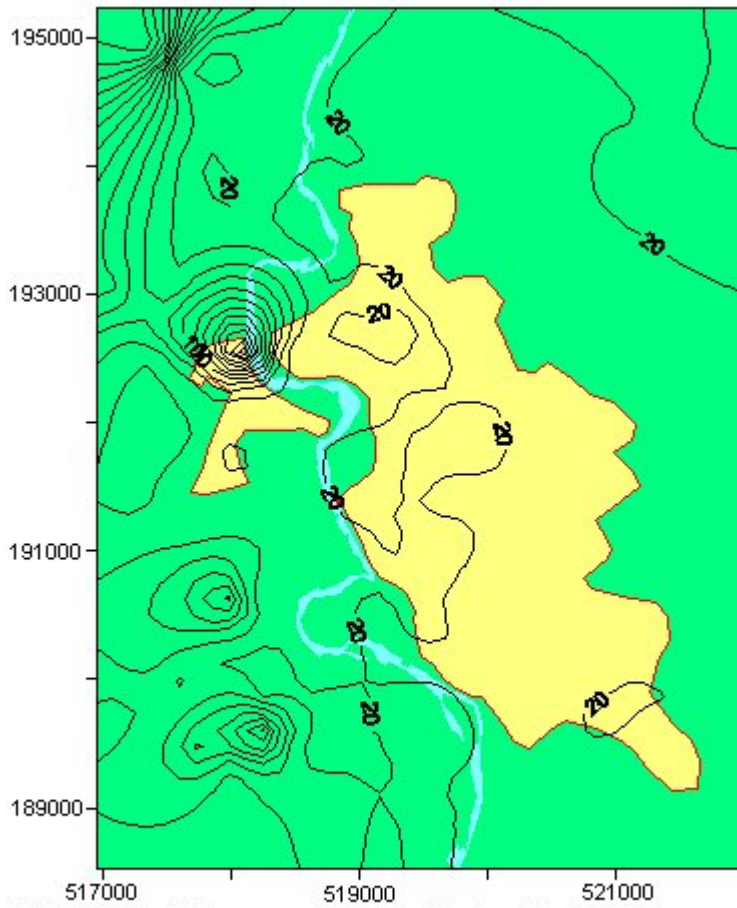
En los esquemas de amplitudes predominantes del suelo se puede apreciar un comportamiento muy similar tanto en las componentes horizontales como en la vertical alcanzando los valores más altos hacia el Noroeste de la ciudad, en el resto del área son valores muy pequeños; en los esquemas de frecuencias el comportamiento en las componentes horizontales es similar predominando en gran parte del área las frecuencias bajas, sólo en algunas pequeñas zonas esta alcanza valores moderados fundamentalmente, mientras que para la componente vertical prácticamente toda el área posee valores altos o moderados de frecuencias.

Esta diferencia tan marcada en los resultados de los valores de frecuencias puede explicarse debido a que las componentes horizontales dependen fundamentalmente de los valores de la potencia del suelo caracterizando de esta forma el paquete de suelo y la componente vertical caracteriza la litología del área.

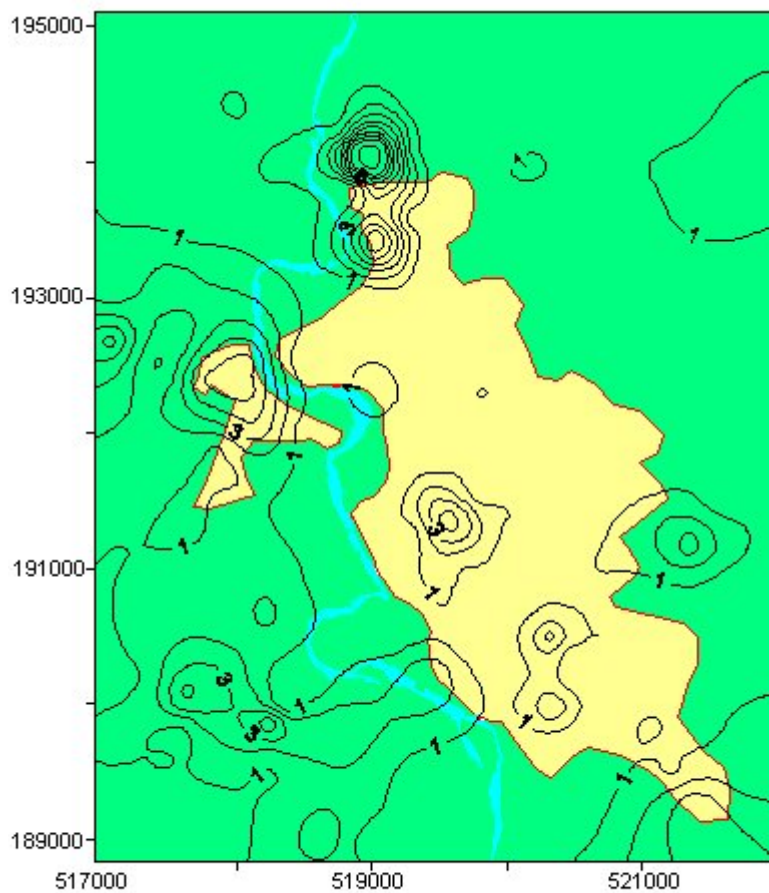
Haciendo un análisis en Frecuencias podemos plantear que para la componente horizontal EW los valores de frecuencias oscilan entre 0.24 y 7.76 Hz y para la NS los valores de frecuencias oscilan entre 0.24 y 15.0 Hz, mientras que en la componente vertical Z los valores de frecuencias oscilan entre 0.29 y 15.60 Hz. Del análisis en Amplitudes notamos que para las tres componentes los valores se mantienen muy similares, oscilando entre 1,47 y 281.01 micrones para la componente EW, entre 6.77 y 379.25 para NS y para Z entre 2.8 y 120.



**Figura 4.3.3: Esquema de Frecuencias Predominantes  
Componente Horizontal (EW).**

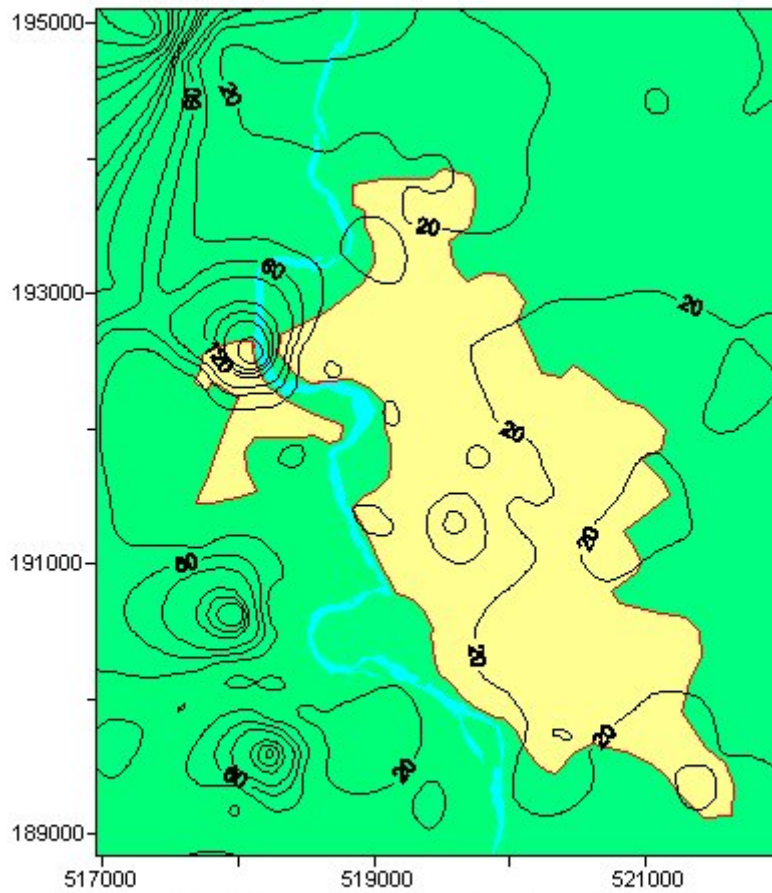


**Figura 4.3.4: Esquema de Amplitudes Predominantes  
Componente Horizontal (EW).**

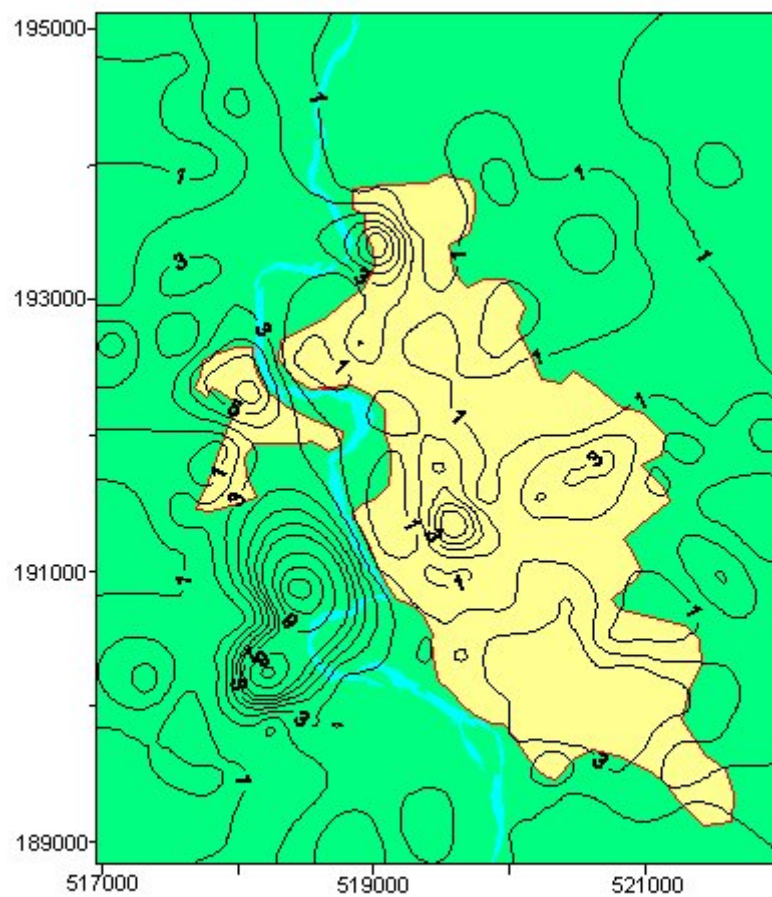


**Figura 4.3.5: Esquema de Frecuencias Predominantes  
Componente Horizontal (NS).**

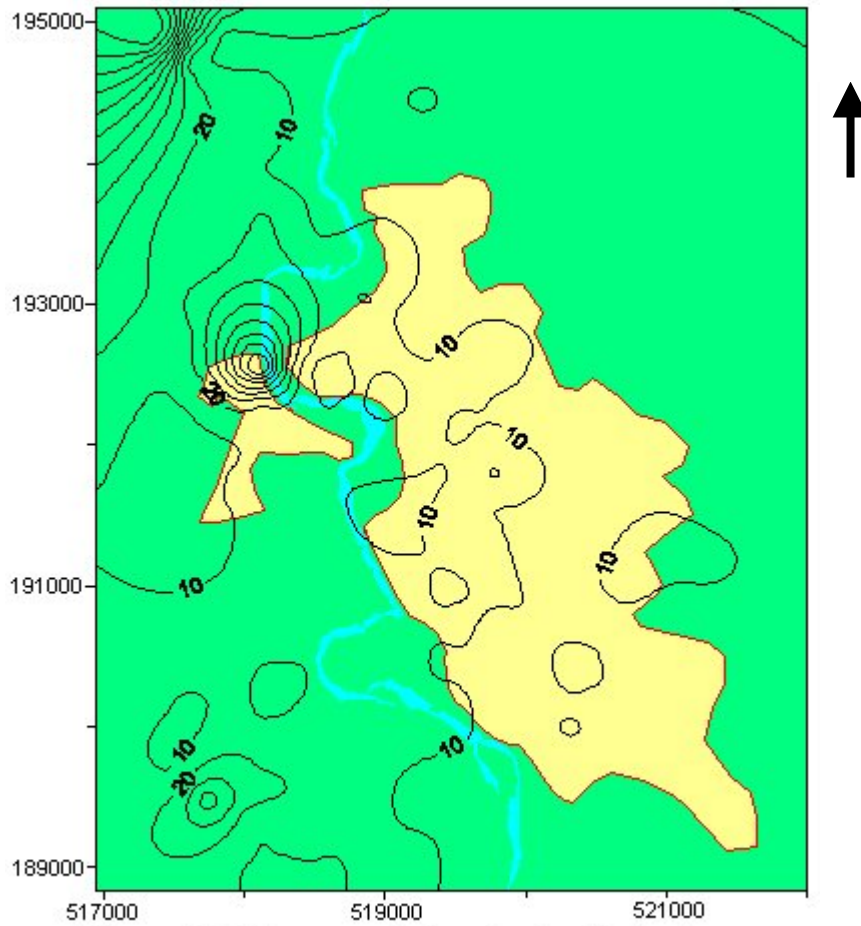




**Figura 4.3.6: Esquema de Amplitudes Predominantes  
Componente Horizontal (NS).**



**Figura 4.3.7: Esquema de Frecuencias Predominantes  
Componente Vertical (Z).**



**Figura 4.3.8: Esquema de Amplitudes Predominantes  
Componente Vertical (Z).**

A los puntos de comprobación se les realizó el mismo análisis, obteniéndose que los valores de amplitud durante el día son mayores que durante la noche, mientras que las frecuencias se mantienen aproximadamente en el mismo rango, siendo los microsismos más grandes, esto se debe a que el nivel de ruido en la ciudad durante el día es mayor que en la noche, ya que influyen una serie de factores culturales como son personas transitando, carros, fábricas, etc.

#### 4.3.3- Similitud de Espectros.

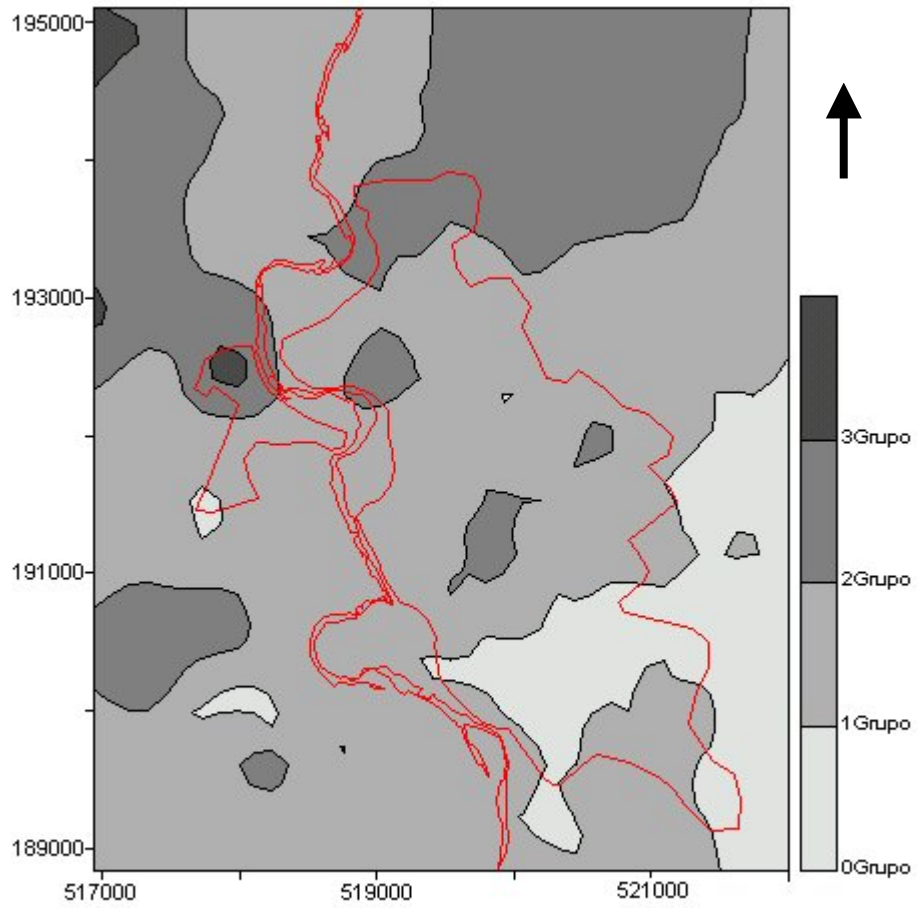
A los datos obtenidos de los espectros en las distintas componentes se les hizo un análisis de estadística multivariada para realizar la clasificación numérica de los espectros medidos con el uso de diferentes distancias, se conformó una

matriz con los datos de los puntos dando como resultado un dendograma.

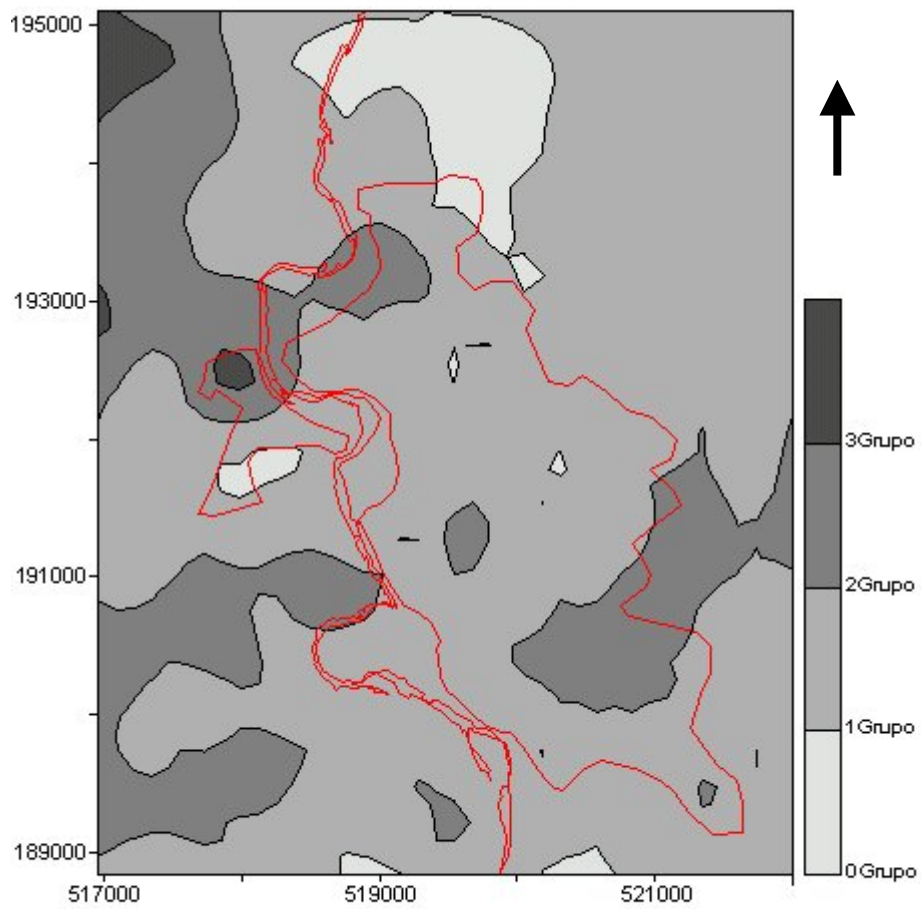
Del análisis de los dendogramas se sacaron los grupos de similitud de espectros por valores máximos y por los espectros suavizados, dando como resultado lo expuesto en la Tabla No. 8, (Figuras: 4.3.9, 4.3.10, 4.3.11, 4.3.12, 4.3.13, 4.3.14). De lo cual se deduce que los grupos 1 y 2 ocupan casi toda el área coincidiendo fundamentalmente con las zonas de frecuencias altas o moderadas y amplitudes bajas, mientras que los grupos 3 y 4 aparecen en áreas de máximos valores de amplitud y frecuencias moderadas o bajas.

**Tabla No.8:** Tipos de suelos para diferentes áreas y grupos del dendograma para espectros suavizados y los valores máximos de Amplitud y frecuencia.

Areas	Tipos de zonas			Grupos Esp. Suavizados			Grupos Máximos		
	EW	NS	Z	EW	NS	Z	EW	NS	Z
1	T2	T1	T2	2	2	2	2	2	1
2	T2	T2	T2	3	3	2	4	3	3
3	T2	T2	T1	2	2	1	3	2	2
4	T1	T4	T4	2	1	1	2	2	
5	T4	T2	T2	1	1		2	1	
6	T2	T2	T4	1	2		2	2	
7	T3	T3	T2	2	3	2	3	3	2
8	T2	T2	T2	2	2	1	2	2	2

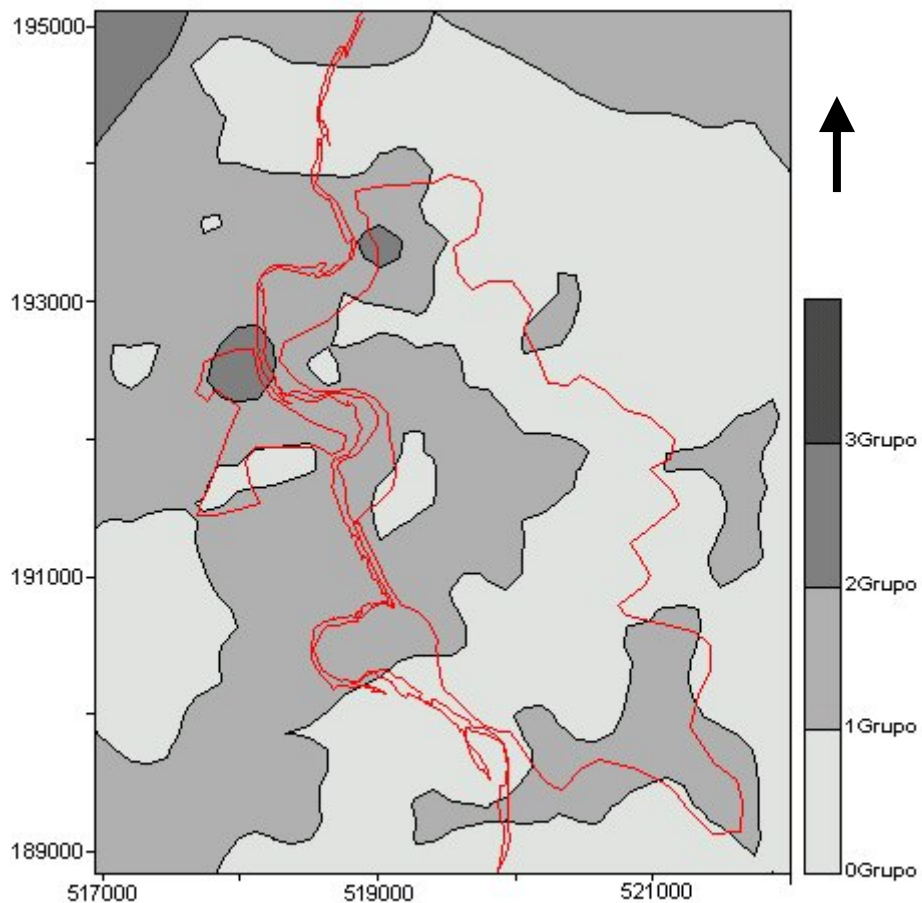


**Figura 4.3.9: Esquema de Grupos de Similitud de Espectros Suavizados  
Componente Horizontal (EW).**

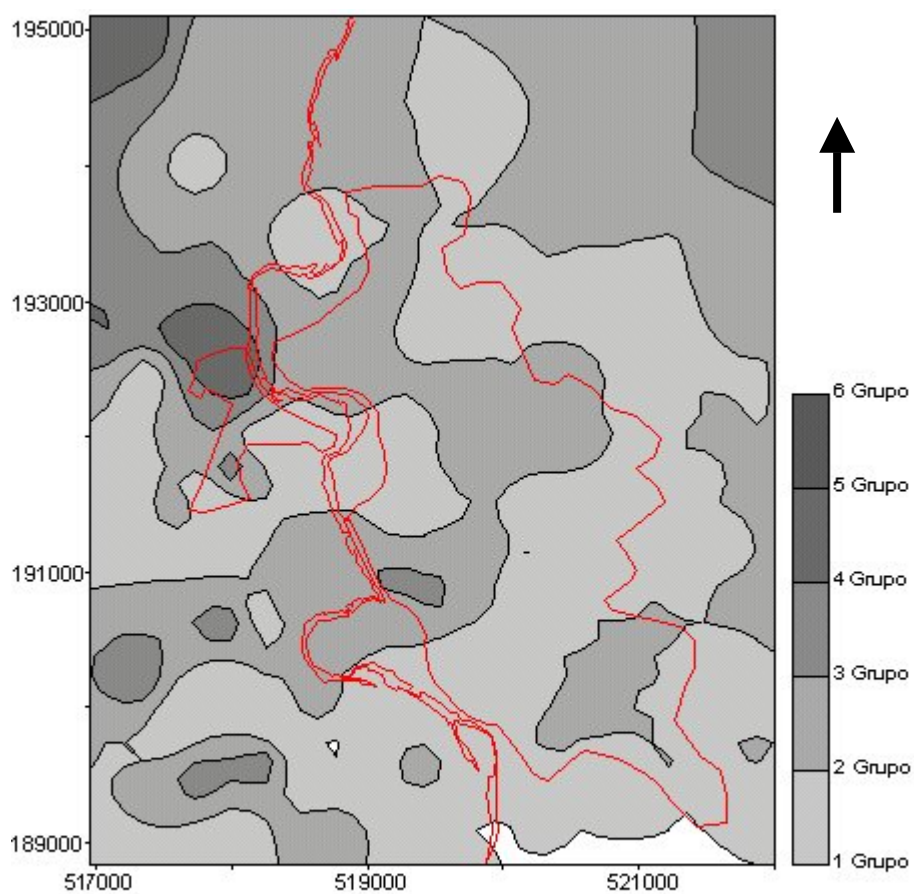


**Figura 4.3.10: Esquema de Grupos de Similitud de Espectros Suavizados  
Componente Horizontal (NS).**

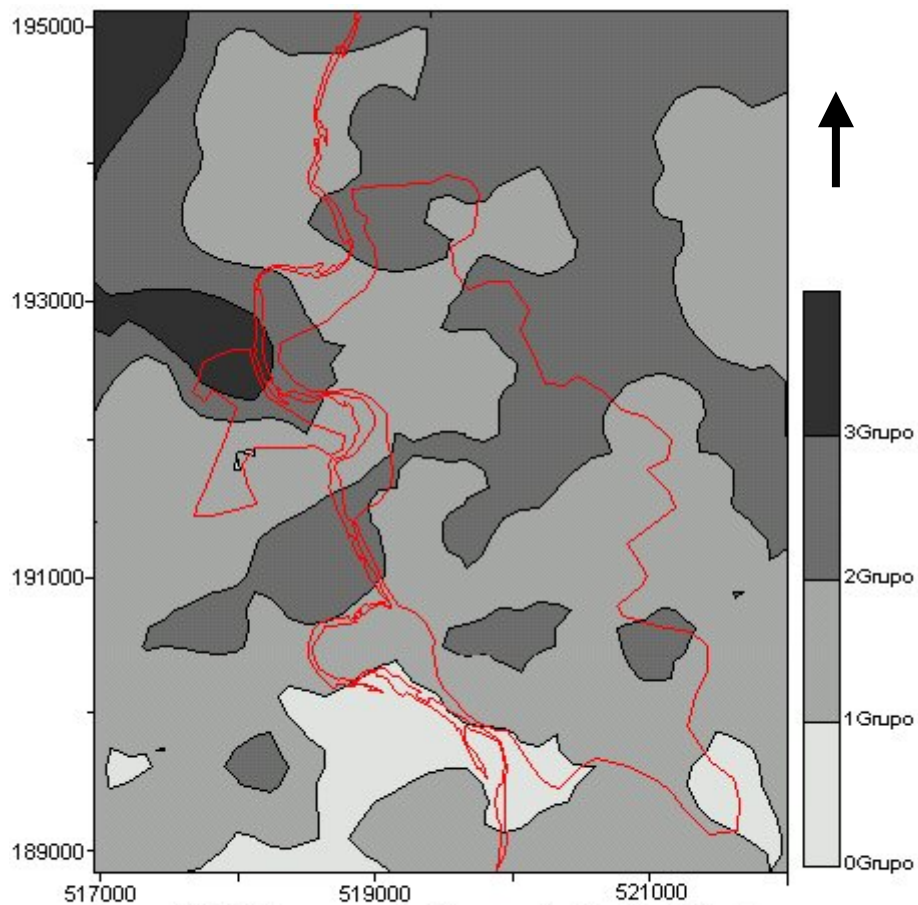




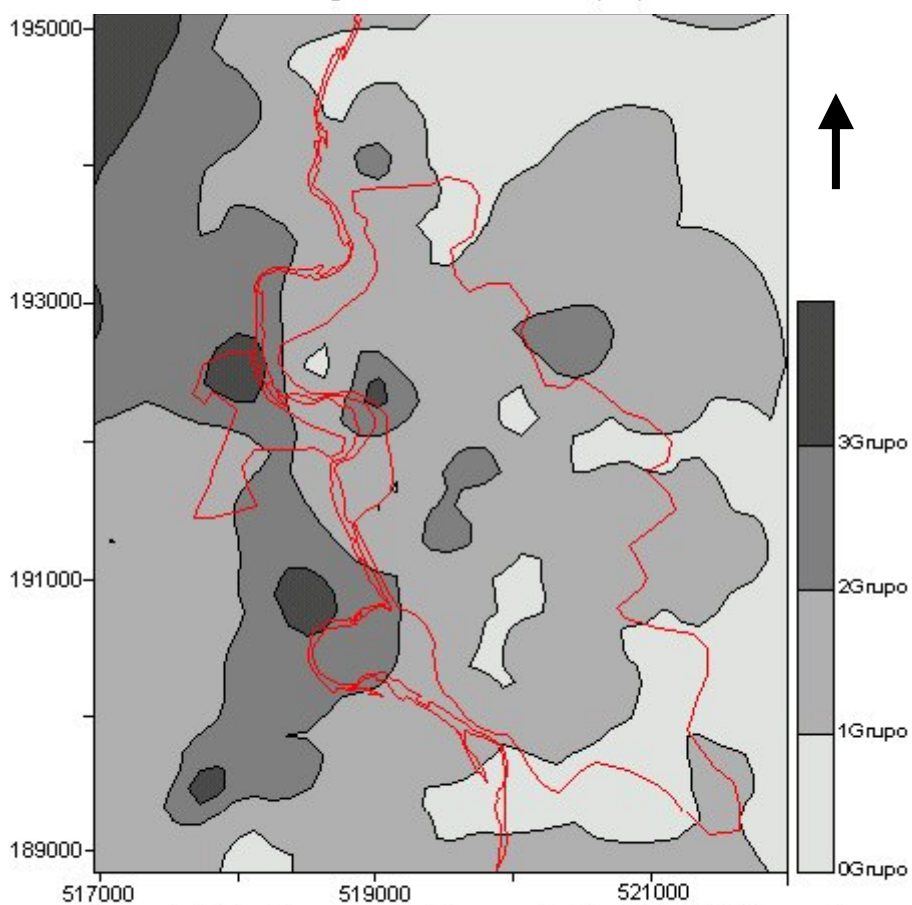
**Figura 4.3.11: Esquema de Grupos de Similitud de Espectros Suavizados  
Componente Vertical (Z).**



**Figura 4.3.12: Esquema de Grupos de Similitud de Espectros  
Valores Máximos de Amplitud y Frecuencias  
Componente Horizontal (EW).**



**Figura 4.3.13: Esquema de Grupos de Similitud de Espectros  
Valores Máximos de Amplitud y Frecuencias  
Componente Horizontal (NS).**



**Figura 4.3.14: Esquema de Grupos de Similitud de Espectros  
Valores Máximos de Amplitud y Frecuencias  
Componente Vertical (Z).**

#### 4.3.4- Comparación entre los resultados de los espectros originales y los del factor de amplificación.

El factor de amplificación, es la relación entre los espectros de los puntos de medición con respecto al espectro del punto patrón ( $FA = A_i/A_o$ ). De esta forma se determina si se mantiene o no el comportamiento de los suelos en los diferentes puntos, conociendo cómo se amplifica la señal en el medio.

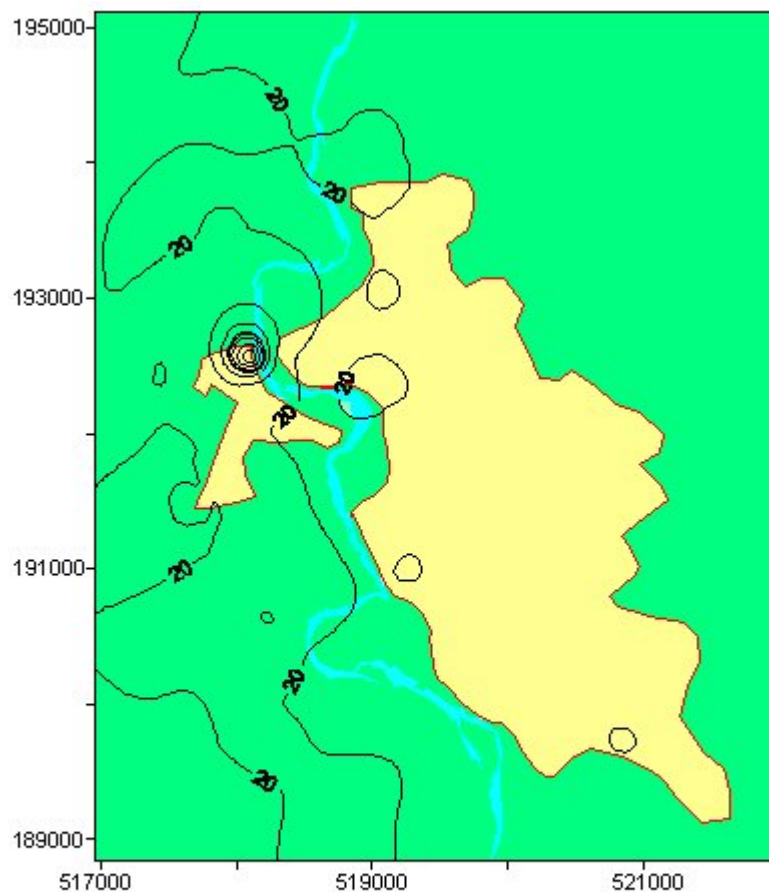
Para esto fue necesario hacer una caracterización de las mediciones de los microsismos en el punto patrón de la misma forma que se hizo para los puntos medidos en el resto del área. Con los esquemas de amplitudes máximas del factor de amplificación, fue posible establecer una comparación en los resultados (Figuras: 4.3.15, 4.3.16 y 4.3.17).

En la componente EW se mantienen las curvas de las coordenadas 192000-193000 y 518000 como las de máximas amplitudes, el resto de las curvas disminuyen su valor o desaparecen. En la componente NS las curvas de las coordenadas 192-193000 y 518000 se mantienen como las de máximas amplitudes, así como las de 190-191000 y 518000, siendo esta un poco más amplia hacia la coordenada 190-191000 y 519000; las curvas hacia 195000 y 517000 desaparecen al igual que el resto de las curvas significativas. En la componente Z se mantienen las curvas de 192-193000 pero de muy pequeño valor, muy semejante a NS.

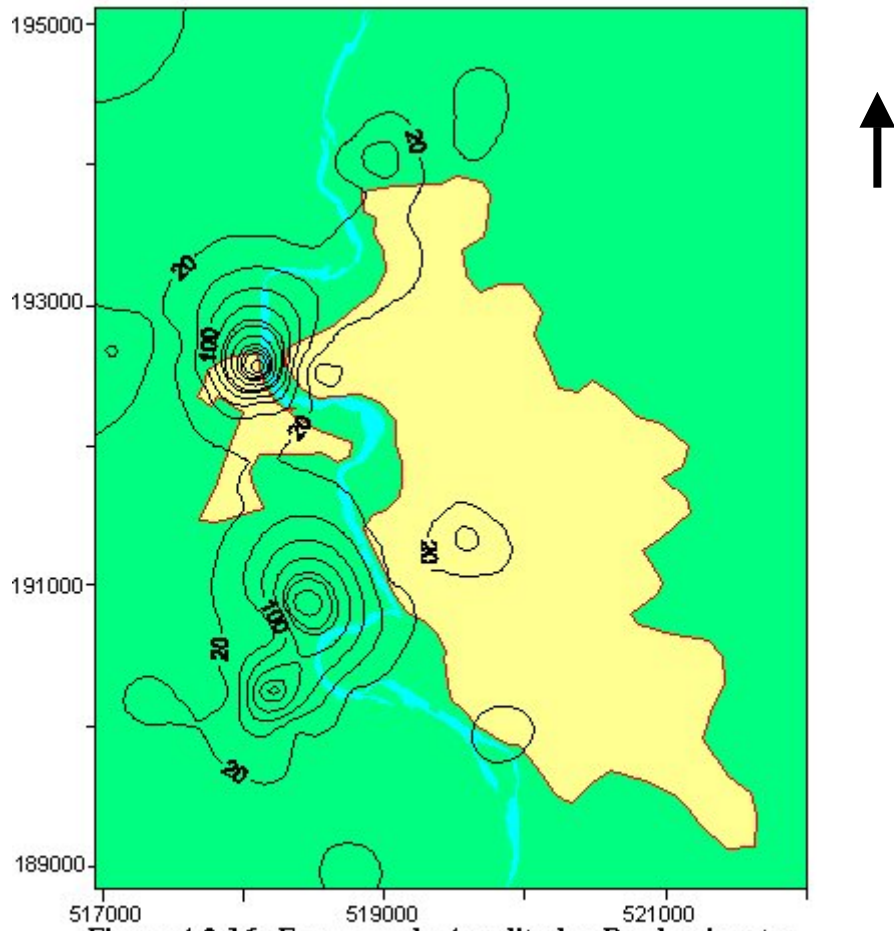
En las componentes horizontales EW y NS se puede apreciar valores anómalos en el factor de amplificación, ya que estos son más grandes que lo que ocurre frecuentemente, no son los que más predominan, los cuales pueden alcanzar valores hasta 20 de amplitud con el fenómeno de doble resonancia.

Esto puede deberse a diferentes factores tales como: que el nivel de los microsismos haya sido alto en el momento que se realizaban las mediciones en esta zona, a contrastes bruscos de las propiedades físico-mecánicas de las formaciones de la cobertura y de la roca, que las mediciones se vieron afectadas en ese día por algún tipo de perturbación para determinado intervalo de frecuencia, además de que las amplitudes corresponden a frecuencias muy altas.

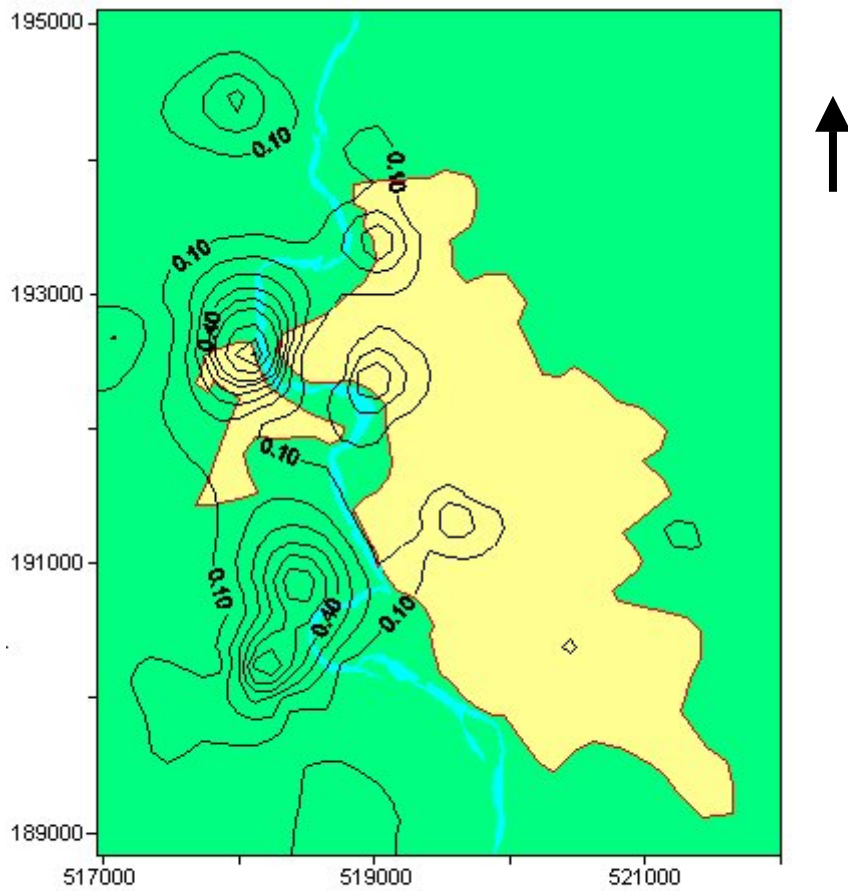
Aún así esto no es preocupante ya que las frecuencias muy altas no tienen influencia en la respuesta estructural debido a que en nuestro país las construcciones no se diseñan en este orden, estas vibran en frecuencias entre 0.1 y 30 Hz.



**Figura 4.3.15: Esquema de Amplitudes Predominantes  
Factor de Amplificación  
Componente Horizontal (EW).**



**Figura 4.3.16: Esquema de Amplitudes Predominantes  
Factor de Amplificación  
Componente Horizontal (NS).**



**Figura 4.3.17: Esquema de Amplitudes Predominantes  
Factor de Amplificación  
Componente Vertical (Z).**



Con toda la información obtenida en este trabajo se pudo llegar a la confección del Mapa de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bayamo a escala 1:10 000 (Figura. 4.3.18), en el cual se pueden apreciar cuatro zonas atendiendo a sus valores de amplitudes y frecuencias predominantes de los espectros de los puntos medidos en el área y las características de los suelos.

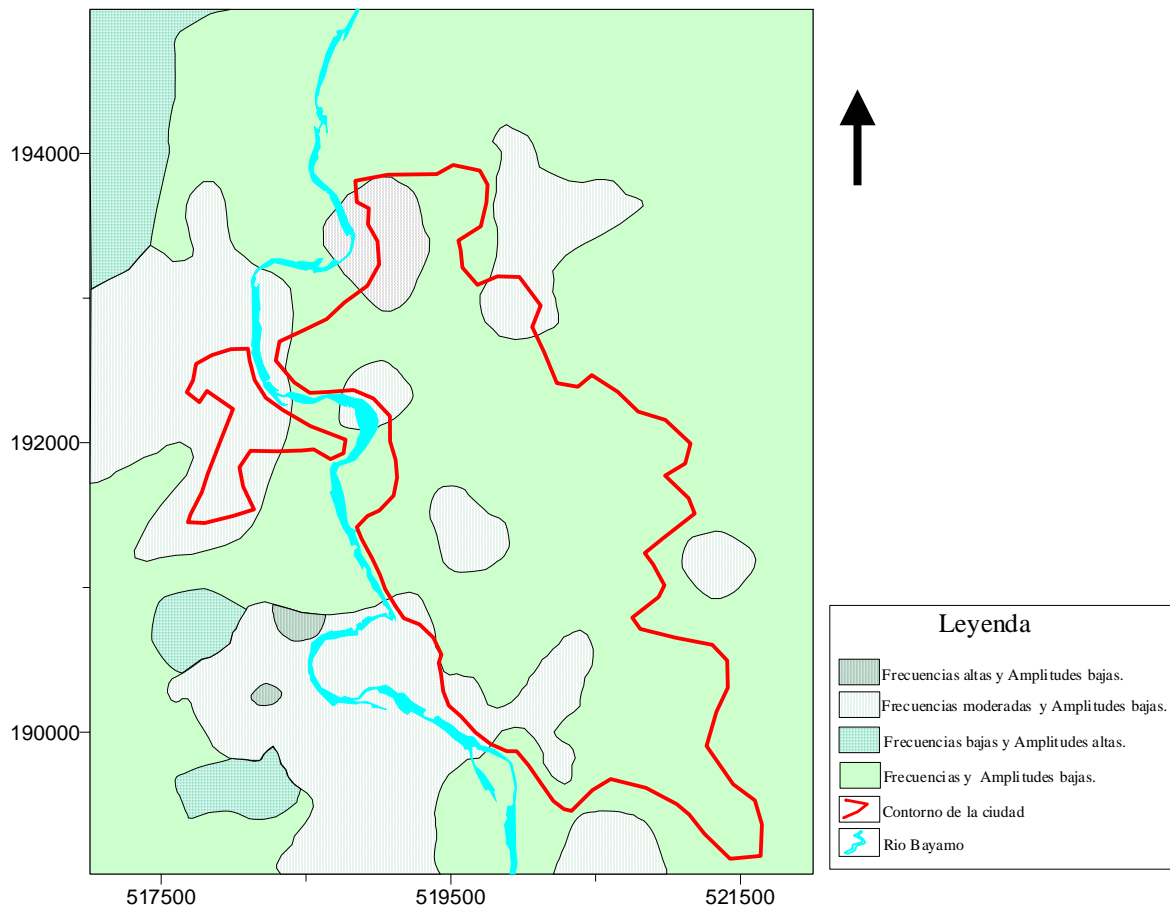


Fig. 4.3.18 Mapa de Microzonación Sísmica de la ciudad de Bayamo.

Escala 1: 1000

La primera son zonas donde los valores de frecuencias alcanzados son muy altos y las amplitudes bajas, las cuales son muy favorables para edificaciones altas, o sea, donde se espera que no ocurran daños sísmicos o estos sean muy leves y desfavorables para las construcciones bajas, es decir, que se pueden esperar los efectos de daños sísmicos.

En la segunda zona se encuentran áreas donde los valores de frecuencias son moderados y las amplitudes son bajas y áreas con frecuencias moderadas y amplitudes altas, los cuales constituyen suelos intermedios.

La tercera zona posee valores de frecuencias muy bajos y amplitudes altas, constituyendo suelos muy desfavorables para las edificaciones altas y favorables para las edificaciones o construcciones bajas de cualquier tipo. La cuarta zona posee los valores de frecuencias y amplitudes bajas, constituyendo suelos desfavorables para las edificaciones altas, al igual que la zona anterior pero en menor grado, es decir, donde se esperan las mayores afectaciones en caso de ocurrir sismos de moderada o alta intensidad.

## **CAPITULO 5: Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Bayamo.**

### 5.1- Discusión de los resultados.

Vega, I. (1997), analiza la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Bayamo con el objetivo de poder caracterizar y reducir el riesgo a que se encuentra expuesta la misma, partiendo de las pérdidas esperadas en la ciudad a causa de una amenaza determinada, en este caso la amenaza sísmica que actúa sobre la población y la infraestructura socio-económica de la misma.

Para este trabajo se tomo como fuente de partida el resultado de la microzonificación sísmica realizada por Rivera, Z. (1997) y toda la información existente en los archivos de arquitectura y urbanismo (DAU) de la ciudad de Bayamo, referente a las edificaciones existentes y a la población que habita en la ciudad, tomando los siguientes datos:

- Número de manzana o UBIT
- Reparto donde está ubicada
- Circunscripción
- Cantidad de lotes o edificaciones existentes en la misma
- Tipología de cada edificación
- Estado técnico
- Número de niveles
- Uso: se refiere a si es vivienda, escuela, hospital u oficinas
- Población por cada edificación
- Comentario con algún dato de interés de las edificaciones



Del análisis se obtuvo que la ciudad se encuentra dividida en 7 Consejos Populares y 24 Repartos, arrojando los siguientes resultados presentados en las Tablas 9 y 10.

**Tabla No.9:** Pérdidas en números reales por Consejos Populares.

Repartos	Poblac.	DT	DG	DC	DM	DL	SD	PF	H	PSV
1- Rosa la Bayamesa	19501	25	325	625	1040	1414	1304	361	927	1442
2- Siboney	17345	18	333	660	1011	1351	1258	331	855	1315
3- El Valle	17267	20	335	659	1041	1400	1299	324	836	1289
4- Camilo Cienfuegos	22853	10	116	558	1425	1941	1995	183	496	476
5- Jesús Menéndez	17559	4	33	298	934	1678	1722	79	222	139
6- San Juan - El Cristo	24807	3	147	995	1477	2116	2067	262	731	527
7- Fco. Vicente A.	10527	-	7	89	346	790	1476	21	61	27

**Tabla No.10:** Pérdidas en números reales por Repartos.

Repartos	Poblac	DT	DG	DC	DM	DL	SD	PF	H	PSV
1- La Mosquera	228	4	9	14	17	20	17	9	23	37
2- Rosa la Bayamesa	10140	22	241	412	629	830	759	222	566	922
3- La Unión	4398	8	112	199	282	366	338	98	257	404
4- Viviendas Camp.	962	2	17	33	64	81	81	14	37	49
5- Marianao	6065	8	53	233	343	485	469	84	225	233
6- Siboney	15204	17	296	579	881	1175	1091	295	767	1178
7- Pedro Pompa	5011	5	86	175	297	406	377	86	223	339
8- Aeropuerto Viejo	1103	1	30	58	69	86	82	8	20	31
9- El Valle	5701	4	87	194	339	470	438	89	232	339
10- Ciro Redondo	9361	3	32	234	402	592	557	89	246	178
11- El Cristo	10928	7	176	421	686	942	886	169	443	625
12- Roberto Reyes	3308	2	17	82	208	283	289	27	74	71
13- San Juan	13879	2	70	522	805	1163	1145	139	390	270
14- Camilo Cienfuegos	16105	5	66	369	996	1372	1412	114	313	271
15- Izert	1737	-	21	57	107	152	142	22	58	76
16- Galindo	847	-	5	23	50	66	69	8	21	20
17- Ojeda	1700	-	10	46	103	137	141	15	40	39
18- Las Caobas	521	-	3	11	31	42	43	4	11	12
19- Barrio Azul	1913	-	10	74	110	158	157	20	55	38
20- Latinoamericano	4739	-	4	49	178	363	637	12	34	15
21- Fco. Vicente A.	2901	-	7	21	83	213	422	5	15	8
22- Jesús Menéndez	12768	-	1	172	677	1250	1285	33	99	4
23- La Hacienda	214	-	-	3	10	16	25	1	2	-
24- Campamento de P.	126	-	-	-	5	9	18	-	-	-

Donde; Coord. X,Y; son las coordenadas de los repartos.

Poblac.: Población total en los diferentes repartos.

DT: Daños Totales

DG: Daños Graves

DC: Daños Considerables

DM: Daños Moderados

DL: Daños Ligeros

SD: Sin Daños

PF: Pérdidas fatales

H: Heridos

PSV: Personas sin viviendas

De la Tabla No.10 se resume que de los 24 repartos existentes 14 presentan una situación desfavorable en cuanto a pérdidas materiales y humanas, donde ocurrirán daños que varían desde ligeros hasta el colapso total de la edificación; 7 repartos tienen menor grado de pérdidas en relación con los mencionados anteriormente y 3 repartos presentan una situación menos crítica en cuanto a pérdidas a esperar.

Se clasifican de la siguiente forma:

- 1- **Vulnerabilidad alta;** Repartos: La Mosquera, Rosa la Bayamesa, Viviendas Campesinas, La Unión, Marianao, Siboney, Pedro Pompa, Aeropuerto Viejo, El Valle, Ciro Redondo, Roberto Reyes, El Cristo, San Juan y Camilo Cienfuegos.
- 2- **Vulnerabilidad media;** Repartos: Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano y Francisco Vicente A.
- 3- **Vulnerabilidad baja;** Repartos: Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros.

5.2- Nueva presentación de los resultados de la Vulnerabilidad Sísmica.

Partiendo de los datos presentados en el tópico anterior realizamos otro enfoque de los cálculos para el análisis de vulnerabilidad, que a la vez nos permite confeccionar mapas para su evaluación conjunta con los trabajos de microzonación para la obtención de los estimados de riesgo sísmico.

Se presentó además un mapa de ubicación de los repartos para una mejor interpretación de los resultados, este se puede apreciar en la Figura 5.2.1.

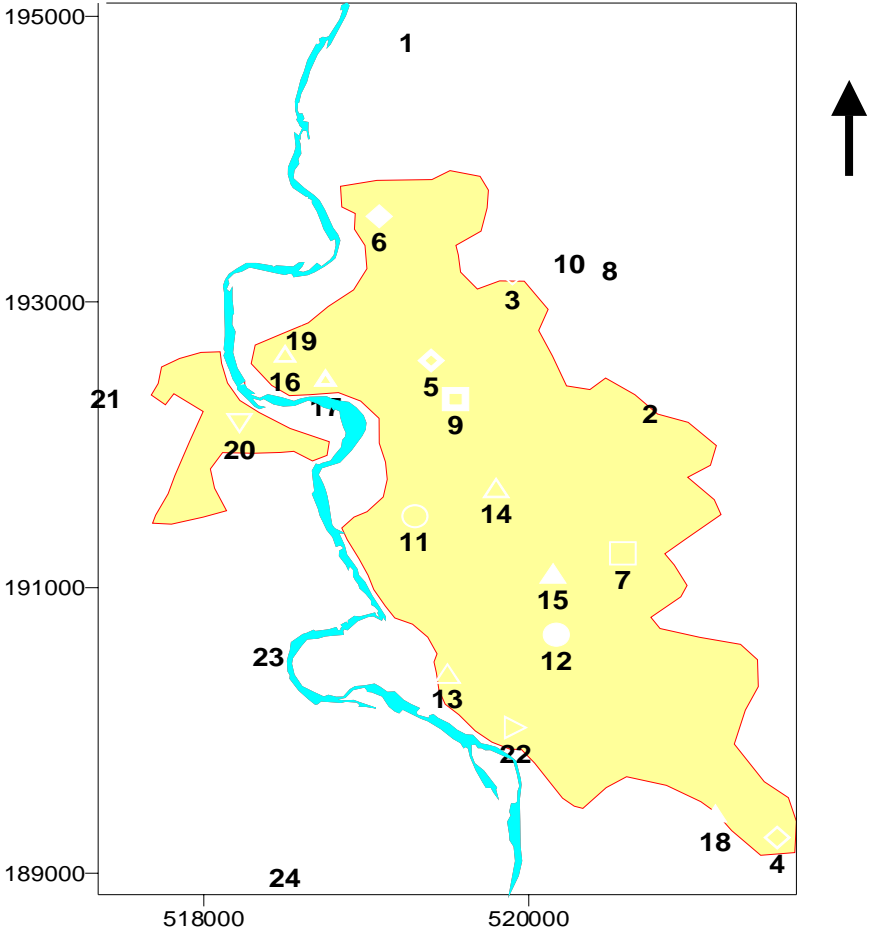


Figura 5.2.1: Mapa de ubicación de los repartos

Para el cálculo de los parámetros se emplearon las siguientes expresiones (Zapata, J.A. 2000) dadas en porcentos:

$$\text{Daños constructivos} = (DT + DG + DC) / \text{Total edificaciones}$$

$$\text{Afectaciones humanas} = (H + PSV) / \text{Población total}$$

$$\text{Pérdidas humanas} = (PF + H) / \text{Población total}$$

$$\text{Riesgo} = 0.6 \text{ Daños} + 0.3 \text{ Afectaciones} + 0.1 \text{ Pérdidas}$$

Estas relaciones consideramos son más representativas para la evaluación de las perdidas, que el análisis independiente de cada una de las variables presentadas en el trabajo anterior, por permite analizar el porciento que sufre afectación con relación al total de la muestra. En la relación para la determinación de Riesgo (en porcentos) se plantean coeficientes que permiten ponderar los parámetros de acuerdo al nivel de gastos que generalmente se incurren para resarcir las perdidas por causas de terremotos fuertes, en Cuba no existen criterios, ni estadísticas al respecto y se presenta una media aproximada de cálculos presentados para diferentes terremotos; además los cálculos no llegan hasta la determinación en valores.

Para el análisis e interpretación de los resultados se establecieron límites en la respuesta a esperar partiendo de los promedios obtenidos, estos se presentan a continuación:

1. Menor de un 10 % se considera bajo.
2. Entre 10 y 20 % se considera medio.
3. Entre 20 y 30 % se consideran altos.
4. Mayores de 30 % se consideran como muy altos.

En la Figura 5.2.2 se pueden apreciar los porcentajes de afectados en los diferentes repartos de la ciudad de Bayamo. Prácticamente en toda el área se espera la ocurrencia de afectaciones bajas; en una pequeña porción se esperan afectaciones medias y solamente en un reparto se producirán afectaciones altas.

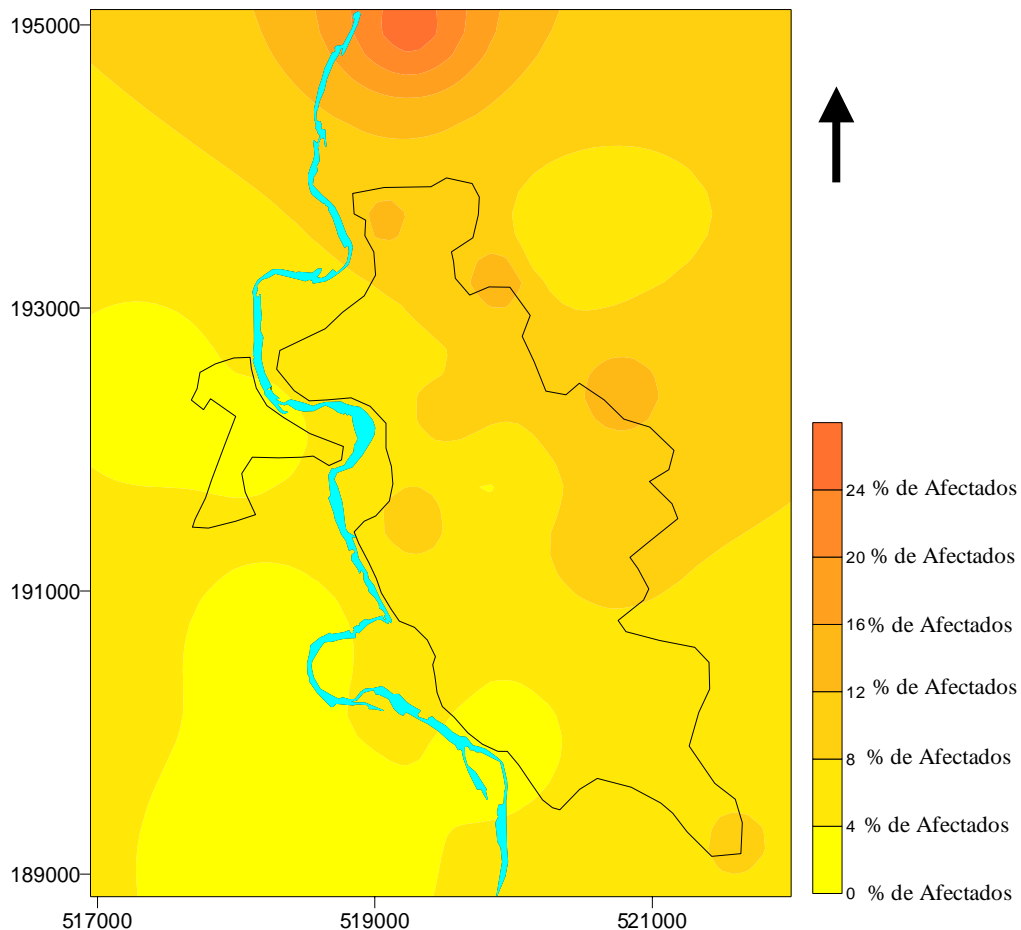


Figura 5.2.2: Mapa de porcentajes de afectados en la ciudad de Bayamo.

Como resultados las afectaciones humanas se clasifican de la siguiente forma:

- 1- **Afectaciones humanas altas:** Repartos: La Mosquera.
- 2- **Afectaciones humanas medias:** Repartos: El Valle, Pedro Pompa, Siboney, La Unión y Rosa la Bayamesa.
- 3- **Afectaciones humanas bajas:** Repartos: Viviendas campesinas, Marianao, Aeropuerto Viejo, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo

Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros.

En la Figura 5.2.3 aparecen los porcentajes de pérdidas de vidas humanas, al contrario del anterior en todos los repartos se considera bajo, con excepción de un solo reparto que es moderado.

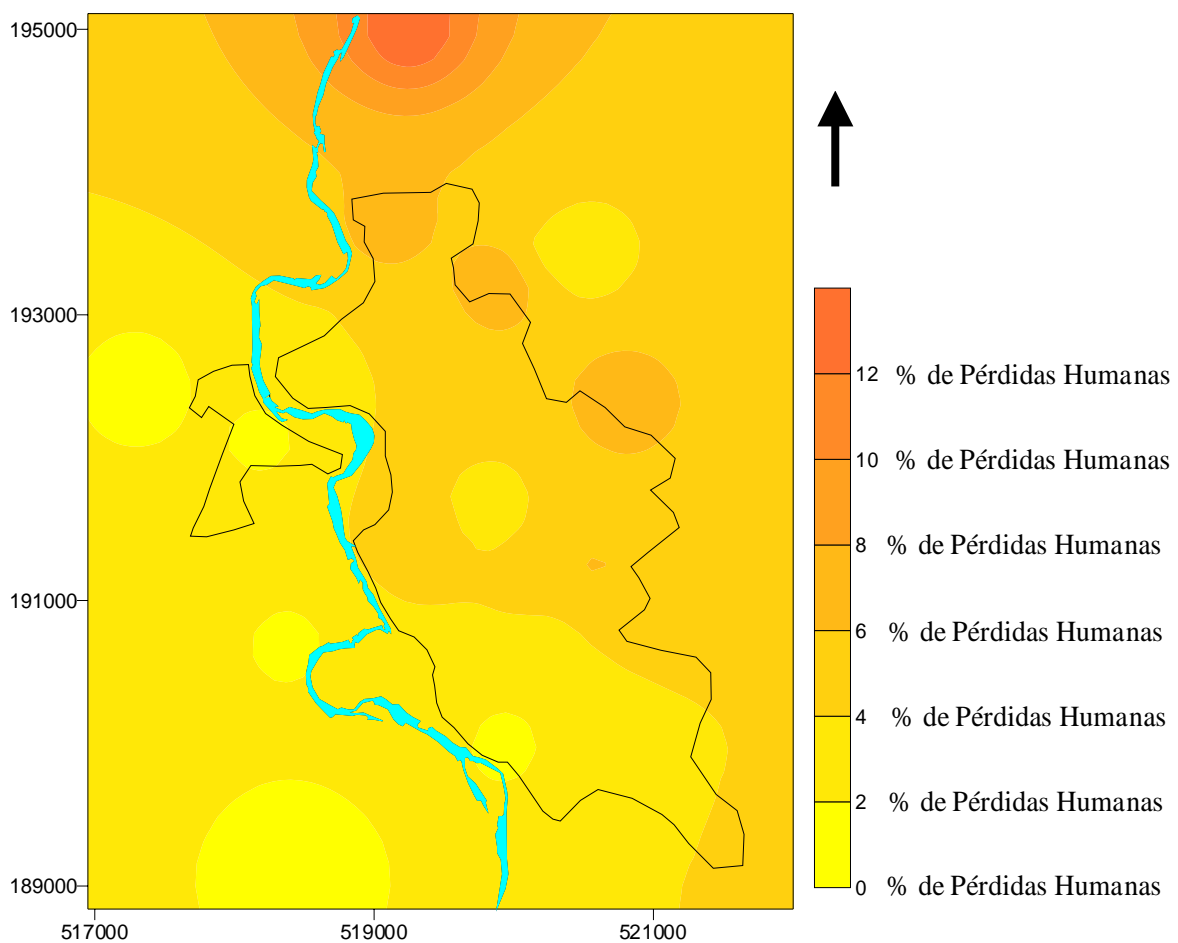


Figura 5.2.3: Mapa de porcentajes de pérdidas humanas.

Las perdidas humanas se clasifican de la siguiente forma:

- 1- **Perdidas humanas medias:** Reparto: La Mosquera.
- 2- **Perdidas humanas bajas:** Repartos: Rosa la Bayamesa, La Unión, Viviendas Campesinas, Marianao, Siboney, Pedro Pompa, Aeropuerto Viejo, El Valle, Ciro

Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros.

La Figura 5.2.4 muestra los porcentajes de daños a esperar en los diferentes repartos de la ciudad.

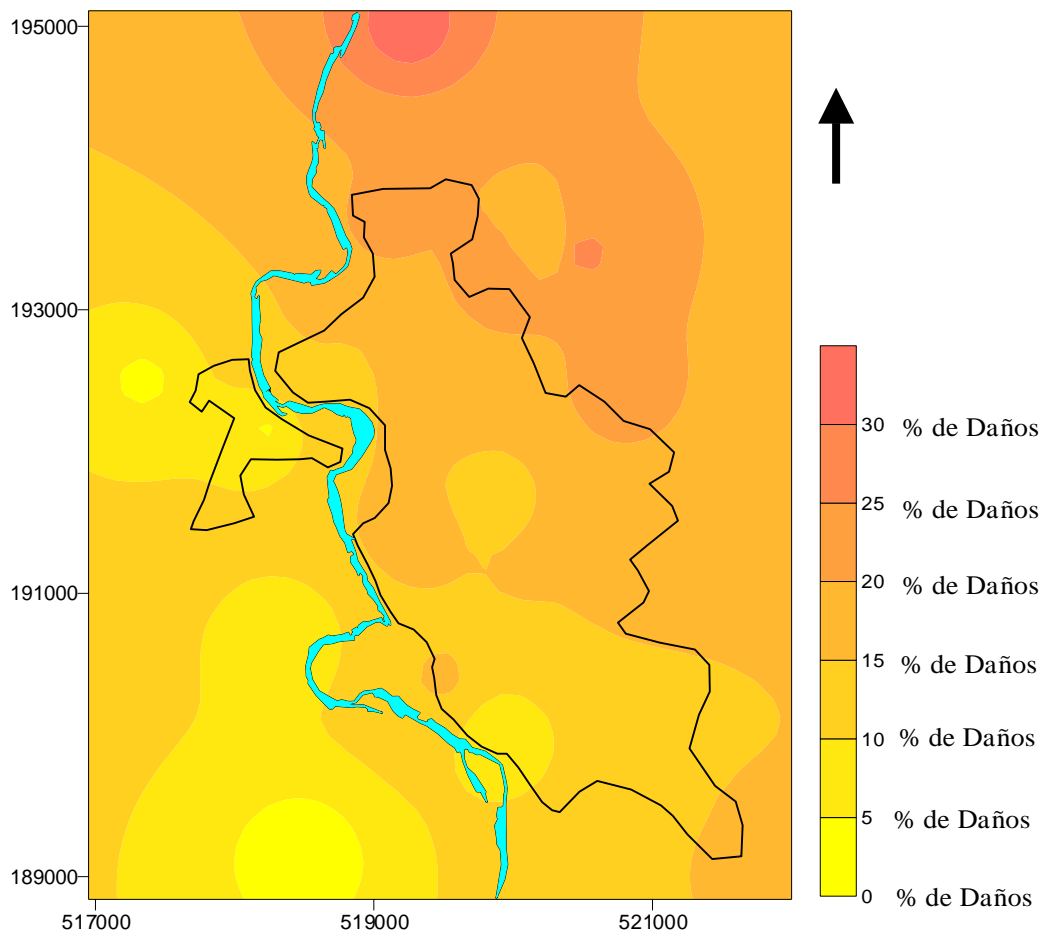


Figura 5.2.4: Mapa de porcentajes de daños a esperar en la ciudad.

Los daños constructivos se clasifican de la siguiente forma:

- 1- **Daños constructivos muy altos:** Reparto: La Mosquera.
- 2- **Daños constructivos altos:** Repartos: Rosa la Bayamesa, La Unión, Siboney y Aeropuerto Viejo

3- **Daños constructivos medios:** Repartos: Viviendas Campesinas, Mariana, Pedro Pompa, El Valle, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul.

4- **Daños constructivos bajos:** Repartos: Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros

La Figura 5.2.5 es un mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Bayamo partiendo de las afectaciones, pérdidas humanas y los daños totales a esperar en la misma, del mismo se resume que prácticamente toda la ciudad posee riesgo de bajo a moderado; solamente en un reparto posee un riesgo alto y es el caso de la Mosquera, el cual a pesar de tener poca cantidad de habitantes tiene muy malas condiciones en las construcciones existentes.

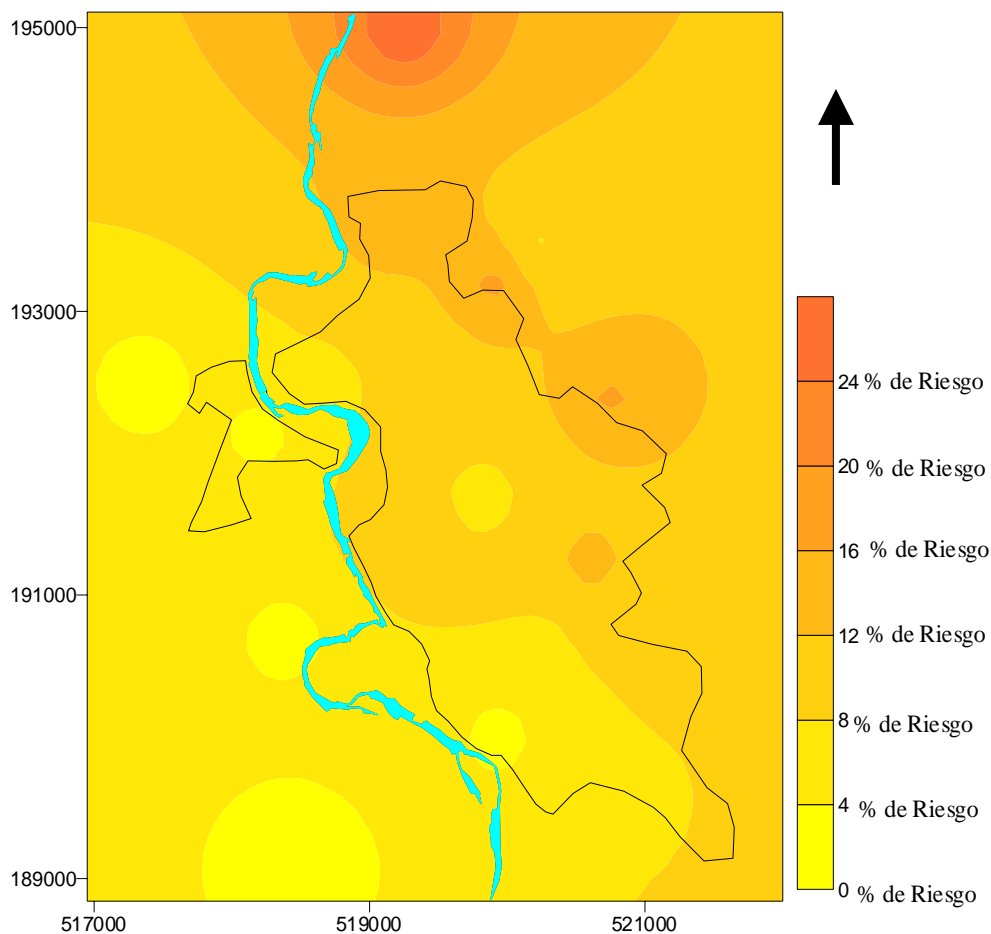


Figura 5.2.5. Mapa de Riesgo Sísmico.



Como resultado de la estimación del riesgo se clasifican de la siguiente forma:

- 1- **Riesgo alto:** Reparto La Mosquera.
- 2- **Riesgo medio:** Repartos: Rosa la Bayamesa, La Unión, Viviendas Campesinas, Marianao, Siboney, El Valle, Pedro Pompa y El Cristo.
- 3- **Riesgo bajo:** Repartos: Ciro Redondo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros.

En la Tabla No. 11 se muestran los resultados obtenidos en los mapas de afectados, pérdidas humanas, daños, riesgo y riesgo sísmotectónico, a partir de la cual se hará una comparación de los resultados a modo de conclusión.

Las diferencias existentes en los resultados entre los dos métodos están dadas en los criterios de escala planteados por las metodologías de trabajo utilizadas. Al determinar el **riesgo** a partir de trabajos de microzonación y vulnerabilidad sísmica se utilizan sólo evaluaciones de los elementos propios del sitio a partir de una generalización de los parámetros regionales, al determinarlo a partir de las relaciones presentadas para el cálculo de **PR**, se define la respuesta en los elementos locales, lo cual trae consigo que cualitativamente los efectos se maximizan.

No obstante, se consideran los resultados de ambos métodos como válidos y aportan criterios evaluativos para su aplicación en otras investigaciones. Por lo cual, los resultados aceptados y que se dan como resultante son los mapas obtenidos a partir de los trabajos de microzonación y vulnerabilidad.

**Tabla No.11:** Comparación de los resultados de los mapas de vulnerabilidad, afectados, pérdidas humanas, daños, riesgo y riesgo sismotectónico.

Repartos	Vulnerabilidad	Afectados	Pérdidas H.	Daños	Riesgo	PR
1- La Mosquera	alta	alta	Media	Muy alta	Alto	Muy alta
2- Rosa la Bayamesa	alta	Media	Baja	Alta	Medio	Muy alta
3- La Unión	alta	Media	Baja	Alta	Medio	Muy alta
4- Viviendas Campesinas	alta	Baja	Baja	Media	Medio	Muy alta
5- Marianao	alta	Baja	Baja	Media	Medio	Alta
6- Siboney	alta	Media	Baja	Alta	Medio	Alta
7- Pedro Pompa	alta	Media	Baja	Media	Medio	Muy alta
8- Aeropuerto Viejo	alta	Baja	Baja	Alta	Medio	Muy alta
9- El Valle	alta	Media	Baja	Media	Medio	Alta
10- Ciro Redondo	alta	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
11- El Cristo	alta	Baja	Baja	Media	Medio	Alta
12- Roberto Reyes	alta	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
13- San Juan	alta	Baja	Baja	Media	Bajo	Muy alta
14- Camilo Cienfuegos	alta	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
15- Izert	Media	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
16- Galindo	Media	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
17- Ojeda	Media	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
18- Las Caobas	Media	Baja	Baja	Media	Bajo	Muy alta
19- Barrio Azul	Media	Baja	Baja	Media	Bajo	Alta
20- Latinoamericano	Media	Baja	Baja	Baja	Bajo	Media
21- Fco. Vicente A.	Media	Baja	Baja	Baja	Bajo	Alta
22- Jesús Menéndez	Baja	Baja	Baja	Baja	Bajo	Muy alta
23- La Hacienda	Baja	Baja	Baja	Baja	Bajo	Alta
24- Campamento de P.	Baja	Baja	Baja	Baja	Bajo	Media

## Conclusiones:

Como conclusiones del trabajo presentado tenemos:

1. Por primera vez es empleada esta metodología para el cálculo y análisis del Riesgo Sísmico, la cual permite obtener resultados de calidad y gran utilidad.
2. Los resultados de ambos métodos se consideran como válidos ya que nos aporta criterios evaluativos para su aplicación en otras investigaciones. Por lo cual, los resultados aceptados y que se dan como resultante son los mapas obtenidos a partir de los trabajos de microzonación y vulnerabilidad sísmica; los cuales permiten tomar medidas de mitigación para cada una de las variantes presentadas.
3. Las prioridades de ocurrencia de riesgo obtenidas son:
  - **Zona de prioridad muy alta:** que comprende los repartos La Mosquera, Rosa la Bayamesa, La Unión, Viviendas Campesinas, Pedro Pompa, Aeropuerto Viejo, San Juan, Las Caobas y Jesús Menéndez.
  - **Zona de prioridad alta:** comprende los repartos Marianao, Siboney, El Valle, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Barrio Azul, Francisco Vicente A. y La Hacienda.
  - **Zona de prioridad moderada:** comprende los repartos Latinoamericano y Campamento de pioneros.
4. Las afectaciones humanas se clasificaron en:
  - **Afectaciones humanas altas:** Repartos: La Mosquera.

- **Afectaciones humanas medias:** Repartos: El Valle, Pedro Pompa, Siboney, La Unión y Rosa la Bayamesa.
- **Afectaciones humanas bajas:** Repartos: Viviendas campesinas, Marianao, Aeropuerto Viejo, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros.

5. Las pérdidas humanas se clasificaron en:

- **Pérdidas humanas medias:** Reparto: La Mosquera.
- **Pérdidas humanas bajas:** Repartos: Rosa la Bayamesa, La Unión, Viviendas Campesinas, Marianao, Siboney, Pedro Pompa, Aeropuerto Viejo, El Valle, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros.

6. Los daños constructivos se clasificaron en:

- **Daños constructivos muy altos:** Reparto: La Mosquera.
- **Daños constructivos altos:** Repartos: Rosa la Bayamesa, La Unión, Siboney y Aeropuerto Viejo
- **Daños constructivos medios:** Repartos: Viviendas Campesinas, Marianao, Pedro Pompa, El Valle, Ciro Redondo, El Cristo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul.
- **Daños constructivos bajos:** Repartos: Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros

7. El riesgo se clasificó en:

- **Riesgo alto:** Reparto La Mosquera.
- **Riesgo medio:** Repartos: Rosa la Bayamesa, La Unión, Viviendas Campesinas, Marianao, Siboney, El Valle, Pedro Pompa y El Cristo.
- **Riesgo bajo:** Repartos: Ciro Redondo, Roberto Reyes, San Juan, Camilo Cienfuegos, Izert, Galindo, Ojeda, Las Caobas, Barrio Azul, Latinoamericano, Francisco Vicente A., Jesús Menéndez, La Hacienda y Campamento de Pioneros

## **Recomendaciones:**

Para próximos trabajos recomendamos:

1. Posibilidad de utilizar las relaciones de cálculo y la metodología empleada en el presente trabajo en los trabajos del Proyecto de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba.
2. Aumentar el nivel de detalle de la información pudiéndose trabajar a nivel de manzana, siguiendo el criterio de utilizar las coordenadas del centro de la manzana como georreferenciación.
3. Aplicar estos resultados por los Organismos del Gobierno, Defensa Civil, Planificación Física y Proyectistas, como base para el uso racional del suelo y la mitigación de los efectos sísmicos en la ciudad de Bayamo.
4. Aplicar en el programa de prevención y mitigación de desastres, mejor elaboración de planes de medidas contra catástrofes de la provincia, así como al programa director de planificación y desarrollo de la ciudad.

## Bibliografía.

- Acueducto (1996): Datos de archivo.
- AFPS (1993): *Guide Methodologique pour la realisation d'etudes de microzonage sismique*. French Association for earthquake engineering.
- Alfaro,R. (1987): Esquema Ingeniero-Geológico de la Ciudad de Bayamo.
- Alvarez,H. L S (1970): Intensidad Sísmica de Cuba. Atlas Nacional de Cuba, La Habana pp 20
- Alvarez,H.; Shteinberg,V.V.; Blanco,P.; Medvedev,S.V.; Menendez,L.A. (1970): Condiciones sísmicas de la ciudad de Santiago de Cuba (en ruso) *Fizika Zemli* No. 5 pp 81-86.
- Ayala, F.J (1990): Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación de la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. *Boletín Geólogo Minero*. Vol. 101.3.
- Alvarez,L.; Chuy,T. y Cotilla,M. (1991): Peligrosidad Sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del Territorio Nacional. *Revista Geofísica*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia No. 35 pp 125-150.
- Bernal,A. (1992): Respuesta Sísmica de estratos, fenómenos de amplificación. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid 19 pp.
- Bouden - Romdhane,N; Mechler,P; Duval,A.M; Menerova,J.P y Vidal,S. (2000): *Microzoning the city of tunis using both background loise and weak motions*, 12 WCEE, 8p.
- Cardona,O. M. (1990): Proyecto Integral de mitigación de riesgo sísmico urbano. VI Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, Ciudad México 36 pp.
- Chuy,T. (1980): La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos. *Investigaciones Sismológicas en Cuba* No. 1 pp 5-17.
- Chuy, T, González, B.E., Zapata, J.A. y Milanés, B. (1982): Criterios Sismohidrogeológicos sobre la cuenca de Santiago de Cuba. *Investigaciones sismológicas en Cuba* No.2, pp 5-19
- Chuy,T y Alvarez,L. (1984): Catalogo de terremotos fuertes (I>VII, MSK-1978) de las Antillas Mayores. IV Jornada Científica del IGA. pp77.
- Chuy,T.; Rubio,M. y Zapata,J.A. (1990): Isosistas del terremoto del 20 de Agosto de 1852; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
- Chuy,T.; Despaigne,G. (1996): Cálculo del período de recurrencia de la ciudad de Bayamo. Comunicación personal.
- Chuy,T.J. et al, (1998): Estudio Macrosísmico detallado de la actividad sísmica perceptible alrededor de Bayamo en abril de 1987 y marzo de 1988.

- Chuy, T.J. (1999): *Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de peligrosidad y microzonificación sísmica*. Tesis de opción al grado de Doctor en ciencias Geofísicas.
- Colectivo de Autores (1986): *Aspectos Fundamentales de la Geología y la Sismología para la Microzonificación Sísmica*. En "Física de la Tierra", Editorial de la Universidad Computense, 217 pp.
- Dasko, R.E.; Shalimov, A.I.; Heredia, N. y Romero, J. (1972): *Proyecto de las Investigaciones ingeniero-geológicas para la cuenca de Santiago de Cuba con fines de su microregionalización sísmica*. Escuela de Geología, Universidad de Oriente 157 pp.
- DAU (1996): Datos de archivo.
- Díez, E.; Vázquez, L. y Zapata, J.A. (1994): *Sistema telemétrico computarizado para las investigaciones sismológicas*. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas. CENAIIS, Santiago de Cuba.
- DIRDN Informa: Boletín para América Latina y el Caribe. No. 14. 1999.
- DIRDN Informa: Boletín para América Latina y el Caribe. No. 15. 1999.
- DIRDN, OPS/OMS: *Hacia un mundo más seguro frente a los Desastres Naturales*.
- EERI Special earthquake report (1999): *The Tehuacan, Mexico, Earthquake of June 15, 1999*, 7pp.
- Ershov, I.A. (1965): *Comparison of experimental data on wave distribution velocities, amplitudes and periods used for seismic microzonation*. Works of IFE: IFS No. 36(203). pp 18-26.
- Ershov, I.A. (1970): *Sobre la utilización de los microsismos para la determinación de las características de frecuencia de los suelos*. *Movimientos sísmicos del suelo*. Ed. Nauka (en ruso).
- Ershov, I.A. (1973): *Sobre la utilización de los microsismos de período corto en la microzonificación sísmica*. *Microzonificación Sísmica Vol. 1*, Dushamb'e pp 14-26, (en ruso).
- Fernández, B. (1990) *"Valoración de los efectos sísmicos por el método de Analogías Ingeniero - Geológicas en la Ciudad de Bayamo"*.
- Fernández, B.; Rivera, Z.; Reyes, C.R. y Zapata, J.A. (1995): *Comprobación de áreas de posible aparición de fenómenos físico-geológicos de la ciudad de Santiago de Cuba. Su comportamiento en la construcción de obras de fortificación*. X Fórum de Ciencia y Técnica del Estado Mayor Provincial Santiago de Cuba y del Ejército Oriental. 15p.
- Fernández, B.; Rivera, Z.; Reyes, C.R. (1995): *Pronóstico de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos: su empleo en los planes contra sismos de la ciudad de Santiago de Cuba*. X Fórum de Ciencia y Técnica de la Defensa Civil Nacional.



- García,S.E. (1981): Criterios acerca de las características de amplitud-frecuencia de las oscilaciones de los suelos en el territorio de Santiago de Cuba (Tutores: Chuy, T.J. y J.A. Zapata) Tesis de opción al título de Licenciado en Física, Fac. de Física - Matemática, Universidad de Oriente 60 pp.
- Golden software (1998): Sistema automatizado de mapeo SURFER.
- González,B.E., Pérez, L.D. y Zapata,J.A. (1989): Utilización de los datos ingeniero-geológicos e hidrogeológicos en la microzonificación sísmica de áreas industriales y de asentamientos humanos. I Congreso Cubano de Geología. C. Habana.
- González,B.E., Mirzoev,K., Chuy,T., Golubiatnikov,V., Lyskov,L., Zapata, J.A., Alvarez,H. (1984): Informe Final del tema 31002 "Estudio del Riesgo Sísmico y de la Variación de la Intensidad Sísmica de los Terremotos en el Territorio de la Ciudad de Santiago de Cuba. Archivo Departamento Sismología, IGA-ACC, 150 pp.
- González,B.; Mirzoev,K.; Chuy,T.; Lyskov,L.A.; Golubiatnikov,V.L.; Kogan,L.A.; Zapata,J.A.; Alvarez,H. (1989a): Microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba; Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía No. 15, 25 pp.
- Guardado,R. (1983): Los terremotos. Ed. Oriente, 86 pp.
- Guasch,F. et al (1992): Plan de Preparación para Catástrofes para las Direcciones Políticas, Estatales, Defensa Civil y población en general.
- Heredia,N.; Romero,J. y Guardado,R. (1973): Valoración de las condiciones ingeniero-geológicas de Santiago de Cuba con fines de Microrregionalización Sísmica (reprint). pp 211-227.
- Heredia,N., Seisededos,G. y Oliva,R. (1982): Regionalización ingeniero geológica de la cuenca de Santiago de Cuba a escala 1:25 000, ISPJAM-MES.
- Hidroeconomía (1996): Datos de archivo.
- Vega,I.; Rodríguez,D.; Artímez,A. y Carballosa,N. (1997): Valoración del Riesgo Sísmico de la ciudad de Bayamo.
- Mejia Navarro,M y García,L.A. (1995): Integrated planning decision support system (IPDSS). Integrated decision support group (IDS). Colorado State University. 13 pp.
- Meneses,J. Y Vargas,W. (1998): Aspectos geotécnicos del sismo de Kobe de 1995. Laboratorio de ingeniería geotécnica. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Tokio. QUIPUNET INTERNATIONAL VIRTUAL SEMINAR. Lecture 9, 15 p.
- Meneroud,J.P., Duval,A.M. y Bard,P.Y. (2000): Methodological study on seismic risk assessment, 12 WCEE, 8p.
- Moreno,B: SISMOLAB, Versión 1.2.

- Nagy,E; 1983. Contribución a la Geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología. ACC. Editorial Científico Técnica. La Habana. Cuba. 63 p.
- Jafari,M.K. (2000): Microtremor studies in south of tehran, 5p, 12 World Congress Earthquake Engeniering.
- Japan Working Group for TC-4 Committee (1992): Seismic Zoning on Geothecnical Hazards (draft) 114 pp.
- Lecciones aprendidas en América Latina de Mitigación de Desastres de la Salud (1997).
- Kanai,K. y Tanaka,T. (1961): On Microtremors VIII; BERI Vol 39, pp 97-114.
- Kanai,K. et al. (1966): On Microtremors X, BERI Vol. 44 pp 645-696.
- Medvedev,S.V (1973): Recomendaciones para la Microregionalización Sísmica RSM-73, Serie "Cuestiones de Ingeniería Sísmica" Vol 15, Moscú.
- Medvedev,S.V (1977): Complex method of seismic microzonig. 6th World Conf. on Earthq. Engineering Vol 2. New Delhi pp 504-506.
- Osaki,Y. (1972): Japanese microzonation methods. Proc Microzonation Conf. Seatle, Washington Vol. I pp 161-182.
- Oliva, R. et al (1992): Plan de Medidas para Sismos de Gran Intensidad.
- Poey,A. (1855a): Tableau Chronologique des Tremblements de terre Ressentis a L'ile de Cuba de 1551 a 1855. París.
- Poey,A. (1855b): Supplemen au Tableau Chronologique des Tremblements de terre Ressentis a L'ile de Cuba de 1551 a 1855. París.
- Popov,V.V. (1959): Criterios Ingeniero-Geologicos de la Regionalización Sísmica Detallada (en ruso). Trabajo IFZ, No 5 (172).
- Puyada y Díaz (1973): Aplicación del método de rigidez sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba.
- Riastinko,T.G. (1976): Fundamento ingeniero-geológico de la microrregionalización sísmica (en ruso). Geología Soviética No. 1 pp 8593.
- Rivera,Z. y Hernández,E.: Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bayamo. Escala 1:10 000.
- Rubio,M.; Gonzalez,B.E. y Perez,L.D. (1989): Utilización de métodos de clasificación numérica en la microzonificación sísmica. V Jornada Científica del IGA. C. Habana.
- Semblat,J.F.; Duval,A.M. y Dangla,P. (2000): Analysis of seismic site effects: Bem and modal approude vs experiments, 12 WCEE, 8p.
- Tanaka,A. (1983): Development for classification method of surface ground conditions by dinamic properties from Kanai's microtremors observation, 26 pp.
- Terremotos: Evaluación y Mitigación de su Peligrosidad. Editorial Blume. UNESCO.
- Thobani,M. (1999): Infraestructura privada, riesgos del estado. Revista

Finanza y Desarrollo. pp 50-53.

- Torres,D. (1990): "Esquema de microzonificación sísmica de la ciudad de Bayamo por el método de las analogías ingeniero-geológicas". Tesis de grado
- Udias, A. y Mezcua, J: Fundamentos de Geofísica. 1996.
- Zapata,J.A. y Chuy,T. (1992): Validación de la microzonificación de la ciudad de Santiago de Cuba por las observaciones macrosísmicas de los terremotos, Reportes de Investigaciones de la ACC, 27 pp.
- Zapata,J.A. y Rivera,Z. (1994): Efectos Sísmicos de las Plantas de Niquel de Moa. II Congreso Internacional de Geología. Santiago de Cuba.
- Zapata,J.A.; Rivera,Z.; Fernández,A.I. y Reyes,C.R. (1994c): Efecto y Microzonación Sísmica de instalaciones económicas y sociales del Complejo Niquelífero en Moa. Fondos del Centro Nac. de Investigaciones Sismológicas. 155 pp.
- Zapata,J.A. (1995): Aplicación de Variantes Metodológicas de Microzonificación Sísmica en la Ciudad de Santiago de Cuba. Tesis de opción al grado de Doctor en ciencias Geofísicas.
- Zapata,J.A. (2000): Comunicación personal. Metodología para el cálculo de riesgo sísmico a partir de los datos de Vulnerabilidad Sísmica.