



**ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
SISMICO DE LA CIUDAD DE SALCEDO**

Proyecto  
(ECHO/TPS/219/2003/2006)  
EL CONOCIMIENTO DEL RIESGO COMO PUNTO DE PARTIDA  
PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES EN LA REGIÓN NORTE ORIENTAL  
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

AGOSTO 2004  
SALCEDO, REPÚBLICA DOMINICANA

*Organismos Financiadores:* ECHO, MOVIMONDO, ONESVIE  
*Organismos Ejecutores:* MOVIMONDO, ONESVIE, SODOSISMICA, UCODEP

*Coordinación Técnica:* Ing. Geólogo Marco Minelli  
Ing. Rafael A. Corominas Pepín

*Elaboración de los estudios*

*Microzonificación Sísmica:* Ing. Geol. Luis R. Peña, Msc;  
Ing. Héctor O'Reilly, Msc

*Vulnerabilidad Sísmica:* Ing. Orlando Franco, Msc

*Riesgo Sísmico:* Ing. Orlando Franco, Msc; Ing. Geol. Luis R. Peña, Msc

*Asistencia Técnica*

Prof. Petrini Vincenzo, PhD  
Ing. Cherubini Alberto  
Dra. Geóloga Floriana Pergalani  
Ing. Angeletti Paolo  
Ing. Alfio Bernardo

*Colaboración Técnica:*

Ing. Edy Hernández  
Ing. Geol. Marco Ponza  
Ing. Rafael Taveras, Msc  
Ing. Raul O'Reilly, Msc  
Arq. Kenia Madera

*Pruebas de Laboratorio  
Sísmica a Refracción  
Sondeos Geomecánicos*

*Supervisión de Proyectos  
Geofitec  
Geocivil  
Supervisión de Proyectos*

# Índice

## Introducción General

### 1.- Microzonificación Sísmica

#### 1.1.- Introducción

#### 1.2.- Área de Estudio

##### 1.2.1.- Localización, Morfología y Clima

##### 1.2.2.- Geología

##### 1.2.2.1.- Marco Estructural

##### 1.2.2.2.- Estratigrafía

#### 1.3.- Análisis de Sitio

##### 1.3.1.- Sondeos Geomecánicos.

##### 1.3.2.- Propiedades Geomecánicas Estáticas de las Unidades Geológicas.

##### 1.3.3.- Secciones Geológicas

##### 1.3.4.- Sondeos Sísmicos a Refracción.

##### 1.3.5.- Análisis del Comportamiento Dinámico de las Unidades Geológicas.

##### 1.3.5.1.- Metodología Aplicada

##### 1.3.5.2.- Elección de las columnas de suelo y sus propiedades dinámicas.

##### 1.3.5.3.- Elección de la sollicitación sísmica.

##### 1.3.5.3.- Cálculos y Resultados Obtenidos.

#### 1.4.- Mapas de Microzonificación Sísmica

### 2.- Evaluación de La Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico

#### 2.1.- Introducción

#### 2.2.- Metodología Aplicada para el Cálculo de la Vulnerabilidad

#### 2.3.- Resultados

##### 2.3.1.- Índice de Vulnerabilidad por Tipología de Edificaciones

##### 2.3.2.- Índice de Vulnerabilidad por Cuadras

##### 2.3.3.- Índice de Vulnerabilidad para Edificaciones Especiales

#### 2.4.- Determinación del Riesgo

##### 2.4.1.- Metodología Aplicada

##### 2.4.2.- Resultados

#### 2.5.- Cálculos de Pérdidas Económicas para Sismos Probables

### 3.- Conclusiones y Sugerencias

## Bibliografía

## Anexo

Fichas para la Evaluación de La Vulnerabilidad de las Edificaciones

## Introducción General

Este documento se elaboró y publicó en el marco del proyecto *ECHO/TPS/219/2003/02006 "El conocimiento del riesgo como punto de partida para la prevención de desastres en la Región Norte-Oriental de la República Dominicana"* financiado por la Oficina para la Ayuda Humanitaria de la Unión Europea ECHO y la organización no gubernamental italiana MOVIMONDO.

El presente estudio tiene como objetivo identificar el riesgo sísmico de la ciudad de Salcedo, municipio cabecera de la Provincia Salcedo de la República Dominicana, combinando la vulnerabilidad de las edificaciones con las aceleraciones horizontales del suelo esperadas por sismos probables.

Con este documento se quiere entregar a las instituciones competentes un instrumento que pueda ser de real ayuda en la definición de los procedimientos de emergencia y en el planeamiento y reducción del riesgo. En el bosquejo del trabajo fue puesta especial atención a la metodología a usar en la implementación de las diferentes etapas del estudio. Esta investigación no ha sido especulativa, si no dirigida a una transferencia de metodología a las instituciones interesadas, de forma que pueda ser utilizada en el futuro en otras ciudades del País. En este marco, para la definición de los índices de vulnerabilidad de las edificaciones, se ha utilizado por primera vez en República Dominicana una adaptación de la metodología Benedetti-Petrini desarrollada en Italia.

El grupo de trabajo responsable de la realización de los estudios ha sido constituido por un equipo multidisciplinario. Las labores han sido ejecutadas por técnicos y científicos nacionales (profesionales y docentes universitarios) con el soporte técnico de científicos italianos de amplia experiencia (Comité Técnico Científico Movimondo).

Con el propósito de asegurar la capitalización de la experiencia, para la realización de los estudios ha sido firmado un convenio de colaboración entre MOVIMONDO, ONESVIE y SODOSISMICA.

MOVIMONDO es la organización no gubernamental italiana responsable del presente trabajo. ONESVIE es la Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructura y Edificaciones recientemente creada por el gobierno de la República Dominicana. SODOSISMICA es la Sociedad Dominicana de Sismología e Ingeniería Sísmica, una entidad sin fines de lucro con amplia experiencia en el sector .

El documento ha sido estructurado en tres partes, la primera define la metodología y los resultados encontrados en el estudio de microzonificación. La segunda describe metodología y resultados relativos al estudio de vulnerabilidad y riesgo, la tercera muestra las conclusiones en las cuales se resumen las principales informaciones halladas por los diferentes estudios y las relativas recomendaciones.

Los resultados de las distintas investigaciones son representados en mapas temáticos y elaborados en un *Sistema de Información Geográfica (SIG)*. El software elegido para visualizar, insertar y modificar datos temáticos es ArcView© 3.3 producido por ESRI, que permite efectuar de manera simple todas las operaciones de edición y mapeo temático de la información.

El anexo que se encuentra al final del documento, reporta las fichas utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones. Otros documentos que contienen datos relativos a las distintas etapas del estudio, se encuentran solamente en el CD anexo a la presente publicación, siendo de considerable volumen.

## 1. - Microzonificación Sísmica

### 1.1 Introducción

El objetivo del estudio de microzonificación es definir las amplificaciones locales de las ondas sísmicas, debidas a la interacción de estas con los sedimentos superficiales ubicados sobre la roca madre (bed rock).

Para poder definir las amplificaciones locales, es necesario conocer la ubicación, los espesores y los valores de las características físicas (estáticas y dinámicas) de las diferentes unidades geológicas presentes en el área de estudio. Para poder conseguir tales informaciones se realizó una investigación detallada que incluyó los siguientes pasos:

- Recopilación y evaluación de los datos geológicos y geotécnicos existentes de fuentes publicadas y no publicadas. Esta fase comprendió también encuentros con el Ayuntamiento Municipal y profesionales de la ingeniería, e instituciones que los agrupan (CODIA REGIONAL SALCEDO).
- Análisis geológico y geomorfológico del área a través de levantamiento de campo y fotointerpretación.
- Realización del mapa geológico-litológico interpretativo con elementos estructurales y geomorfológicos.
- Localización y realización de sondeos geomecánicos para determinar los espesores y las características geotécnicas de las diferentes unidades geológicas.
- Ensayos de laboratorio para determinar los valores de las propiedades geomecánicas estáticas de las diferentes unidades geológicas.
- Realización de Perfiles Sísmicos para definir la velocidad de las ondas primarias P en las diferentes unidades geológicas.
- En función de los valores de las propiedades geomecánicas estáticas y de la velocidad de las ondas primarias P, se definieron los valores de las propiedades dinámicas de las diferentes unidades geológicas
- A través del uso del software SHAKE se realizó el análisis del comportamiento dinámico del los sedimentos superficiales ubicados sobre la roca madre (bed rock) y se determinaron, por área homogénea individualizadas, los acelerogramas de superficie, los espectros de aceleración correspondiente y los valores de amplificación  $F_a$ .
- En función de las características geológicas, geotécnicas, geofísicas, geomorfológicas, y de los resultados de cálculo (espectros de aceleración, acelerogramas y  $F_a$ ), se clasificarán las áreas de iso-amplificación (microzonificación de la ciudad de Salcedo).
- Se realizaron los mapas de micro zonificación para tres distintos escenarios de eventos sísmicos (fuerte, medio y bajo).

## 1.2 Área de Estudio

### 1.2.1 Localización morfología y clima

El área de estudio es representada por la parte urbana de la ciudad de Salcedo la cual se ubica a 3.5 kilómetros del flanco sur de la Cordillera Septentrional que es el rasgo topográfico más característico de la parte norte de la República Dominicana (ver Mapa No 1-1).

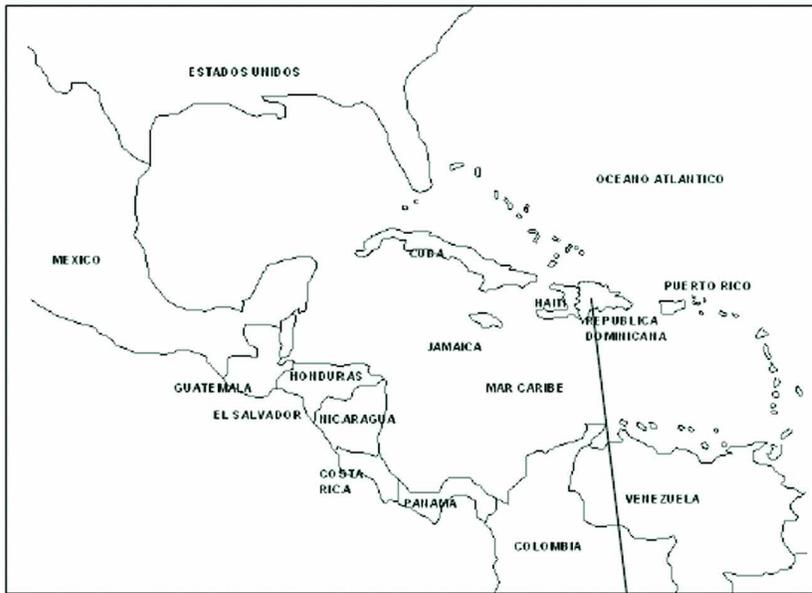
Pertenece al municipio cabecera de la Provincia Salcedo, que se encuentra en la zona nordeste del Valle del Cibao. Tiene una extensión de aproximadamente 2.5 kilómetros cuadrados, con una población de 12,775 habitantes (*Oficina Nacional de Estadística, 1993*).

Salcedo se ubica en una área casi plana y es delimitada por los arroyos Juana Núñez y Quebrada Honda. El arroyo Juana Núñez, fluye con una dirección noroeste - Sudeste, en el flanco este de la ciudad mientras el arroyo Quebrada Honda, fluye de norte a sur, en la parte oeste del área urbana. Parte de las aguas son recogidas por el arroyo Clavijo, localizado al sur del área de estudio (ver Mapa 1-2).

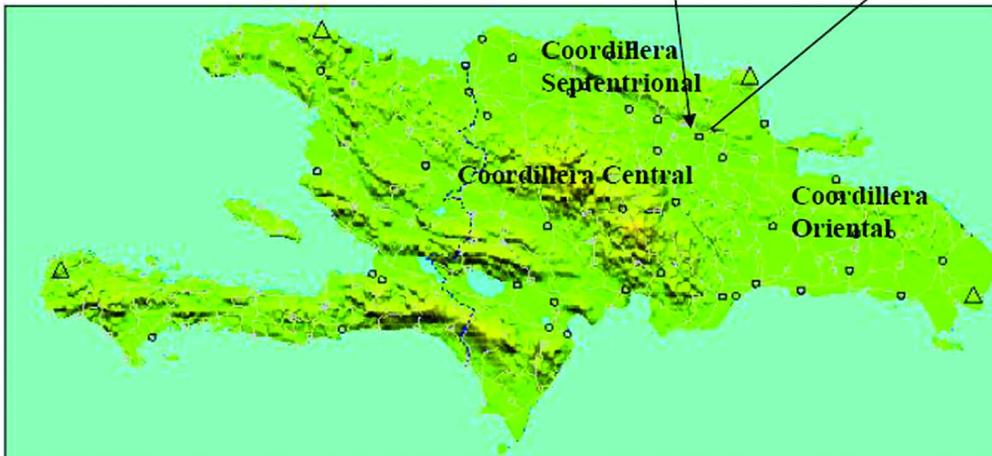
La altura sobre el nivel del mar del área urbana se mantiene entre 180 y 200 metros. La pendiente en el espacio construido es suave, el desnivel es alrededor de 20 metros en una distancia de aproximadamente 2 km (de sur a norte). Desde el área urbana hacia el flanco sur de la Cordillera Septentrional, la pendiente se mantiene suave, hasta que es interrumpida por el rastro activo de la *Zona de Falla Septentrional* (ver Mapa No 1-3). En este punto hay una caída de nivel de aproximadamente 15 metros, luego la pendiente comienza a ascender nuevamente hacia el flanco sur de la cordillera y a partir de la altura de 240 metros la pendiente se empina fuertemente alcanzando la altura de 739 m en la parte alta de la cuenca del arroyo Juana Núñez.

La característica descrita de sur a norte, es similar hacia la parte noroeste y noreste. Los cambios topográficos principales ocurren en las micro-cuencas de los Arroyos Juana Núñez, Quebrada Honda, y Clavijo. En el arroyo Juana Núñez aparecen cortes en las riberas con diferencia de nivel entre 15 y 20 metros o más. La inclinación de los cortes es alta y en algunos casos aparecen casi verticales. Por las características del material aluvial y de los rellenos artificiales que constituyen el área urbana, a lo largo de estos cortes se desarrollan zonas de deslizamiento. La parte sur de la ciudad es de topografía casi plana.

El área de estudio está localizada dentro de un clima sub-tropical influenciado por los vientos alisios y la topografía de la zona (Cordillera Septentrional y Cordillera Oriental). La temperatura promedio anual es de 25.6° C. El régimen de lluvia tiene una media anual de 1,308.6 mm. (González Juan, 2003).



**SALCEDO**

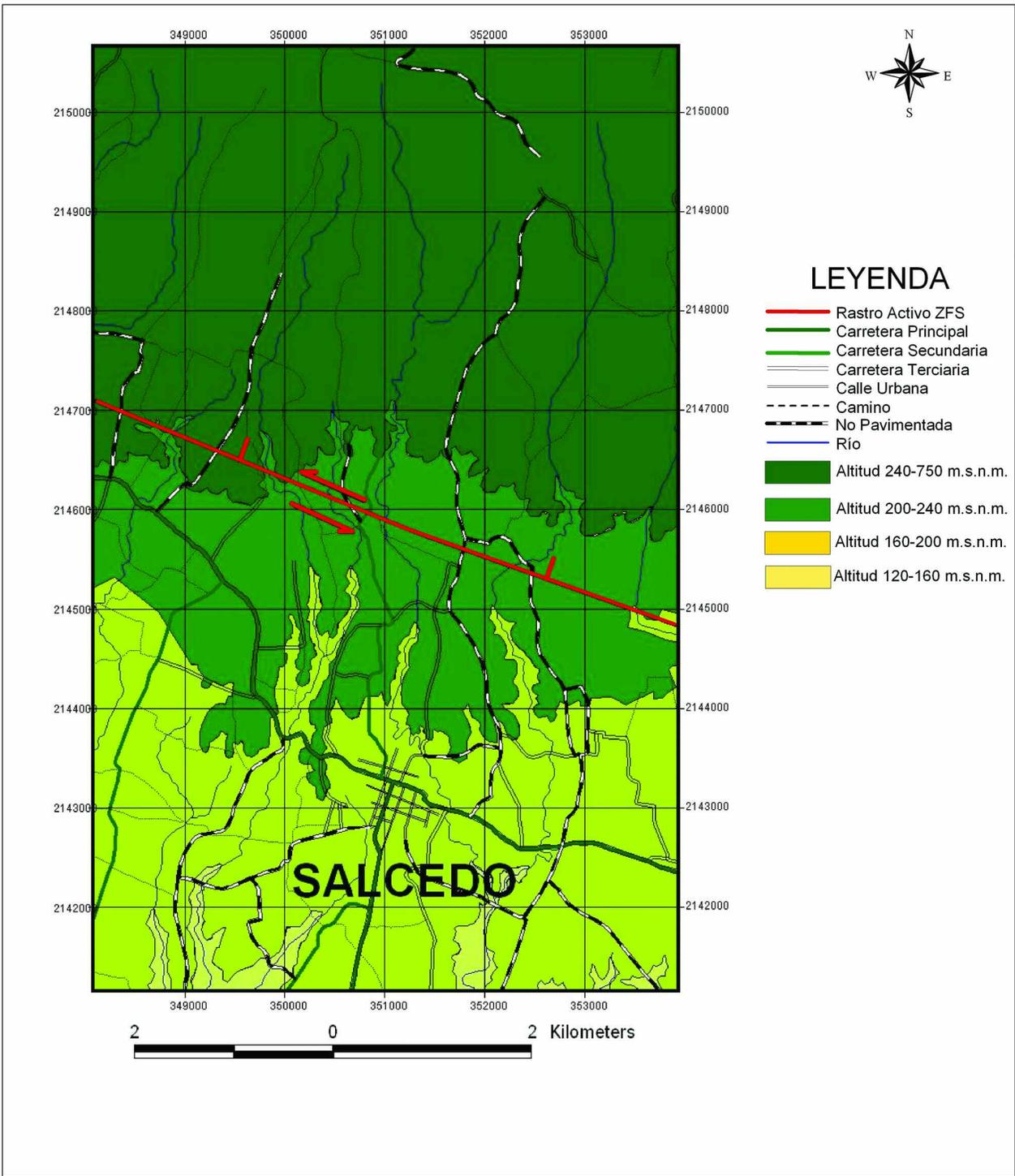


**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo**

**Mapa de Localización del Proyecto**

Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala:	Mapa: 1-1	Fecha: Agosto, 2004
-------------------------------------	--	---------------------------------------	---------	--------------	------------------------





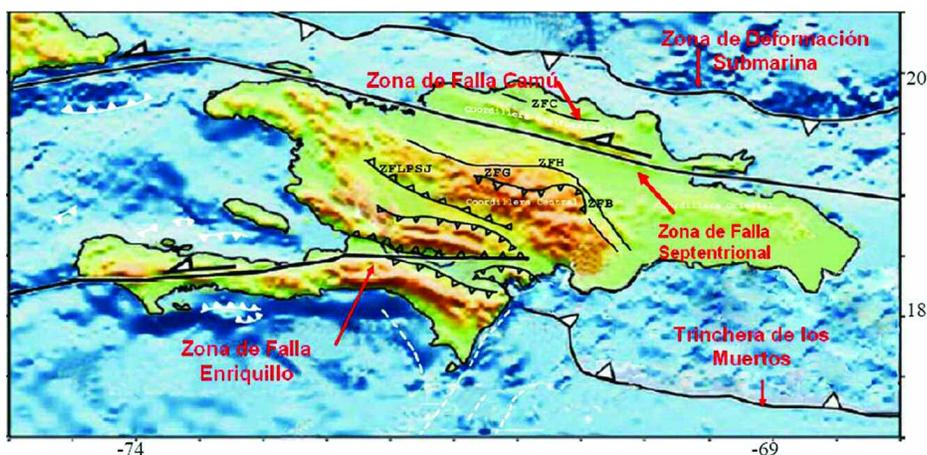
						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa Geomorfológico de las Areas Urbana y Peri-Urbana de la Ciudad de Salcedo</b>						
Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-3	Fecha: Agosto, 2004	

## 1.2.2 Geología

### 1.2.2.1 Marco Estructural

La Provincia Salcedo es cruzada por la *Zona de Falla Septentrional*, que es la mayor evidencia morfológica existente en República Dominicana del contacto entre la Placa del Caribe y la Placa de Norteamérica.

La *Falla Septentrional* recorre la parte norte de la isla, cruzando todo el Valle del Cibao, desde Samaná hasta Montecristi, pasa a 2.5 kilómetros al norte del centro de la ciudad de Salcedo y forma un prominente escarpe en los sedimentos cuaternarios superficiales que cubren el Valle (ver Mapa No 1-4).



Mapa 1-4: Marco Tectónico-Estructural Isla Hispaniola, modificado de Calais, et al. 2003 (Fallas Activas e Inactivas)

Las investigaciones geológicas, geodésicas, paleosísmicas y sismológicas realizadas en los últimos 9 años, muestran que la zona presenta un alto potencial sísmico. Los resultados de los estudios muestran que la Zona de Falla Septentrional está acomodando entre 9 +/- 3 milímetros/año, de los 21 – 25 milímetros por año que se desplaza la Placa del Caribe con relación a la de Norteamérica. Las trincheras excavadas en las localidades de Ojo de Agua, Salcedo (1991-1993), y Río Licey, Tamboril, Santiago (1997), evidencian que la más reciente ruptura de la superficie a lo largo de este segmento central de la falla ocurrió hace aproximadamente 800 años, y que a partir de ese momento ha estado acumulándose energía (Prentice et al. 1993,1998). Desde el último sismo que originó la ruptura actual en la parte central del valle, se estima que se hayan acumulado más de cinco metros de deformación; la probabilidad que pueda ocurrir un sismo de gran magnitud es por lo tanto elevada.

### 1.2.2.2 Estratigrafía

La ciudad de Salcedo se ubica en el extremo norte-oriental del Valle del Cibao, que es un amplio sinclinal relleno de 3,000 a 5,000 metros de rocas clásticas sedimentarias (principalmente del mioceno al plioceno inferior) cubiertas por sedimentos aluviales más recientes (principalmente del pleistoceno y holoceno). Es un Valle con longitud de aproximadamente 230 kilómetros de largo y 15 a 30 kilómetros de ancho.

El área de estudio está limitada al norte por el flanco sur de la Cordillera Septentrional, donde se exponen rocas sedimentarias clásticas con edades entre el mioceno - plioceno y al sur por la extensión de llanura aluvial, que se extiende hasta el flanco norte de la Cordillera Central.

En la parte urbana y peri-urbana norte de la ciudad de Salcedo se han identificado varias unidades geológicas que han sido delimitadas a través el reconocimiento de campo, el análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélites. Las diferentes unidades han sido representadas en un mapa geológico (ver Mapa 1.5, 1.6), las cuales son descritas a continuación.

Relleno Artificial 1 (Qra1): Mezcla de relleno de suelo orgánico, fragmentos de rocas, arenas, bloques y escombros en general, todo colocado sobre depósitos de sedimentos aluvionales de terraza. Esta unidad se localiza próximo a los cauces de los arroyos Juana Núñez, Quebrada Honda, en las partes oeste y este de la ciudad; se ha encontrado en áreas que han sido utilizadas para la construcción de viviendas.

El espesor ha sido obtenido a través los sondeos No 4, 5 y mediciones realizadas en el campo; es variable entre 1.5 y 8 metros.

Relleno Artificial 2 (Qra2): Mezcla de materiales granulares y arcillas. El relleno está colocado sobre el cauce del arroyo intermitente Quebrada Honda y sostenido por muros de contención construidos de manera informal. El agua del arroyo, en la parte donde el cauce está cubierto por el relleno, es drenada a través de tubería colocada a lo largo del cauce. Sobre esta área se han construido varias viviendas de uno y dos niveles. El Relleno Artificial 2 cubre la zona denominada “El Relleno” en la parte noroeste de la ciudad. El espesor máximo se ha medido a través de la perforación del sondeo No 3, y es de 10 metros en la parte central del arroyo.

Depósitos fluviales recientes (Qal1): Pequeños depósitos holocénicos de limo arcilloso, arena fina - gruesa y conglomerado. Se distribuye en las terrazas fluviales a lo largo de la ribera de los Arroyos Juana Núñez, Quebrada Honda, Palmar y otros. El espesor es muy reducido (menor o igual 1.5 m). Son de poca importancia por su extensión y espesor.

Depósito de Sedimentos Aluviales de Terraza (Qal2): Depósito de arcilla, arcilla limosa, que aflora en varias partes del área urbana y peri-urbana mostrando una continuidad lateral en todas las direcciones. En la parte noreste de la ciudad, aparece junto a este depósito, una capa superficial de conglomerado con espesor de 2 metros. Tres sondeos realizados en las partes noreste, sureste y noroeste (sondeos No 1, 2 y 3) del área de estudio muestran que el espesor de estos sedimentos aluviales es de 75-80 metros. Se considera de edad pleistocénica - holocénica y a veces presenta fragmentos calcáreos que aumentan su resistencia.

Depósito de Sedimentos Aluviales de Terraza (Qal3): En el área comprendida entre el rastro activo de la Zona de Falla Septentrional y el flanco sur de la Cordillera Septentrional, aparece este depósito de arcilla, pero con mayor cantidad de conglomerado, limo y arena respecto al anterior. Se encuentra principalmente próximo al cauce de los principales arroyos. En el punto con coordenadas UTM 351047m E y 2146942m N estos sedimentos aparecen con contacto en discordancia angular con la roca base o madre, presentando un espesor de 10 metros.

Roca Madre (Mc): Caliza arrecifal, cementada y en algunas áreas alteradas, ínterestratificada con estratos de margas de 10-20 centímetros, se le asigna una edad del plioceno. Aflora en la parte norte del flanco sur de la Cordillera Septentrional, aparece en disconformidad con la secuencia clástica de arenisca, lutita y conglomerado cementado, que también aflora en esta área. Ha sido perturbada por el tectonismo que afectó toda esta zona. Los estratos de la marga siguen orientación nordeste, con buzamiento hacia el norte.

Roca Madre (Malc): Secuencias cíclicas de estratos de espesores variables de arenisca bien cementada ínter estratificadas con lutita y conglomerado compacto, asignándosele edad del Mioceno. Se exponen en el flanco sur de la Cordillera Septentrional, siguen orientación nordeste, con buzamiento hacia el norte. Próximo al contacto con la caliza arrecifal-marga, aparecen estratos de caliza con espesores de 10 a 20 centímetros, interéstratificados con la secuencia clástica descrita.

### **1.3 Análisis de Sitio**

#### **1.3.1 Sondeos Geomecánicos**

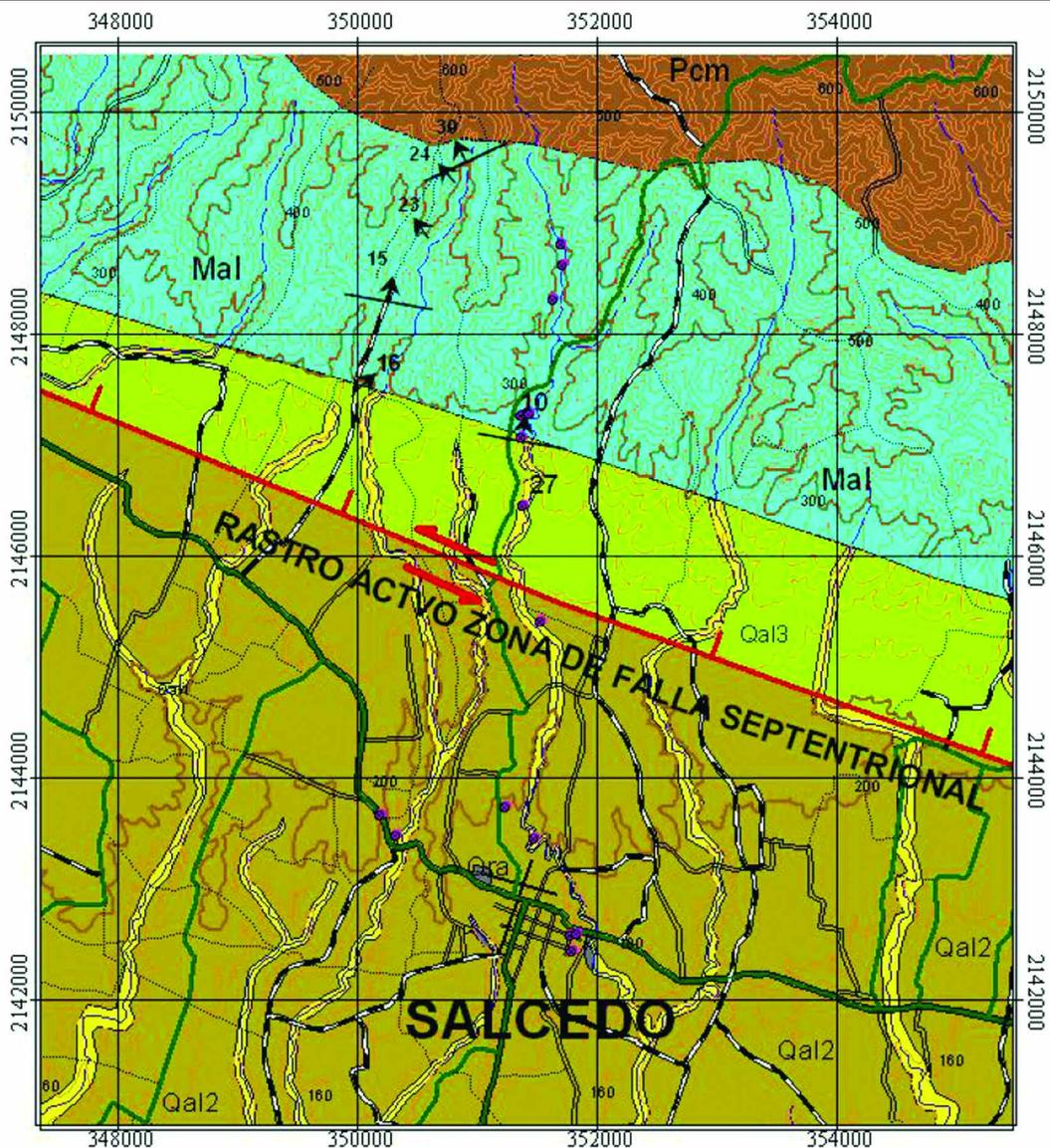
Se realizaron cinco (5) perforaciones en el subsuelo de la ciudad de Salcedo con la finalidad de determinar los espesores de las diferentes unidades geológicas encontradas y sus propiedades geotécnicas y geomecánicas (ver Mapa No 1.7). En particular el objetivo fue determinar los espesores y las propiedades del depósito de sedimentos aluviales de terraza (Qal2) y de los rellenos artificiales (Qra1, Qra2).

El sondeo No. 1 fue realizado en la parte sureste de la ciudad con una profundidad de 84.5 m (coordenadas UTM 0351579m E, 2142400m N). Para la determinación de las propiedades geotécnicas y geomecánicas se tomaron 54 muestras de material y se realizaron 54 ensayos de penetración estándar (SPT), distribuidos uniformemente cada 1.5 m.

El sondeo No. 2 se realizó en la parte noreste de la ciudad, con una profundidad de 87.0m (coordenadas UTM 0351414m E, 2143474m N), a una distancia de 1,087 m y una orientación N 8.73° O, respecto al sondeo No. 1. Se tomaron 55 muestras para las pruebas de laboratorio y se realizaron 50 ensayos SPT.

El sondeo No. 3 se realizó en la parte noroeste de la ciudad, con una profundidad de 88.5m (coordenadas UTM 0350713m E, 2143469m N), a una distancia de 1,376 m y una orientación N 39.01° O, con relación al sondeo No. 1. Se tomaron 50 muestras para las pruebas de laboratorio y se realizaron 50 ensayos SPT. Este sondeo se ubica en área cubierta por el Relleno Artificial 2 (Qra2).

El sondeo No. 4 se realizó en la parte oeste de la ciudad, con una profundidad de 15 m (coordenadas UTM 0350698 mE, 2142898 m N), a una distancia de 1,064 m y una orientación N 60.5° O, respecto al sondeo No. 1.



**LEYENDA**

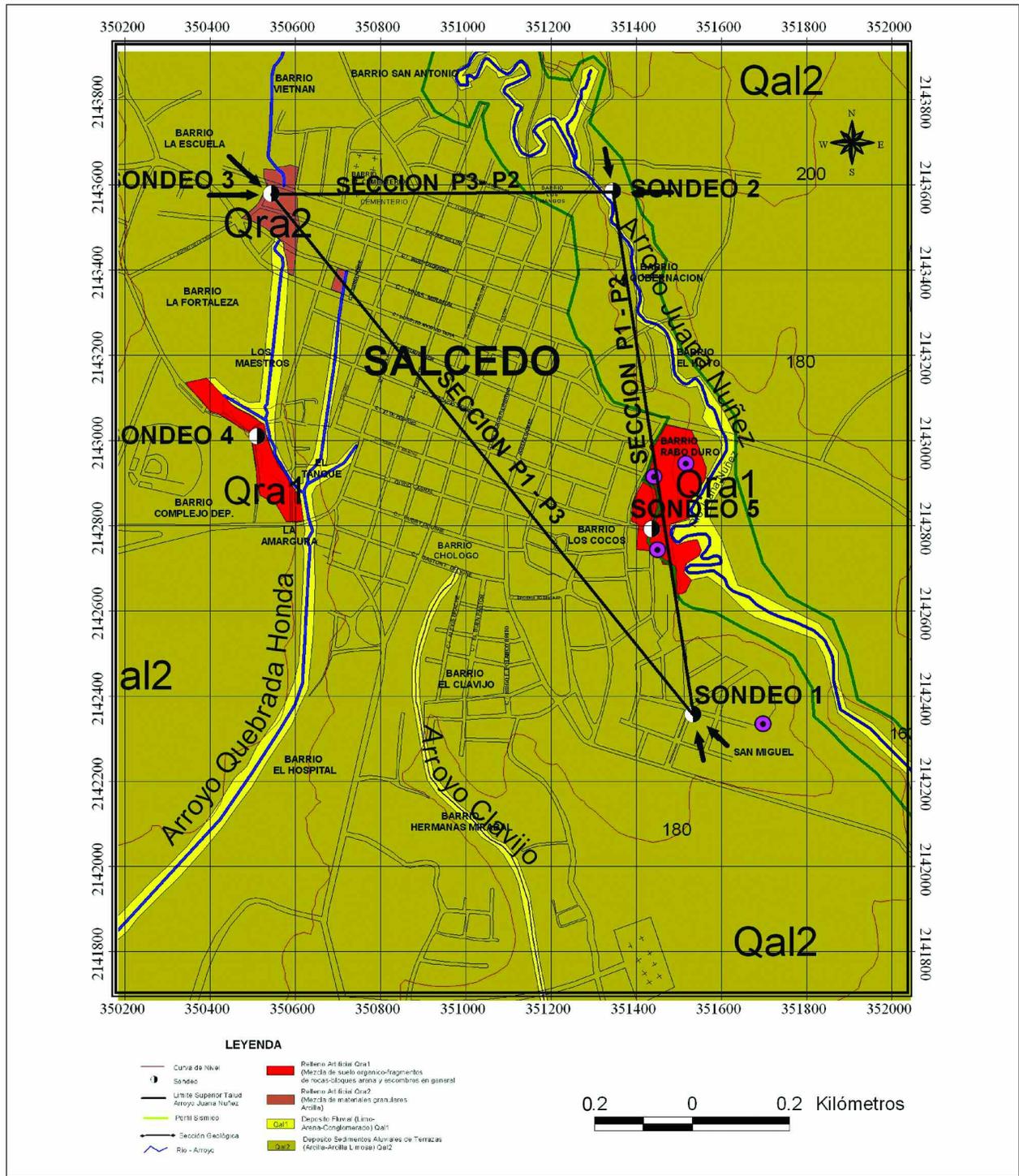
- |                      |                               |  |  |
|----------------------|-------------------------------|--|--|
| Rastro Activo ZFS    | Camino No Pavimentado         | Qal1 Depósito Fluvial (Limo-Arena-Conglomerado) Qal1             | Qal3 Depósito Aluvional de Terraza (Arcilla-Limo-Arena-Conglomerado suelto) Qal3 |
| Carretera Principal  | Río                           | Qra Relleno Artificial Qra                                       | Pcm Caliza Arcifal-Marga (Plioceno)  |
| Carretera Secundaria | Rumbo y Buzamiento de Estrato | Qal2 Depósito Aluvional de Terraza (Arcilla-Arcilla Limosa) Qal2 | Mal Secuencia Clastica (Arenisca-Lutita-Conglomerado Compacto/Caliza) (Mioceno)  |
| Carretera Terciana   | Ubicación de Deslizamiento    |  |  |
| Calle Urbana         |                               |  |  |



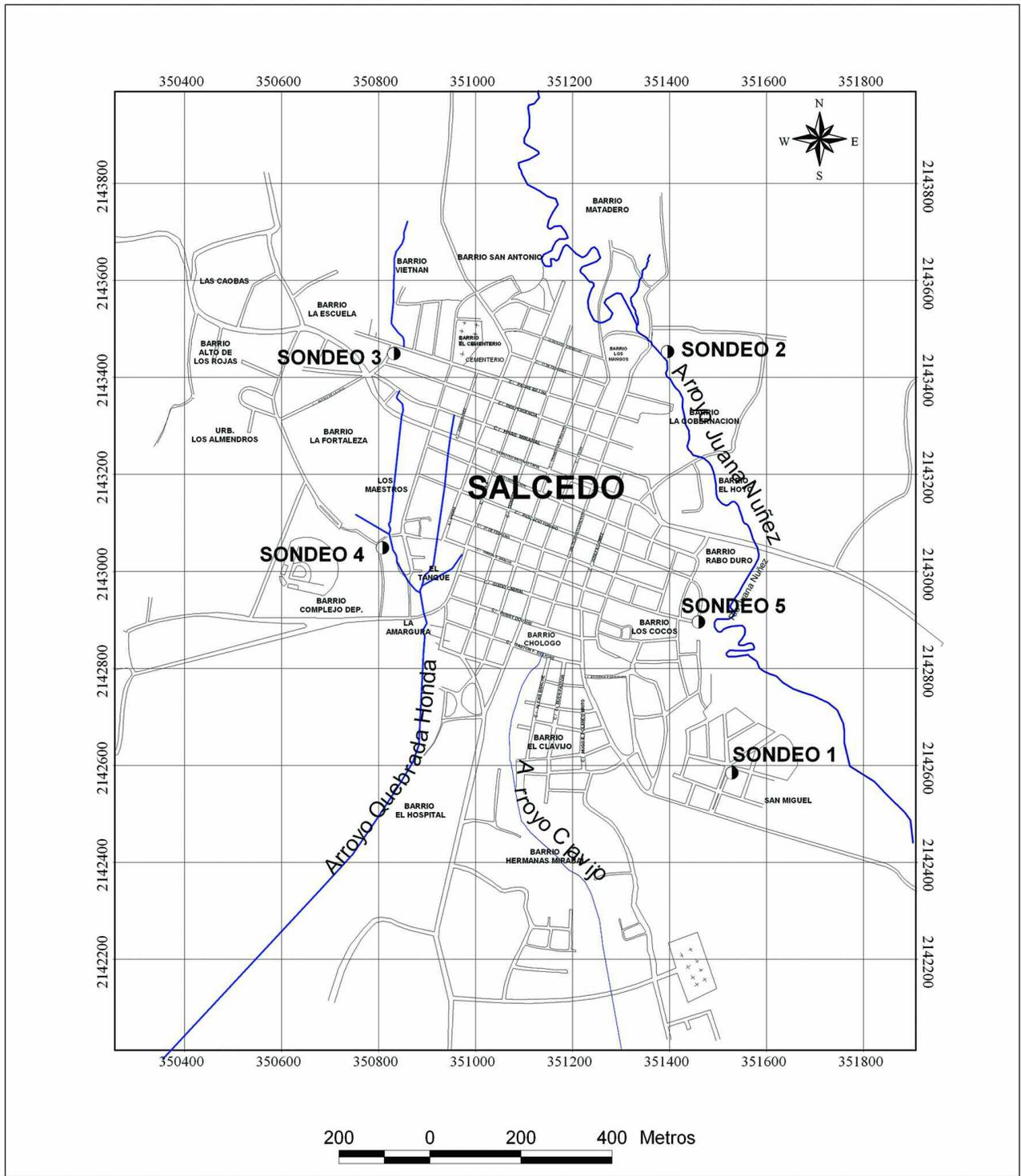
**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo**

**Mapa Geológico del Area Urbana y Peri-Urbana de Salcedo**

Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-5	Fecha: Agosto, 2004
-------------------------------------	--	---------------------------------------	---------------------	--------------	------------------------



<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa Geológico del Area Urbana de Salcedo</b>						
Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-6	Fecha: Agosto, 2004	



						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Ciudad de Salcedo</b>						
Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-7	Fecha: Agosto, 2004	

Se tomaron muestras corridas con el objetivo de identificar los cambios estratigráficos con mayor precisión. y se realizaron ensayos SPT. Este sondeo se ubica en área cubierta por el Relleno Artificial 1 (Ora1).

El Sondeo No. 5 se realizó en el Relleno Artificial 1 (Ora1) que se encuentra al este de la ciudad, la perforación alcanzó una profundidad de 8 metros.

La presencia del nivel freático fue detectada desde 2.7 m en la perforación No. 1, 5.90 m en la perforación No. 2, y 8.00 m en la perforación No. 3.

Tres sondeos adicionales de poca profundidad fueron realizados con la finalidad de delimitar el área de relleno en la parte noroeste de la ciudad.

En la Tabla No.1.1 y Mapa 1.7 - se resume la localización y profundidad de los diferentes sondeos realizados.

Tabla No. 1.1

Localización y Profundidad de Sondeos			
Sondeo			Profundidad
No.	Área Urbana	Coordenada (UTM)	Metros
S-1	sureste	0351579 m E 2142400 m N	84.5
S-2	noreste	0351414 m E 2143474 m N	87.0
S-3	noroeste	0350713 m E 2143469 m N	88.5
S-4	oeste	0350698 m E 2142898 m N	15.0
S-5	este	0351494 m E 2142781 m N	8.0

### 1.3.2 Propiedades Geomecánicas Estáticas de las Unidades Geológicas.

Las pruebas de laboratorio realizadas sobre las muestras recolectadas permitieron medir las propiedades geomecánicas estáticas de las unidades geológicas del área de estudio.

Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio fueron complementados por las informaciones conseguidas a través de ensayos en sitio SPT realizados de acuerdo a las normas ASTM D-1586 y el uso del equipo de radiación rayos gamma y absorción fotoeléctrica.

Los ensayos a los cuales fueron sometidas las muestras son los siguientes:

Ensayo

Norma Ensayo

W (densidad húmeda)

$\gamma$  (densidad seca)

w (% de humedad)	ASTM 2216-71
qu (compresión sin confinar)	ASTM 2166-66
$\sigma$ (esfuerzo cortante)	ASTM 2166-66
% límite líquido	ASTM 423-66
% índice de plasticidad	ASTM 424-54
% más fino No. 200	ASTM 421

Con los resultados obtenidos se procedió a la clasificación de las muestras con el método del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En las Figuras No 1.1, 1.2, 1.3, se observan los perfiles que señalan la descripción de las unidades encontradas, espesor de los estratos, peso unitario húmedo (promedio), velocidades de onda de corte estimados y clasificación de suelos (SUCS)

Los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio están contenidos en los volúmenes preparados por Geo-Civil, S.A., y Supervisión de Proyectos, S.A. (anexos solamente en CD).

### 1.3.3 Secciones Geológicas

En base a la distribución de las unidades geológicas y los espesores de las mismas determinados por los sondeos realizados, se prepararon tres secciones geológicas transversales, distribuidas a lo largo del área urbana (ver Figura 1-4 y Mapa 1-6).

La primera fue realizada desde el sondeo No 1 al sondeo No 2. (sección P1-P2) siguiendo una orientación de N 8.73° O y tiene una longitud de 1,087 m.

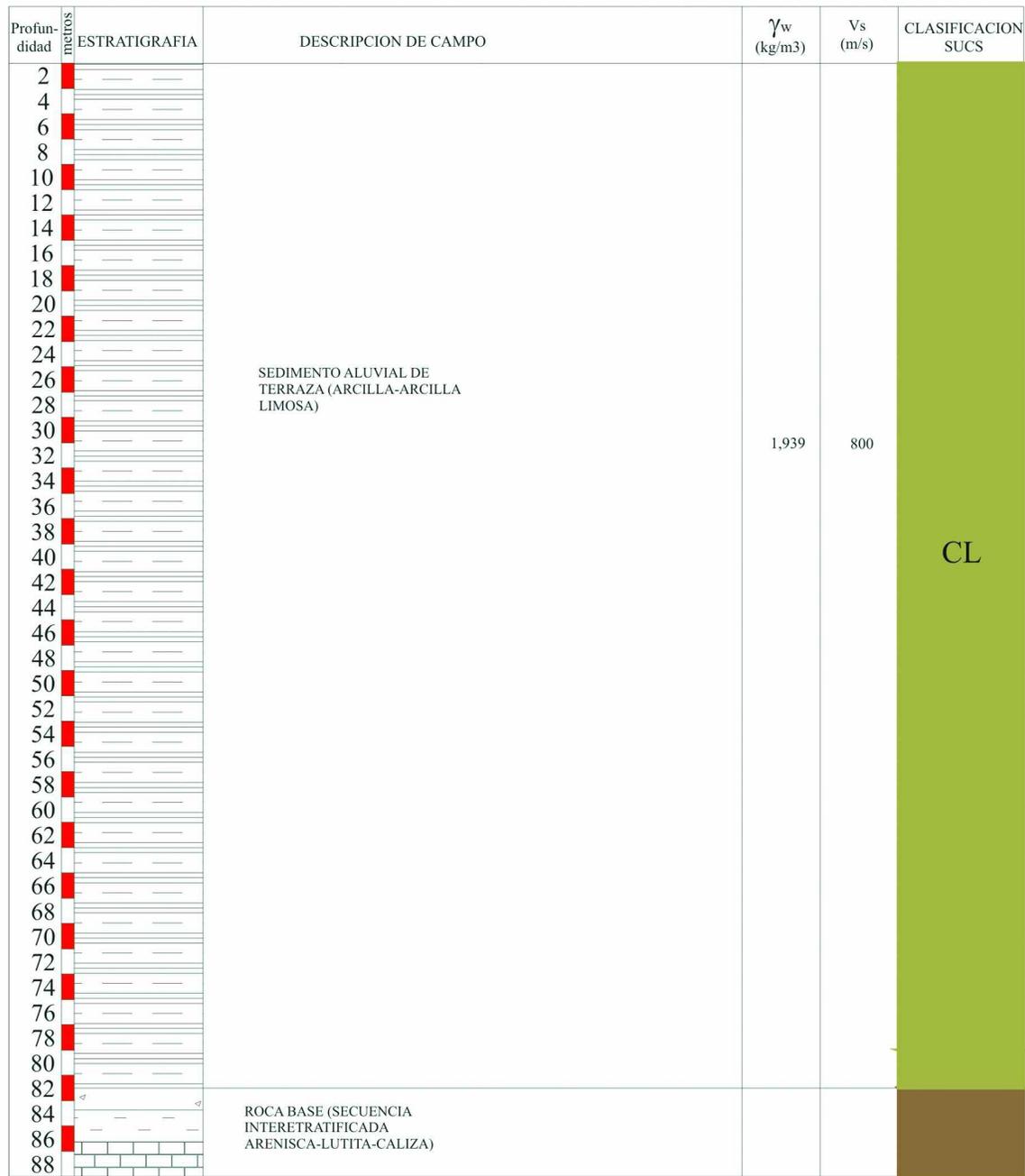
La segunda fue realizada desde el sondeo No 1, al sondeo No 3. (sección P1 – P3) siguiendo una orientación N 39.01° O, y tiene una longitud de 1,376 m.

La tercera fue realizada desde el sondeo No 2, al sondeo No 3. (sección P2 – P3) siguiendo una orientación N 89.59° E, y tiene una longitud de 701 m.

### 1.3.4 Perfiles Sísmicos en las Investigaciones del Subsuelo

En base a las informaciones geológicas y la distribución de las diferentes unidades localizadas sobre la roca base en la área urbana de Salcedo, se realizaron 100 metros de perfiles de sísmica a refracción, con la finalidad de determinar la velocidad de propagación de la onda longitudinal P en las unidades geológicas de la cobertura sedimentaria.

Los primeros 50 metros (Línea de Perfil No 1) se realizaron en el área sureste de la ciudad, a partir del sondeo No 1, siguiendo la orientación de la Sección P1 – P3, con el propósito de lograr informaciones sobre el depósito de sedimentos aluviales de terraza (Qal2). Los restantes 50 metros (Línea de Perfil No 2) se realizaron sobre la unidad geológica artificial (Relleno Artificial Qra2) localizada en la parte noroeste de la ciudad, siguiendo una orientación NO - SE. (ver Figuras 1-5 y 1-6).



**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo**

**Perfil Geotécnico del Sondeo 1**

Realizado por:  
Ing. Orlando Franco, Ing. Luis R. Peña

Dibujado por:  
Ing. Edy R. Hernández

Coordinado por:  
Ing. Marco Minelli

Escala:  
Indicada

Figura:  
1-1

Fecha:  
Agosto, 2004

Profundidad metros	ESTRATIGRAFIA	DESCRIPCION DE CAMPO	$\gamma_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_s$ (m/s)	CLASIFICACION SUCS
2					
4					
6					
8					
10					
12					
14					
16					
18					
20					
22					
24					
26					
28					
30					
32			2,080	800	
34					
36					
38					
40					CL
42					
44					
46					
48					
50					
52					
54					
56					
58					
60					
62					
64					
66					
68					
70					
72					
74					
76					
78					
80					
82					
84					
86					
88					



**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo**

**Perfil Geotécnico del Sondeo 2**

Realizado por:  
Ing. Orlando Franco, Ing. Luis R. Peña

Dibujado por:  
Ing. Edy R. Hernández

Coordinado por:  
Ing. Marco Minelli

Escala:  
Indicada

Figura:  
1-2

Fecha:  
Agosto, 2004

Profundidad metros	ESTRATIGRAFIA	DESCRIPCION DE CAMPO	$\gamma_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	CLASIFICACION SUCS
2					
4					
6					
8					
10					
12					
14					
16					
18					
20					
22					
24					
26		SEDIMENTO ALUVIAL DE TERRAZA (ARCILLA-ARCILLA LIMOSA)	2,080	800	CL
28					
30					
32					
34					
36					
38					
40					
42					
44					
46					
48					
50					
52					
54					
56					
58					
60					
62					
64					
66					
68					
70					
72					
74					
76					
78					
80					
82		ROCA BASE (SECUENCIA INTERSTRATIFICADA ARENISCA-LUTITA-CALIZA)			
84					
86					
88					



**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo**

**Perfil Geotécnico del Sondeo 3**

Realizado por:  
Ing. Orlando Franco, Ing. Luis R. Peña

Dibujado por:  
Ing. Edy R. Hernández

Coordinado por:  
Ing. Marco Minelli

Escala:  
Indicada

Figura:  
1-3

Fecha:  
Agosto, 2004



Los resultados muestran velocidad media para el relleno artificial (Qra2) de 467 m/s, y para los sedimentos aluvionales de terraza (Qal2) de 2,043 m/s.

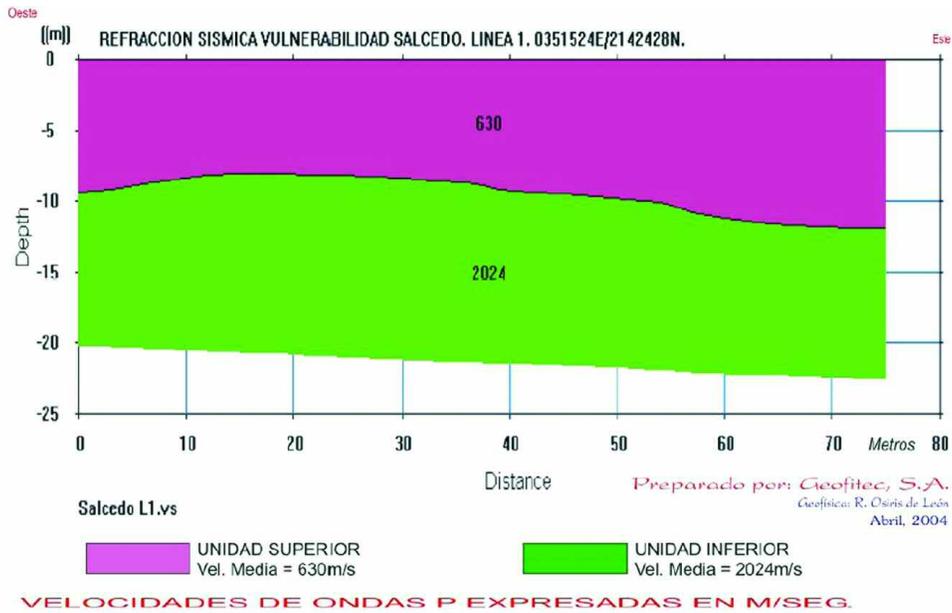


Figura 1-5

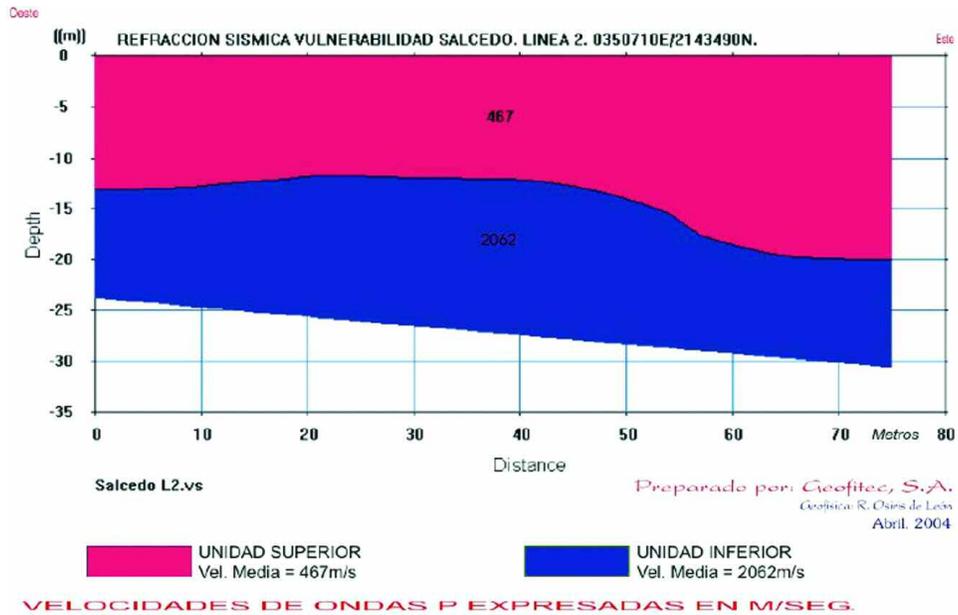


Figura 1.6

### **1.3.5 Análisis del Comportamiento Dinámico de las Unidades Geológicas**

La obtención de la respuesta dinámica de cada una de las unidades geológicas que definen las características de la ciudad de Salcedo, se realiza a través de una metodología de cálculo que se elige en función de las características topográficas y geológicas de la localidad y zonas adyacentes; una vez elegido el método, se determinan los parámetros dinámicos de los suelos que definen las diferentes unidades geológicas, se eligen los eventos sísmicos que actuaran como sollicitaciones en el basamento rocoso, en función de los resultados obtenidos en el estudio de Sismicidad de Base realizado para tales fines (Estudio de Amenaza Sísmica de la República Dominicana, 2004).

#### 1.3.5.1 Metodología utilizada para el Análisis.

Según lo establecido en el párrafo 1.2.1, la topografía de la ciudad de Salcedo tiene una ligera pendiente de 1%, su distancia en dirección norte a las estribaciones de la Cordillera Septentrional es de 3.5 km (donde aflora el basamento rocoso), en la dirección sur la Cordillera Central se localiza a decenas de kilómetros, en las direcciones este-oeste no hay cambios importantes en la topografía. Queda también establecido de acuerdo a las secciones geológicas realizadas en el área de estudio (ver Figura 1-4) que los estratos del subsuelo son sensiblemente horizontales; se considera por lo tanto que en el cálculo de la respuesta dinámica, sin perder rigurosidad, los estratos pueden ser considerados horizontales y de longitud infinita.

Estas condiciones permiten usar para el cálculo de la respuesta dinámica de los suelos el Programa SHAKE-91, desarrollado por Schnabel y Lismer entre el 1970-1971 y publicado en el 1972, el cual supone que los estratos que componen el suelo son una serie de elementos horizontales y de extensión infinita en su plano; la respuesta a la excitación de un evento sísmico en la base, produce solamente deformaciones por corte y por tanto el depósito de suelo puede ser considerado como una viga de corte. Este programa ha sido modificado a través del tiempo y ampliamente usado en el cálculo de la respuesta dinámica de depósitos de suelo.

El cálculo de la respuesta dinámica, se realiza obteniendo la solución exacta al problema de propagación vertical de ondas de corte a través de ese medio semi-infinito de estratos de suelo en el dominio de la frecuencia, considerando comportamiento lineal de los materiales, no obstante por un procedimiento iterativo se incorpora el comportamiento no lineal de los materiales, a los diferentes niveles de deformación a lo cual lo somete la sollicitación sísmica.

Las propiedades de los suelos que definen su comportamiento dinámico son las siguientes: Modulo de Corte (G), Deformación de Corte ( $\gamma$ ), Velocidad de Corte ( $V_s$ ), Relación de Amortiguamiento (D), Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).

#### 1.3.5.2 Elección de Columnas de suelo y sus propiedades dinámicas

De acuerdo a los resultados de los sondeos mecánicos y los perfiles sísmicos realizados en la ciudad de Salcedo, se puede establecer dos depósitos de suelos (columnas) con características dife-

renciadas, que permiten definir el suelo de la ciudad, en base a estas dos columnas es posible estudiar su respuesta dinámica.

Las columnas elegidas como representativas del suelo de Salcedo son las siguientes:

Columna #1

Estrato #1 H=10 m de Relleno Artificial 2 (Qra2)

Estrato #2 H=68 m de Depósito de Sedimentos Aluviales de Terraza (Qal2)

Columna #2

Estrato #1 H=78 m de Depósito de Sedimentos Aluviales de Terraza (Qal2)

Las propiedades dinámicas de los diferentes tipos de suelos que componen las columnas de suelo seleccionadas, fueron determinadas a partir de parámetros estáticos, obtenidos de los resultados de los ensayos de laboratorio a las muestras extraídas en los sondeos y los valores de velocidades de las ondas P en los perfiles de refracción sísmica. Los valores de los parámetros dinámicos fueron calculados de acuerdo con Sun JI y Seed, H.B. “Report No. EERC-8815, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1988”, para los Depósito de Sedimentos Aluviales de Terraza y con el Servicio Sísmico Nacional Italiano “Personal Communication, 1997”, para el Relleno Artificial.

Las Propiedades dinámicas para los rellenos artificiales y de los sedimentos aluviales de terraza del área urbana de Salcedo, se resumen en la Tabla No.1.2

### 1.3.5.3 Elección de la Solicitación Sísmica

Con el propósito de conocer los valores de aceleración de las ondas sísmicas en el basamento rocoso ubicado bajo la ciudad de Salcedo, en el marco del proyecto *ECHO/TPS/219/2003/02006 “El conocimiento del riesgo como punto de partida para la prevención de desastres en la Región Norte-Oriental de la República Dominicana”* se realizó el “Estudio de Amenaza Sísmica de la República Dominicana”.

En este estudio se tomaron en cuenta los eventos sísmicos históricos (1500 a 1900), así como los registrados instrumentalmente a partir del 1900 hasta el 2002 en la zona que considera de influencia, las características tectónicas del área del Caribe, las características geológicas y estructuras tectónica del interior de la Isla, donde la Zona de la Falla Septentrional tiene especial influencia sobre la ciudad de Salcedo.

Como resultados de este estudio se presentan las curvas de isoaceleración en los Mapas 1-8, 1-9 y 1-10. Estas fueron calculadas para diferentes probabilidades de excedencia, las cuales son: de 10% en 5 años, correspondientes a un periodo de retorno aproximado de 50 años, 10% en 50 años correspondiente a un periodo de retorno de 475 años y 2% en 50 años correspondiente a un periodo de retorno de aproximadamente 2,500 años.

<b>Relleno artificial</b>					
$\gamma\%$	0.0001	0.001	0.01	0.1	1
G/G0	0.98	0.82	0.43	0.14	0.04
D %	1	4	14	23	27

<b>Deposito de sedimento aluviales de terraza</b>															
$\gamma\%$	0.0001	0.0002	0.0005	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5
G/G0	1	1	1	1	0.978	0.924	0.871	0.775	0.585	0.406	0.266	0.165	0.076	0.045	0.02
D%	2.5	2.5	2.5	2.5	2.9	3.6	4.5	5.7	7.4	9	11.5	16.1	20.3	24	27.1

	<b>Vs</b>	<b>D0</b>	<b>v</b>
<b>Relleno artificial</b>	200	0.01	0.4
<b>Deposito de sedimento aluviales de terraza</b>	800	0.025	0.4

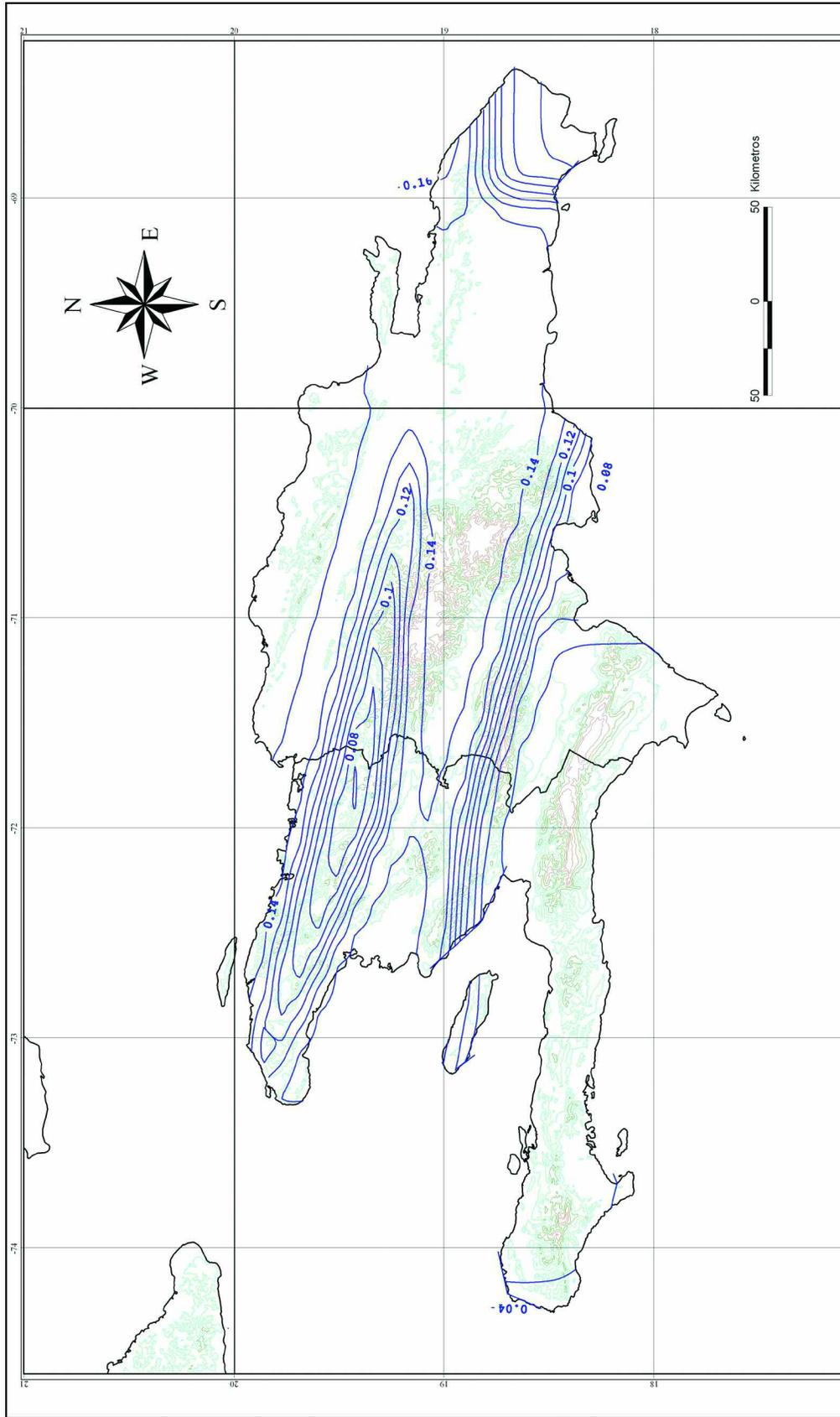
G0 = initial shear modulus
G = Shear modulus
$\gamma$ = Shear strain
Vs = shear waves velocity
D0 = initial damping ratio
D = damping ratio
$\nu$ = Poisson coefficient



### Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo

#### Propiedades Dinámicas de los Sedimentos Aluviales y Rellenos Artificiales del Area Urbana de Salcedo

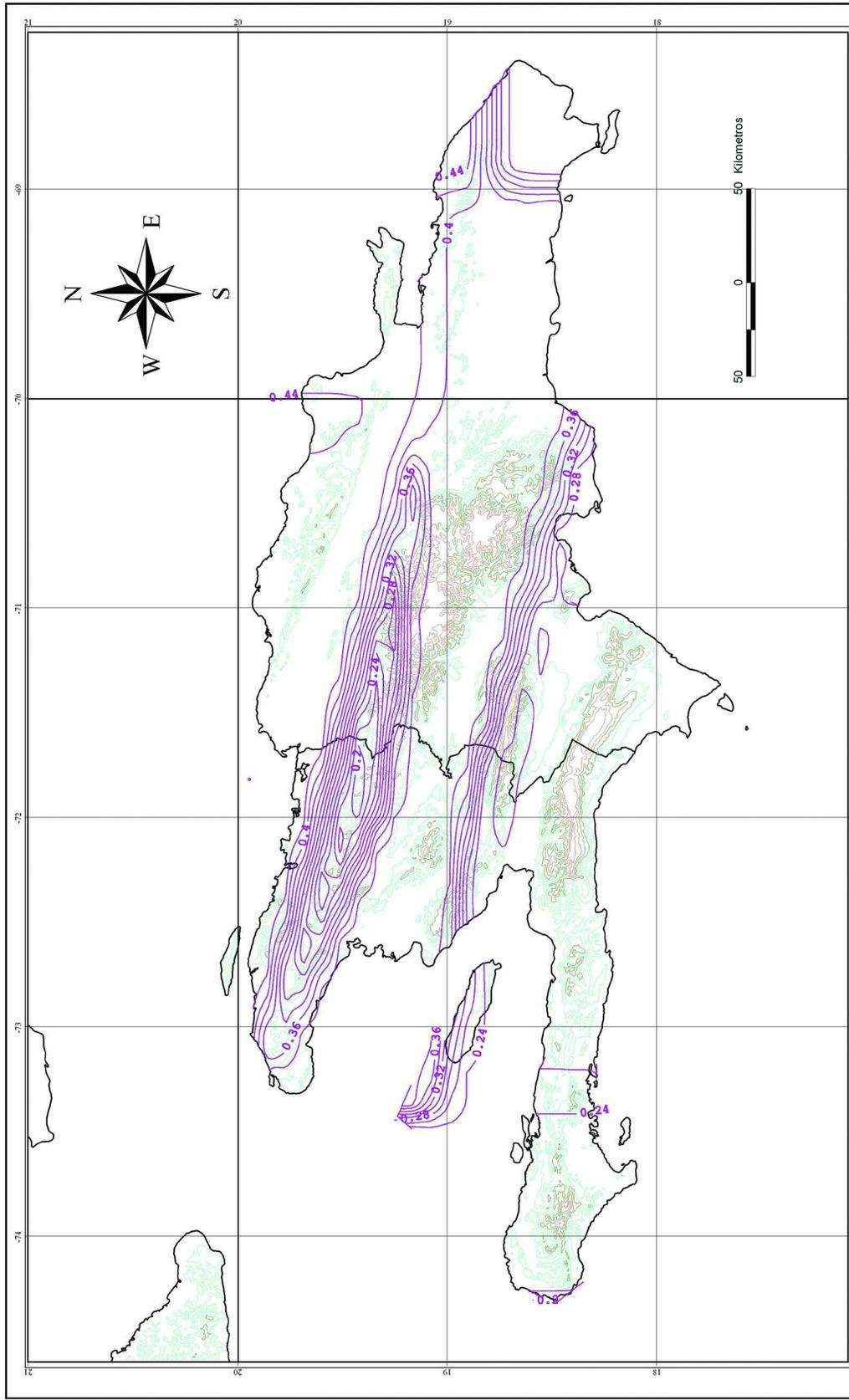
Realizado por: Ing. Orlando Franco, Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Tabla: 1-2	Fecha: Agosto, 2004
--	--	---------------------------------------	---------------------	---------------	------------------------



**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo de la Ciudad de Salcedo**

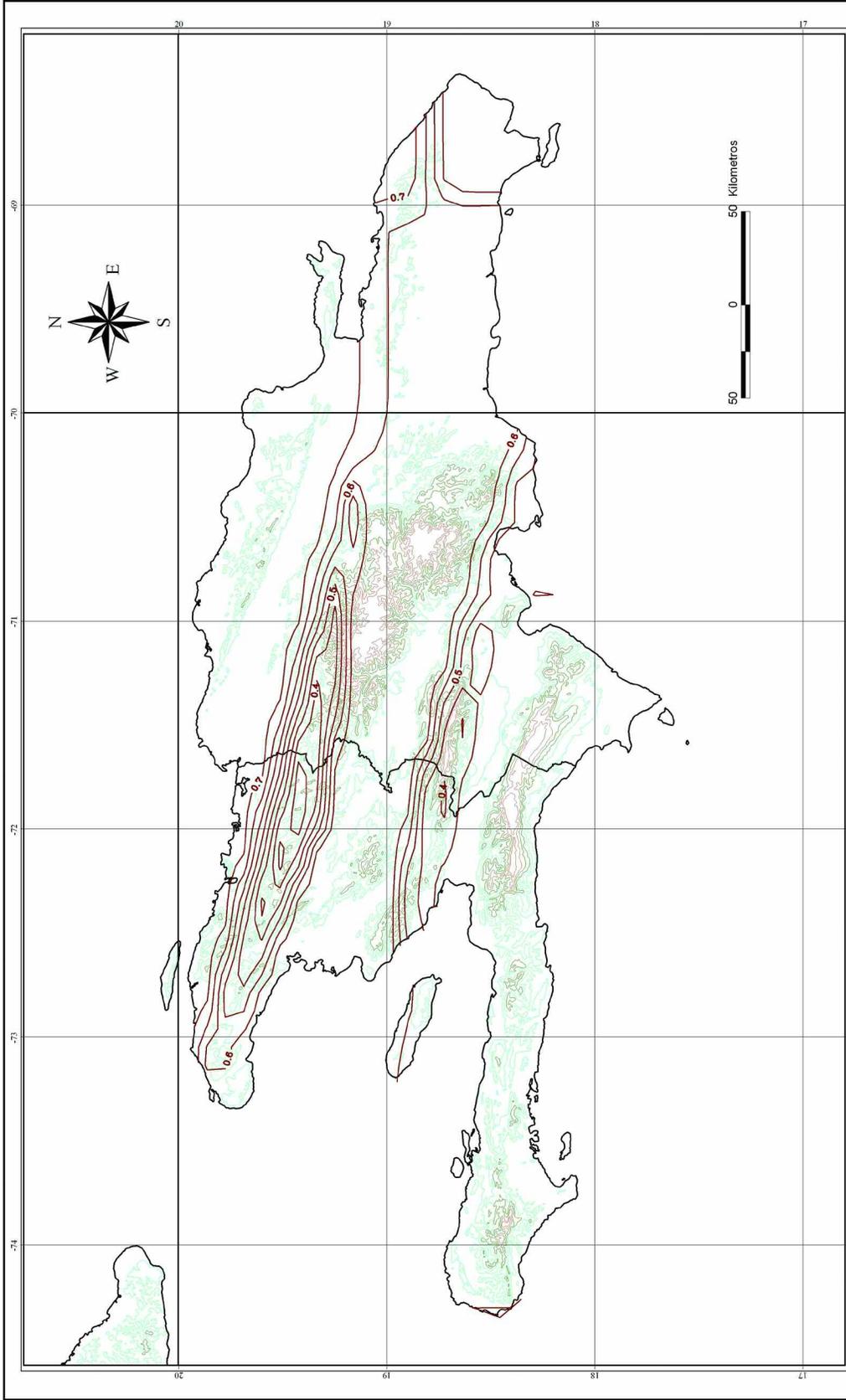
**Mapa de la Hispaniola, Curvas de Isoaceleración 10% de Excedencia en 5 Años.**

Realizado por: Ing. Hector O'Reilly.	Dibujado por: Arq. Kenia M. de Jesus M.	Colaboracion: Ing. Rafael Taveras M.	Escala: Indicada	Mapa: 1-8	Fecha: Agosto, 2004
---	--	---	---------------------	--------------	------------------------



**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo de la Ciudad de Salcedo**  
**Mapa de la Hispaniola, Curvas de Isoaceleración 10% en 50 Años.**

Realizado por:	Ing. Hector O'Reilly.		Colaboración:	Ing. Rafael Taveras M.	Fecha:	Agosto, 2004
Dibujado por:	Arg. Kenia M. de Jesus M.		Escala:	Indicada	Mapa:	1-9



Oficina de Ayuda Humanitaria  
European Commission  
ECHO  
European Union



**Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo de la Ciudad de Salcedo**  
**Mapa de la Hispaniola, Curvas de Isoaceleración 2% de Excedencia en 50 Años.**

Realizado por: Ing. Hector O'Reilly. Colaboración: Ing. Rafael Taveras M. Escala: Indicada Mapa: 1-10 Fecha: Agosto, 2004

Los valores de aceleración en el basamento rocoso ubicado bajo ciudad de Salcedo, derivados del estudio para los diferentes periodos y niveles de probabilidad de excedencia, son los siguientes:

- 10% en 5 años  $Ac=0.1586 \text{ g} = 155.587 \text{ cm/s}^2$
- 10% en 50 años  $Ac=0.4543 \text{ g} = 445.678 \text{ cm/s}^2$
- 2% en 50 años  $Ac=0.7452 \text{ g} = 731.04 \text{ cm/s}^2$

A partir de estos resultados fue necesario establecer los eventos sísmicos que pueden usarse como excitación, cumpliendo con los niveles de aceleración previamente establecidos, además de tener un contenido de frecuencia y duración acorde con las características tectónicas existentes, responsables de haber producido los eventos registrados y los futuros que puedan afectar la ciudad, los cuales fueron implícitamente definidos en el “Estudio de Amenaza Sísmica de la República Dominicana”.

Para casi todos los niveles de aceleración, se eligieron dos eventos sísmicos reales caracterizados por sus acelerogramas obtenidos de los bancos de datos internacionales, ya que el país no cuenta con ningún registro acelerográfico. Estos eventos aún no tienen exactamente la aceleración establecida se escalaron para igualarlas; el contenido de frecuencia puede no coincidir exactamente pero siempre se eligió de manera que fuera lo suficiente cercano para el análisis realizado. La otra posibilidad era generar eventos con números aleatorios que cumplieran con las aceleraciones, duración y contenido de frecuencia, sin embargo se optó por usar los eventos reales aunque se tuvo que hacer un pequeño ajuste. Los dos sismos elegidos para cada nivel de aceleración, uno cercano y otro lejano de magnitud mayor, permiten hipotetizar dos sismos con la misma aceleración pero con duración diferente.

Los sismos elegidos figuran en la Tabla No. 1.3, también a modo de ejemplo presentamos en Figuras 1.7 y 1.8 dos acelerogramas de sismos elegidos.

Tabla 1.3

Características de los Sismos elegidos como sollicitación, para obtener la respuesta dinámica de las diferentes columnas de suelo de Salcedo						
Evento Sísmico	Código	Aceleración $\text{cm/s}^2$	Magnitud	Distancia de registro (km)	Profundidad (km)	Fecha
New Guinea	PAP02	155	5.3	10	4	07/20/96
Northridge	USACA74-62	420.2	6.8	25	18	01/17/94
Northridge	USACA74-17	444.1	6.8	2	18	01/17/94
San Salvador	SAL01-5	680.8	7.8	58	33	03/03/85
Imperial Valley	USACA50-408	599.66	6.6	27		10/15/79

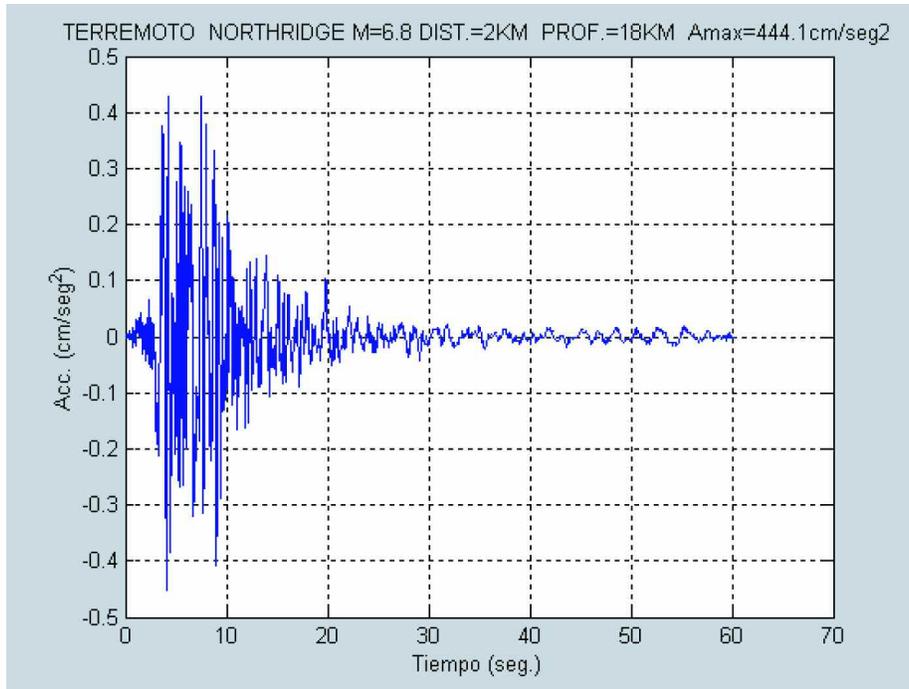


Fig. 1.7 Acelerograma 1

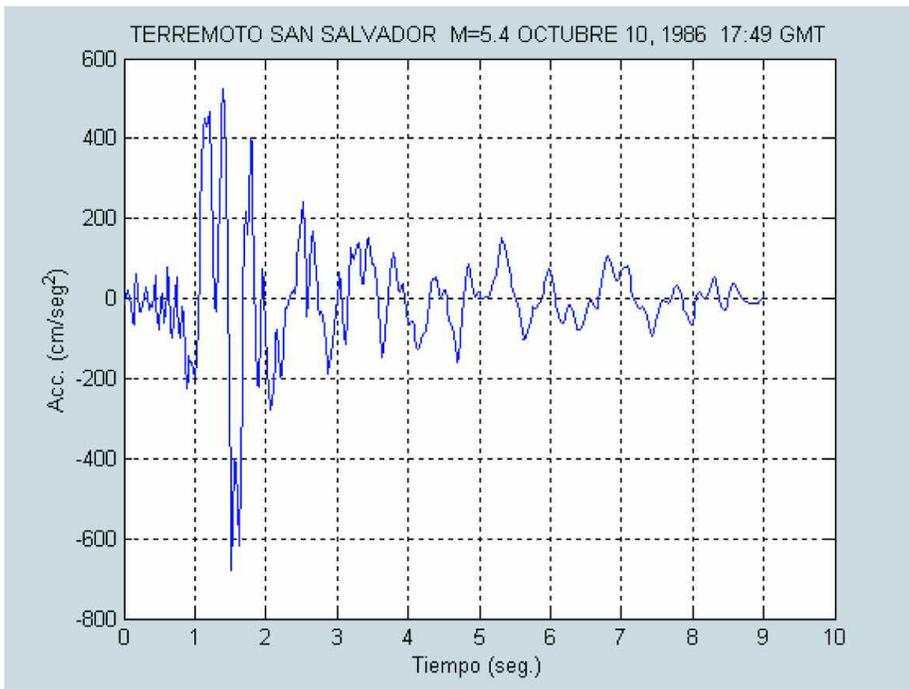


Fig. 1.8 Acelerograma 2

### 1.3.5.4 Cálculos y Resultados Obtenidos

Utilizando el Programa Shake con los datos de las columnas de suelo y los eventos sísmicos seleccionados, se calcularon las respuestas dinámicas del suelo de Salcedo. Como resultado del Programa, se obtuvieron los espectros del acelerograma en la roca, espectros en la superficie, factores de amplificación del suelo para diferentes periodos y el periodo fundamental de la columna de suelo. Los resultados de los Espectros de Respuesta elástica para un 5% de amortiguamiento de los acelerogramas de los sismos elegidos en el basamento rocoso y en la superficie después del filtraje por las diferentes columnas de suelo, aparecen en las Figuras 1.9, 1.10, 1.11 y 1.12. Los valores de los Factores de Amplificación y Aceleraciones en la superficie para diferentes periodos están resumidos en las Tablas No. 1.4, 1.5 y 1.6.

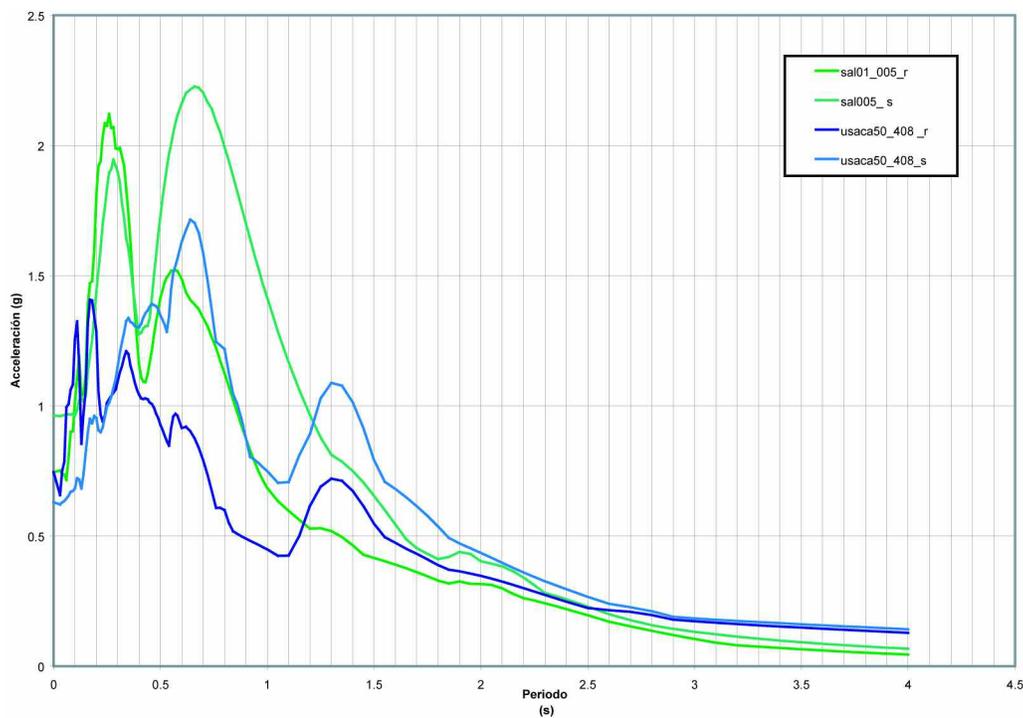


Fig. 1.9 Espectros Relleno Artificial + Sedimentos Aluviales de Terraza  $a = 0.754g$

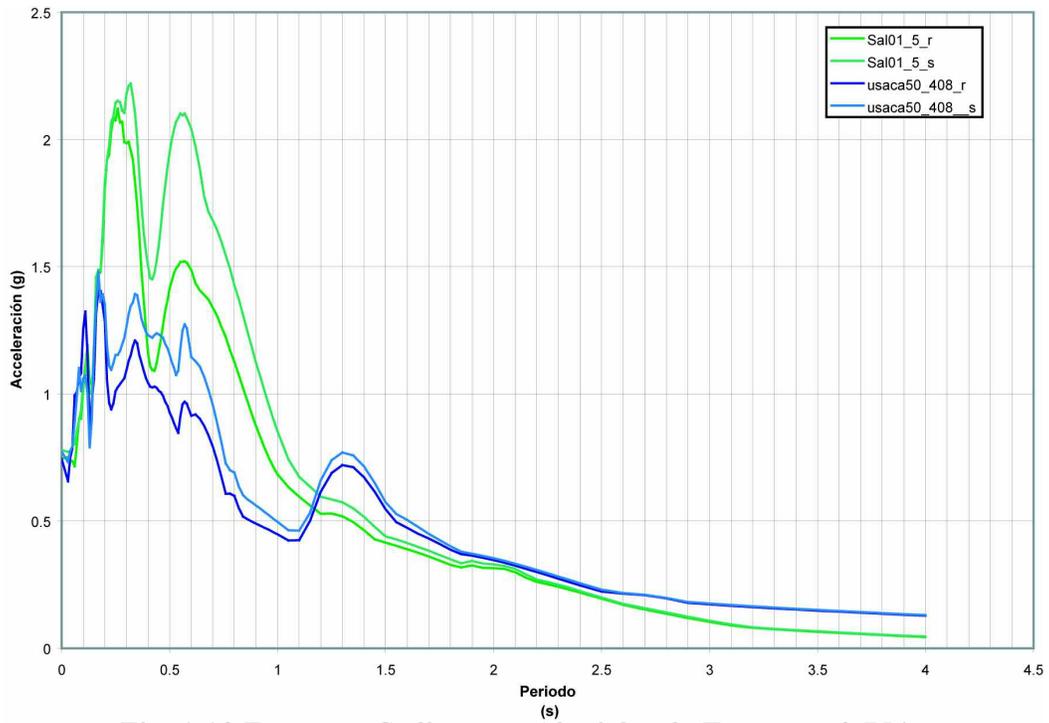


Fig. 1.10 Espectros Sedimentos Aluviales de Terraza a=0.754 g

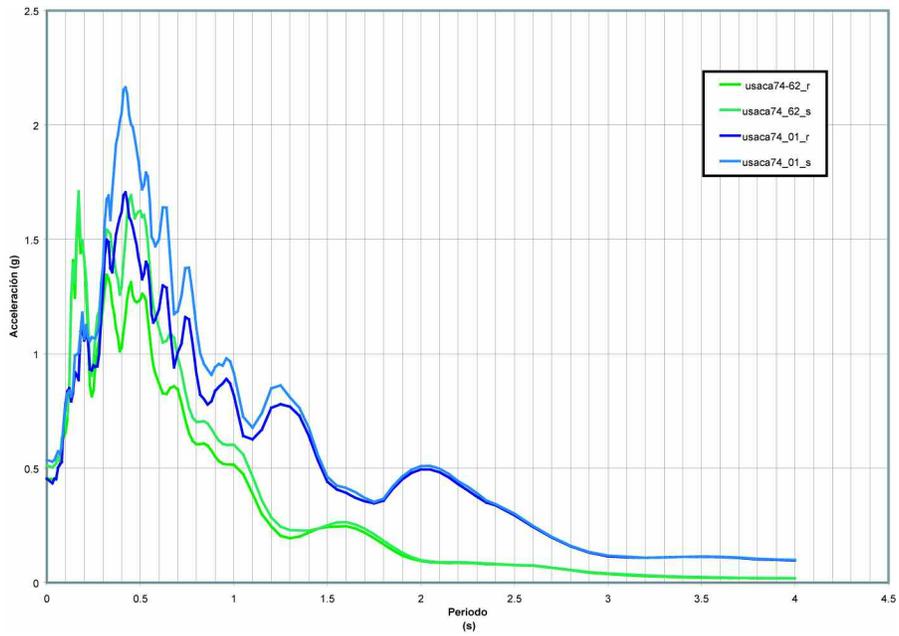


Fig.1.11 Espectros Sedimentos Aluviales de Terraza a=0.454 g

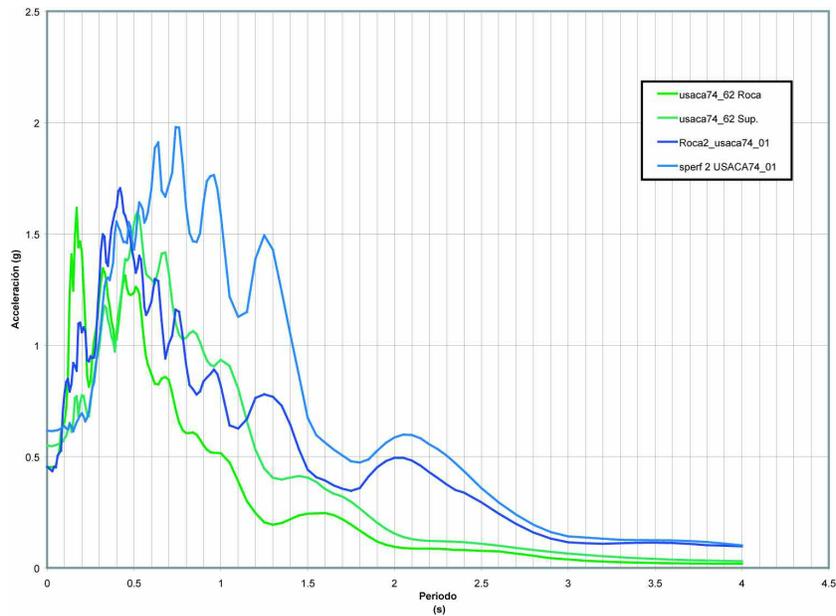


Fig. 1.12 Espectros Relleno Artificial + Sedimentos Aluviales de Terraza  $a=0.454$  g

En las distintas representaciones se puede observar las diferencias para dos Espectros de Respuesta para el mismo sismo en el basamento rocoso y la superficie de la columna de suelo que produce un filtrado de las ondas de alta frecuencia, lo que hace que el valor máximo de aceleración se desplace a periodos mas altos, también se observa que para un periodo cero, la aceleración del terreno es mayor que la del sismo base en la roca, expresando de esta forma el nivel de amplificación que se ha generado.

Por otro lado observa que en las dos columnas de suelo y para la generalidad de los eventos sísmicos se producen amplificaciones, sin embargo para una aceleración de 0.4543 g en la columna de suelo con relleno artificial + sedimentos aluviales de terraza, se produce una deamplificación de la aceleración para periodos de 0.1-0.5 segundo, porque a ese nivel de aceleración y periodos muy bajos, el relleno en la parte superior de la columna de suelo actúa como un amortiguador.

Tabla No. 1.4

Aceleración con Probabilidad de excedencia de 10% en 5 años (Periodo de Retorno aproximado de 50 años)				
Unidad Geológica	Periodo	Aceleración máxima de roca base	Factor de Amplificación	Aceleración Superficial
Sedimentos Aluviales de Terraza + Relleno Artificial	0.1 - 2.5 s	0.1586 g	1.4937	0.24 g
	0.1 - 0.5 s		1.4755	0.23 g
Sedimentos Aluviales de Terraza	0.1 - 2.5 s		1.1240	0.18 g
	0.1 - 0.5 s		1.1390	0.18 g

Tabla No. 1.5

Aceleración con Probabilidad de excedencia de 10% en 50 años (Periodo de Retorno aproximado de 500 años)				
Unidad Geológica	Periodo	Aceleración máxima de roca base	Factor de Amplificación	Aceleración Superficial
Sedimentos Aluviales de Terraza + Relleno Artificial	0.1 - 2.5 s	0.4543 g	1.5338	0.70 g
	0.1 - 0.5 s		0.9060	0.41 g
Sedimentos Aluviales de Terraza	0.1 - 2.5 s		1.1476	0.52 g
	0.1 - 0.5 s		1.2082	0.55 g

Tabla No. 1.6

Aceleración con Probabilidad de excedencia de 2% en 50 años (Periodo de Retorno aproximado de 2,500 años)				
Suelo	Periodo	Aceleración máxima de roca base	Factor de Amplificación	Aceleración Superficial
Sedimentos Aluviales de Terraza + Relleno Artificial	0.1 - 0.5 s	0.7452 g	1.4651	1.09 g
	0.1 - 0.5 s		1.1182	0.83 g
Sedimentos Aluviales de Terraza	0.1 - 2.5 s		1.1490	0.86 g
	0.1 - 0.5 s		1.1650	0.87 g

#### 1.4 Mapas de Microzonificación Sísmica

En base a los resultados del análisis del comportamiento dinámico de las diferentes unidades geológicas del subsuelo, se han preparado tres mapas con las aceleraciones superficiales producidas por distintos eventos y amplificadas por los factores resultantes de la amplificación generados por la respuesta dinámica de cada unidad geológica (ver Mapas No 1.11, 1.12 y 1.13).

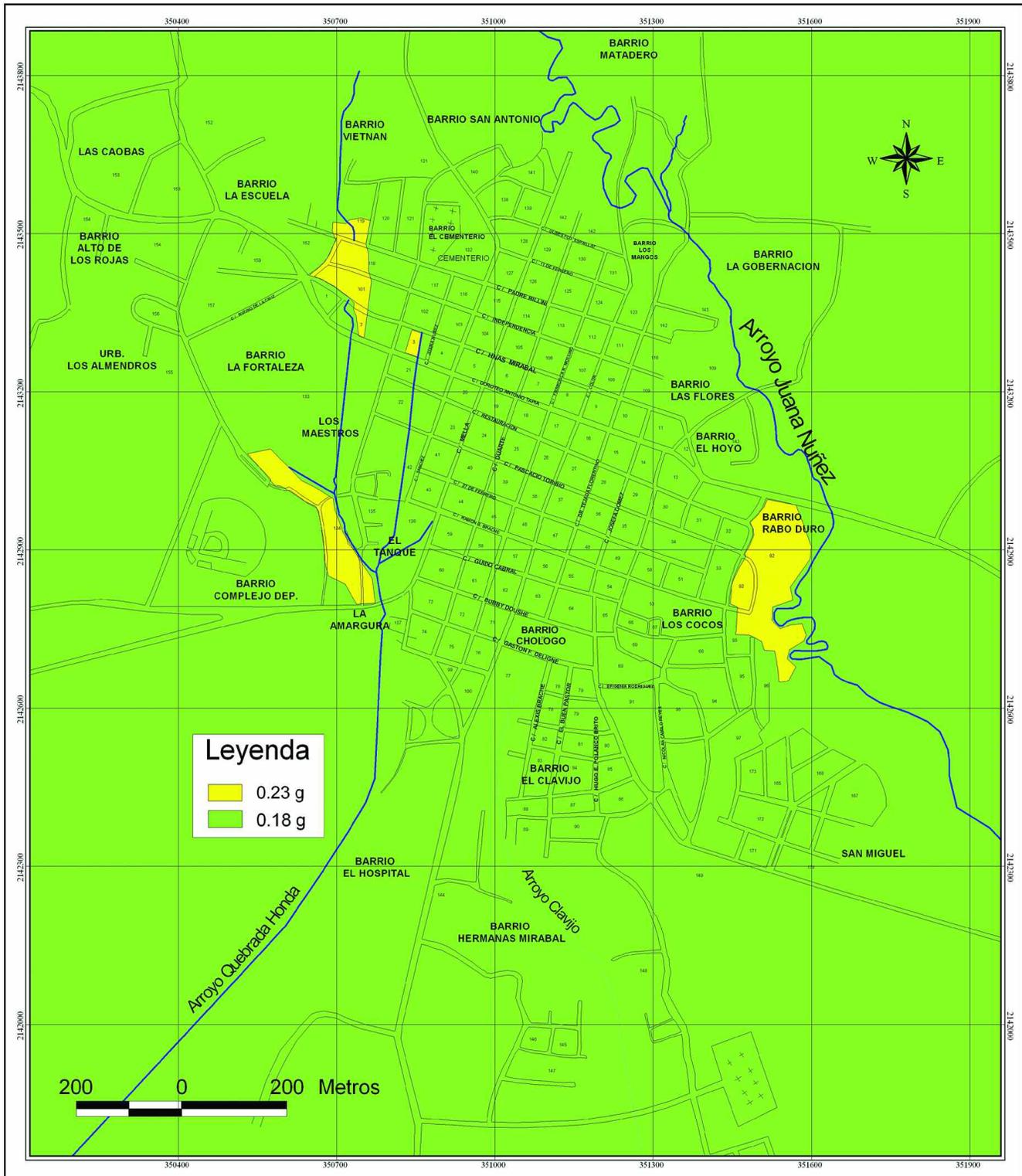
Las aceleraciones superficiales de las dos unidades geológicas expuestas en el área urbana de Salcedo fueron determinadas para periodo de 0.1 – 0.5 segundos, periodos establecidos por las características de las edificaciones de la ciudad.

En el Mapa 1.11 se muestran las aceleraciones máximas superficiales esperadas. Para el Relleno Artificial + Sedimentos Aluviales de Terraza el valor es de 0.23 g mientras para los Sedimentos

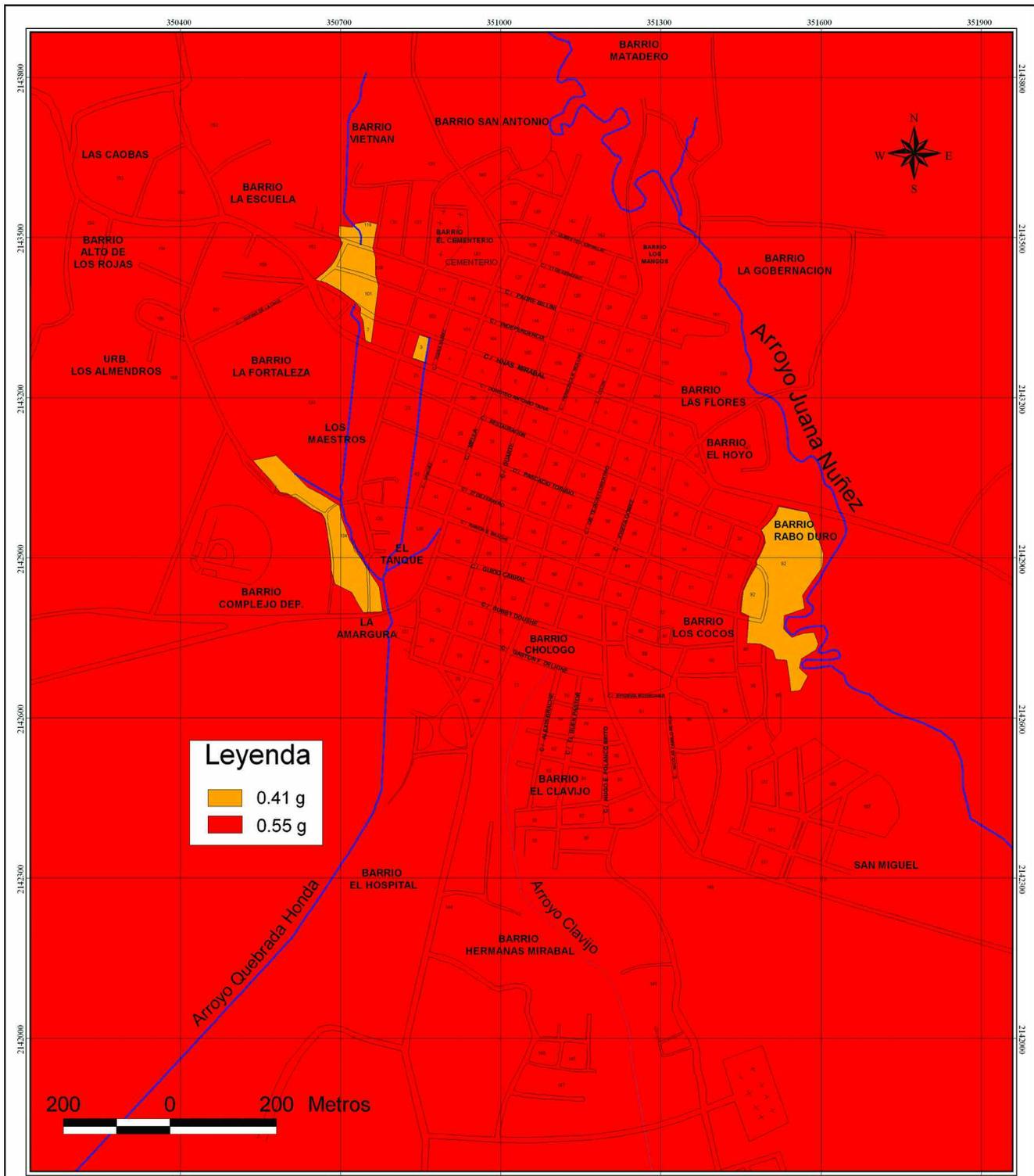
Aluviales de Terraza es de 0.18 g para un sismo con probabilidad de excedencia de 10 % en cinco (5) años o un periodo de retorno aproximado de 50 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.1586 g.

En el Mapa 1.12 se muestran las aceleraciones máximas superficiales esperadas. Para el Relleno Artificial + Sedimentos Aluviales de Terraza el valor es de 0.41 g mientras para los Sedimentos Aluviales de Terraza es de 0.55 g para un sismo con probabilidad de excedencia de 10 % en cincuenta (50) años o un periodo de retorno aproximado de 500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.4543 g.

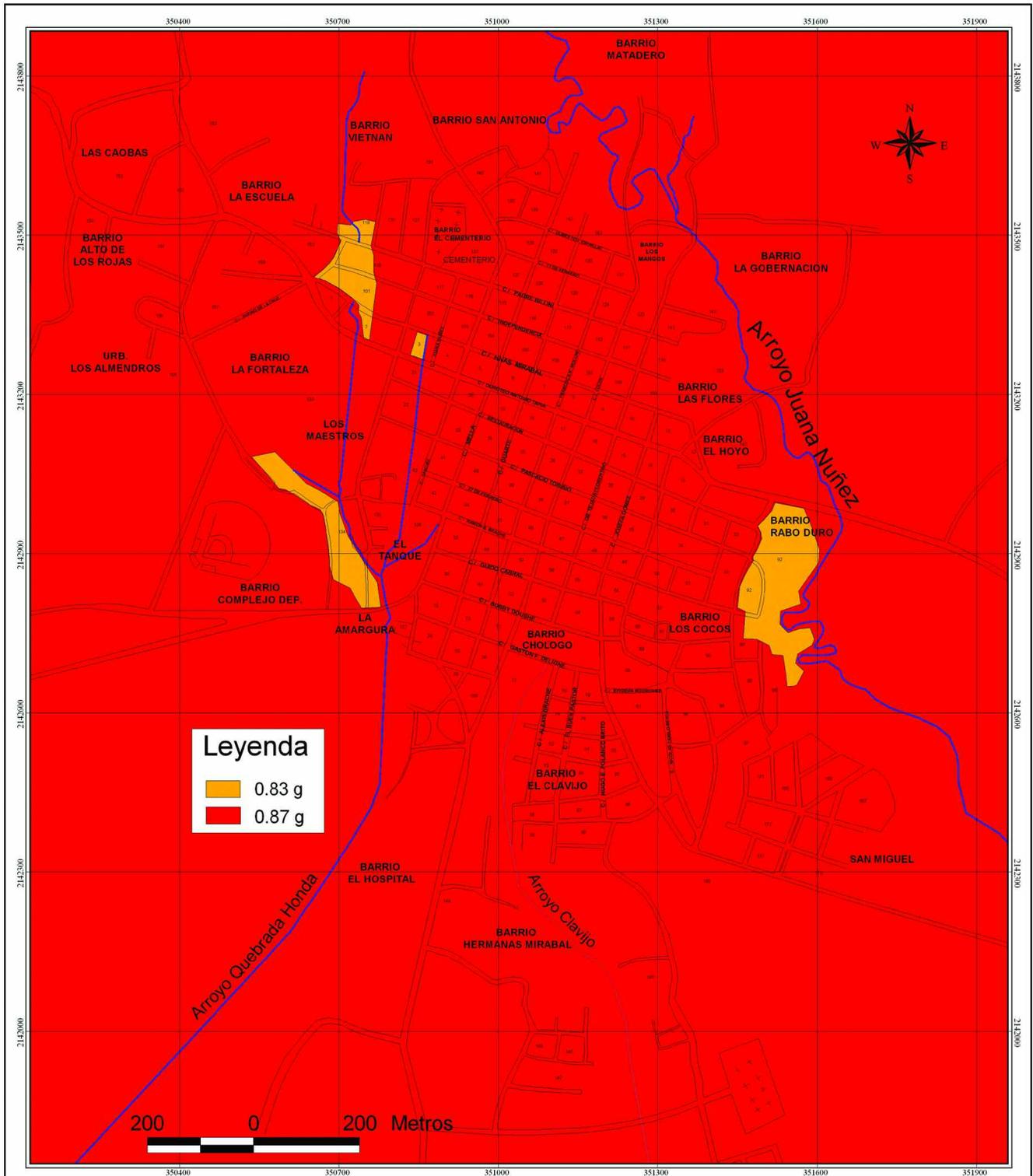
En el Mapa 1.13 se muestran las aceleraciones máximas superficiales esperadas. Para el Relleno Artificial + Sedimentos Aluviales de Terraza el valor es de 0.83 g mientras para los Sedimentos Aluviales de Terraza de 0.87 g para un sismo con probabilidad de excedencia de 2 % en cinco (50) años o un periodo de retorno aproximado de 2500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.7452 g.



 Oficina de Ayuda Humanitaria Comisión Europea						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Aceleraciones Máximas en superficie para Sismo de excedencia de 10% en 5 años con Aceleración en Roca Base de 0.1586g</b>						
Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-11	Fecha: Agosto, 2004	



						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Aceleraciones Máximas en superficie para Sismo de excedencia de 10% en 50 años con Aceleración en Roca Base de 0.4543g</b>						
Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-12	Fecha: Agosto, 2004	



**Legenda**

- 0.83 g
- 0.87 g

						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Aceleraciones Máximas en superficie para Sismo de excedencia de 2% en 50 años con Aceleración en Roca Base de 0.7452g</b>						
Realizado por: Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 1-13	Fecha: Agosto, 2004	

## **2.- Evaluación de La Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico**

### **2.1 Introducción**

Para la determinación de la vulnerabilidad estructural existen métodos de análisis cualitativos y cuantitativos de distintos grados de complejidad, en concordancia con el objetivo que se persigue al determinarla.

En la República Dominicana se ha utilizado a nivel de practicas universitarias el método cuantitativo del RVS, originado en 1988 con la publicación de FEMA 154.

En el Mes de Julio del 2004 la Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructura y Edificaciones (ONESVIE) ha publicado el Manual de Evaluación Sísmica de Edificaciones Existentes (MESREE). El manual ha sido elaborado tomando como referencia el métodos RVS (Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, 1988), el NIS-TIR 6867 (Manual for Seismic and Windstorm Evaluation of Existing Concrete Buildings for Dominican Republic, April 2002) y el NR-6 2001 (Normas Estructuras de Diseño Recomendadas para la Republica de Guatemala).

Para la evaluación de la Vulnerabilidad de la ciudad de Salcedo, en el presente estudio se introdujo en el País una adaptación de la Metodología Benedetti-Petrini, desarrollada en Italia. Esta metodología toma en cuenta una serie de parámetros que controlan el comportamiento sísmico de las edificaciones y permiten definir un *Índice de Vulnerabilidad*.

La evaluación del Riesgo se relacionó con la medición o estimación de los porcentajes de daño de las edificaciones. La determinación de los índices de daño se realizó combinando la vulnerabilidad de las edificaciones con las aceleraciones horizontales de suelo esperadas para sismos probables.

En el presente estudio se evaluaron también las pérdidas económicas para la ciudad de Salcedo, ante un sismo definido; no se pudo estimar la cantidad de muertos y heridos por falta de datos poblacionales detallados.

### **2.2 Metodología Aplicada para el Cálculo de la Vulnerabilidad**

Para la realización de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones ubicadas en la ciudad de Salcedo, se tomaron en cuenta las siguientes etapas:

#### Clasificación de las Diferentes Tipologías de Edificaciones

Mediante el levantamiento del área urbana de Salcedo se clasificaron las edificaciones en 5 tipologías:

- Totalmente de madera

- Madera con pared de mampostería
- Mampostería con cubierta de concreto armado
- Mampostería (ladrillos, bloques) con cubierta ligera (zinc, y otros)
- Concreto armado (con o sin paredes de mampostería).

#### Mapa Georeferenciado de las Edificaciones

Se preparó un mapa urbano Georeferenciado de las edificaciones de las diferentes tipologías. La Tabla 2.1 reporta las edificaciones representadas en el mapa (ver Mapa No 1.7). Se determinó un total de 170 cuadras distribuidas por toda el área urbana de la ciudad.

Tabla No. 2.1

<b>Total de Estructuras y % por Tipología</b>				
<b>Tipología</b>	<b>Detalles</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>Evaluadas</b>
1	Totalmente madera	413	11.93%	42
2	Madera con pared de mampostería	535	15.45%	54
3	Mampostería armada con cubierta de concreto armado	805	23.25%	81
4	Mampostería (ladrillo, bloques) con cubierta ligera (zinc, y otros)	1640	47.36%	166
5	Concreto armado (con o sin paredes de mampostería)	70	2.02%	7
Total		3463	100.00%	350
%				10.11%

#### Fichas para la Evaluación

La Metodología Benedetti-Petrini emplea fichas para la evaluación del *Índice de Vulnerabilidad* que toman en cuenta una serie de parámetros que controlan el comportamiento sísmico de las edificaciones. Dicha metodología fue adaptada a la realidad local; fueron por lo tanto producidas 3 fichas específicas para la evaluación de la vulnerabilidad de las diferentes tipologías de edificación (madera, mampostería y concreto armado).

Para las edificaciones de madera se eligieron tres parámetros, mientras para las edificaciones de mampostería se eligieron siete (ver anexo). Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

- Tipo y Calidad de la Estructura.
- Resistencia Convencional.
- Configuración en Planta.

- Configuración en Elevación.
- Conexiones Críticas.
- Baja Ductilidad.
- Techo y Distancia entre Paredes.
- Estado Actual.

Para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a cada parámetro, durante las adquisición de los datos, se le asigna una de las cuatro (4) clases A, B, C, D, (A: óptimo, D: pésimo) y a cada una de ellas se asocia un valor numérico. Reportando la suma de los valores asociados a cada parámetro se obtiene el valor del *Índice de Vulnerabilidad*.

En el anexo se presentan las instrucciones detalladas para reducir la subjetividad de interpretación entre los evaluadores, y así realizar una correcta compilación de las fichas para la estimación de la vulnerabilidad de las edificaciones.

#### Trabajo de Campo para la Adquisición de los Datos

Se evaluaron el 10 % de las 3463 viviendas existentes en la zona urbana de la ciudad de Salcedo. Las edificaciones evaluadas de cada tipología fueron escogidas uniformemente en toda el área urbana (ver Mapa No 2.1). La vulnerabilidad de las estructuras no evaluadas se estimó proyectando los valores medios ponderados encontrados en las edificaciones evaluadas pertenecientes a cada tipología.

El levantamiento se efectuó durante un periodo de aproximadamente dos meses y medio, y se realizó a través el trabajo de diez y siete (17) estudiantes de la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra de la ciudad de Santiago de Los Caballeros (PUCMM) y de la Universidad Católica Nordestana de la ciudad de San Francisco de Macorís, bajo la supervisión del responsable del estudio.

#### Procesamiento de las Informaciones

El *Índice de Vulnerabilidad* (I.V.) de cada edificación evaluada se determinó en base a los análisis, procesamiento y cálculo de los valores que representan la calidad sísmica de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales de las fichas utilizadas en la evaluación.

Para definir los Rangos de Vulnerabilidad se utilizaron los siguientes criterios:

- $I.V. \leq 0.15$   $\Rightarrow$  Vulnerabilidad Baja
- $0.15 < I.V. < 0.35$   $\Rightarrow$  Vulnerabilidad Moderada o Media
- $I.V. \geq 0.35$   $\Rightarrow$  Vulnerabilidad Alta

En la elaboración de los mapas, a los tres rangos se le asignaron los siguientes códigos de color:

- Verde  $\Rightarrow$  Baja
- Amarilla  $\Rightarrow$  Moderado o Media
- Rojo  $\Rightarrow$  Alta

Los resultados del cálculo del *Índice de Vulnerabilidad* de cada edificación evaluada por tipología se presentan en los anexos presentes solamente en CD.



						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Localización de las Edificaciones Evaluadas</b>						
Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-1	Fecha: Agosto, 2004	

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Índice de Vulnerabilidad (I.V.) por Tipología de Edificaciones

#### Edificaciones de Concreto Armado:

El 60.0% (6) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad media, con un I.V. promedio de 0.25.

El 40.0% (4) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad alta, con un I.V. promedio de 0.43.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, la vulnerabilidad para esta tipología fue proyectada como media o moderada, siendo 0.32 el I.V. ponderado para las edificaciones evaluadas.

#### Edificaciones de Madera:

El 92.5 % (40) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad alta, con un I.V. promedio de 0.71.

El 7.5 % (2) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad media, con un I.V. promedio de 0.30.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, la vulnerabilidad para esta tipología fue proyectada como alta, siendo 0.69 el I.V. ponderado para las edificaciones evaluadas.

#### Edificaciones de Madera, Mampostería con Techo Ligero:

El 45.7 % (24) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad alta, con un I.V. promedio de 0.62.

El 32.5 % (14) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad media I.V. promedio de 0.21.

El 21.8% (17) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad baja, con un I.V. promedio de 0.05.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, la vulnerabilidad para esta tipología fue proyectada como alta, siendo 0.35 el I.V. ponderado para las edificaciones evaluadas.

#### Edificaciones de Mampostería con Losa de Concreto:

El 4.9 % (4) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad alta, con un I.V. promedio de 0.45.

El 55.6 % (45) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad media, con un I.V. promedio de 0.24

El 39.5 % (32) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad baja, con un I.V. promedio de 0.08.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, la vulnerabilidad para esta tipología fue proyectada como media o moderada, siendo 0.18 el I.V. ponderado para las edificaciones evaluadas.

### Edificaciones de Mampostería con Techo Ligero:

El 14.1 % (23) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad alta, con un I.V. promedio de 0.44.

El 58.9 % (96) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad media, con I.V. promedio de 0.25.

El 27.0 % (44) de las edificaciones evaluadas presentan una vulnerabilidad baja, con un I.V. promedio de 0.11.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, la vulnerabilidad para esta tipología fue proyectada como media o moderada, siendo 0.24 el I.V. ponderado para las edificaciones evaluadas.

Las edificaciones de madera estuvieron penalizadas principalmente por el parámetro 2 de su ficha de evaluación, este penaliza con un valor máximo de 24 puntos, tomando en cuenta la calidad de las conexiones de la estructura.

Las edificaciones de mampostería estuvieron penalizadas principalmente por el parámetro 3 de su ficha de evaluación, este penaliza con un valor máximo de 17 puntos, tomando en cuenta su rigidez y el amarre entre sus elementos horizontales y verticales.

Las edificaciones de concreto armado fueron penalizadas principalmente por el parámetro 1 de su ficha de evaluación, este penaliza con un valor máximo de 30 puntos, tomando en cuenta la forma del pórtico, si este tiene muros de corte, y en cuantas direcciones esta armado el mismo.

En la Tabla No 2.2 y la Figura No 2.1, se resumen los índices de vulnerabilidad de las edificaciones evaluadas en las diferentes tipologías. Como solo se evaluó el 10 % de ellas, se proyectaron los resultados obtenidos para determinar la vulnerabilidad de la totalidad de las edificaciones, utilizando el promedio ponderado (pesado) de las evaluadas. (ver Figura No 2.2 y Mapa No 2.2).

**Tabla No. 2.2**  
**Cálculo del Índice de Vulnerabilidad de Edificaciones de las Diferentes Tipologías**

TIPOLOGÍA	ALTA	MEDIA	BAJA	I.V. PROMEDIO ALTA	I.V. PROMEDIO MEDIA	I.V. PROMEDIO BAJA	I.V. PONDERADO	# VIVIENDAS	COLOR
Concreto Armado	40.0% (4)	60.0% (6)	0	0.43	0.25	0.00	0.32	10	Amarillo
Madera	92.5% (40)	7.5% (2)	0	0.71	0.30	0.00	0.69	42	Rojo
Madera mampostería Techo ligero	45.7% (24)	32.5% (14)	21.8% (17)	0.62	0.21	0.05	0.35	55	Rojo
Mampostería con Losa de concreto	4.9% (4)	55.6% (45)	39.5% (32)	0.45	0.24	0.08	0.18	81	Amarillo
Mampostería con Techo ligero	14.1% (23)	58.9% (96)	27.0% (44)	0.44	0.25	0.11	0.24	162	Amarillo

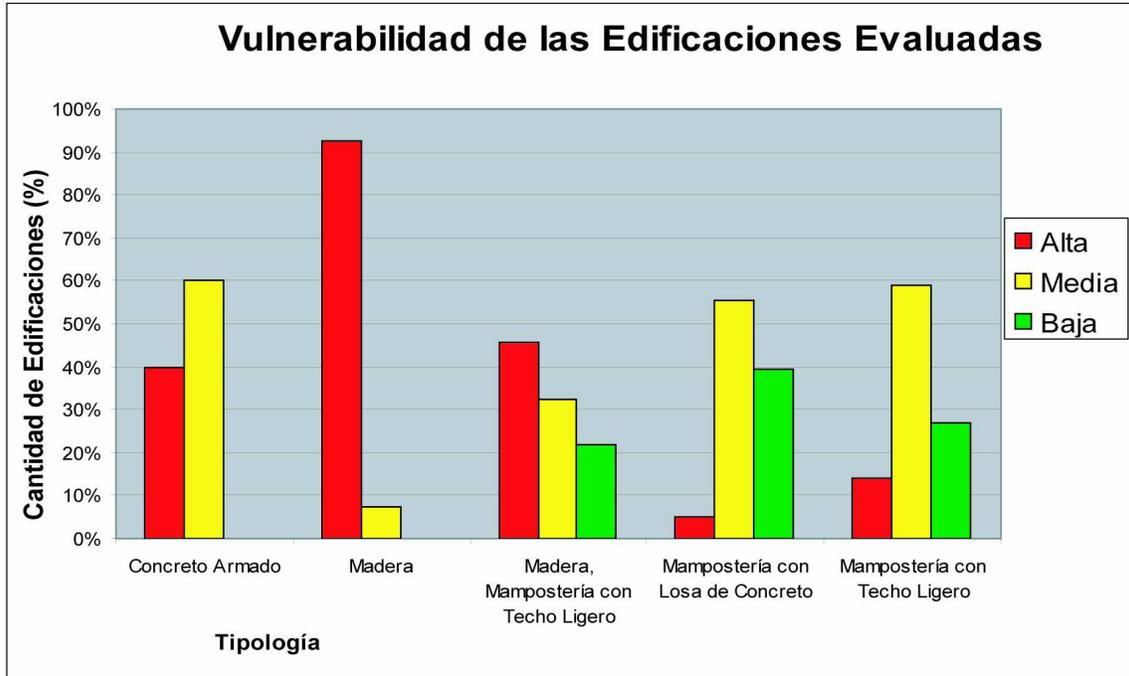


Figura 2.1

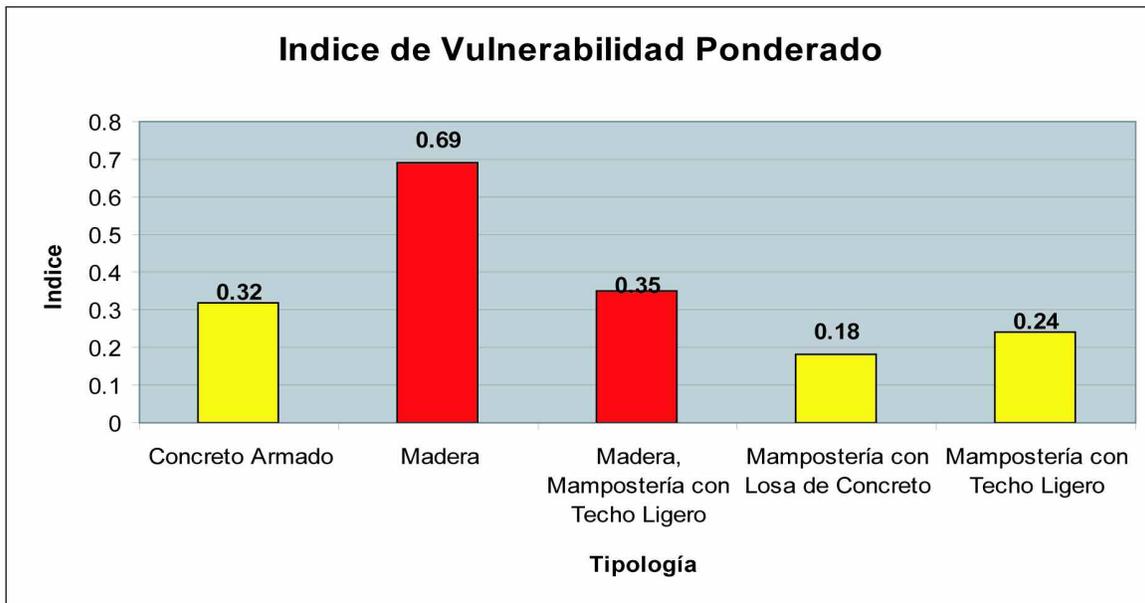
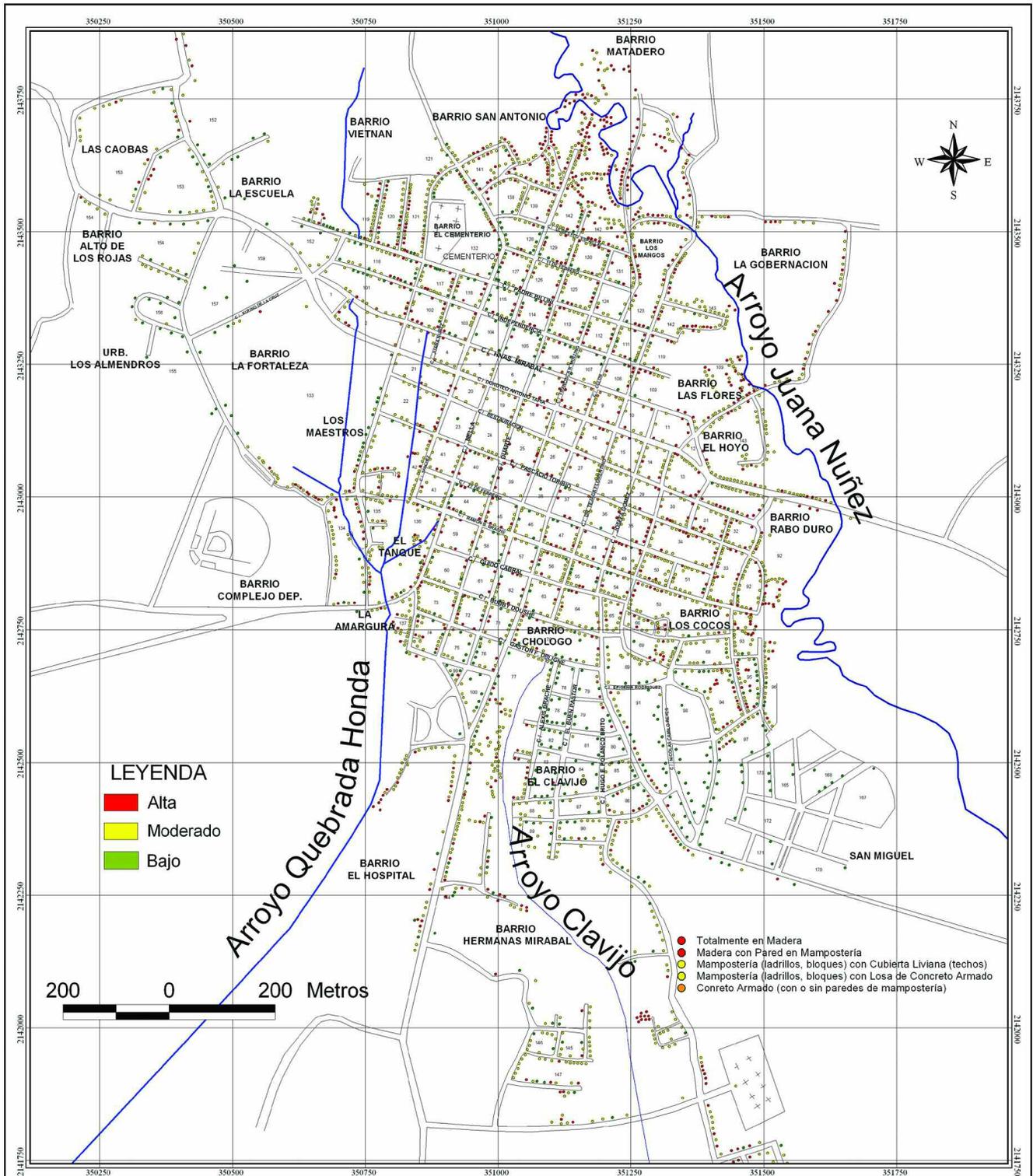


Figura 2.2



**LEYENDA**

- Alta
- Moderado
- Bajo

- Totalmente en Madera
- Madera con Pared en Mampostería
- Mampostería (ladrillos, bloques) con Cubierta Liviana (techos)
- Mampostería (ladrillos, bloques) con Losa de Concreto Armado
- Concreto Armado (con o sin paredes de mampostería)

<p><b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b></p> <p><b>Mapa de Vulnerabilidad de Edificaciones por Tipología</b></p>					
Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-2	Fecha: Agosto, 2004

### 2.3.2 Índice de Vulnerabilidad por Cuadras

Con el propósito de facilitar la labor de las instituciones publicas en la realización de planes de reducción del riesgo y de manejo de las emergencias, se realizó un análisis de la vulnerabilidad de las 170 cuadras que componen la ciudad de Salcedo.

En la evaluación del *Índice de Vulnerabilidad* por cuadra se utilizó el promedio ponderado del índice de cada tipología perteneciente a la cuadra .

Los mismos criterios empleados para definir los rangos que determinan la vulnerabilidad de las diferentes tipologías, fueron usados para establecer la vulnerabilidad por cuadra.

El análisis realizado muestra que de 170 cuadras:

- el 31.18 % (53) tienen Vulnerabilidad Alta
- el 67.06 % (114) tienen Vulnerabilidad Media o Moderada
- el 1.76% (3) tienen Vulnerabilidad Baja

Estos resultados muestran una vulnerabilidad de moderada a alta por cuadras para la ciudad de Salcedo.

En el Mapa No 2.3 y Figura 2.3 se resumen los resultados.

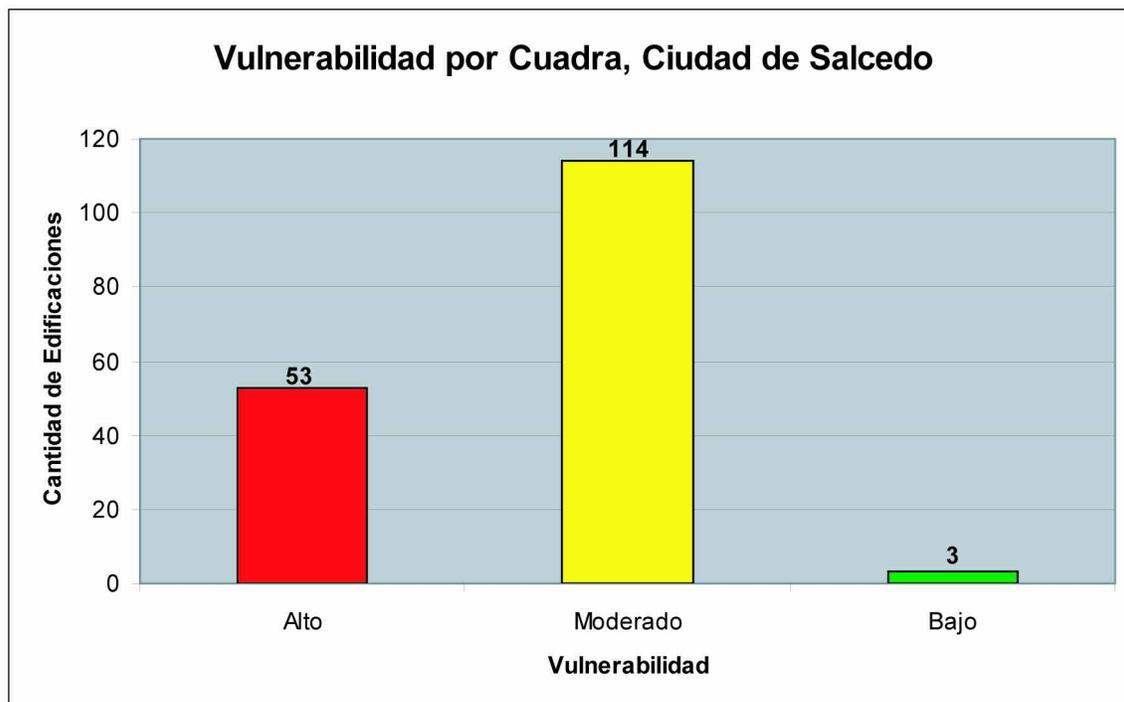
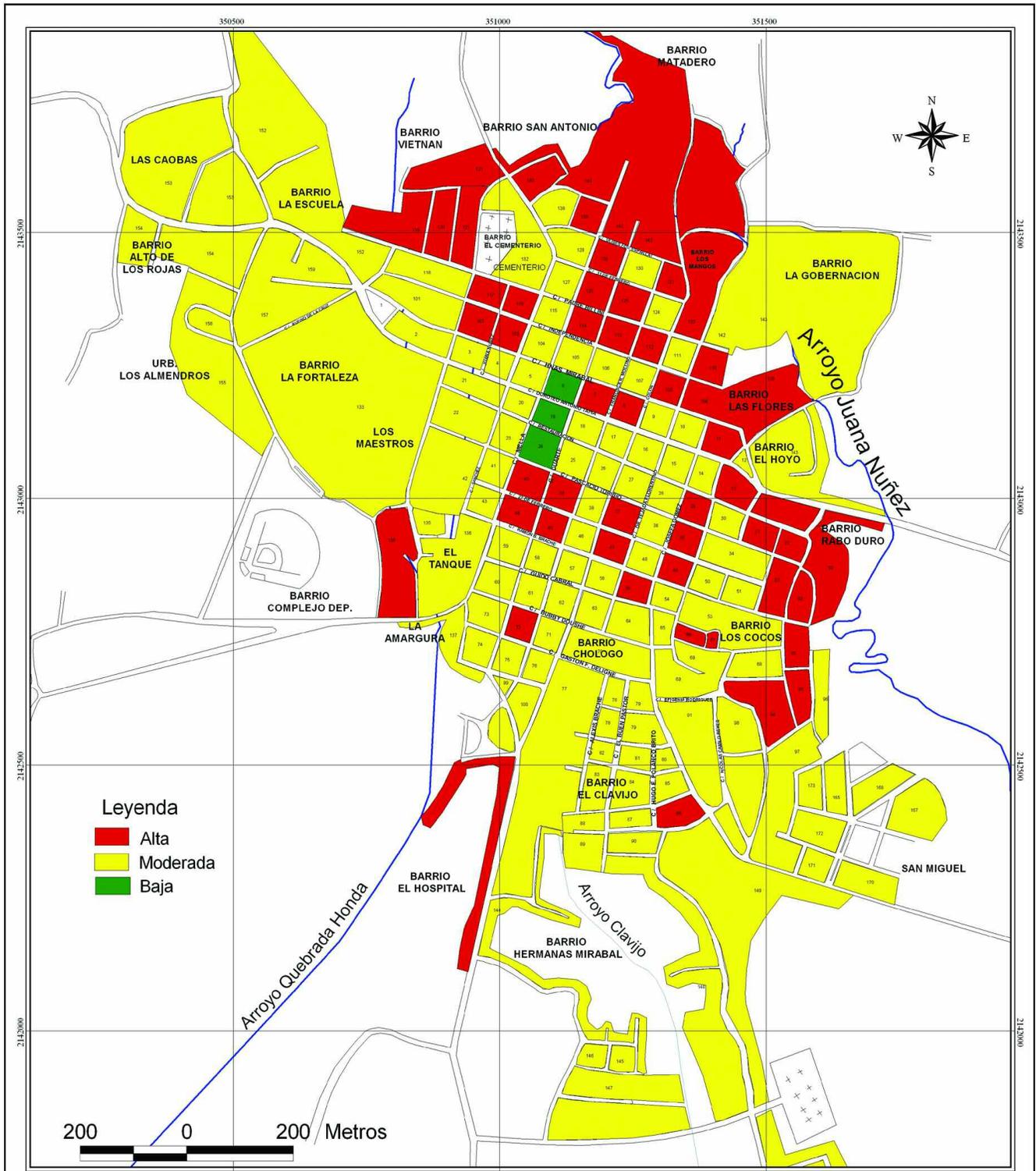


Figura No 2.3



						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Vulnerabilidad Estructural por Cuadras</b>						
Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-3	Fecha: Agosto, 2004	

### 2.3.3 Índice de Vulnerabilidad para Edificaciones Especiales

La evaluación de las Estructuras Especiales se realizó utilizando los mismos criterios que las demás edificaciones (ver Mapa No 2.4).

El Hospital Dr. Pascasio Toribio Piantini muestra un buen estado y tiene una vulnerabilidad baja, con un I.V. de 0.08. El parámetro que más castigó su evaluación fue la relación distancia entre muros y espesor de los mismos, además cuenta con un problema de configuración en planta que aumenta su vulnerabilidad ante un evento sísmico.

El Hospicio Santa Balbina muestra una vulnerabilidad alta, con un I.V. de 0.55. Este edificio fue castigado por los parámetros de tipo y calidad de la construcción, deformación de la estructura y mal estado de la misma. Es la edificación pública con mayor vulnerabilidad, ya que presenta problemas graves, como la presencia de grietas de más 5 centímetros de ancho y asentamientos del terreno de fundación. Parte de la estructura ha sido abandonada por las malas condiciones en que se encuentra.

La Iglesia San Juan Evangelista muestra un I.V. de 0.08, el parámetro que más castigó su evaluación fue la relación distancia entre muros y espesor de los mismos, se encuentra en buen estado, y presenta una vulnerabilidad baja.

El Ayuntamiento Municipal tiene un I.V. de 0.25, con una vulnerabilidad moderada. El parámetro que más castigó su evaluación fue el tipo y calidad de la estructura, se observaron filtraciones y grietas parciales.

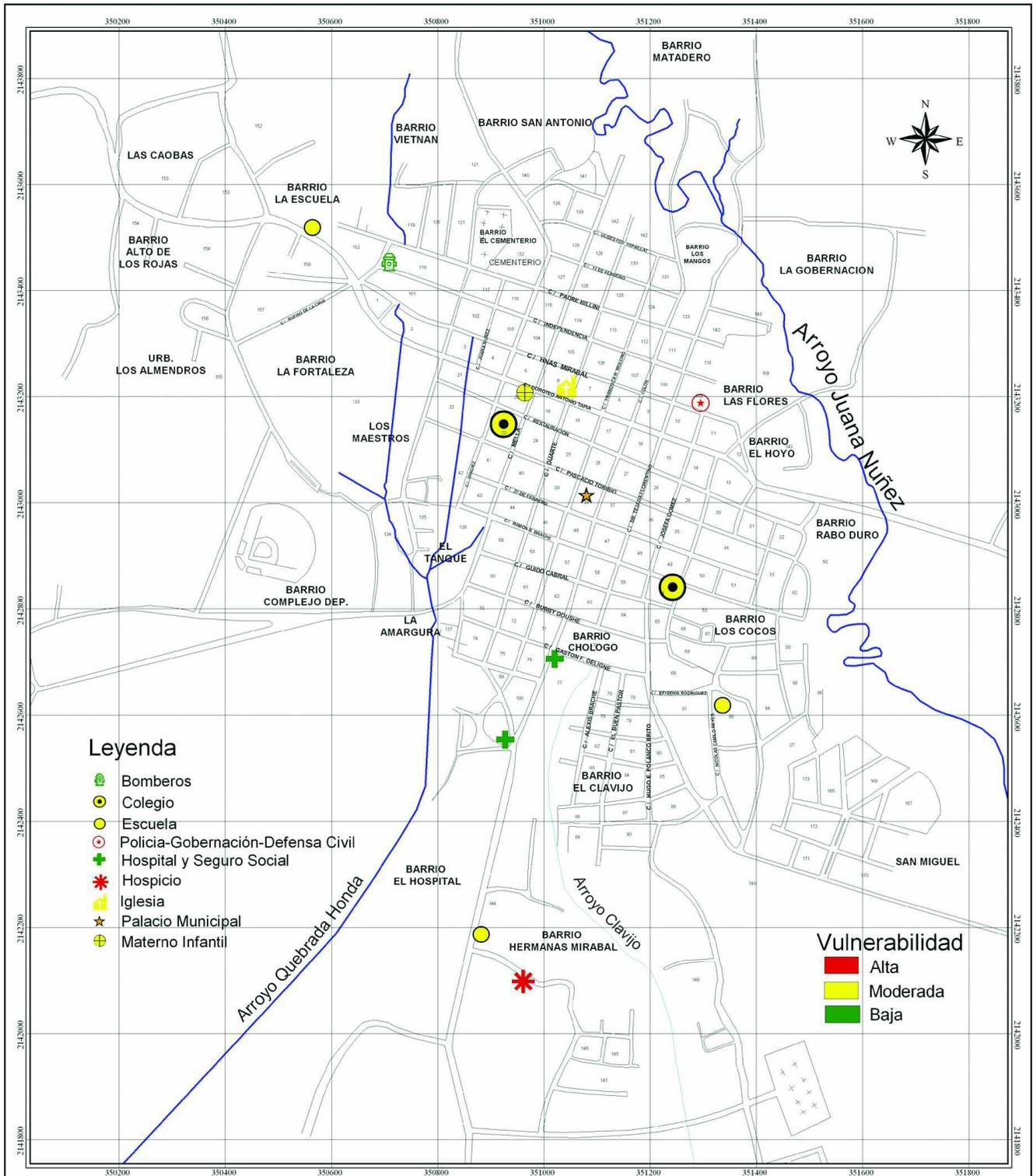
El Centro Medico Materno Infantil presenta un I.V. de 0.17 y tiene una vulnerabilidad de moderada a baja. El parámetro que más castigó su evaluación fue el tipo y calidad de la estructura.

Las Escuelas Maria Josefa Gómez, Emiliano Tejera y Villa Amaro muestran vulnerabilidad moderada con I.V. entre 0.17 y 0.33, los parámetros que más castigaron su evaluación fueron el tipo y calidad de la estructura y la ausencia de vigas corona, además la existencia de columnas cortas.

El Seguro Social Doctor Román Brache tiene un I.V. de 0.19 y presenta vulnerabilidad moderada. El parámetro que más castigó su evaluación fue el tipo y calidad de la estructura. Se observó la presencia de pequeñas filtraciones y grietas leves, además existe deficiencia en las juntas de expansión de la edificación.

El Colegio Nuestra Sra. del Sagrado Corazón de Jesús presenta una vulnerabilidad moderada, con un I.V. de 0.23. El parámetro que más influyó negativamente en la evaluación fue el tipo y calidad de la edificación, el cual tiene una estructura combinada de pórtico y mampostería y presenta algunas filtraciones y grietas leves, además muestra asentamientos diferenciales.

El Colegio Salomé Ureña Enríquez muestra una vulnerabilidad moderada, muy próxima al límite para ser alta, presentando un I.V. de 0.31. Posee malos amarres y poca rigidez, además esta unida a otra edificación de diferente tipología. Se observaron grietas en los muros.



						
<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Localización y Vulnerabilidad de Edificaciones Especiales en la Ciudad de Salcedo</b>						
Realizado por: Ing. Orlando Franco	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-4	Fecha: Agosto, 2004	

El Edificio que hospeda el Departamento de la Policía, la Gobernación y La Defensa Civil presenta una vulnerabilidad alta siendo su I.V. de 0.35. En este edificio se observaron filtraciones en paredes y techo, una losa deteriorada de entrepiso, grietas en muros.

## 2.4 Determinación del Riesgo

### 2.4.1 Metodología Aplicada

La evaluación del Riesgo puede relacionarse prácticamente con la medición o estimación de los porcentajes de daño de las edificaciones. La determinación de los *Índices de Daño* (I.D.) se realizó combinando la vulnerabilidad de las edificaciones con las aceleraciones horizontales del suelo esperadas para sismos probables.

En la determinación de los *Índices de Daño* se utilizaron las curvas de daño (curvas de fragilidad) de forma trilineal definidas por dos puntos: la aceleración a la cual el daño comienza (ID=0) y la aceleración a que el edificio colapsa completamente (ID=1).

Las curvas de daño para tipologías características del área (Mampostería, Madera, y Concreto Reforzado), fueron preparadas en base a experiencias obtenidas de daños a estructuras relacionadas con sismos registrados. (ver Figuras No 2.4, 2.5, 2.6).

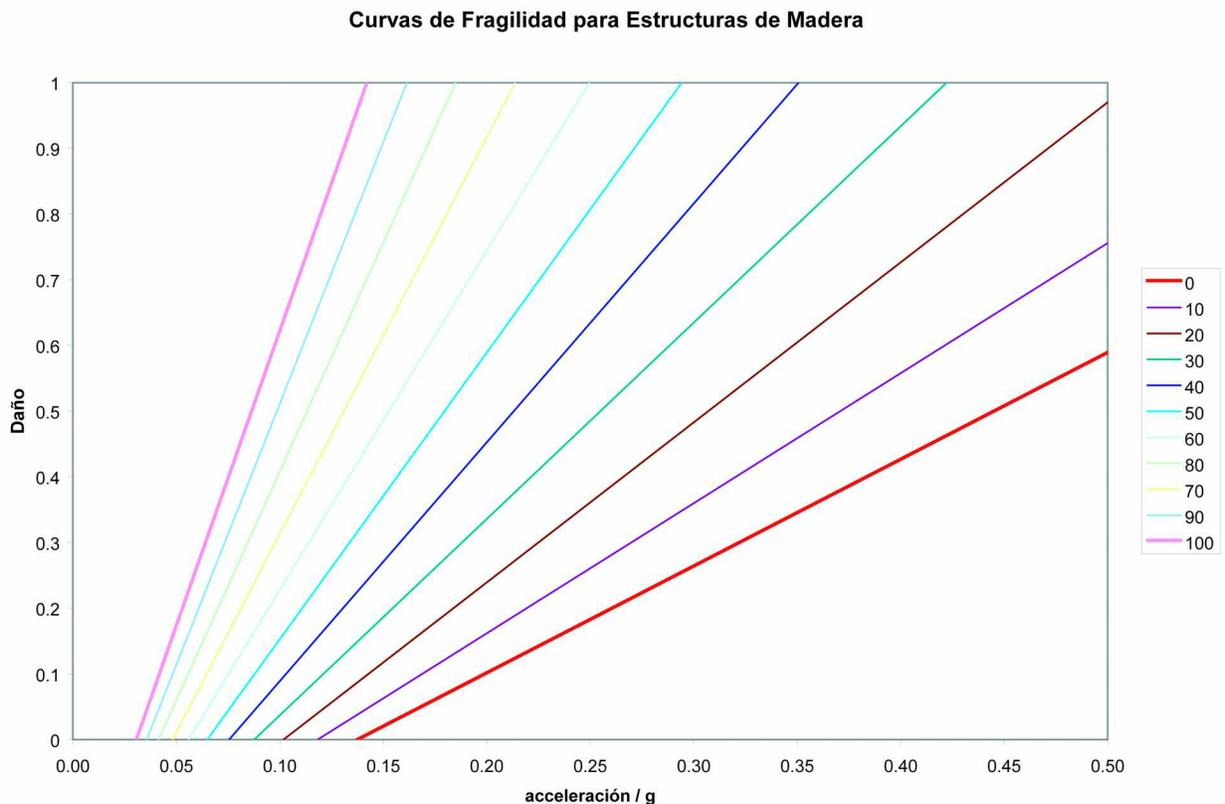


Figura No 2.4

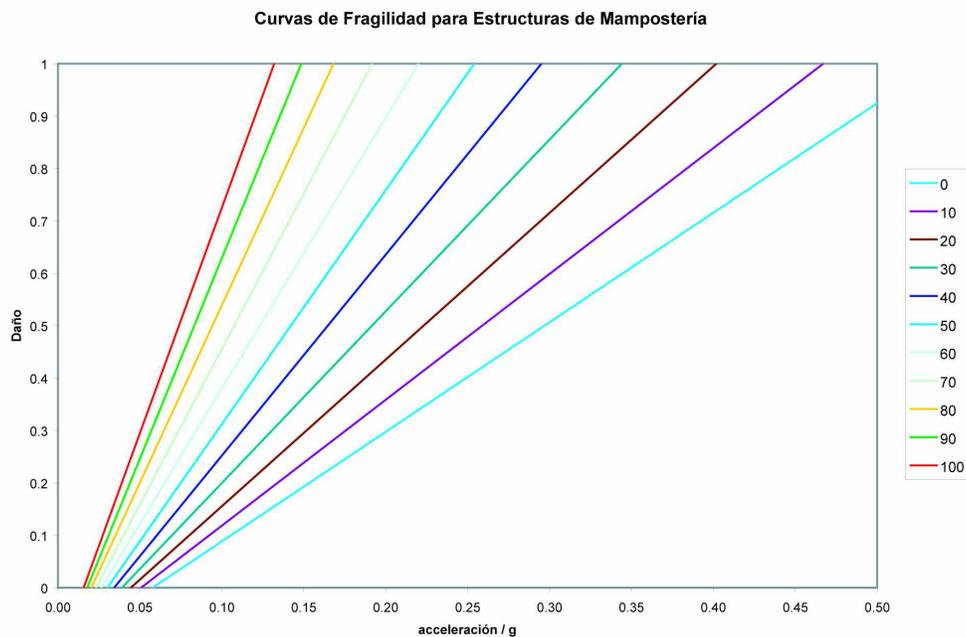


Figura No 2.5

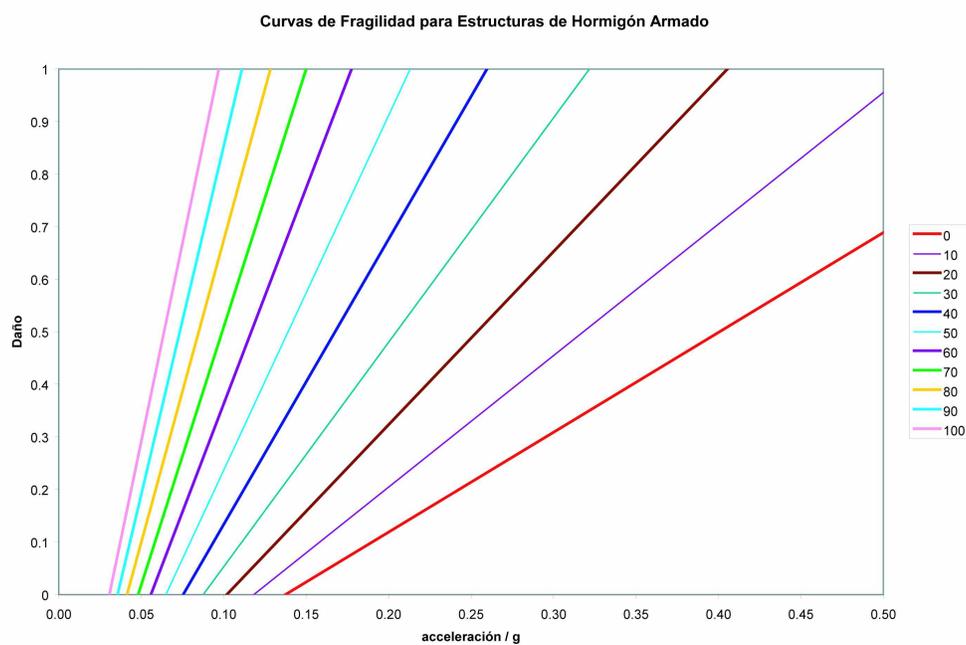


Figura No 2.6

Para definir los Rangos de Daño se utilizaron los siguientes criterios:

- $I.D. \leq 0.15$   $\Rightarrow$  Daño Bajo
- $0.15 < I.D. < 0.35$   $\Rightarrow$  Daño Moderado Medio
- $I.D. \geq 0.35$   $\Rightarrow$  Daño Alto

La determinación del *Índice de Daño* por tipología se obtuvo calculando el índice para cada una de las edificaciones evaluadas y luego proyectando estos resultados por cada tipología.

La determinación del *Índice de Daño* por cuadra, se obtuvo calculando el promedio ponderado del índice de cada tipología perteneciente a la cuadra .

Los resultados del cálculo del *Índice de Daño* de las edificaciones evaluadas por cuadra se presentan en los anexos presentes solamente en CD.

El cálculo fue realizado para tres probables escenarios o sismos diferentes:

Se emplearon tres sismos con las características y factores de amplificación para periodo fundamental de 0.1 a 0.5 segundo, por las diferentes edificaciones por tipología ubicadas en la ciudad de Salcedo.

- Sismo 1: Con probabilidad de excedencia de 10 % en cinco (5) años o retorno aproximado de 50 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.1586 g. (ver Tabla No 1.4).
- Sismo 2: Con probabilidad de excedencia de 10 % en cincuenta (50) años o retorno aproximado de 475 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.4543 g. (ver Tabla No 1.5).
- Sismo 3: Con probabilidad de excedencia de 2 % en cinco (50) años o retorno aproximado de 2500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.7452 g. (ver Tabla No 1.6).

## 2.4.2 Resultados

### Evaluación de Daño de Edificaciones por Tipología para el escenario con el Sismo 1

#### Edificaciones de Concreto Armado:

Para el 60.0% (6) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño alto, con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.56.

Para el 40.0% (4) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño moderado, con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.28.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, el daño para esta tipología fue proyectado como alto, siendo 0.45 el I.D. ponderado para las edificaciones evaluadas.

#### Edificaciones de Mampostería:

Para el 32.8% (80) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño alto, con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.50.

Para el 54.9% (134) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño moderado, con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0,18.

Para el 12.3% (30) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño bajo con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.13.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, el daño para esta tipología fue

proyectado como moderado, siendo 0.28 el I.D. ponderado para las edificaciones evaluadas.

Edificaciones de Madera:

Para el 66.0% (64) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño alto, con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.75.

Para el 17.5% (17) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño moderado, con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.21.

Para el 16.5% (16) de las edificaciones evaluadas se prevé un daño bajo con un *Índice de Daño* (I.D.) promedio de 0.08.

Tomando en cuenta los criterios utilizados para definir los rangos, el daño para esta tipología fue proyectado como alto, siendo 0.55 el I.D. ponderado para las edificaciones evaluadas.

Los resultados para el daño a las edificaciones evaluadas por tipología, con sismo No 1, se resume en las Figuras No 2.7, 2.8, 2.9.

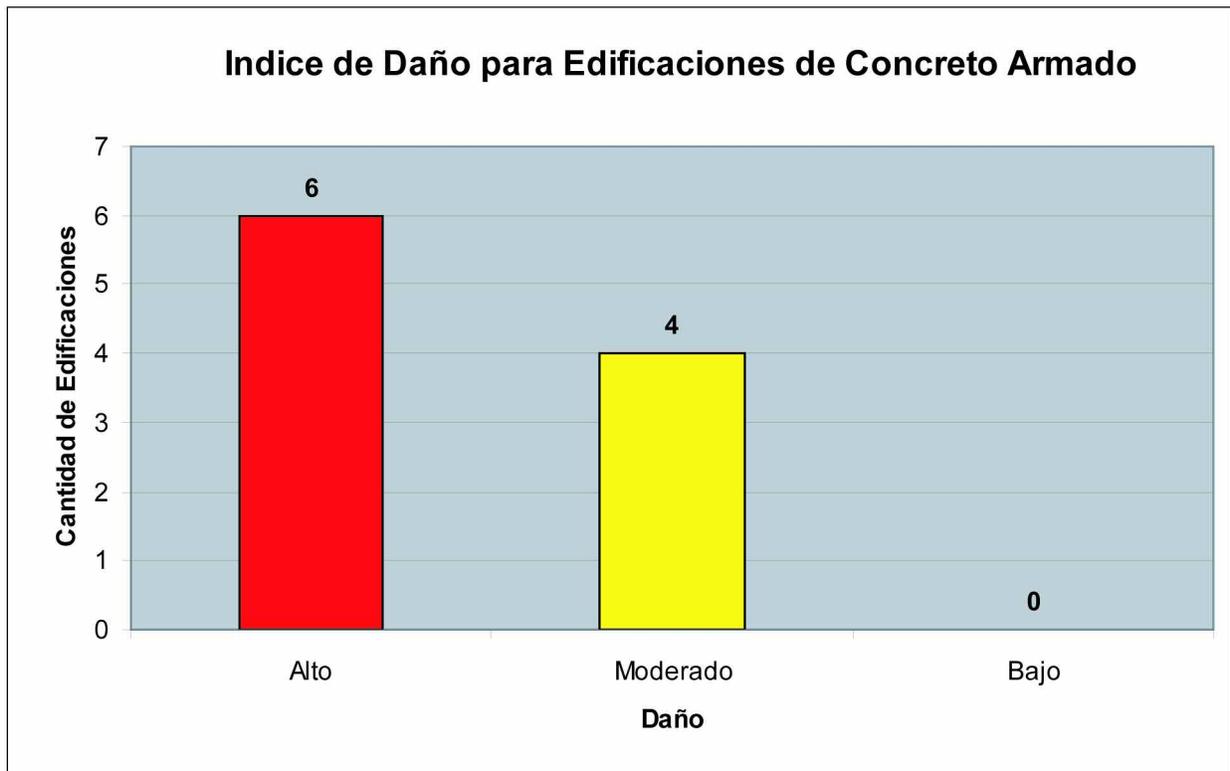


Figura No 2.7

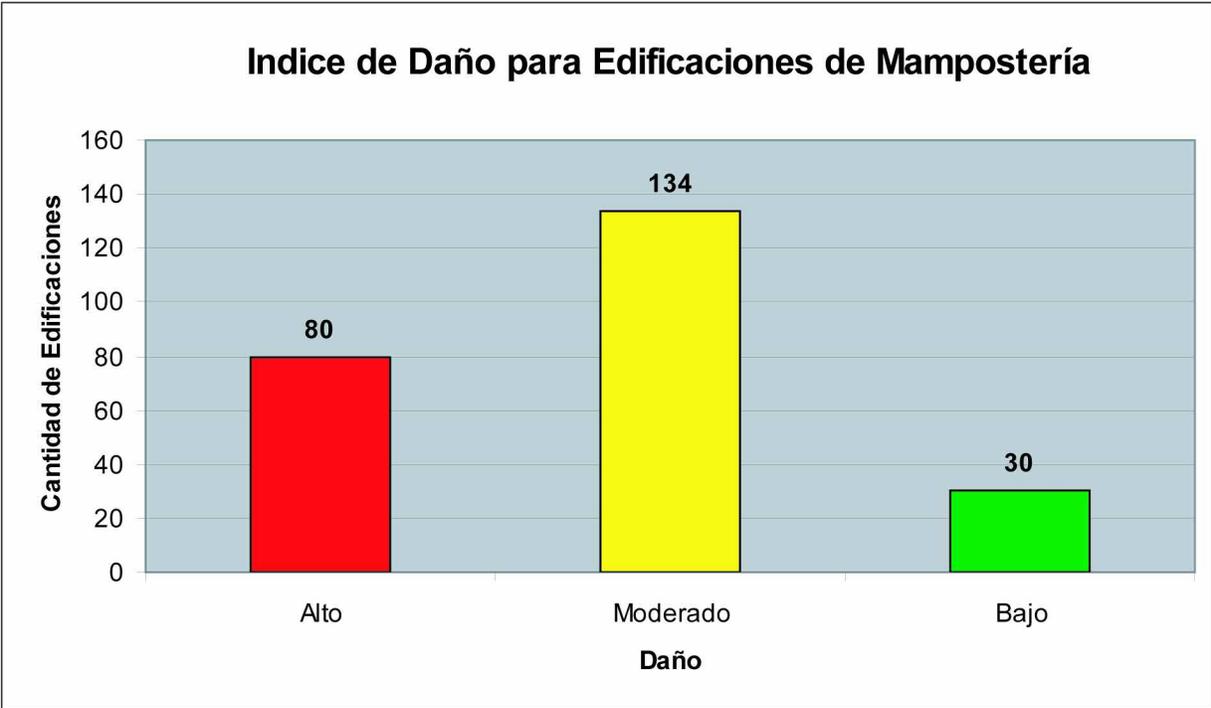


Figura No 2.8

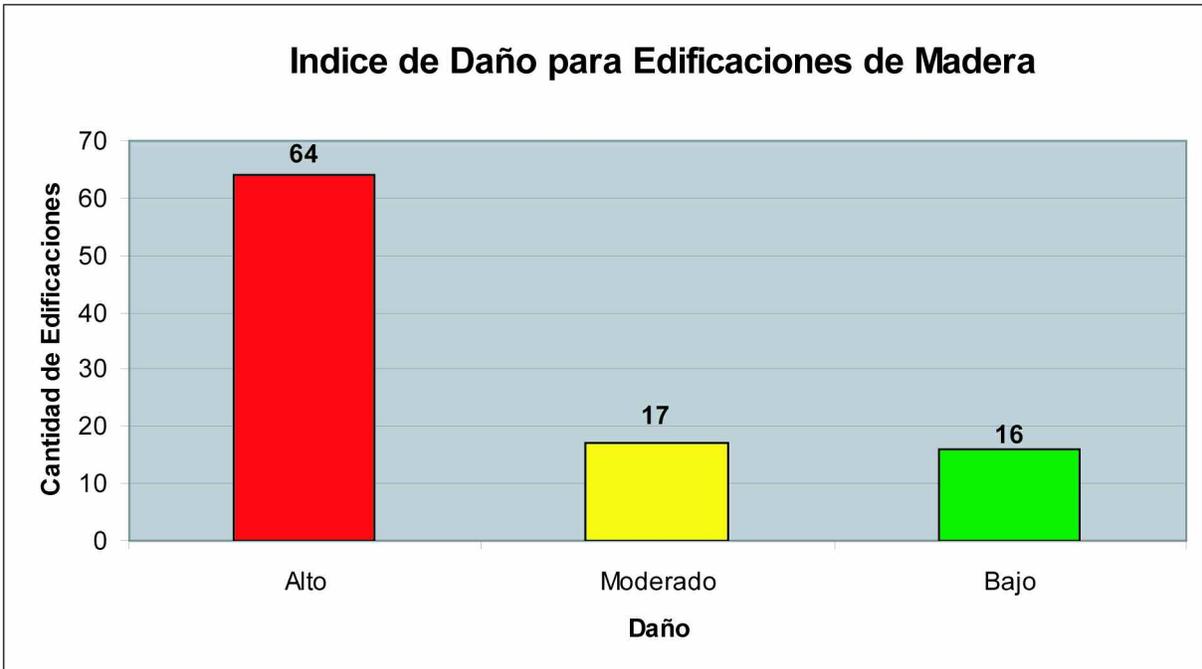


Figura No 2.9

### Evaluación de Daño de Edificaciones por Cuadra para el escenario con el Sismo 1

De 170 cuadras, para el 40.2 % (68) se prevé un alto daño y para el 59.76 % (102) se prevé un daño medio o moderado; en ninguna cuadra se prevé un daño bajo.

Para la ciudad de Salcedo para el escenario con el Sismo 1, se prevé por lo tanto un daño de medio a alto.

En la Mapa No 2.5 , en la Figura No 2.10 se resumen los resultados:

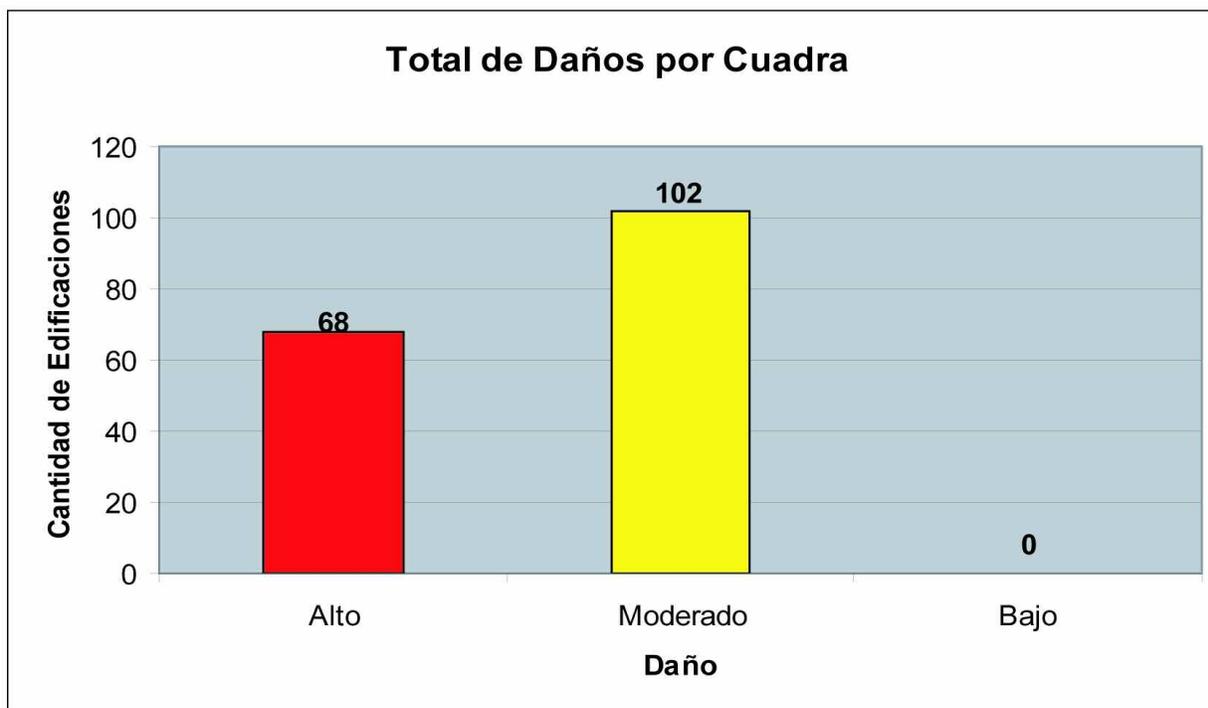


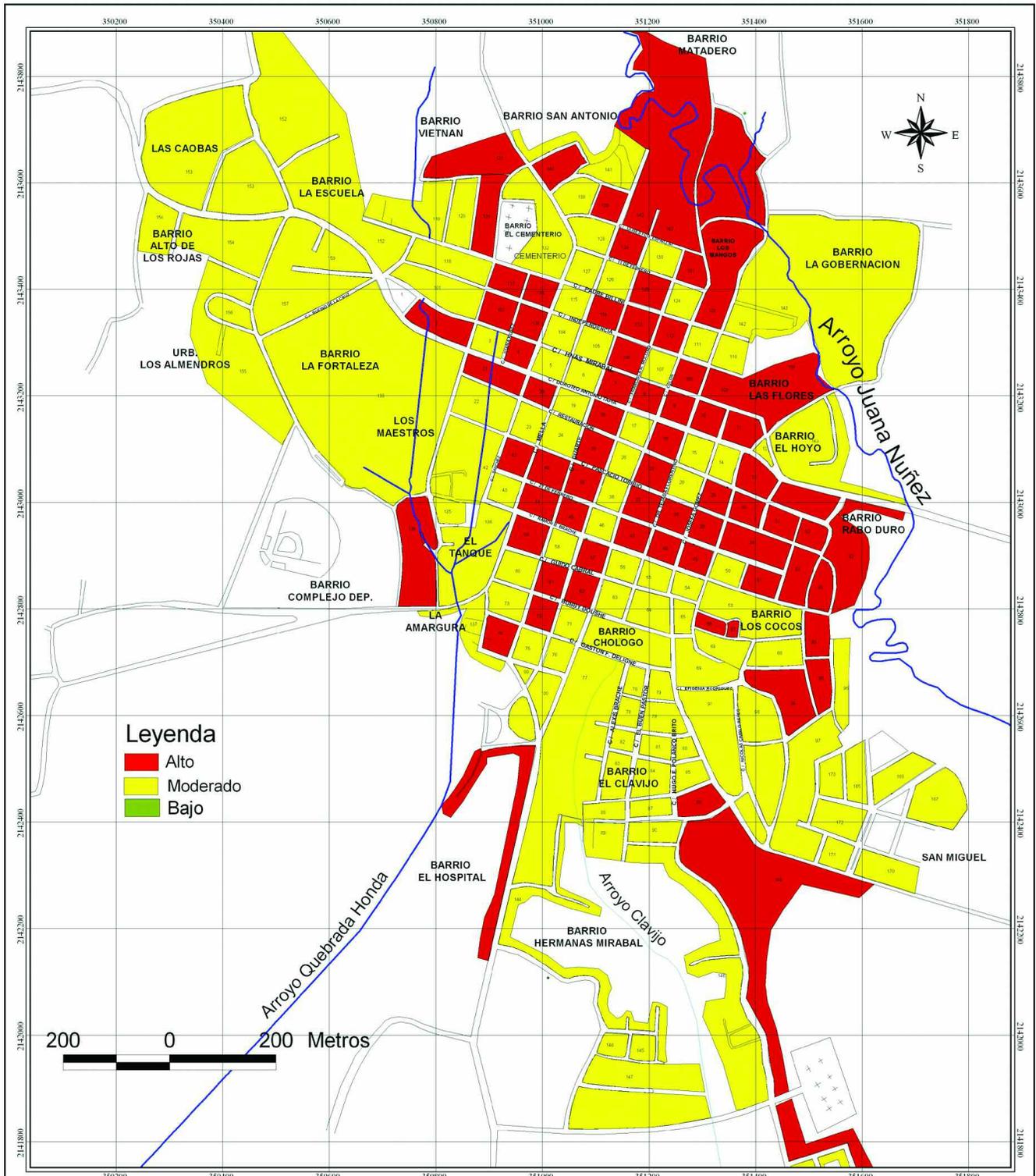
Figura No 2.10

**Los resultados para el daño de edificaciones evaluadas por tipología y cuadras, con los escenarios de sismos No 2 y 3 muestran índices de daño alto.**

### **2.5 Cálculos de Pérdidas Económicas para Sismos Probables**

#### Cálculos de Pérdidas Económicas para escenario de Sismo 1

Las pérdidas económicas para la ciudad de Salcedo, ante un sismo, se determinaron por cuadra, utilizando los daños ponderados por cada cuadra y un valor económico promedio de las infraestructuras por cada tipología (Tabla No 2.3 ). Estos valores no incluyen pérdidas por efectos secundarios al sismo (incendios) y mobiliario:



**Leyenda**

- Alto
- Moderado
- Bajo

200 0 200 Metros

<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Daños por Cuadra para Sismo con excedencia de 10% en 5 años con Aceleración en Roca Base de 0.1586g</b>						
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña</td> <td style="border: none;">Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández</td> <td style="border: none;">Coordinado por: Ing. Marco Minelli</td> <td style="border: none;">Escala: Indicada</td> <td style="border: none;">Mapa: 2-5</td> <td style="border: none;">Fecha: Agosto, 2004</td> </tr> </table>	Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-5	Fecha: Agosto, 2004
Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-5	Fecha: Agosto, 2004	

Tabla No. 2.3

Tipología	Valor Promedio	
	RD\$	US\$
Totalmente madera	RD\$ 100,000.00	\$ 2,500.00
Madera con pared de mampostería	RD\$ 150,000.00	\$ 3,750.00
Mampostería con cubierta ligera	RD\$ 300,000.00	\$ 7,500.00
Mampostería con cubierta de concreto armado	RD\$ 1,800,000.00	\$ 45,000.00
Concreto armado	RD\$ 4,000,000.00	\$ 100,000.00
	Tasa de Cambio	RD\$ 40.00

Estos valores se tomaron en cuenta con la colaboración del Departamento de Planeamiento Urbano del Ayuntamiento de Salcedo.

Para definir los rangos de pérdidas económicas por cuadra se utilizaron los siguientes criterios:

Rangos de Pérdidas Económicas		
Alta	≥	\$ 200,000.00
Moderada	<	\$ 200,000.00
Moderada	>	\$ 50,000.00
Baja	≤	\$ 50,000.00

Los valores son expresados en dólares americanos (US\$).

La estimación de las pérdidas económicas en la ciudad de Salcedo para el escenario con el Sismo 1 muestra que:

Para el 12.3 % (21) de las cuadras se prevé una pérdida económica alta, con una pérdida total estimada de US\$ 6,445,000.00.

Para el 66.5% (113) de las cuadras se prevé una pérdida económica moderadas con una pérdida total de US\$ 12,791,000.00.

Para el 21.2% (36) de las cuadras se prevé una pérdida económica baja con una pérdida total de US\$ 859,000.00.

Estos resultados se resumen en la Figura No 2.11 y en el Mapa No 2.6

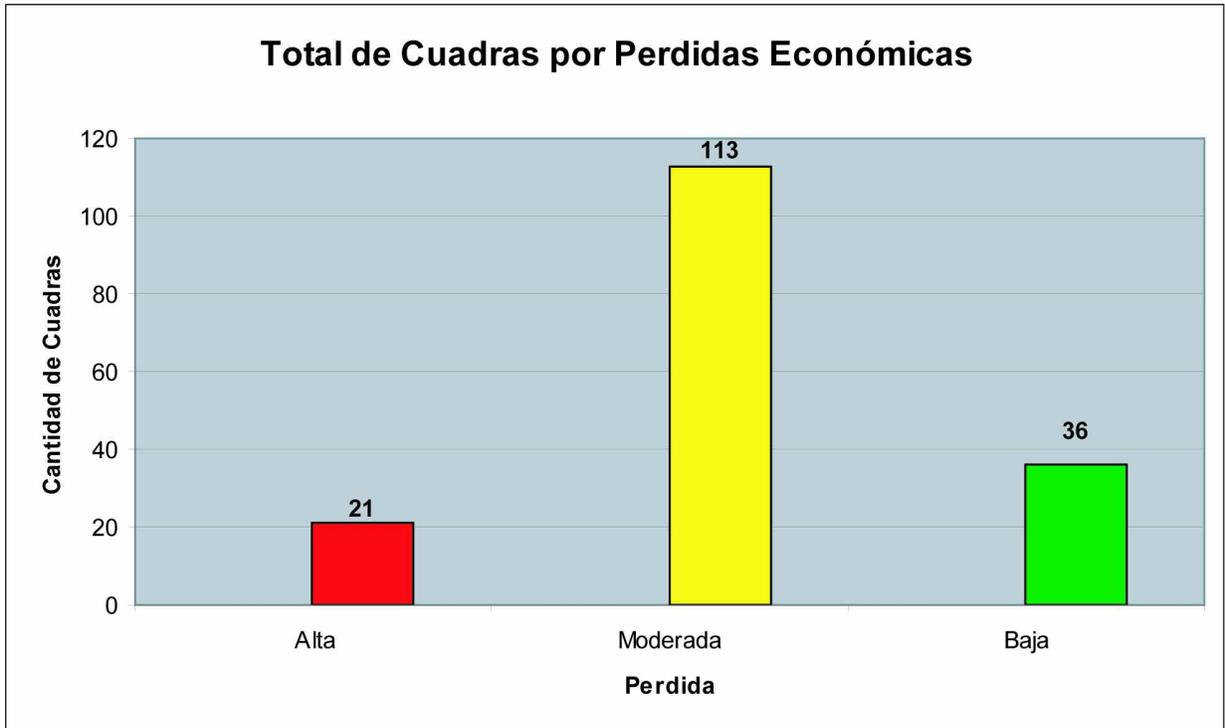
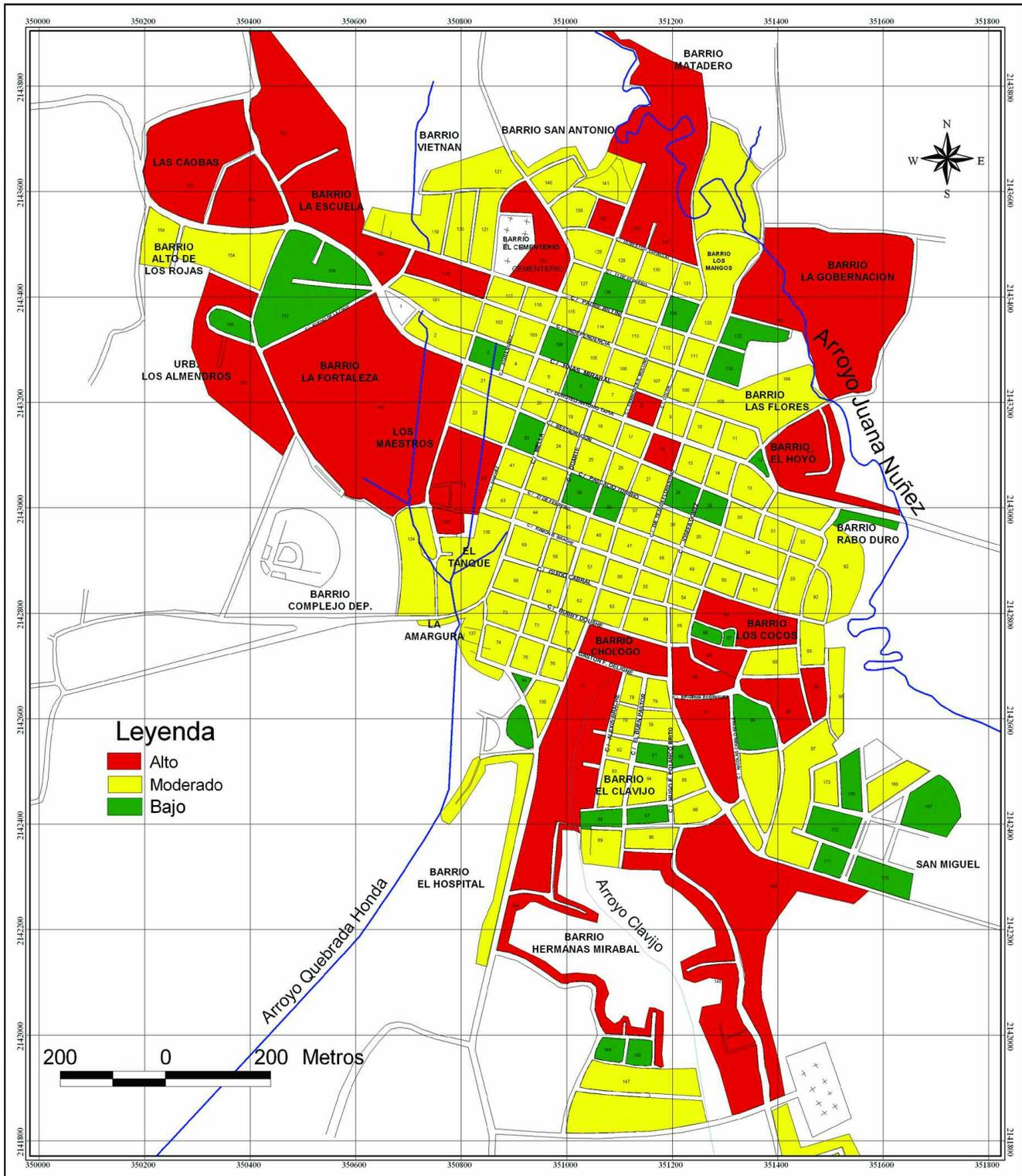


Figura No. 2.11

**Para los escenarios de los Sismos 2 y 3, el total de cuadras con un alto nivel de daño es de un 100%, y sus pérdidas económicas se estiman alrededor de 44,000,000.00 US\$.**



**Leyenda**

- Alto
- Moderado
- Bajo

200 0 200 Metros

<b>Estudio de Microzonificación, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de Salcedo</b>						
<b>Mapa de Perdidas Económicas por Cuadras para Sismo de excedencia de 10% en 5 años con Aceleraciones en Roca Base de 0.1586g</b>						
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña</td> <td style="border: none;">Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández</td> <td style="border: none;">Coordinado por: Ing. Marco Minelli</td> <td style="border: none;">Escala: Indicada</td> <td style="border: none;">Mapa: 2-6</td> <td style="border: none;">Fecha: Agosto, 2004</td> </tr> </table>	Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-6	Fecha: Agosto, 2004
Realizado por: Ing. Orlando Franco y Ing. Luis R. Peña	Dibujado por: Ing. Edy R. Hernández	Coordinado por: Ing. Marco Minelli	Escala: Indicada	Mapa: 2-6	Fecha: Agosto, 2004	

### 3. - Conclusiones y Sugerencias

El presente estudio tuvo como objetivo identificar el riesgo sísmico de la ciudad de Salcedo, municipio cabecera de la Provincia Salcedo de la República Dominicana, combinando la vulnerabilidad de las edificaciones con las aceleraciones horizontales del suelo esperadas por sismos probables.

El área de estudio se ubica en la zona norte oriental de la República Dominicana, a 3.5 kilómetros del flanco sur de la Cordillera Septentrional que es el rasgo topográfico más característico de la parte norte del País, la zona es cruzada por el rastro activo de la *Falla Septentrional*, que es la mayor evidencia morfológica existente en República Dominicana del contacto entre la Placa del Caribe y la Placa de Norteamérica.

Las investigaciones geológicas, geodésicas, paleosísmicas y sismológicas realizadas en los últimos 9 años en el área de estudio, muestran que la zona presenta un alto potencial sísmico.

La profundidad de la roca madre (bed rock) bajo la ciudad de Salcedo, determinada a través de sondeos geomecánicos y levantamiento geológico de campo, tiene un valor promedio de 80 m. Las unidades que cubren la roca madre en el área urbana y peri urbana son representadas por depósitos aluviales de terraza cubiertos en algunos sectores urbanos por depósitos artificiales (rellenos).

Los valores esperados de aceleración de las ondas sísmicas en la superficie de la Ciudad de Salcedo, debido a los factores de amplificación en las diferentes unidades geológicas y para los diferentes niveles de probabilidad de excedencia, que podemos calificar de frecuentes 10% en 5 años, son de 0.23 - 0.18 g., para seguridad de la vida 10% en 50 años, son de 0.41 - 0.55g, y para diseño de estructuras de importancia 2% en 50 años, son 0.83 – 0.87g, pudiendo ser de los valores mayores de la isla. Situación previsible por su localización con relación a las estructuras tectónicas de importancia, así como por las características y espesores de las unidades geológicas subyacentes.

Para la evaluación de la **vulnerabilidad** de la ciudad de Salcedo, en el presente estudio se introdujo en el País una adaptación de la Metodología Benedetti-Petrini, desarrollada en Italia. Esta metodología toma en cuenta una serie de parámetros que controlan el comportamiento sísmico de las edificaciones y permiten definir un *Índice de Vulnerabilidad*.

Se evaluaron el 10 % de las 3463 edificaciones existentes en la zona urbana de la ciudad de Salcedo. La evaluación de la vulnerabilidad se realizó para las diferentes tipologías de estructuras (totalmente de madera, madera con pared de mampostería, mampostería con cubierta de concreto armado, mampostería con cubierta ligera, concreto armado), las edificaciones evaluadas de cada tipología fueron escogidas uniformemente en toda el área urbana. La vulnerabilidad de las edificaciones no evaluadas se estimó haciendo una proyección los valores medios ponderados encontrados en las edificaciones evaluadas pertenecientes a cada tipología.

Los rangos para el cálculo del *Índice de Vulnerabilidad* (I.V.) se definieron de acuerdo a los siguientes criterios:

- $I.V. \leq 0.15$   $\Rightarrow$  Vulnerabilidad Baja
- $0.15 < I.V. < 0.35$   $\Rightarrow$  Vulnerabilidad Moderada o Media
- $I.V. \geq 0.35$   $\Rightarrow$  Vulnerabilidad Alta

La evaluación muestra normalmente índices de vulnerabilidad de alta a media o moderada. Las edificaciones con vulnerabilidad baja son muy reducidas.

Los resultados de la evaluación ponderada de la vulnerabilidad de edificaciones por tipología fueron los siguientes:

Vulnerabilidad Alta, Madera con I.V. de 0.69, Madera, Mampostería con techo ligero con I.V. de 0.35.

Vulnerabilidad Media o Moderada, Concreto Armado con I.V. de 0.32, Mampostería con techo ligero con I.V. de 0.24, Mampostería con Losa de Concreto con I.V. de 0.18.

Las Estructuras Especiales (edificios públicos), fueron evaluadas utilizando los mismos criterios de evaluación que las otras estructuras no públicas, con los siguientes resultados:

Hospicio Santa Balbina, Edificio de la Gobernación, Defensa Civil, y Policía Nacional, presentan una vulnerabilidad Alta con I.V. de 0.55 – 0.35. Las otras edificaciones Públicas presentan una Vulnerabilidad Moderada a Baja con valores de I.V. de 0.33 a 0.08.

Se realizó un análisis de la vulnerabilidad de las 170 cuadras que componen la ciudad de Salcedo. En la evaluación del *Índice de Vulnerabilidad* por cuadra se utilizó el promedio ponderado del índice de cada tipología de edificaciones perteneciente a la cuadra.

El índice de vulnerabilidad ponderado de 170 cuadras en la ciudad de Salcedo es de Media a Alta. De 170 cuadras, el 31.18 % (53) son de Alta Vulnerabilidad, el 67.06 % (114) tienen Vulnerabilidad Media o Moderada, y 1.76% (3) tienen Vulnerabilidad Baja.

La evaluación del **Riesgo** se relacionó con la medición o estimación de los porcentajes de daño de las edificaciones. La determinación de los *Índices de Daño* (I.D.) se realizó combinando la vulnerabilidad de las edificaciones con las aceleraciones horizontales del suelo esperadas para sismos probables.

Para definir los Rangos de Daño se utilizaron los siguientes criterios:

- $I.D. \leq 0.15$   $\Rightarrow$  Daño Bajo
- $0.15 < I.D. < 0.35$   $\Rightarrow$  Daño Moderado Medio
- $I.D. \geq 0.35$   $\Rightarrow$  Daño Alto

La determinación del *Índice de Daño* por tipología de edificaciones se obtuvo calculando el índice para cada una de las edificaciones evaluadas y luego proyectando estos resultados por cada tipología.

La determinación del *Índice de Daño* por cuadra, se obtuvo calculando el promedio ponderado del

índice de cada tipología perteneciente a la cuadra .

Los resultados de la evaluación del daño por tipología de edificaciones para el escenario con Sismo con probabilidad de excedencia de 10 % en cinco (5) años o retorno aproximado de 50 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.1586 g. y sus factores amplificaciones para aceleraciones superficiales en la ciudad de Salcedo de 0.23 – 0.18g. fueron los siguientes:

Daño Alto para Edificaciones de Concreto Armado con I.D. ponderado de 0.44 y de Madera con I.D. ponderado de 0.54.

Daño Medio para la edificaciones de Mampostería con I.D. ponderado de 0.28.

Los resultados de daños estimados por cuadra para la ciudad de Salcedo son de medio a alto. De 170 cuadras, el 40.24 % (68) son de Daño Alto, el 59.76 % (102) tienen Daño Medio o Moderado.

Los resultados del Índice de daño de edificaciones evaluadas por tipología y cuadra, con sismos con probabilidad de excedencia de 10 % en cincuenta (50) años o retorno aproximado de 500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.4543 g, y con probabilidad de excedencia de 2 % en cinco (50) años o retorno aproximado de 2500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.7452 g. y sus respectivas aceleraciones superficiales definen un Daño Alto para todas las edificaciones de la ciudad de Salcedo .

Las pérdidas económicas para la ciudad de Salcedo, ante un sismo, se determinaron por cuadra, utilizando los daños ponderados por cada cuadra y un valor económico promedio de las infraestructuras por cada tipología.

Los resultados para el escenario con un sismo con probabilidad de excedencia de 10 % en cinco (5) años o retorno aproximado de 50 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.1586 g. con sus respectivas aceleraciones superficiales son:

Por el 12.35 % (21) de las cuadras se prevén pérdidas altas, por un valor total de US\$6,445,000.00.

Por el 66.47% (113) de las cuadras se prevén pérdidas moderadas, por un valor total de US\$12,791,000.00.

Por el 21.18% (36) de las cuadras se prevén pérdidas bajas, por un valor total de US\$859,000.00.

Los valores económicos promedios de las infraestructuras se tomaron en cuenta con la colaboración del Departamento de Planeamiento Urbano del Ayuntamiento de Salcedo, sin incluir los de pérdidas por efectos secundarios al sismo (incendio) y mobiliario, y tomando los siguientes rangos de pérdidas en dólares: Alta, mayor de US\$200,000.00, Moderada entre US\$50,000.00 y US\$200,000.00 y Baja, por debajo de US\$50,000.00.

Los resultados para los sismos con probabilidad de excedencia de 10 % en cincuenta (50) años o retorno aproximado de 500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.4543 g, y con probabilidad de excedencia de 2 % en cinco (50) años o retorno aproximado de 2500 años, con aceleración máxima de la roca base de 0.7452 g. y sus respectivas aceleraciones superficiales muestran pérdidas económicas altas con un valor estimado superior a los US\$ 44,000,000.00.

En el presente estudio no se pudo estimar la cantidad de muertos y heridos ante un sismo definido por falta de datos poblacionales detallados.

### ***Sugerencias***

Es necesario que las Autoridades Gubernamentales y Municipales pongan especial atención al edificio público Hospicio Eduardo Brito y el edificio de La Gobernación, Defensa Civil y Policía Nacional, ya que las mismas presentan una Vulnerabilidad Alta, y en menor medida las demás edificaciones que tienen vulnerabilidad moderada.

Es necesario que El Municipio planifique y diseñe un programa para la reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones por tipologías de Madera, y Madera-Mampostería con techo ligero, como consecuencia que las mismas presentan Vulnerabilidad Alta, corrigiendo los parámetros que más las penalizaron, que fueron: la calidad de las conexiones en las estructuras.

Debido a los resultados de Alta Vulnerabilidad en los barrios Matadero, Vietnam, San Antonio, Las Flores, Barrio Complejo Deportivo (área este), Rabo Duro y cuadras próximas a este último, es necesario que se diseñe un programa para trabajar en la reducción de su vulnerabilidad estructural, ya que además de presentar este problema son las áreas que se encuentran con los mayores accidentes topográficos de la zona urbana.

Se sugiere más controles de calidad de los materiales utilizados en la elaboración del concreto, morteros, bloques de cementos, para reducir la vulnerabilidad y el riesgo en las construcciones de mampostería, debido a las altas aceleraciones superficiales a las que estará sometida la ciudad de Salcedo en un próximo evento.

Es conveniente continuar con este tipo de investigación en todo el país, pero dando prioridad a la ciudad Santo Domingo y a los municipios del Valle del Cibao, por su densidad poblacional y su ubicación en el marco tectónico regional.

Se recomienda para fines de obtener resultados más fiables del comportamiento dinámico del suelo de Salcedo, la colocación de acelerógrafos tanto en el afloramiento de la roca madre en las estribaciones de la Cordillera Septentrional, como también en campo abierto sobre los sedimentos aluvionales y relleno artificial. Los registros obtenidos permitirían evaluar de inmediato los valores de las amplificaciones del suelo. En efecto una limitación de la presente investigación es que el país no cuenta con ningún registro acelerográfico y se tuvo que utilizar acelerogramas provenientes de los bancos de datos internacionales (ver párrafo 1.3.5.3)

Es necesario que las instituciones de servicios y agrupaciones profesionales conozcan los resultados de este estudio de la ciudad de Salcedo, para que junto al Ayuntamiento Municipal colaboren con la elaboración de programas de reducción del riesgo para los diferentes niveles de la población.

## **Bibliografía**

Bachhuber, Jeff; William Lettis & Associates; Peña, Luis; Análisis de suelos y Mapas de Estabilidad para los Barrios de La Zurza, Capotillo, Simón Bolívar, Santo Domingo. Rep. Dom., 2001.

Bowles, Joseph E.; Engineering properties of soil and their measurements, McGraw- Hill, 1978.

Braja, Das.; Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. International Thomson, México, 1999.

Brown, R. W. Practical Foundation Engineering Hand Book. Litton Educational Publishing, 1975.

Calais, E, GPS measurement of Crustal Deformation in the Dominican Republic, CANAPE (Caribbean North America Plate boundary Experiment), The University of Nice, France, 2001.

Calais, E.; Perrot J. Mercier de Lepinay, Strike Slip Tectonic an Seismicity along the Northern Caribbean Plate Boundary From Cuba to Hispaniola, The Geological Society of America, Special Paper No. 236, 1998.

Consejo Nacional de Asuntos Urbanos (CONAU); Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR), Santiago de Los Caballeros, Lineamientos de Políticas De Desarrollo Urbano de la ciudad de Salcedo, Editora de Revistas, S.A., 1999, Santiago, R.D.

Conferencia Internacional Sobre Reducción de Riesgo Sísmico en la Región del Caribe y II Seminario Dominicano de Ingeniería Sísmica; Regional Norte CODIA; Julio del 2001

Corominas R., Hacia una estrategia Nacional de Prevención Sísmica en la Republica Dominicana, IX Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, Santo Domingo, R. D.,1996.

Crespo, Carlos.; Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa, México, 1998.

Dixon, T.; Farina, Demets, Charles; Jasma, Pamela; Mann, Paul; Calais E., Relative Motion Between The Caribbean And North American Plates And Related Boundary Zone Dem\formation From Decade of GPS. Observations, Journal of Geophysical Research, Vol. 103, No. 87, 1998.

Dolan James; Mann Paul, Active Strike Slip in Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone, The Geological Society of America, Special Paper No. 326, 1998.

Dolan J.; Mulling, Wall D., Active Tectonics of The North Central Caribbean: Oblique Collision Strain Partitioning, and Opposing Subducted Slams, The Geological Society of America, Special Paper No. 326, 1998.

Dolan James, Wald J. Davis, The 1943 – 1953 North Central Caribbean Earthquake: Active Tectonic Setting, Seismic Hazards And Implications for Caribbean North America Plate Motions, The Geological Society of America, Special No. 326, 1998.

Ericson J.; Karner G. Pindell J.; Sander L.; Fuller E.; Neogene Sedimentation and Tectonics in the Cibao Basin Evolution near Strike – Slip Dominated Plate Boundary, The Journal of Geology, Volume 106, page

473-494, The University of Chicago, 1998.

Fotografías aéreas del municipio de Salcedo a escala 1:40,000; 1983-1984, Rollo R7-Faja 9 (625-631); R 7-F8 (559-561), Instituto Geográfico Militar.

Fotografías aéreas del municipio de Salcedo a escala 1:20,000; 1967-1968, DR-B67-V18, (3436-3426; 3571-3573), Instituto Geográfico Militar.

Head, K. H. Manual of Soil Laboratory Testing. Editorial Pentech Press Limited, 1980.

Idriss, I. M; Sun, Joseph I.; User's Manual for Shake91. 1991.

Lambe T.; William; Soil Testing For Engineers, Editorial Jhon Wiley and Son, 1951.

Mann Paul, Calais E., Ruegg J., DeMets C. Jansma Pamela, Mattioli G., Oblique Collision in the Northeastern Caribbean from GPS measurements and Geological Observations, Tectonics, Vol 21, No. 6, American Geophysical Union, 2002.

Mann Paul, Grenville Draper, Lewis John; Geologic and Tectonic Development of the North – Caribbean Plate Boundary in Hispaniola, Special Paper No. 262, Geological Society Of America, P. 1- 28, 1991  
Montgomery Carla, Environmental Geology, McGraw Hill, 1997. USA.

Mann Paul; Prentice C.; Burr G.; Peña Luis, Taylor F.; Tectonic Geomorphology of the Septentrional Fault System, Dominican Republic, Special Paper No. 326, Geological Society Of America, 1998.

MOVIMONDO et al.; Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Posoltega y Quezalaguaque, 2001.

MOVIMONDO et al. ; Estudio de la Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la Ciudad de León, 2004.

MOVIMONDO, SODOSISMICA, ONESVIE; Estudio de Amenaza Sísmica de la República Dominicana, 2004.

Orlando Franco, Amenazas Naturales de la República Dominicana, V Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, PUCMM, 1988. Puerto Plata.

Peña, Luis; Estudios Paleosísmicos de la parte Occidental del Valle del Cibao, Zona de Falla Septentrional, Proyecto SYSMIN, 1998-1999.

Peña Luis, Orlando Franco, Estudio Geológico Área de la Zona de Falla Septentrional-Ave. Circunvalación Norte Santiago, Rep. Dom., 2000.

Peña Luis, Orlando Franco, Recopilación - Evaluación de los Datos Geotécnicos Geológicos y Reconocimiento Geológicos Superficial de la Zona Urbana y Peri -Urbana Norte de Santiago de los Caballeros, 2003.

Pergalani, F.; Romeo, R.; Luzi, L.; Pugliese, A.; Sano, T. Seismic microzoning of the struck by Umbria-Marche (Central Italy) Ms 5.9 earthquake of 26 September 1997. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 18 (1999) 279–296. 1999.

Pergalani, F.; M., Compagnoni; Petrini, V.; Evaluation of site effects in some localities of 'Alta Val Tiberina Umbra' (Italy) by numerical analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 23 (2003) 85–105, 2002.

Prentice C.; Mann Paul; Burr G.; Peña Luis; Timing And Zize of the Most Recent Earthquake Along the Central Septentrional Fault; Dominican Republic, U.S. Geological Survey, Open File Report 94-568, Menlo Park, California 1994.

PUCMM., SEOPC, CODIA, SODOSISMICA, I.S.U.: V Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, 1988.

Peck, Ralph; Hanson, Walter; Thornburn, Thomas; Foundation Engineering; Jhon Wiley & Sons, Inc, 1953.

Ruiz M., González Silvia., *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.*, Editorial Limusa, S. A. México, 2000.

Schnabel, Per B.; Lysmer, John; Seed, H. Bolton. Shake. Report No. EERC 72-12. 1972.

Seed, H. B., Idriss, I.M.; "Influence of soil conditions on ground motions during earthquakes", *Journal of the Soil Mechanics and foundations division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, January, 1969.

Seed, H. B., Idriss, I.M., Kiefer, F.W.; "Characteristics of rock motions during earthquakes", *Journal of the Soil Mechanics and foundations division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, September 1969

Servizio Sismico Nazionale Italiano, personal communication, 1997

Sun JI., Golesorkhi R., Seed HB, Dynamic moduli and damping ratio for cohesive soils, Report No EERC-88/15, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1988

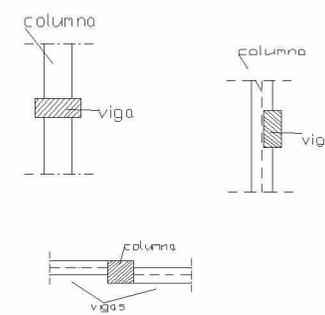
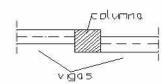
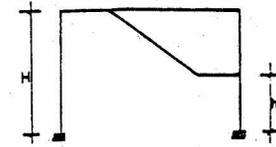
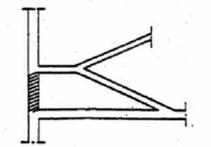
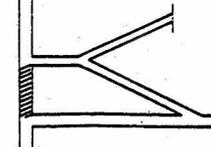
Tuttle, Prentice Carol, Williams Dyer Kathlen, Peña Luis, George Burr, Earthquake –Induced Liquefaction Features in Hispaniola: Powerful Tool for Earthquake Hazard Assessment in the Dominican Republic and Other Caribbean Countries, 2002.

Yeats R., Sieh Kerry, Allen Clarence., *The Geology of Earthquakes*, Oxford University Press, 1997.

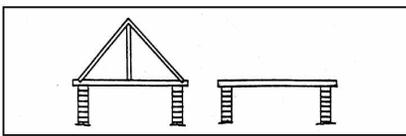
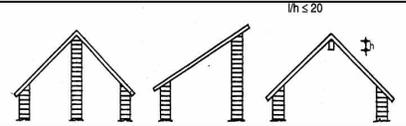
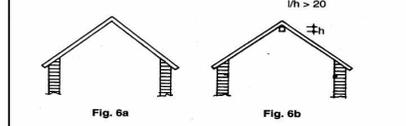
## **ANEXO**

### **Fichas para la Evaluación de la Vulnerabilidad de las Edificaciones**

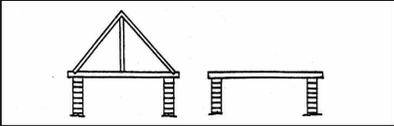
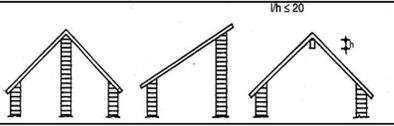
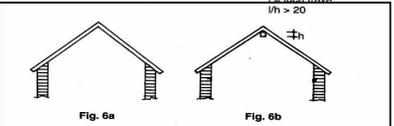
**FICHA DE LEVANTAMIENTO DE VULNERABILIDAD - CONCRETO ARMADO**

Ciudad <b>Salcedo</b>		Cuadra <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		N. Ficha <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		equipo <input type="text"/> <input type="text"/>	
Fecha <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Calle <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>					
PARAMETROS	Clases y valores	Cal. inf.	ELEMENTOS DE EVALUACION			ESQUEMAS	
1	TIPO Y CALIDAD DE LA ESTRUCTURA <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	Muros en c.a. (cl. A)	<input type="text"/>	1	Parametro 2. Resistencia convencional  $R = t^2 \cdot t_k$ <input type="text"/> $F = N \cdot A \cdot p_s$ <input type="text"/>  $C = R / F$ <input type="text"/>	
			Porticos y paredes tipo 1 (cl. A)	<input type="text"/>	2		
			Porticos y paredes tipo 2 (cl. B)	<input type="text"/>	3		
			Porticos y paredes tipo 3 (cl. C)	<input type="text"/>	4		
2	RESISTENCIA CONVENCIONAL <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	Numero de pisos N	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Parametro 5. Conexiones criticas  	
			Area de pertinencia A (m <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			min. dimension columna t (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			$\tau_k$ (t/m <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			Carga perm. p <sub>s</sub> (t/m <sup>2</sup> )	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
3	CONFIG. en Planta <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	Regular a/b ≤ 1,2	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			Regular a/b > 1,2	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			Irregular	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
4	CONFIGURACIÓN EN ELEVACION <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	Regular	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Parametro 6. Baja ductilidad  	
			Piso sin paredes - parcial	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			Pilotes primer piso	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
5	CONEXIONES CRITICAS <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	no existentes	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			solamente pisos sup.	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			al primer piso	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
6	BAJA DUCTILIDAD <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	no existen	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			columnas cortas 0.25 < h/H < 0.5	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			columnas cortas h/H < 0.25	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
7	ESTADO ACTUAL <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	(ver instrucciones)				

**FICHA DE LEVANTAMIENTO DE VULNERABILIDAD - MAMPOSTERIA**

Ciudad <u>Salcedo</u> Cuadra <u>    </u> N. Ficha <u>    </u> equipo <u>    </u>				
Fecha <u>    </u> Calle <u>    </u>				
PARAMETROS	Clases y valores	Cal. inf.	ELEMENTOS de EVALUACION	ESQUEMAS
1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Armada o ladrillos b. l. (cl. A) <input type="checkbox"/> 1	Parametro 2 - Resistencia convencional Tipo de estructura vertical $\tau_k$ (t/m <sup>2</sup> ) _____ _____ _____
			Ladrillos/bloques v.c. (cl. B) <input type="checkbox"/> 2	
			Igual con v.c. madera (cl. C) <input type="checkbox"/> 3	
			Ladrillos/bloques v.c. n.l. (cl. D) <input type="checkbox"/> 4	
2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numero de pisos <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	A - Minimo entre A <sub>x</sub> y A <sub>y</sub> (m <sup>2</sup> ) _____ B - Maximo entre A <sub>x</sub> y A <sub>y</sub> (m <sup>2</sup> ) _____ Coef. a <sub>0</sub> = A/A <sub>t</sub> Coef $\gamma$ = B/A _____ $q = (A_x + A_y) \cdot h \cdot p_m / A_t + p_s$ _____ $C = a_0 \tau_k / (qN) \cdot [1 + (qN) / (1.5 a_0 \tau_k (1 + \gamma))]^{1/2}$ _____ $\alpha = C / 0.4$ _____
			Area tot. cub. A <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
			Area A <sub>x</sub> (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
			Area A <sub>y</sub> (m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
			$\tau_k$ (t/m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
			h media (m) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
			Peso esp. paredes p <sub>m</sub> (tm <sup>3</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Carga perm. p <sub>s</sub> (t/m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				
3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bien amarrada y rigida (cl. A) <input type="checkbox"/> 1	Techo sin fuerza horizontal - tipo 0 
			Deformable (cl. C) <input type="checkbox"/> 2	
			Mal amarrada y rigida (cl. D) <input type="checkbox"/> 3	
			Deformable (cl. D) <input type="checkbox"/> 4	
4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Valor maximo l/e <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Techo con baja fuerza horizontal - tipo 1 
5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tipo de techo <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	Techo con fuerza horizontal apoyo - tipo 2 
			Viga de corona si <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2	
			Tensores si <input type="checkbox"/> 1 no <input type="checkbox"/> 2	
			Carga techo p <sub>c</sub> (t/m <sup>2</sup> ) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(ver instrucciones)	Fig. 6a      Fig. 6b
7	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(ver instrucciones)	

### FICHA DE LEVANTAMIENTO DE VULNERABILIDAD - MADERA

<b>Ciudad</b> Salcedo		Cuadra <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		N. Ficha <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		equipo <input type="text"/> <input type="text"/>	
Fecha <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Calle      _____					
PARAMETROS	Clases y valores	Cal. inf.	ELEMENTOS DE EVALUACION			ESQUEMAS	
1	TIPO Y CALIDAD DE LA ESTRUCTURA <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	Porticos y base (cl. A)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Parametro 3. Techo  Techo sin fuerza horizontal - tipo 0  	
			Porticos sin base (cl. B)	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			Columnas y planchas (cl. C)	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
2	CONEXIONES <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	eficaces con viga de corona	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Techo con baja fuerza horizontal - tipo 1  	
			eficaces sin viga de corona	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
			no eficaces	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
3	TECHO <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/>	Tipo de techo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Techo con fuerza horizontal apoyo - tipo 2  	
			Viga de corona	si <input type="text"/>	no <input type="text"/>		
			Tensores	si <input type="text"/>	no <input type="text"/>		

Presencia de una pared en mamposteria

100