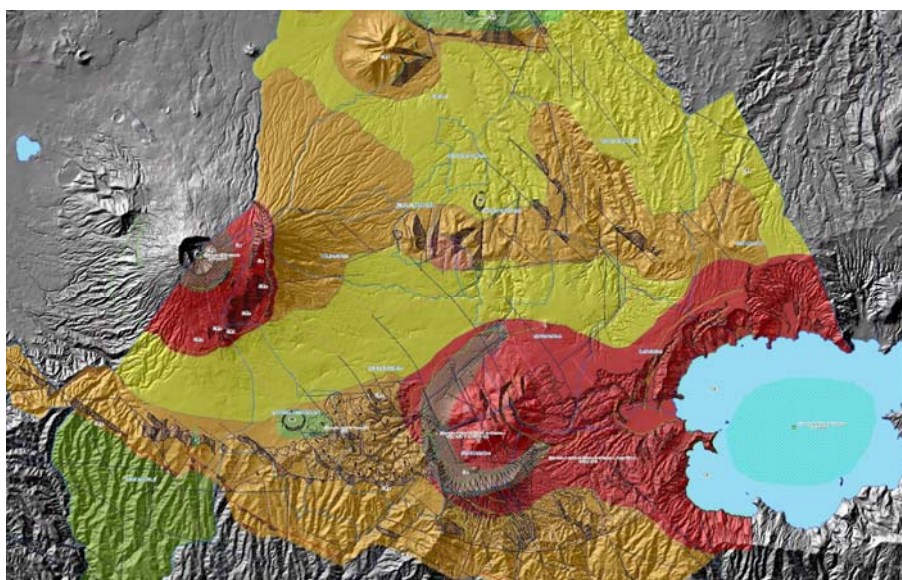


*Earthquake Risk Reduction in
Guatemala, El Salvador, and Nicaragua
with regional cooperation to
Honduras, Costa Rica, and Panama*



Task 6: Microzonation in San Salvador

Technical Report of the Project Activities

Norway
April 2008

INDICE

Introduccion	3
1 Marco Teorico Conceptual	3
1.1 Ruido Sismico Ambiental.....	4
1.2 Metodo de la Razones Espectrales Horizontal y Vertical (H/V)	4
2 Geologia del Area metropolitana de San Salvador	4
3 Metodologia de Trabajo y Resultados	9
3.1 Metodologia para las medidas instrumentales y el analisis de los datos	4
3.2 Resultados obtenidos en cada zona	4
4 Integracion de los datos y resultados en un SIG.....	50
5 Conclusiones.....	51
6 Referencias.....	52
 Agradecimientos	 53
ANEXO. REGISTROS TEMPORALES Y GRAFICAS H/V OBTENIDOS.	

Ilustración de la portada:

Zonificación de ~~monofestructuras~~ del AMSS y su relación con la actividad sísmica, 1:45,000. OPAMSS, San Salvador

INTRODUCCION

En el marco del proyecto Proyecto Reducción del Riesgo Sísmico en Guatemala, el Salvador y Nicaragua con Cooperación de Honduras, Costa Rica y Panamá, RESIS II, el cual incluye algunos temas como Vulnerabilidad Sísmica, se encuentra la Tarea 6 Microzonificación en el AMSS, la cual se desarrolló en dos etapas, la primera en el mes de febrero con la campaña de campo en la recolección de señales sísmicas ambientales y la segunda en las instalaciones de NORSAR en Noruega, para el procesamiento, interpretación y documento final a ser elaborado.

De parte de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), se definieron diez zonas posibles de mediciones, las cuales se muestran en la Figura 1 de este documento, teniendo cada zona una extensión superficial aproximada de 1.0 km^2 en las cuales se instalaron los instrumentos de medición, con el objetivo de tomar al menos diez puntos de análisis.

En la etapa de procesamiento e interpretación, uno de los objetivos principales es la obtención de datos de velocidades de corte V_s , profundidad de estratos, frecuencia predominante y tipo de suelo para cada uno de los puntos de medición, que en conjunto se puedan integrar a base para un sistema de información geográfico (SIG), obteniendo además mapas temáticos para cada zona.

A nivel mundial, específicamente en los sitios con frecuencia de sismos de gran magnitud, los gobiernos o instituciones de investigaciones han dirigido recursos y tiempo en la determinación de un mapa de microzonificación sísmica, el cual toman como base para el desarrollo de sus ciudades teniendo en cuenta el factor de riesgo sísmico latente, a lo cual se debe apuntar.

1. Marco Teórico Conceptual

1.1 Ruido Sísmico Ambiental

Los microtemores, también conocidos como ruidos ambientales sísmicos, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas de suelo y roca por fuentes de origen naturales y artificiales. Entre las fuentes naturales se tienen las olas del mar, la presión atmosférica, el viento, los volcanes, entre otros; y entre las artificiales se pueden mencionar el tráfico vehicular, paso de trenes, paso de peatones, vibración de maquinaria industrial, etc.

Independientemente del punto de observación, los instrumentos registradores del movimiento del suelo, siempre registran un cierto nivel de ruido ambiental sísmico. Esto significa que el suelo esta nunca realmente en reposo. Esto es debido a que las fuentes productoras de energía excitan las ondas sísmicas, y a que las fuentes naturales, tales como el océano y los fenómenos meteorológicos, son continuos, de forma que un cierto nivel de ruido de trasfondo existe todo el tiempo.

El ruido ambiental sísmico en cualquier sitio puede considerarse causado por una serie de fuentes aleatorias y con amplitud variada (Lachet et al., 1994). Esto hace muy difícil la determinación de la simulación de ruido urbano.

El ruido ambiental sísmico registrado en la superficie terrestre esta fuertemente sometido a fluctuaciones temporales y estacionarias. Estos ruidos se consideran normalmente como temporales y espacialmente variables, mientras no sean uniformes en todas sus frecuencias.

De acuerdo a la literatura científica, el ruido ambiental sísmico se piensa que esta compuesto por microsismos y microtemores. Donde el primero representa ruidos de periodos largos, principalmente generados por orígenes naturales, y los siguientes son asignados a ruidos de periodos cortos con orígenes artificiales. La Tabla 1 resume las diferentes percepciones en el orden de distribución entre microtemores de periodos cortos y microsismos de periodos largos de acuerdo a los diferentes puntos de referencia.

Tabla 1. Distinción entre Ruidos de Periodos Cortos y Largos de acuerdo a diferentes autores

Autor de Referencia	Frecuencia Marginal, f	Microsismos: Ruidos de Periodo Largos ⁽¹⁾	Microtremores: Ruidos de Periodo Cortos ⁽¹⁾
Aki, 1957	1.0 Hz		>1.0Hz:tráfico
Ansary et al., 1995	1.0 Hz	<1.0Hz: R _g y L _g Ondas Originadas por fuentes naturales, tales como las olas del mar	>1.0Hz Generadas por ruidos artificiales, tales como tráfico de vehículos, plantas industriales y aplicaciones hogareñas
Bard, 1998	1.0Hz	<0.3/0.5Hz:ondas del océano en distancias largas (0.3/0.5) – 1.0Hz: ondas del mar y viento en las costas	>1.0Hz Actividades humanas, ciclos humanos
Cherry & SALT, 1971			Continuos movimientos terrestre cuyo rango de amplitud entre 0.1 – 1.0 microns: Se cree primeramente originados por fuentes artificiales (hechas por el hombre)
Field et al., 1990	1.0Hz	0.2 – 1.0Hz: Disturbios oceánicos	
Lermo & Chavez Garcia, 1994	0.50Hz	<0.5Hz: Perturbaciones atmosféricas sobre los océanos (Propagación de R _g y L _g sobre rutas continentales)	>1.0Hz: Ondas R _g excitadas por disturbios de tráfico cercanos al sitio de registro.
Nakamura, 1989	0.3 – 0.5Hz	<0.3 – 0.5 Hz: Ondas del mar	>0.3 – 0.5 Hz: Tormentas y fuerzas artificiales

1.2 Método de las razones espectrales Horizontal y Vertical (H/V)

Desde los años setenta, una de las aproximaciones más debatidas para la estimación de amplificación de sitio ha sido el denominado método de la razón espectral H/V que esta siendo aplicado por los todos los científicos alrededor del mundo. La técnica Espectral H/V (Método de Estación Simple) usando datos de microtemores, fue introducida por primera vez por Nogoshi & Iragashi (1971).

Posteriormente fue mejorado por Nakamura (1989) quien sugirió que la razón espectral H/V de microtemores representa el “Espectro Cuasi – Transferencia” de los sitios registrados.

Aun cuando el transfondo teórico de esta técnica es cuestionable por algunos científicos hoy en día, la estabilidad así como la fiabilidad de los resultados resulta muy convincente.

En la literatura científica podemos encontrar dos interpretaciones del transfondo teórico del método.

Nogoshi & Igarashi (1971) presentaron en sus investigaciones que, la razones H/V en microtemores están directamente relacionados con la curva elíptica de las ondas Rayleigh en la componente vertical debido a la predominancia de este tipo de ondas en dicha componente. Posteriormente a sus suposiciones, expusieron que la dependencia en la frecuencia de la elipticidad llevaba a la aparición de picos y valles visibles en la razón H/V, el primero de los cuales se generaba por la desaparición de la componente vertical alrededor de la frecuencia fundamental de resonancia de la onda S. De la misma forma, estos supuestos son aplicables a las ondas Love puesto que dichas ondas no afectan a la componente vertical.

En contraste con esto, Nakamura (1989), propone que las razones espectrales H/V en microtemores se pueden estimar como la función de respuesta del sitio a las ondas S. Si se divide la componente horizontal del movimiento terrestre de la superficie por la vertical, podemos eliminar el efecto de la fuente y obtener los efectos de las ondas Rayleigh. Nakamura recibió muchas críticas a estas propuestas por lo cual tuvo que modificar algunas de sus suposiciones (NAKAMURA, 1996; NAKAMURA, 2000). Aunque Nakamura(2000) aun asume que la razón H/V esta determinada principalmente por ondas S_H , su marco teórico es muy plausible. El descarta la posibilidad de que sean las ondas Rayleigh las responsables de la generación de los picos espectrales ya que la energía de estas ondas es muy pequeña para este rango de frecuencia en particular.

En cualquier caso, la comunidad científica acepta ampliamente que el método de la razón espectral H/V puede identificar la frecuencia fundamental del emplazamiento, f_s (BARD, 1998; FIELD & JACOB, 1995; LACHET & BARD, 1994; NAKAMURA, 1989; entre otros), independientemente de cual sea el fundamento teórico.

Por el contrario, la fiabilidad de la razón H/V para identificar la frecuencia predominante contrasta con que no existe una correlación definitiva que permita comparar la amplificación del pico H/V con la amplificación real del emplazamiento.

Otra limitación reside en el hecho de que la razón H/V solo proporciona una estimación fiable de las características del emplazamiento si existe un contraste de impedancias significativo entre el semiespacio rocoso y la capa de sedimentos que existe sobre el. Esta es la razón por la cual si la medida se efectúa sobre roca, la razón H/V no muestra ningún pico correspondiente a frecuencias predominantes.

En general se describe el efecto del suelo como el cociente entre el espectro de la componente horizontal de las ondas sísmicas del sitio y este en el basamento rocoso debajo del sitio. La técnica del cociente espectral se basa en la propiedad que la componente vertical no es amplificada al atravesar el suelo, a lo cual Nakamura propuso su aplicación al ruido ambiental.

2 Geología del Área Metropolitana de San Salvador

El Salvador está situado en el denominado Cinturón de Fuego que atraviesa las costas del Pacífico, la cual presenta una intensa actividad sísmica y volcánica relacionada principalmente con el proceso de subducción que se origina por la interacción de la Placa del Caribe con la Placa de Cocos, determinándose una velocidad promedio de intrusión de 8 cm/año.

Las principales fuentes generadoras de sismos que afectan a El Salvador son (Figura 1):

- El Proceso de Subducción. Se origina por la interacción de la Placa del Caribe con la Placa de Cocos y cuyos sismos pueden alcanzar magnitudes cercanas a 8.0, como el ocurrido el 13 de Enero de 2001 (M-7.6).
- La Cadena Volcánica. Se extiende a lo largo de El Salvador y se relaciona con el sistema de fallas geológicas locales. Se ha determinado que hasta unos 20 km de profundidad existe incidencia hacia la actividad sísmica, y en el transcurso de la historia se ha registrado sismo con magnitud del orden de 6.6 grados, como el ocurrido el 13 de febrero de 2001.
- Interacción la Placa del Caribe y la Placa de Norteamérica. La cual se manifiesta con un movimiento lateral izquierdo en las fallas de Motagua y Chixoy - Polochic. Los sismos en esta zona pueden alcanzar magnitudes del orden de 7.5.

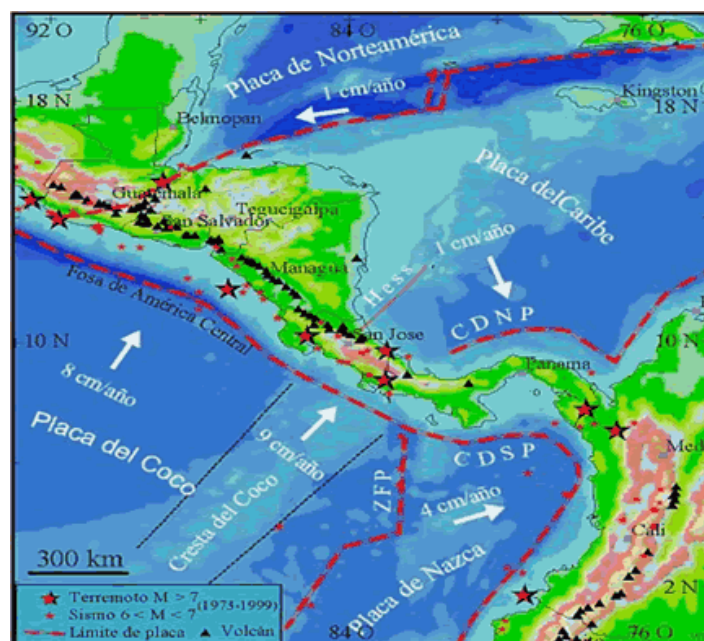


Figura 1. Marco sismotectónico que afecta a San Salvador

La mayor referencia de la geología de El Salvador, y por ende de la ciudad de San Salvador sigue siendo el Mapa Geológico elaborado en la década de los 70 por la Misión Alemana a una escala 1:100,000 y que con los años ha servido de referencia de la geología local del AMSS.

Por otro lado, se diferencian cuatro formaciones geológicas bien marcadas que con el transcurso de las eras geológica forman en Área Metropolitana actual, siendo estas:

- Formación Cuscatlan, se encuentran en la cadena volcánica vieja que atraviesa la parte Norte del país y están compuestos por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son: corrientes de lava, aglomerados, tobas, escorias y cenizas volcánicas endurecidas y tobas fundidas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. El espesor de los estratos y su sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles de color rojo de poca profundidad (hasta 4 metros).
- San Salvador, se encuentran en la cadena volcánica joven que atraviesa la parte Sur del país y están compuestos por productos extrusivos de los volcanes individuales. Estos productos son: corrientes de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, que se encuentran a veces con intercalaciones de sedimentos lacustres. El espesor de los estratos y la sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles color café y negro.
- Bálsamo, Compuestos por productos volcánicos en los cuales abundan los aglomerados con intercalaciones de tobas volcánicas endurecidas y corrientes de lava basáltica-andesítica con un espesor aproximado de 500 m. También hay suelos fósiles de color rojo de gran profundidad (hasta 20 m). Además se encuentran rocas extrusivas con pocas intercalaciones de tobas volcánicas y aglomeradas; la parte inferior es de carácter andesítico y en la parte superior, basáltico. Hay algunos afloramientos más ácidos

(hasta riolíticos) sobre todo en el E del país. El espesor aproximado de estos últimos es mayor de 1000 m.

- Formación Ilopango, la mas reciente de todas y cubrió gran parte del actual AMSS con piroclásticos ácidos, denominada cenizas volcánicas y comúnmente conocida como tierra blanca.

Las primeras tres formaciones geológicas son las responsables del vulcanismo que atraviesa el país.

En cuanto a esfuerzos de realizar trabajos de microzonificación sísmica tanto para El Salvador como para el Area Metropolitana, no se han logrado mayores avances o casi nulo, y aunque es una tarea compleja, debe enfocarse como necesaria, debido al riesgo sísmico con que se interactúa, principalmente en el AMSS, lo cual se traduciría en la actualización de reglamentos y/o normas sismorresistentes que se apeguen a una realidad sísmica de la región, se ha encontrado una propuesta para microzonificación sísmica en base a criterios geotécnicos, para una conferencia Seminario Internacional de Microzonificación y de Seguridad de Sistemas de Servicios Públicos Vitales, realizado en Lima – Peru, en el año de 1990, elaborado por Ing. Rolando Alberto Aguilar Colato, Asesor Estructural del Ministerio de Educación, el cual, en resumen, trata de elaborar un modelo de microzonificación tomando como base datos de geotecnia y las condiciones de suelos locales del AMSS. En el mismo se definen algunas correlaciones empíricas para la determinación de las velocidades longitudinales y de corte V_L y V_S , así como el modulo de rigidez de los suelos G .

3. Metodología de Trabajo y Resultados

3.1 Metodología para las medidas instrumentales y el análisis de los datos

Durante una campaña de medición en el mes de febrero de 2008, en el Area Metropolitana de San Salvador (AMSS), en sitios antes determinados, 3 registradores Taurus con sensores de 5 s (0.2 Hz) (Figura 2), prestados por el Instituto Geografico Nacional (España), se distribuyeron en el entorno urbano del AMSS, en diez zonas de 1.0 Km² de superficie aproximada cada una, las cuales se muestran en la Figura 3.

Primeramente las mediciones se realizaron en la zona sur, Santa Tecla, Santa Elena, La Cima y San Marcos, moviéndose hacia el norte, pasando por los sectores de la Colonia Escalon, San Francisco, Sectores circundantes a la Universidad de El Salvador, ciudad Corinto, puntos de intersección de la Carretera Troncal del Norte y Anillo Periférico hasta la toma de registro en la zona de Ilopango.

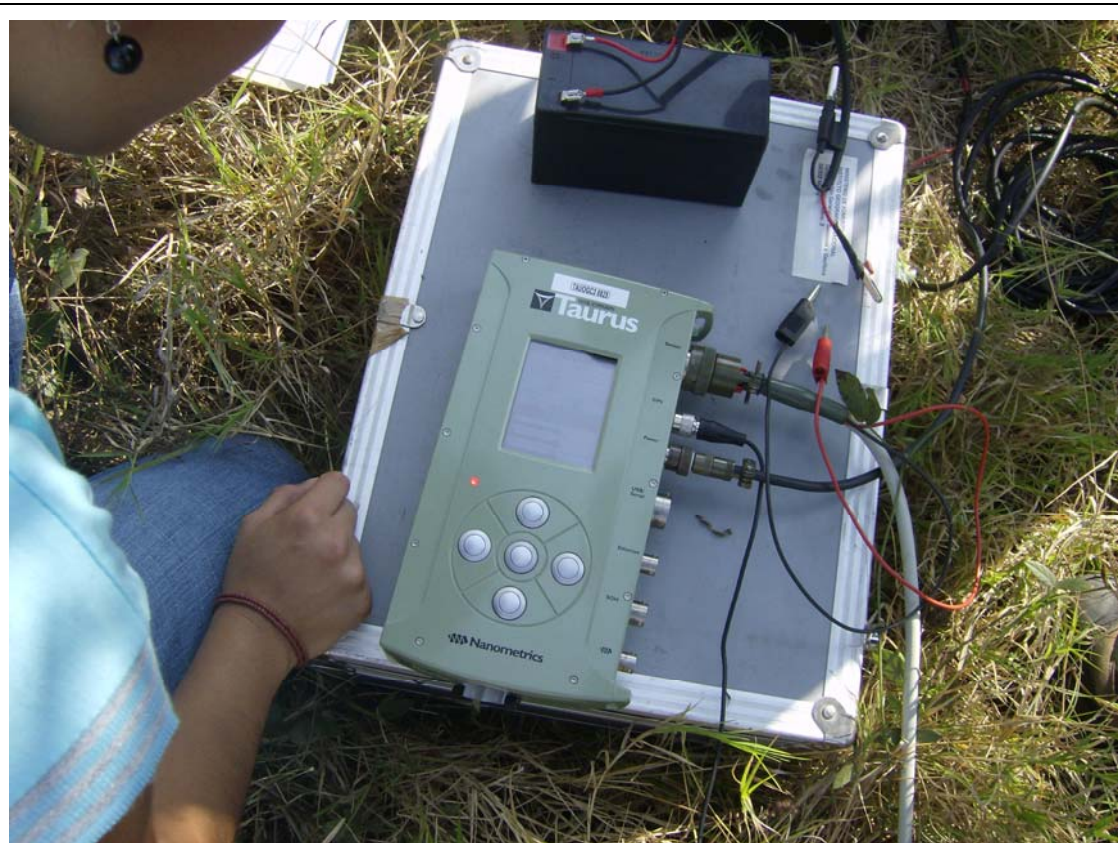


Figura 2. Arriba: Registrador Taurus en configuración. Abajo: Disposición óptima del sensor Lennartz de 5s para efectuar medidas de ruido sísmico ambiental.

Las mediciones instrumentales fueron realizadas durante el día, con la participación de estudiantes de la UES y UCA, quienes recibieron las instrucciones debidas del uso de los instrumentos y la metodología de trabajo y escoltados por la Policía de San Salvador. Protección Civil se encargo de coordinar todo el marco técnico y humano necesario para el proceso de adquisición de datos con el apoyo de el SNET y UCA.

En cada punto de medición, se obtuvieron registros de aproximadamente 30 minutos de duración con una frecuencia de muestreo de 100Hz, con excepción del primer y segundo día de medición, en los cuales, para el registrador Taurus 397, se mantuvo una frecuencia de muestreo de 200Hz, debido a un error en la configuración del equipo.

Las mediciones se realizaron en los distintos ámbitos de San Salvador, desde calles con tráfico pesado, hasta sectores libres de fuentes generadoras de ruidos constantes.

Los instrumentos de medición, registraban en las tres componentes: Vertical, Norte-Sur y Este-Oeste. Los registros obtenidos se extrajeron de las estaciones en formato ascii y posteriormente, para llevar a cabo su procesamiento, se dividieron en tres ficheros ascii diferentes (*.c0, *.c1 y *.c2) correspondientes a las componentes vertical, norte-sur y este-oeste, respectivamente.

La aplicación de la técnica de la razón H/V requiere, en primer lugar, que el registro obtenido se divida en ventanas donde aplicar la transformada de Fourier. Así, las muestras a 100Hz se dividieron en ventanas de 82 s. mientras que las muestras de 200 Hz se dividieron en ventanas de 164 s.

Para este proceso de obtención de ventanas, aplicación de la transformada de Fourier y obtención del espectro H/V en cada ventana se utilizo un software, elaborado por el Dr. Dominik H. Lang, cuyos algoritmos contienen la Transformada de Fourier, para la determinación del espectro H/V, para cada una de las ventanas resultantes, de acuerdo a la duración de las muestras, lo cual genero una base de datos con todas las razones H/V correspondientes para cada registro.

Esta base de datos, fue procesada en el programa MATLAB para la representar gráficamente los resultados de H/V de cada ventana, eliminar aquellas ventanas que mostraban resultados incoherentes y proceder a calcular la razón H/V media así como su correspondiente desviación estándar (percentiles 16 y 84). Este procedimiento se realizo para cada uno de los puntos de registro en la campaña de campo, dado que debe determinarse una grafica H/V para ellos.

Teniendo la gráfica del espectro H/V para cada punto, se utilizó un programa de representación gráfica, wgnuplot32 (<http://www.gnuplot.info/>) para leer los datos correspondientes al valor medio y desviación estándar del espectro H/V y representarlos junto con las curvas representativas de diferentes Vs, profundidades y suelos clasificados según la NEHRP (FEMA, 1997, Bray & Rodríguez-Marek, 1997) (Tabla 2). De esta forma se obtiene la figura final que permite identificar no solo la frecuencia predominante del emplazamiento en cuestión sino también estimar el tipo de suelo correspondiente así como su Vs y profundidad aproximadas, representando la media y desviación estándar de la razón H/V junto con los rangos de velocidades, frecuencias y profundidades propuestas por Bray & Rodríguez-Marek (1997) (Figura 3).

Tabla 2. Clasificación de suelo utilizada. Tabla tomada de Lang et al. (2006)

NEHRP site class	Site class *	Description	Ranges of shear-wave velocity $v_{s,30}$	Comments on layer thickness H	f_s [Hz] **
A	A	Hard, strong, intact rock	$v_{s,30} > 1500$ m/s	–	≥ 10
B	B	Rock (most California rock cases)	$v_{s,30} \geq 760$ m/s or	$H < 6$ m of soil	≥ 5.0
C	C-1	Weathered/soft rock	$v_{s,30} \geq 360$ m/s	$H = 6 - 30$ m	≥ 2.5
	C-2	Shallow stiff soil		$H = 6 - 30$ m	≥ 2.0
	C-3	Intermediate depth stiff soil		$H = 30 - 60$ m	≥ 1.25
D	D-1	Deep stiff Holocene soil, either sand or clay	$v_{s,30} \geq 180$ m/s	$H = 60 - 200$ m	≥ 0.7
	D-2	Deep stiff Pleistocene soil, either sand or clay		$H = 60 - 200$ m	≥ 0.7
	D-3	Very deep stiff soil		$H > 200$ m	≥ 0.5
E	E-1	Medium depth soft clay	$v_{s,30} < 180$ m/s	Soft clay layer: $H = 3 - 12$ m	≥ 1.4
	E-2	Deep soft clay layer		$H > 12$ m	≥ 0.7
F	F	Special, e.g. potentially liquefiable sand or peat	<i>not specified</i>	<i>not specified</i>	≈ 1.0

* Clasificación de los suelos NEHRP mas detalladas segun Bray & Rodríguez-Marek, (1997)

* Frecuencia predominante del perfil de subsuelo. Los rangos absolutos de frecuencia (independientes de la amplificación) aparecen representados en la Figura 3

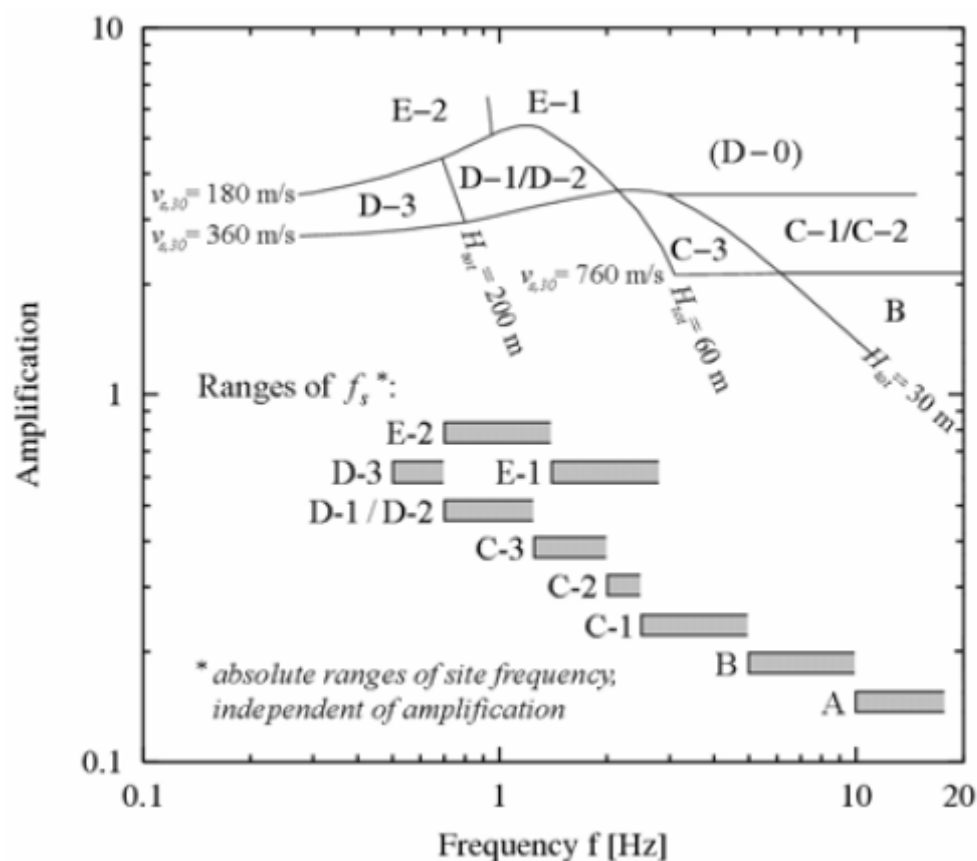


Figura 3. Rangos cualitativos para la posible localización de la función de transferencia en una dimensión para clases de suelos según Bray & Rodríguez-Marek (1997). Imagen tomada de Lang et al., (2006).

3.2 Resultados obtenidos en cada zona

Las áreas de trabajo cubrían las zonas siguientes (Figura 4):

Áreas	Ubicación Aproximada
Área 1	Zona de Santa Tecla
Área 2	Zona Santa Elena
Área 3	Zona de las Colonias La Cima I, II y III, San Salvador
Área 4	Zona de San Marcos
Área 5	Zona de Colonia Escalón
Área 6	Zona cercana a Colonia San Francisco
Área 7	Zona alrededor de Universidad Nacional de El Salvador (UES)
Área 8	Zona de Residencial Ciudad Corinto y Villa Mariona
Área 9	Zona de Troncal del Norte Apopa
Área 10	Zona de Ilopango

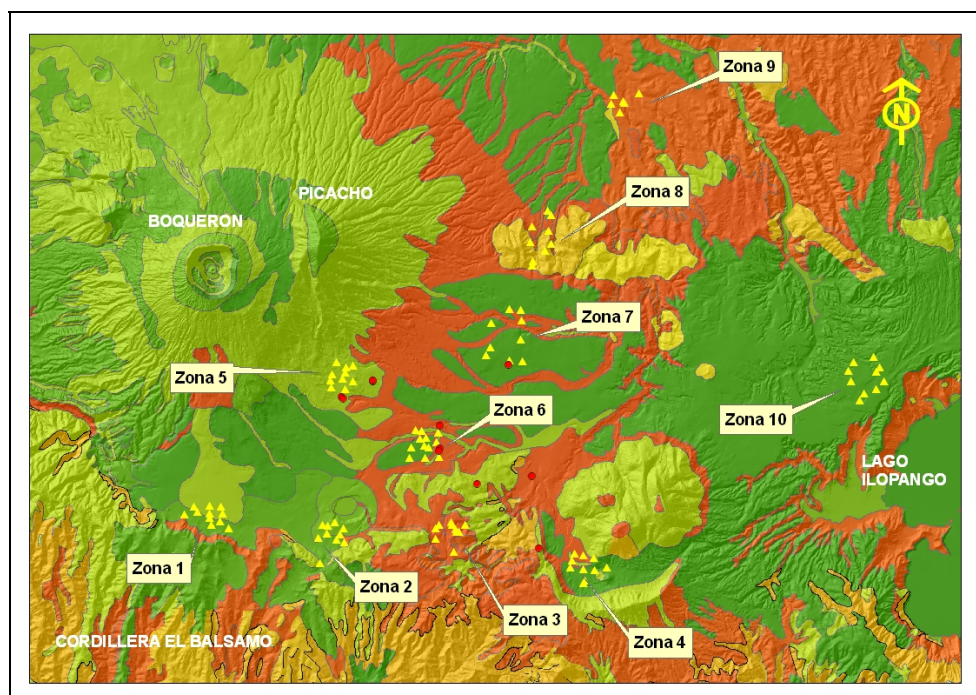


Figura 4. Mapa geológico del AMSS y Zona de Recopilación de Datos. Los triangulos amarillos representan los puntos donde se ha medido el ruido sísmico ambiental mientras que los círculos rojos muestran sondeos proximos proporcionados por el SNET.

Area 1 Zona de Santa Tecla

El Área 1 corresponde al centro sur-poniente de Santa Tecla, y en el cual se realizaron el levantamiento de 10 puntos de medición, cuyos nombres de ficheros y coordenadas X e Y son las siguientes:

Punto	Nombre de Fichero	X	Y
1	E397_taurus_0397_20080207_n223638	468591.79	283312.49
2	E397_taurus_0397_20080208_144417	468172.40	283232.29
3	E397_taurus_0397_20080208_152958	468999.03	282896.64
4	E397_taurus_0397_20080208_161443	468948.11	283110.66
5	E397_taurus_0397_20080208_165630	468940.84	283244.02
6	E397_taurus_0397_20080208_181642	469546.14	282791.02
7	E397_taurus_0397_20080208_n190435	469278.97	283003.92
8	E397_taurus_0397_20080208_194014	469342.81	283248.97
9	E397_taurus_0397_20080208_202741	469309.23	283466.19
10	E397_taurus_0397_20080208_211408	468952.70	283493.73
11	E397_taurus_0397_20080207_212951	468463.80	283450.25

Todas las medidas se hicieron colocando en sensor sobre concreto, salvo los puntos 1, 2, 3 y 4 en los que el sensor se coloco sobre suelo blando tras realizar el correspondiente agujero. Se reporta viento solo en los puntos 2 y 4.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	13	760	<30	B
2	0.9	360	180	D1-2
3	Sin pico	-	-	B
4	13	760	<30	B
5	11	>760	<30	B
6	Sin pico	-	-	B
7	11	760	<30	B
8	10	>760	<30	B
9	10	>760	<30	B
10	10	>760	<30	B
11	10	>760	<30	B

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen del Area 1, y la ubicación de los puntos anteriores.

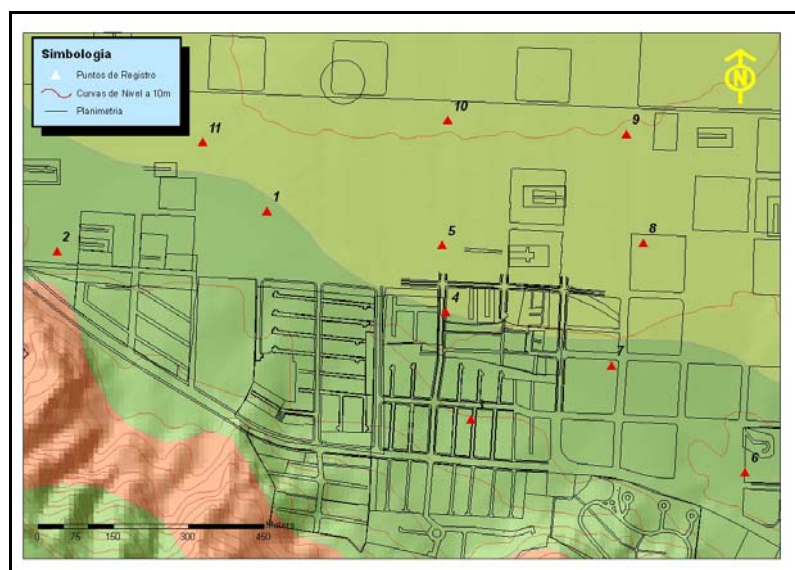


Figura 5. Área de Zona 1 Santa Tecla



Figura 6. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro



Figura 7. Velocidad de Corte Vs en Cada Punto de Registro



Figura 8. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

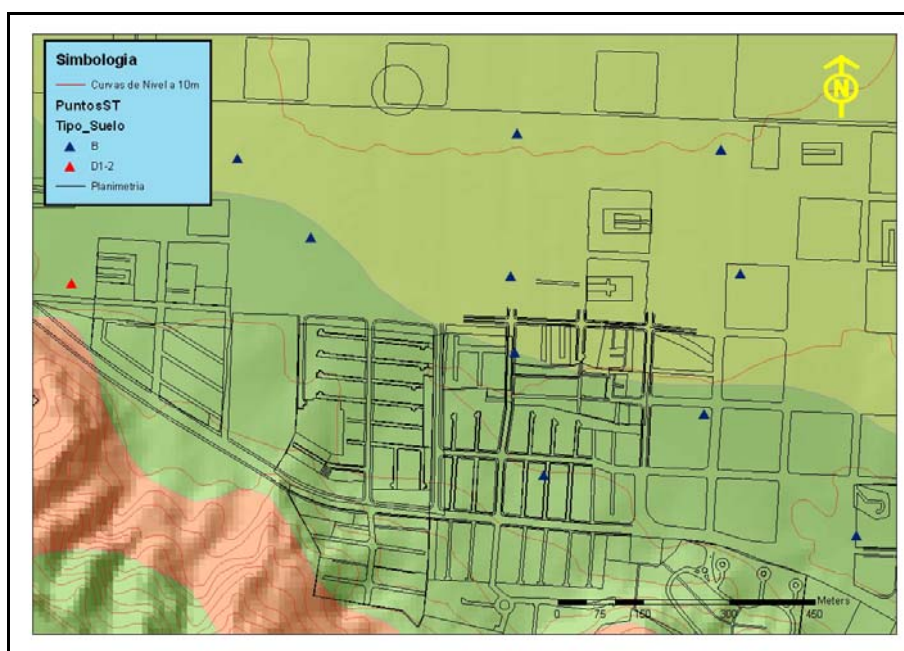


Figura 9. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Área 2 Zona de Santa Elena

El Área 2 corresponde a la zona de Santa Elena, entre los sectores la Embajada de los Estados Unidos y Price Smart, así como la prolongación del Boulevard Sur: en este sector se recopilaron diez puntos, al igual que el sector anterior, cuyas coordenadas X e Y son las siguientes:

Punto	Nombre de Fichero	X	Y
1	STN01_20080207_212253	472324.99	281737.42
2	STN01_20080207_222528	473061.15	282381.97
3	STN01_taurus_0825_20080208_144510	472921.00	282606.46
4	STN01_taurus_0825_20080208_160544	472806.98	282443.68
5	STN01_taurus_0825_20080208_170322	472518.68	282648.13
6	STN01_taurus_0825_20080208_184757	473021.08	282797.84
7	STN01_taurus_0825_20080208_193953	472772.01	282996.97
8	STN01_taurus_0825_20080208_203433	472556.80	282879.88
9	STN01_taurus_0825_20080208_212904	472264.72	282520.32
10	STN01_taurus_0825_20080208_221558	472380.69	282908.97

Todas las medidas se hicieron sobre suelo blando tras realizar el correspondiente agujero. Se reporta viento o viento moderado en los puntos 1 (cuyo suelo se reporta como Escoria), 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (cuyo suelo se reporta como Cafetal). El suelo del punto 8 se reporta como Tierra Blanca. En casi todos los puntos había vegetación presente en la zona de registro.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	1.30	360 - 760	150	C-D
2	1.86	360	130	D1-2
3	12	360-760	<30	C1-2
4	3.72	360 - 760	45	C3
5	Registro no claro	-	-	-
6	10	> 760	<30	B
7	Registro no claro	-	-	-
8	Registro no claro	-	-	-
9	2.70	760	60	C3
10	2.77	760	60	C3

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 2, y la ubicación de los puntos anteriores.

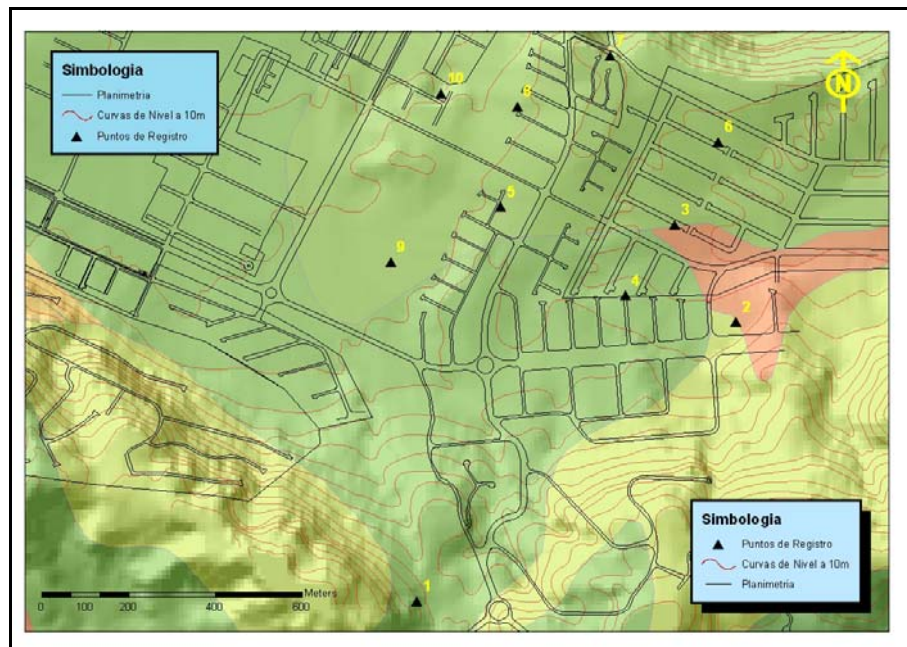


Figura 10. Área de Zona 2 Santa Elena

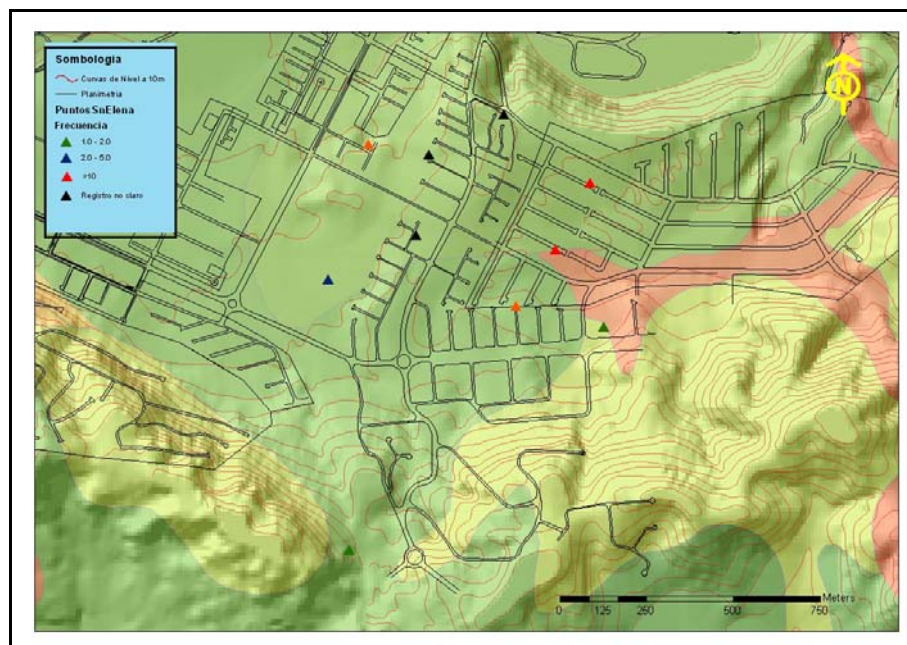


Figura 11. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

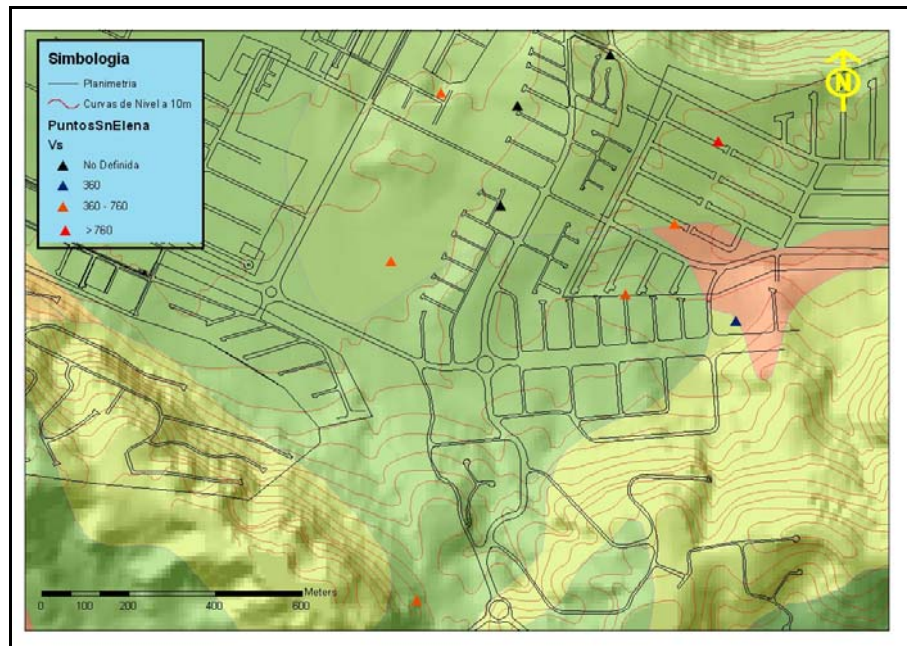


Figura 12. Velocidad de Corte V_s en Cada Punto de Registro

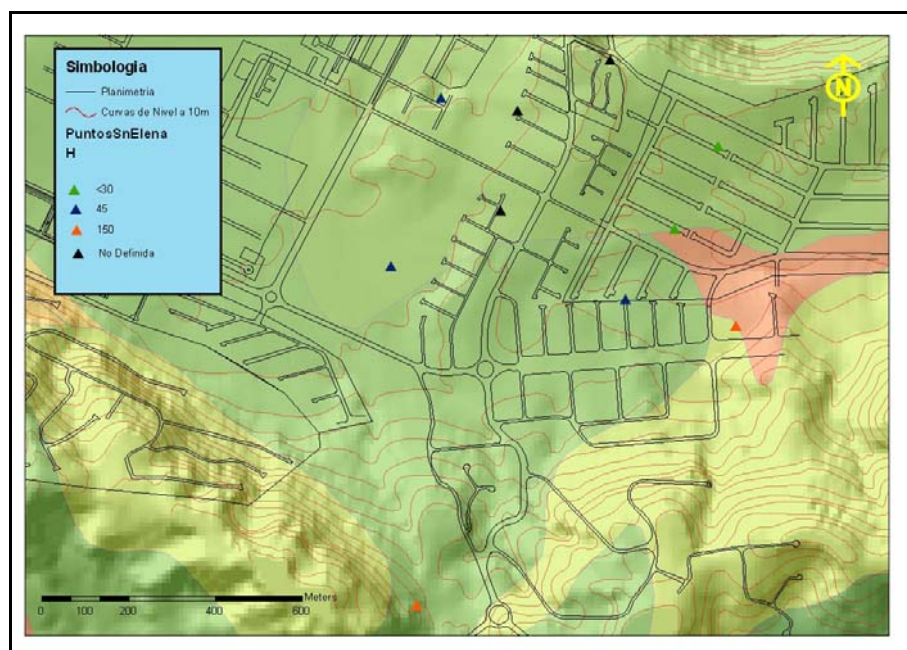


Figura 13. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

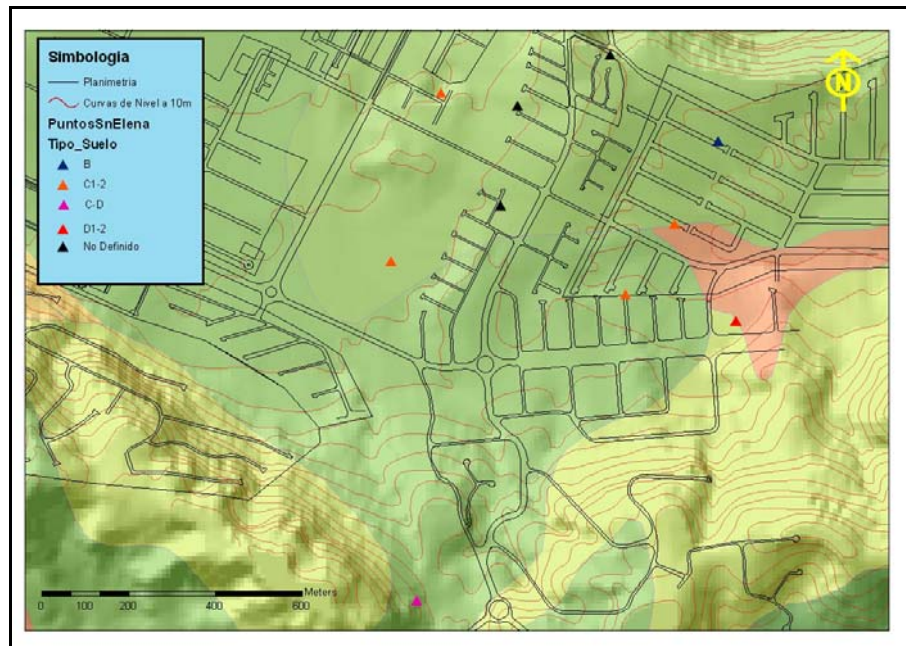


Figura 14. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Area 3 Zona del Sector Urbanización La Cima III

Este sector inicia cercano a la Despensa de Don Juan La Cima hasta llegar a la Urbanización La Cima III, en donde se logro recopilar una cantidad de diez puntos con los instrumentos, y cuyas coordenadas X e Y son:

Punto	Nombre de Fichero	X	Y
1	E385_taurus_0385_20080207_205050	474893.72	282988.58
2	E385_taurus_0385_20080207_221213	476301.93	282979.89
3	E385_taurus_0385_20080207_231935	476332.52	282906.11
4	E385_taurus_0385_20080208_153228	476453.22	282786.15
5	E385_taurus_0385_20080208_163014	476723.79	282911.28
6	E385_taurus_0385_20080208_173823	476382.26	282081.89
7	E385_taurus_0385_20080208_195014	476480.17	282682.87
8	E385_taurus_0385_20080208_204040	476552.30	282682.81
9	E385_taurus_0385_20080208_213626	475831.14	282786.72
10	E385_taurus_0385_20080209_144336	475830.87	282489.87

Todas las medidas se hicieron sobre suelo blando tras realizar el correspondiente agujero menos los puntos 8 y 10 que se hicieron sobre concreto. No se reporta viento.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	2.22	180 - 360	30 - 60	D
2	2.0	360	60	D
3	3.3	360	60	D
4	2.5	180 - 360	50	D
5	2.6	180 - 360	40	D
6	1.30	180	90	D1-2
7	1.5	> 360	130	D
8	2.3	360	60	C3
9	2.0	> 360	90	D1-2
10	2.0	180 - 360	60	D

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 3, y la ubicación de los puntos anteriores.

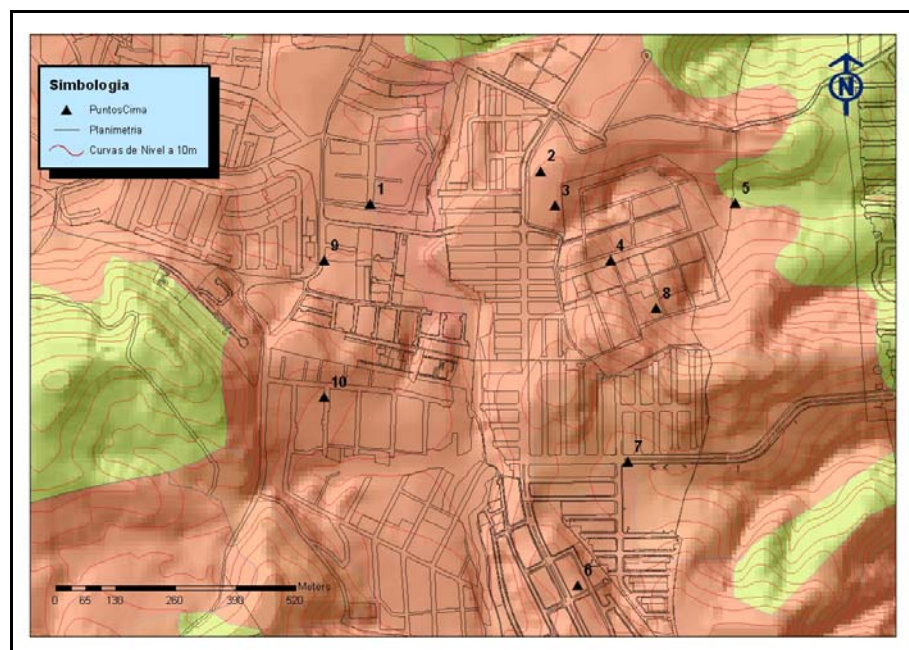


Figura 15. Área de Zona 3 La Cima, San Salvador

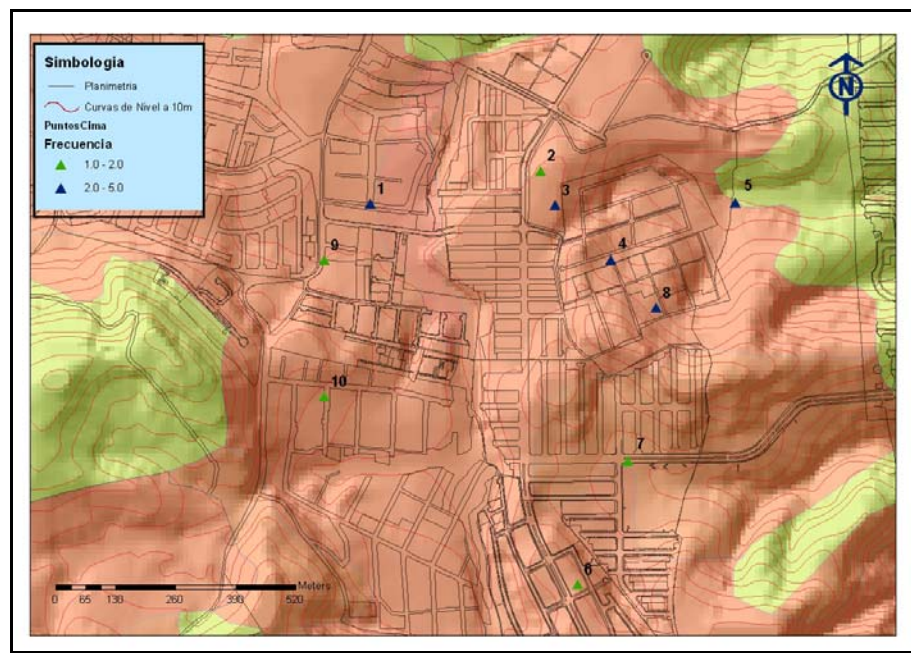


Figura 16. Frecuencias Predominantes en cada punto de Registro

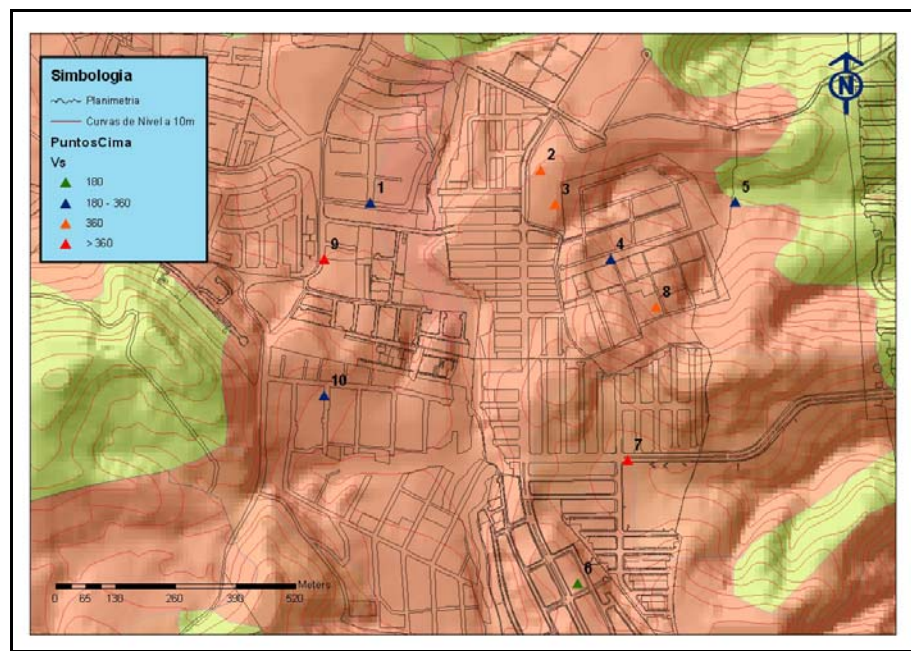


Figura 17. Velocidad de Corte Vs en Cada Punto de Registro

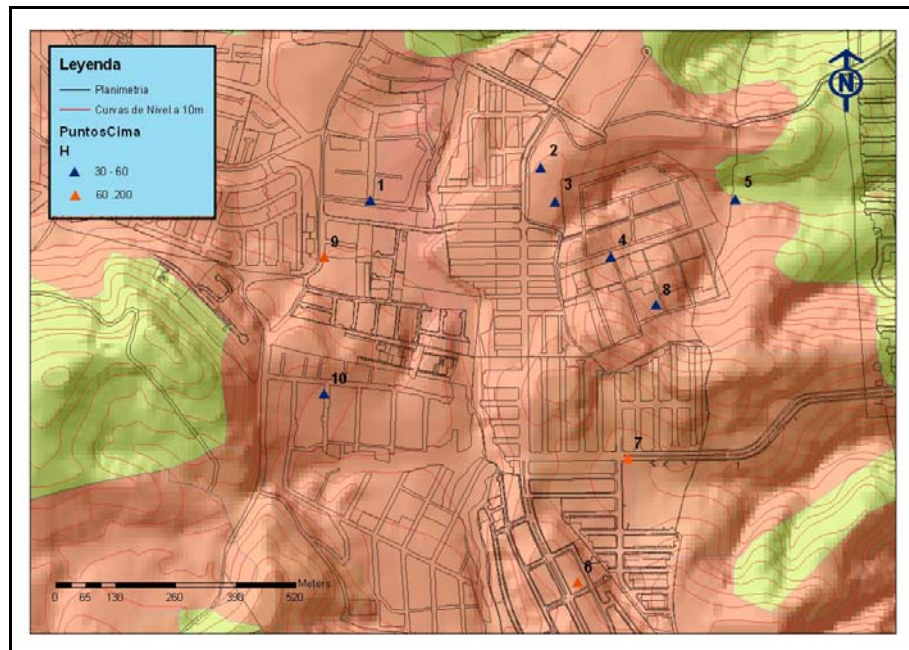


Figura 18. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

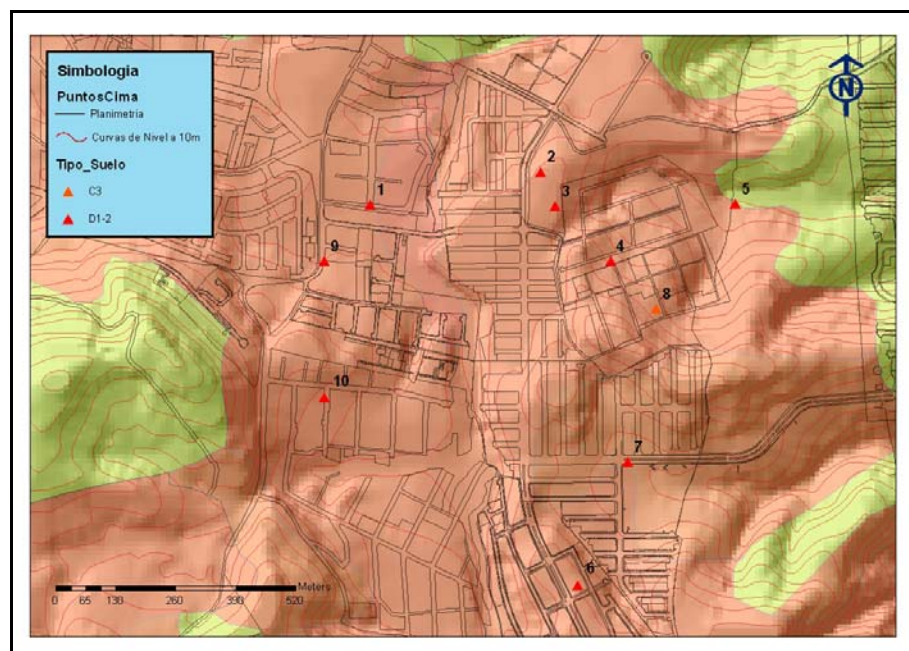


Figura 19. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Área 4 Zona de San Marcos

Este sector se enmarca en la zona de San Marcos, moviéndose las mediciones desde las calles cercanas a la municipalidad de la localidad, hacia el nor-orienté y sur una distancia aproximada de 500.00 mts. Acá se lograron tomar un total de diez puntos y cuyas coordenadas X e Y son las siguientes:

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	E385_taurus_0385_20080209_155951	480336.77	281968.05
2	E385_taurus_0385_20080209_165656	480324.91	281558.19
3	E385_taurus_0385_20080211_144555	482268.87	281500.14
4	E385_taurus_0385_20080211_154238	480379.13	281222.65
5	E385_taurus_0385_20080211_163039	480325.24	281121.88
6	E385_taurus_0385_20080211_171814	479932.30	281601.38
7	E385_taurus_0385_20080211_180941	479991.99	281833.65
8	E385_taurus_0385_20080211_192939	480657.40	281890.29
9	E385_taurus_0385_20080211_202047	480660.74	281889.53
10	E385_taurus_0385_20080211_211743	480663.31	281530.29

Los puntos 1, 2, 5, 6 y 7 se registraron sobre concreto y el resto sobre suelo blando tras realizar el correspondiente agujero. El punto 3 se reporta como suelo humedo con topografía ondulada. El punto 6 se reporta con topografía con pendiente suave. No se reporta viento.

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	Vs(m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	Registro no claro	-	-	-
2	1.50	> 360	90	D1-2
3	Registro no claro	-	-	-
4	1.30	180 - 360	130	D1-2
5	1.40	360 - 700	130	D1-2
6	Registro no claro	-	-	-
7	1.40	180 - 360	100	D1-2
8	3.5	180 - 360	30	D
9	2.90	180 - 360	30	D
10	2.60	> 360	60	C3

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 4, y la ubicación de los puntos anteriores.

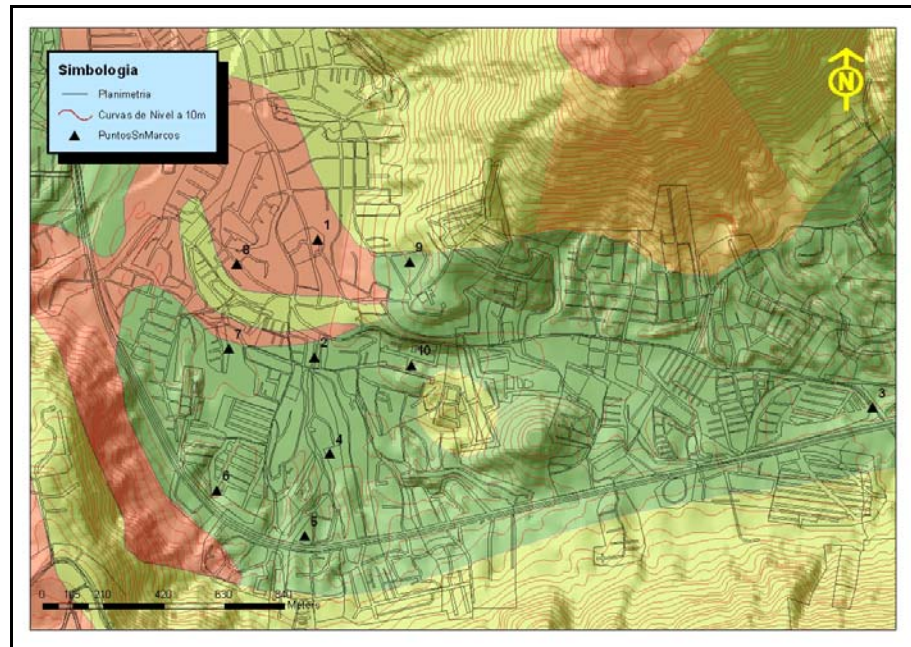


Figura 20. Área de Zona 4 San Marcos

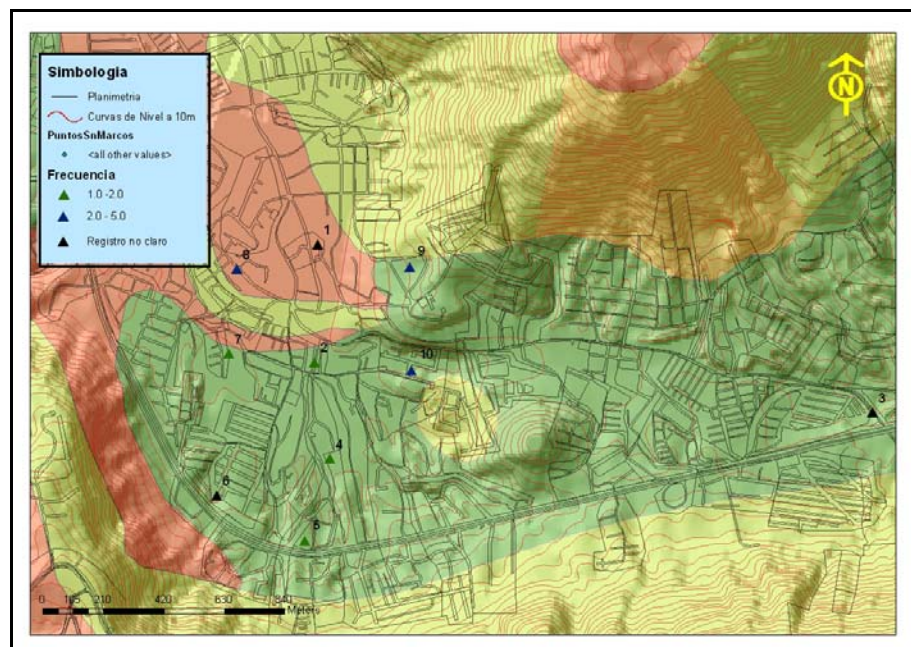


Figura 21. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

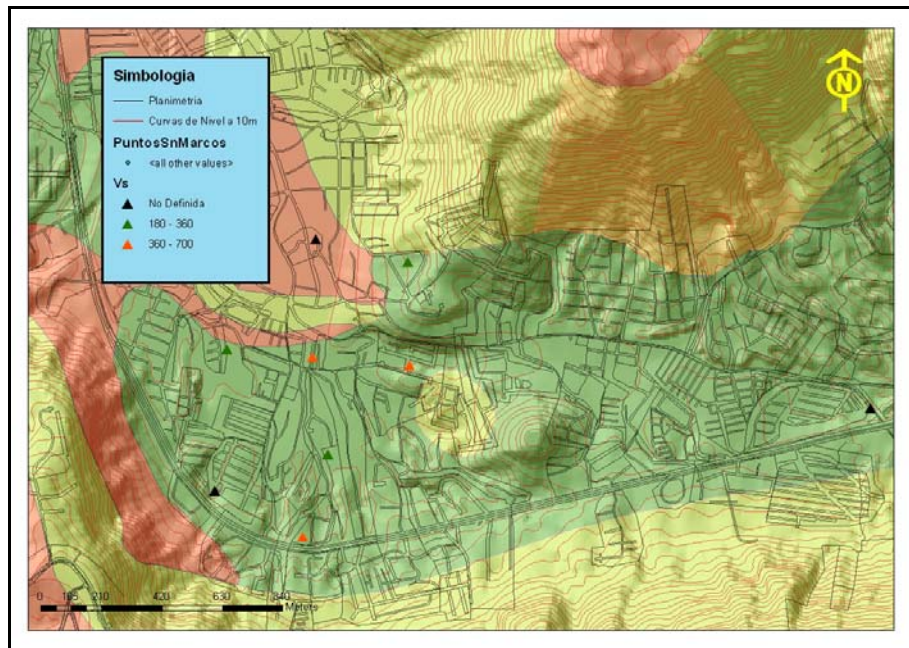


Figura 22. Velocidad de Corte Vs en Cada Punto de Registro

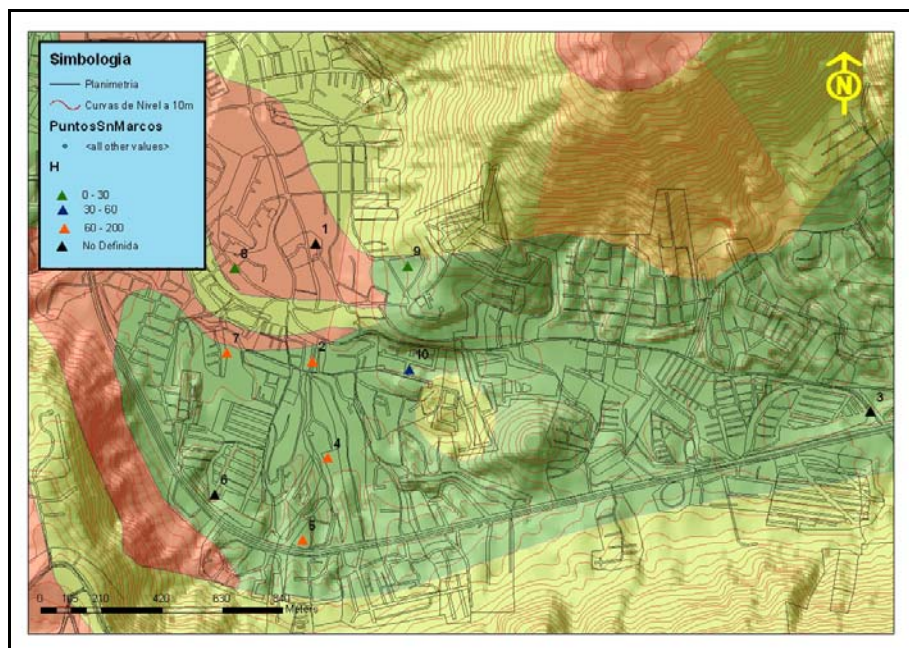


Figura 23. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

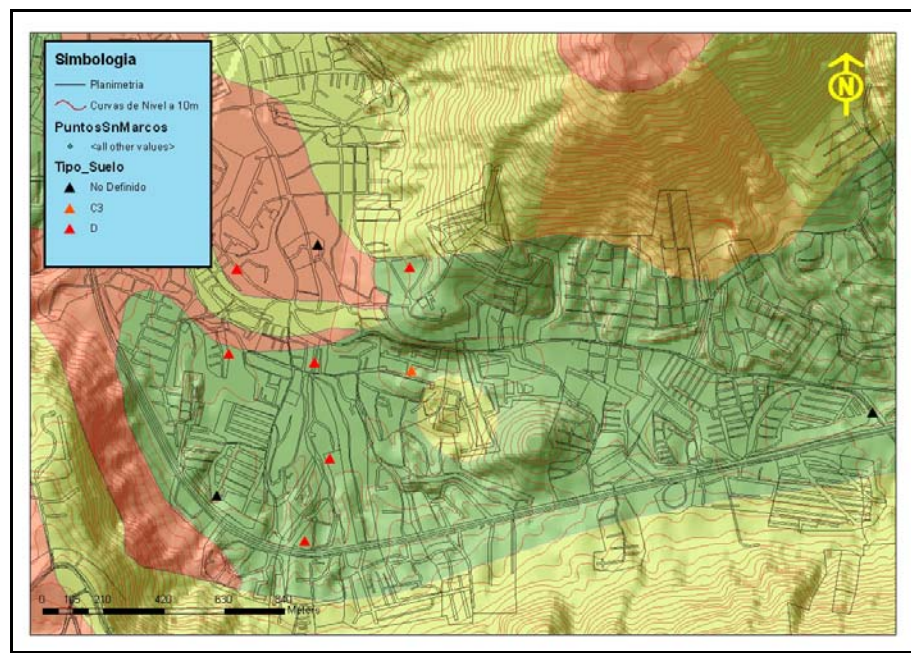


Figura 24. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Área 5 Zona de Colonia Escalón

El Área 5 corresponde a una parte de la Colonia Escalón, en la parte alta de la misma, entre el Redondel Masferrer y Redondel Luceiro, tomándose la medición de once puntos en total, cuyas coordenadas X e Y son las siguientes

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	E397_taurus_0397_20080209_144020	473067.77	287035.66
2	E397_taurus_0397_20080209_152116	472645.96	287084.03
3	E397_taurus_0397_20080209_160547	472628.16	287299.77
4	E397_taurus_0397_20080209_164951	472695.79	287495.19
5	E397_taurus_0397_20080211_145042	472810.81	287843.50
6	E397_taurus_0397_20080211_n155207	473095.50	287699.39
7	E397_taurus_0397_20080211_161102	473086.32	287542.68
8	E397_taurus_0397_20080211_165252	472990.57	287345.49
9	E397_taurus_0397_20080211_191712	473311.87	287737.89
10	E397_taurus_0397_20080211_200226	473379.88	287402,73
11	E397_taurus_0397_20080211_204439	473321.02	287282.45

Todas las medidas se realizaron sobre concreto salvo los puntos 1, 4 y 5 que se realizaron sobre suelo blando tras realizar el correspondiente agujero. La topografía de los puntos 3, 4, 5, 6, 9, 10 y 11 se reporta como inclinada. No se reporta viento.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	1.10	360	180	D1-2
2	6.0	360	< 30	D
3	10	> 760	< 30	B
4	7.0	360 - 760	< 30	C1-2
5	0.92	180 - 360	180	D1-2
6	4.0	760	30 - 60	C3
7	5.0	360	< 30	D
8	8.0	360 - 760	< 30	C1-2
9	8.0	360 - 760	< 30	C1-2
10	1.76	360 - 760	60 - 200	C
11	5.0	360 - 760	< 30	C1-2

Uno de los sondeos de los recogidos por el SNET en esta zona presentan golpeo N de SPT de 16 golpes/pie lo que según la clasificación del ICBO (1997) correspondería a suelo de tipo D, con velocidad V_s entre 180 y 360, mientras que otros 3 sondeos próximos a la zona presentan N de 5 a 10 golpes/pie lo que correspondería a un suelo tipo E según la clasificación del ICBO (1997) no identificado según la razón H/V. Aguilar (1990) propone en su estudio valores de 160 y 400 m/s para dos prospecciones en esta zona correspondientes a suelo tipo D.

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 5, y la ubicación de los puntos anteriores.

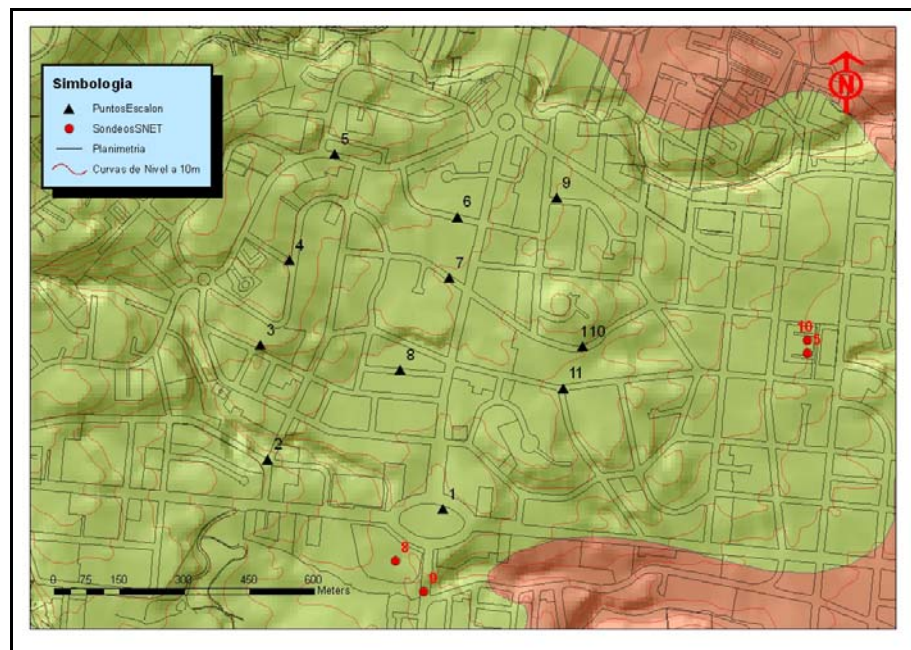


Figura 25. Área de Zona 5 Colonia Escalón

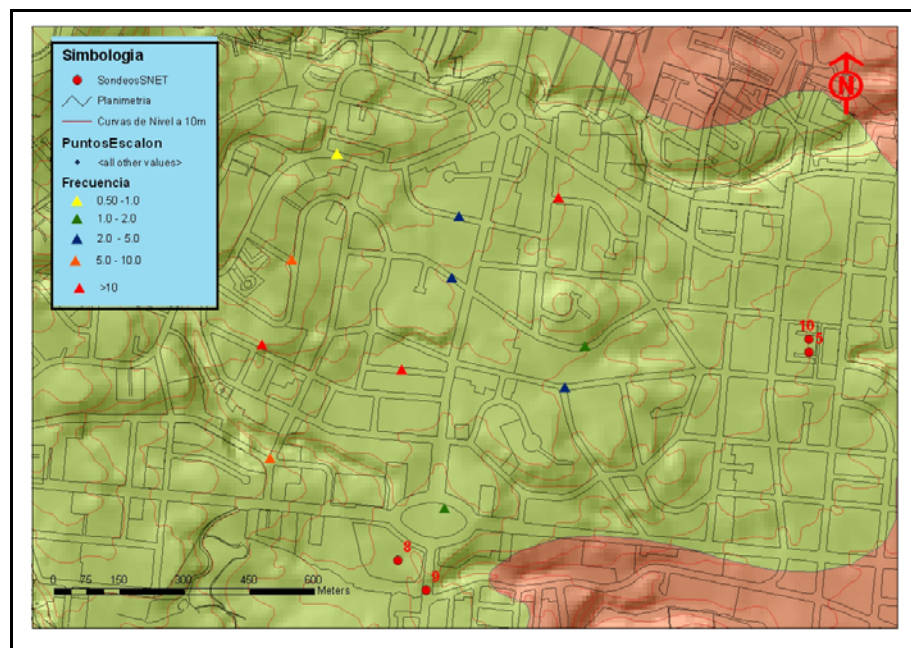


Figura 26. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

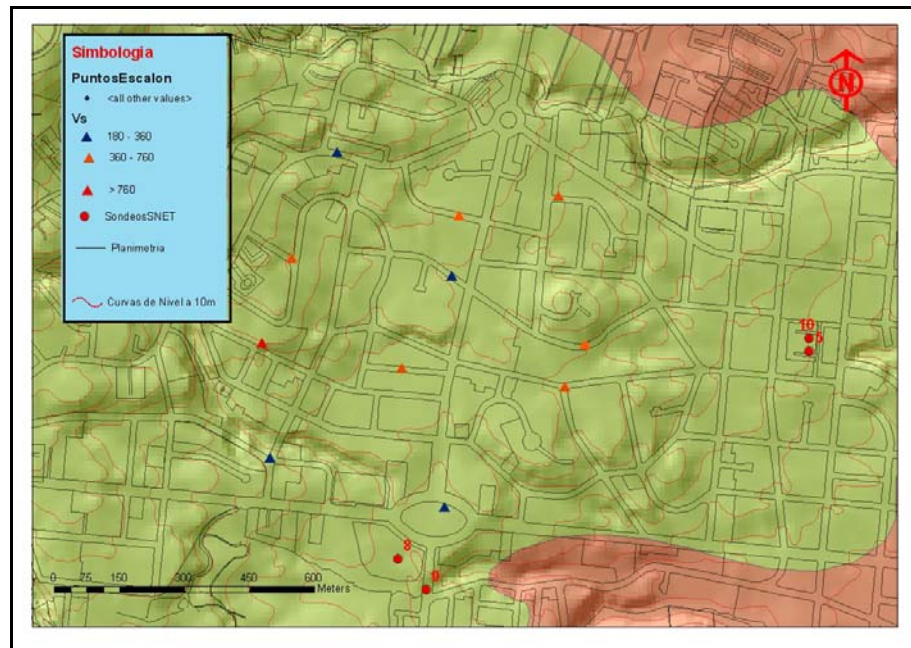


Figura 27. Velocidad de Corte V_s en Cada Punto de Registro

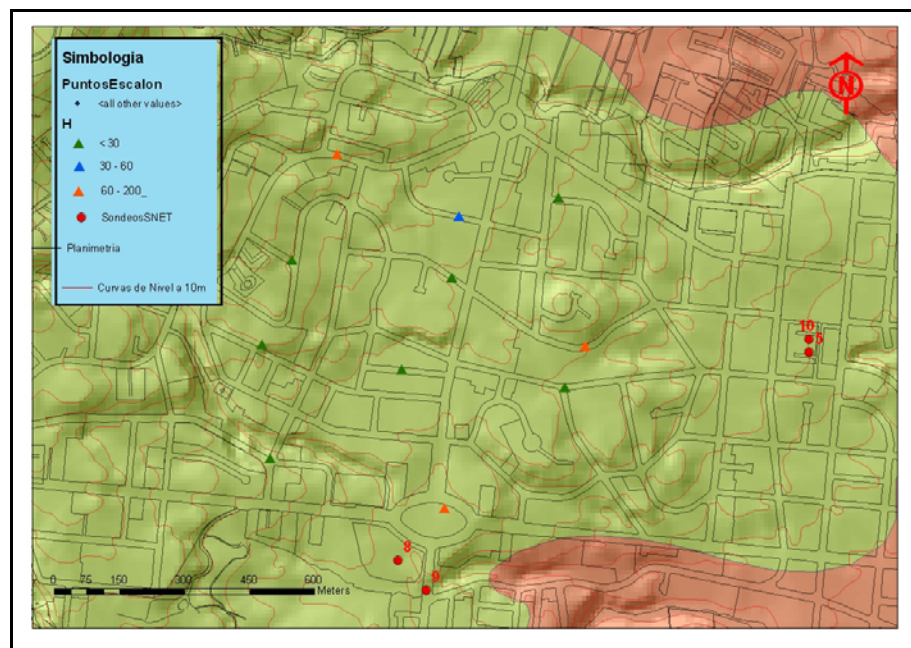


Figura 28. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

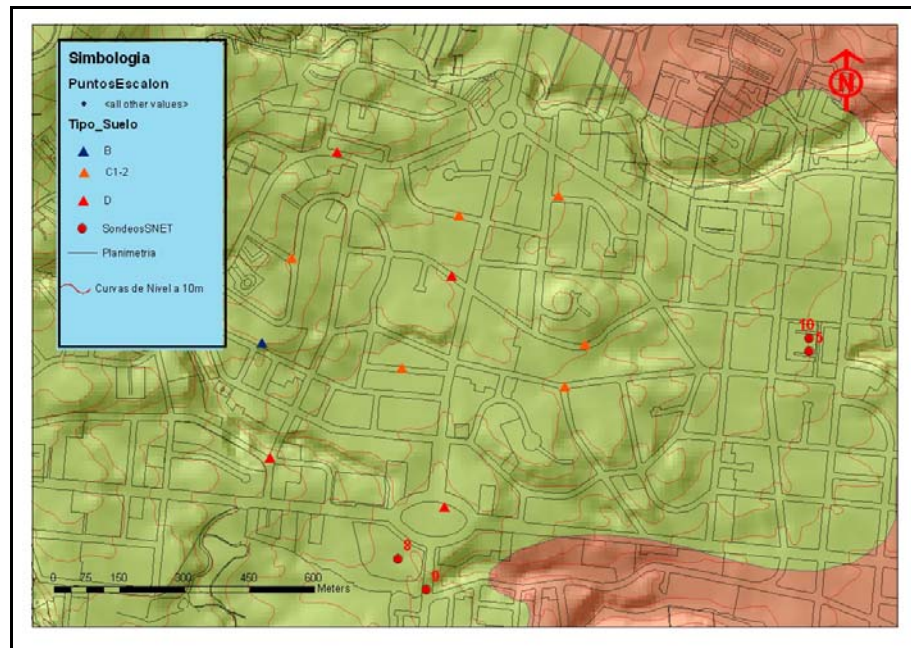


Figura 29. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Área 6 Zona de Colonia San Francisco

El Área 6 corresponde al sector de la Colonia San Francisco, desde el Estado Mayor de la Fuerza Armada y Avenida Manuel Enrique Araujo hasta las cercanías de la Calle Las Amapolas, teniendo en este sitio una medicino de doce puntos, cuyas coordenadas X e Y son las siguientes:

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	STN01_taurus_0825_20080209_144110	475930.52	284958.60
2	STN01_taurus_0825_20080209_153458	475622.50	285264.96
3	STN01_taurus_0825_20080209_163430	475478.30	285303.81
4	STN01_taurus_0825_20080209_171902	475530.83	285554.51
5	STN01_taurus_0825_20080211_144912	475213.73	285787.13
6	STN01_taurus_0825_20080211_153516	475421.05	285768.49
7	STN01_taurus_0825_20080211_162116	475907.79	285723.78
8	STN01_taurus_0825_20080211_171037	475848.01	285417.78
9	STN01_taurus_0825_20080211_184648	475363.12	285517.79
10	STN01_taurus_0825_20080211_194915	475099.64	285258.07
11	STN01_taurus_0825_20080211_203502	475041.65	284941.00
12	STN01_taurus_0825_20080211_212333	475515.82	284931.33

La geología de los puntos 1 y 2 se reporta como grama, la de los puntos 3, 4 y 10 como pavimento, la de los puntos 6 y 9 como suelo y el resto como concreto. No se reporta viento ni topografía inclinada.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	6.0	360	< 30	C1-2
2	6.05	360	30	C1-2
3	7.50	760	< 30	C1-2
4	7.50	360 - 760	< 30	C1-2
5	9.0	760	< 30	C1-2
6	7.50	360 - 760	< 30	C1-2
7	2.21	360 - 760	60	C3
8	4.90	360 - 760	30 - 60	C3
9	2.72	360 - 760	60	C3
10	6.0	360 - 760	30	C3
11	3.27	360 - 760	30 – 60	C3
12	6.03	360 - 760	< 30	C1-2

Dos sondeos de los recogidos por el SNET en esta zona presentan golpes N de 20 golpes/pie lo que correspondería a un suelo tipo D según el ICBO (1997) con velocidades entre 180 y 360 m/s. Aguilar (1990) obtiene una velocidad de entre 500 a 600 m/s, acorde con los resultados obtenidos según la técnica H/V.

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 6, y la ubicación de los puntos anteriores.

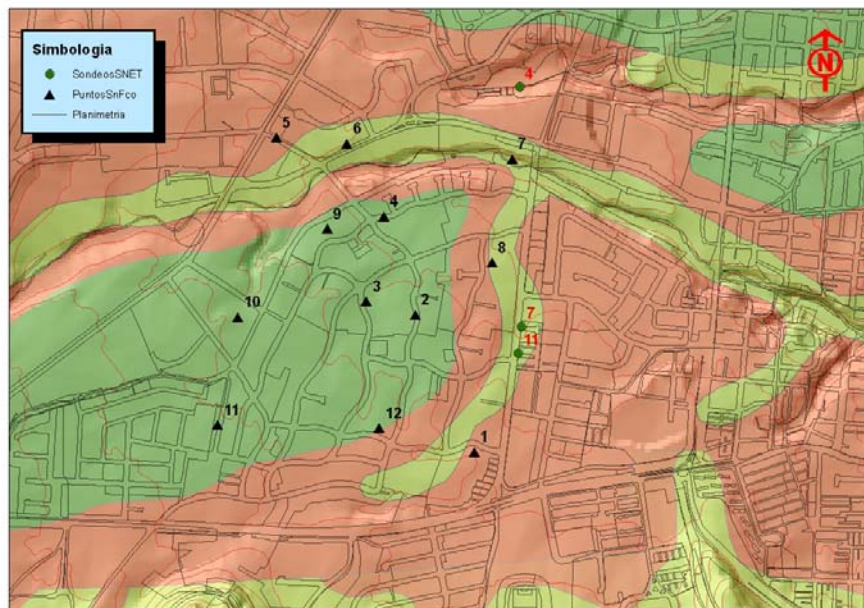


Figura 30. Área de Zona 6 Colonia San Francisco

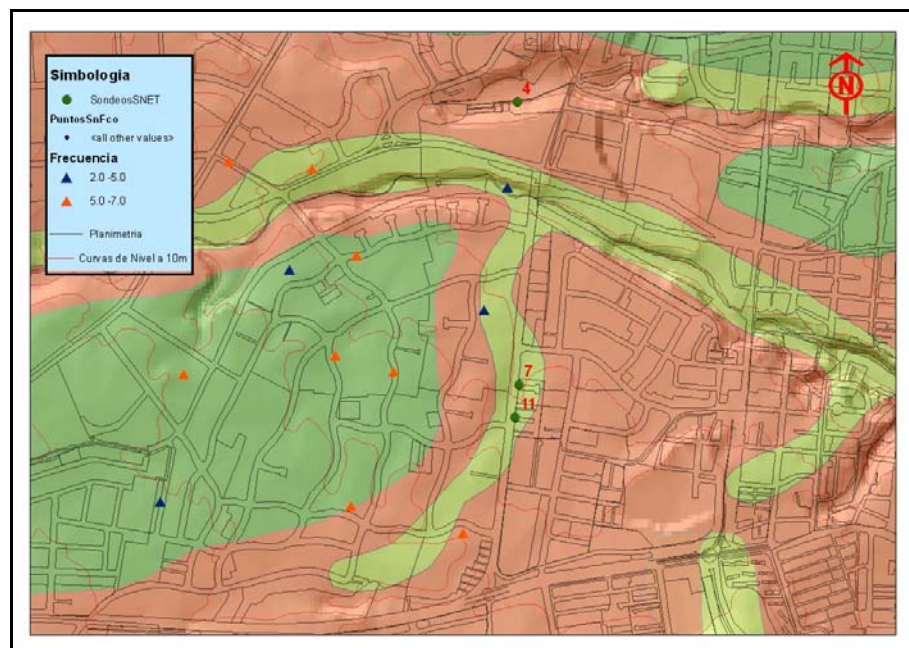


Figura 31. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

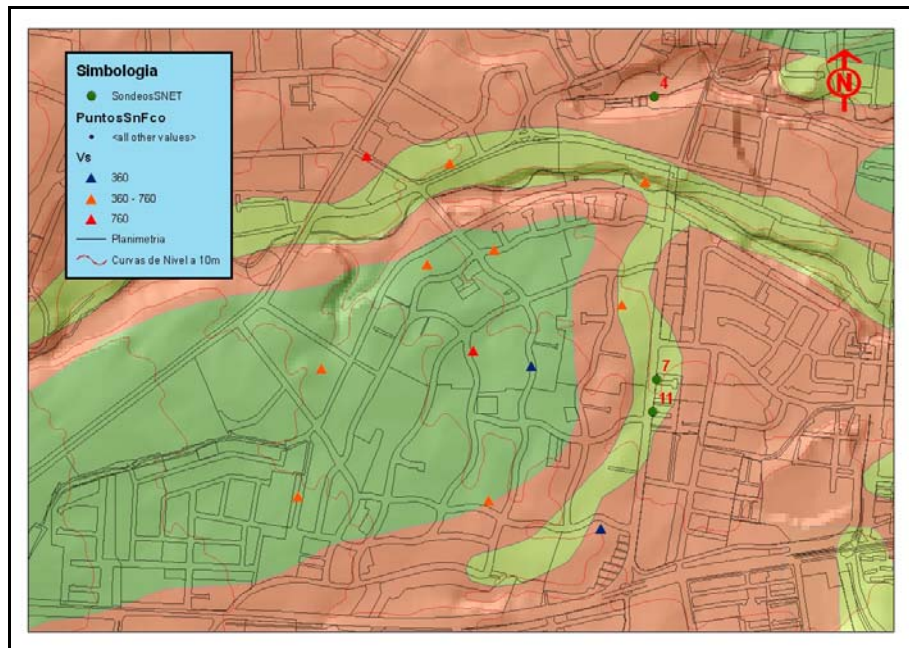


Figura 32. Velocidad de Corte V_s en Cada Punto de Registro

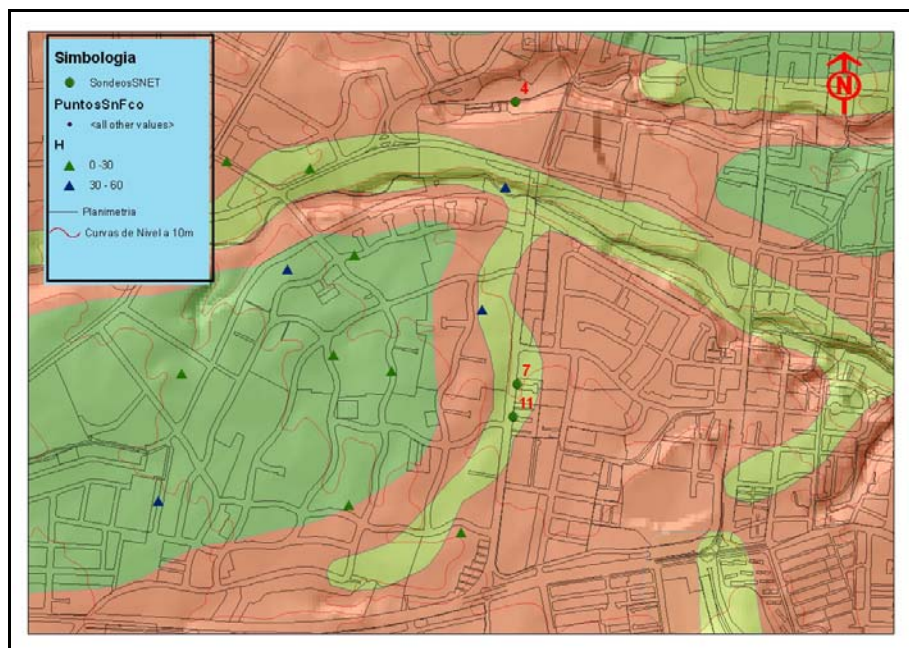


Figura 33. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

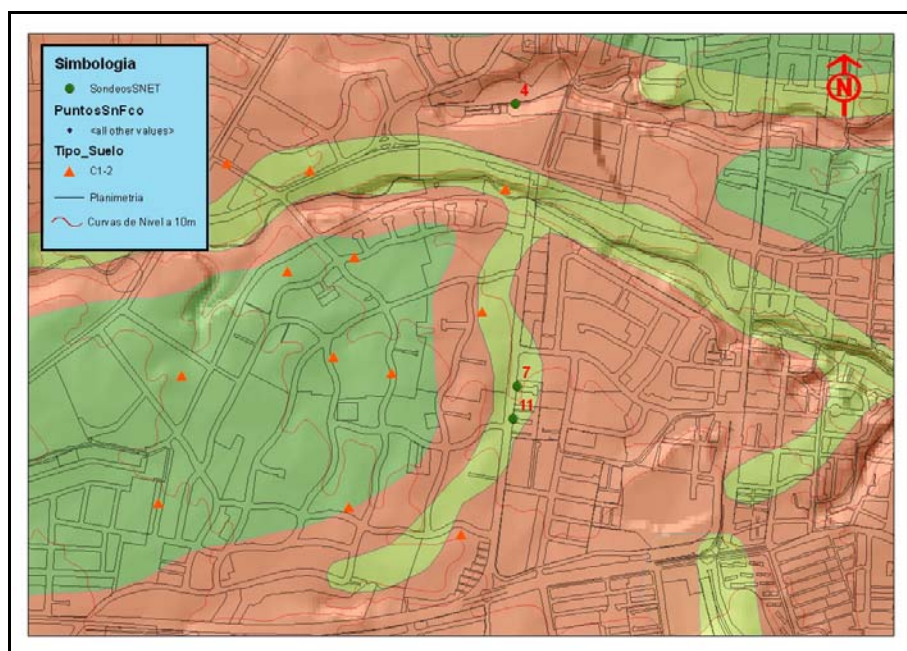


Figura 34. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Área 7 Zona de Universidad de El Salvador

Este sector corresponde a los alrededores de la Universidad Nacional, la Colonia Libertad y/o Colonia Médica, en la cual se lograron realizar nueve mediciones

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	STN01_taurus_0825_20080212_144512	477373.02	288056.23
2	STN01_taurus_0825_20080212_152648	477508.57	288298.13
3	STN01_taurus_0825_20080212_163800	477520.76	289041.38
4	STN01_taurus_0825_20080212_172125	478087.20	289463.43
5	STN01_taurus_0825_20080212_183603	478426.41	288531.46
6	STN01_taurus_0825_20080212_191620	478449.99	289111.49
7	STN01_taurus_0825_20080212_195904	478413.13	289442.80
8	STN01_taurus_0825_20080213_144314	478084.25	287915.51
9	STN01_taurus_0825_20080213_152601	478491.06	287876.87

La geología del punto 4 se reporta como suelo, la de los puntos 3, 5, 6 y 7 como pavimento y el resto como concreto. Se reporta viento moderado en los puntos 1 y 2 y viento ligero en los puntos 5, 6 y 7. No se reporta topografía inclinada.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	2.78	180 - 360	30 - 60	D
2	2.61	180 - 360	30 - 60	D
3	2.58	180 - 360	30 - 60	D
4	2.30	360 - 760	60	C3
5	3.64	360	30	C3
6	2.56	360 - 760	60	C3
7	4.55	180 - 360	< 30	D
8	2.73	180 - 360	< 30	D
9	2.52	360 - 760	60	C3

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 7, y la ubicación de los puntos anteriores.

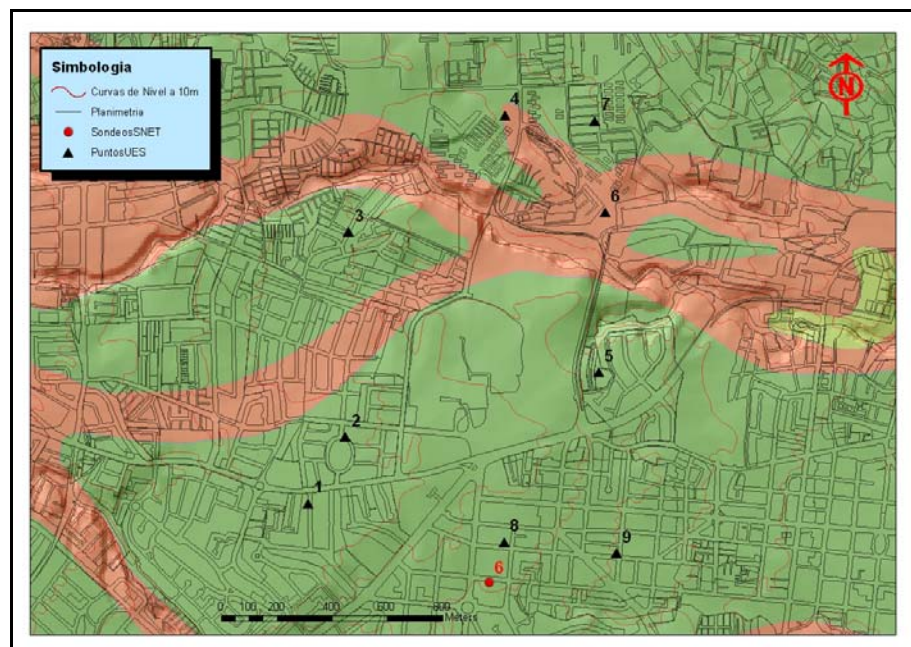


Figura 35. Área de Zona 7 Universidad de El Salvador (UES)

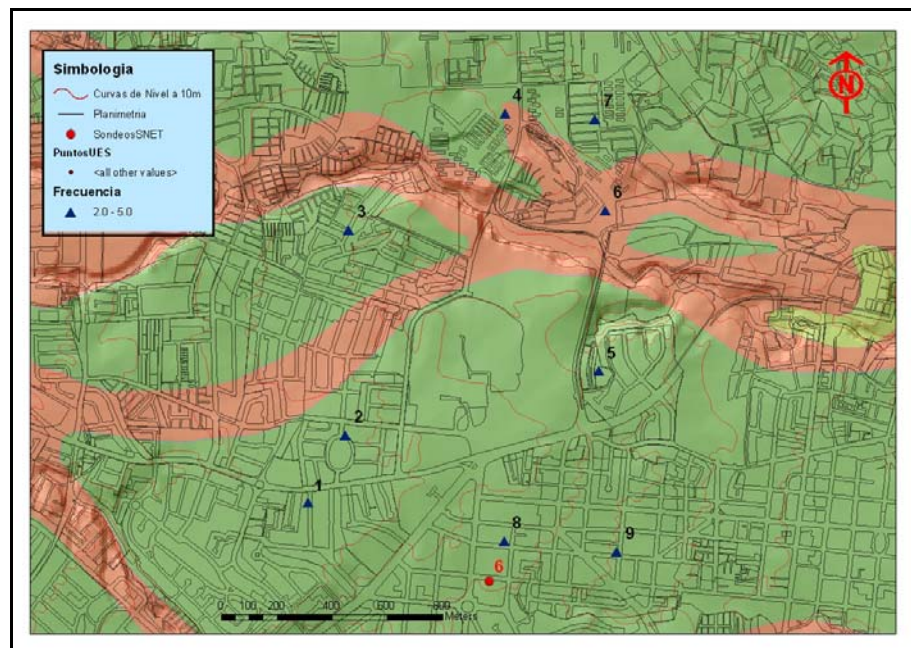


Figura 36. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

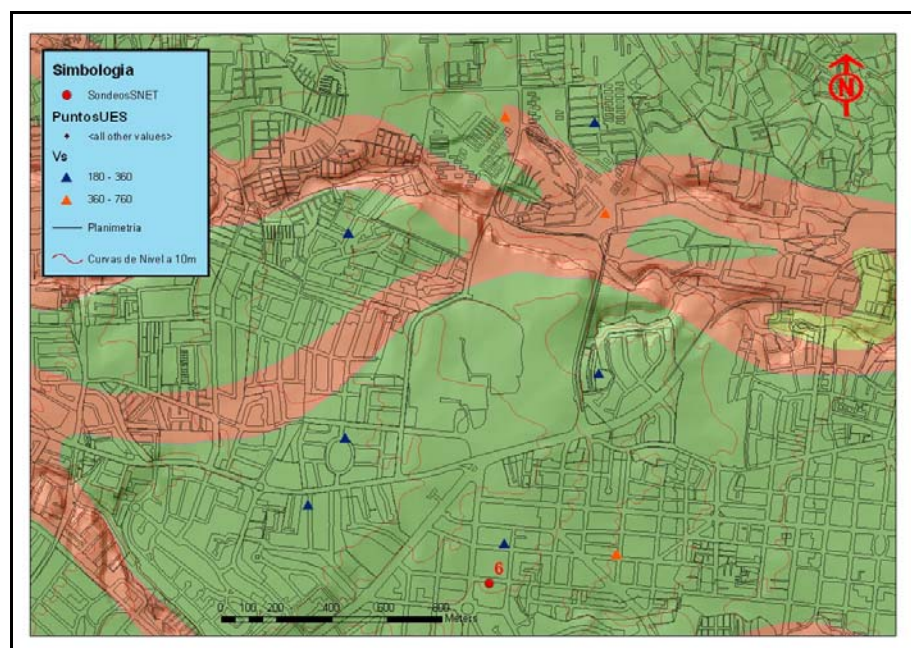


Figura 37. Velocidad de Corte Vs en Cada Punto de Registro

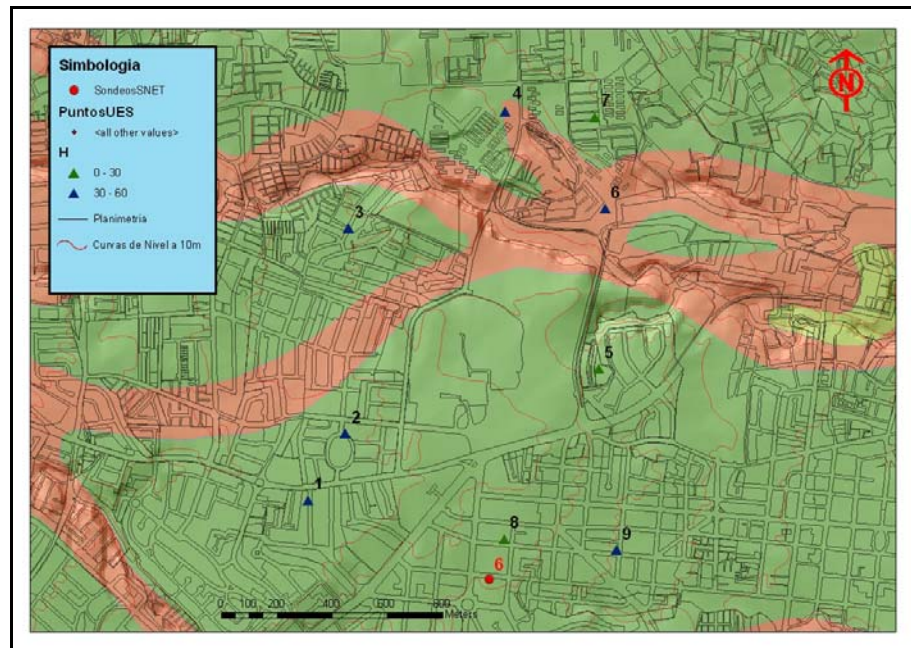


Figura 38. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

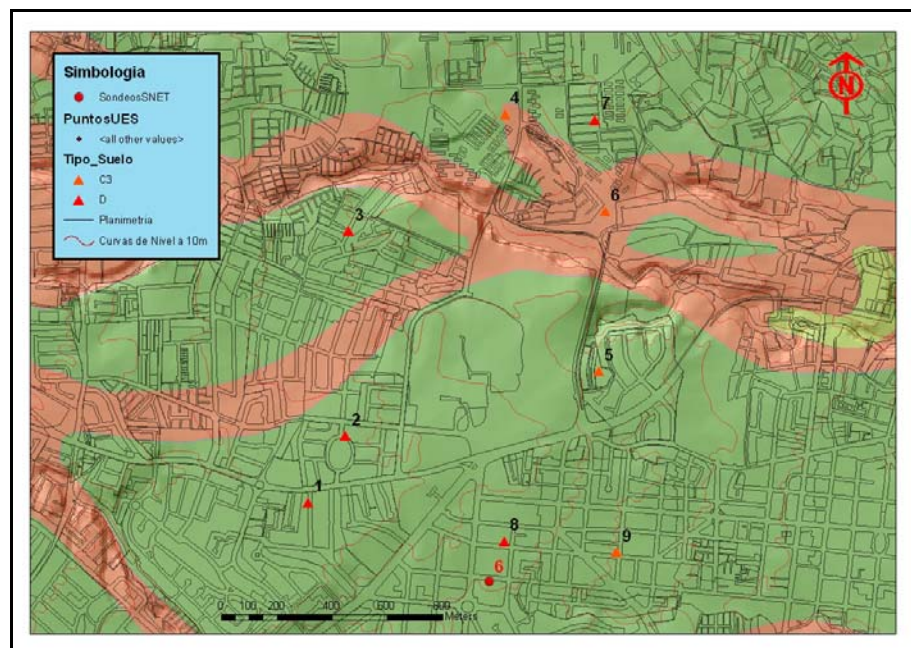


Figura 39. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Uno de los sondeos proporcionados por el SNET y próximo a la zona presenta golpes N de 11 golpes/pie, lo que correspondería a un suelo tipo E según el ICBO (1997) con velocidades menores de 180 m/s.

Área 8 Ciudad Corinto, Mejicanos

Este sector corresponde a la zona de la Residencial Ciudad Corinto y Villa Mariona y la zona de Los Llanitos en Ayutuxtepeque, realizando en ellas un número de nueve mediciones

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	E397_taurus_0397_20080212_153216	479353.78	291442.04
2	E397_taurus_0397_20080212_162251	479177.78	291248.16
3	E397_taurus_0397_20080212_170519	479280.67	291849.02
4	E397_taurus_0397_20080212_192826	478711.89	291509.65
5	E397_taurus_0397_20080212_201028	478772.52	291985.74
6	E397_taurus_0397_20080212_205852	478789.80	290921.31
7	E397_taurus_0397_20080212_214407	478776.49	290788.60
8	E397_taurus_0397_20080213_145516	479352.83	292323.83
9	E397_taurus_0397_20080213_153916	479255.57	292450.51

Todas las medidas se hicieron sobre concreto. Se reporta topografía inclinada en los puntos 1, 2, 4, 6, 7, 8 y 9. No se reporta viento.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad Vs, el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	Vs(m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	2.54	180 - 360	30 – 60	D
2	Registro no claro	-	-	-
3	Registro no claro	-	-	-
4	5.0	180 - 360	30 – 60	D
5	Registro no claro	-	-	-
6	Sin Registro	-	-	-
7	3.75	360 – 760	30 – 60	D
8	1.12	360	180	D1-2
9	2.58	360 - 760	60	C3

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 8, y la ubicación de los puntos anteriores.

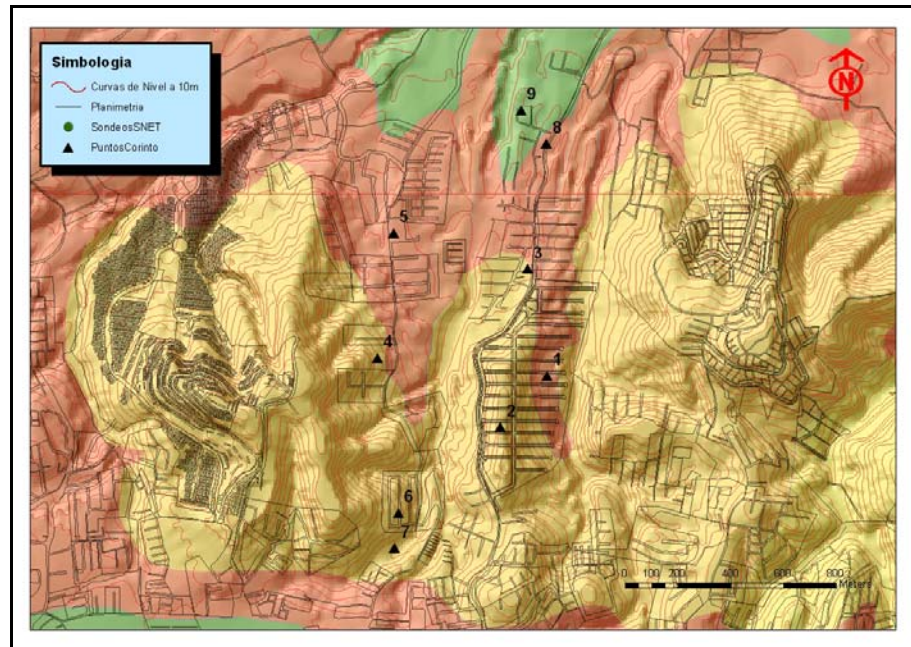


Figura 40. Área de Zona 8 Ciudad Corinto

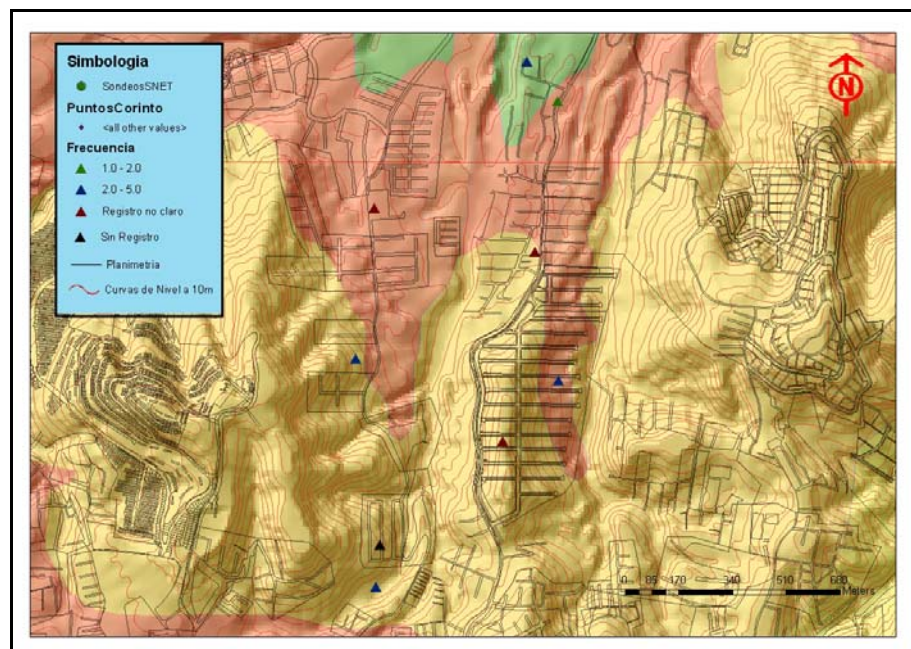


Figura 41. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

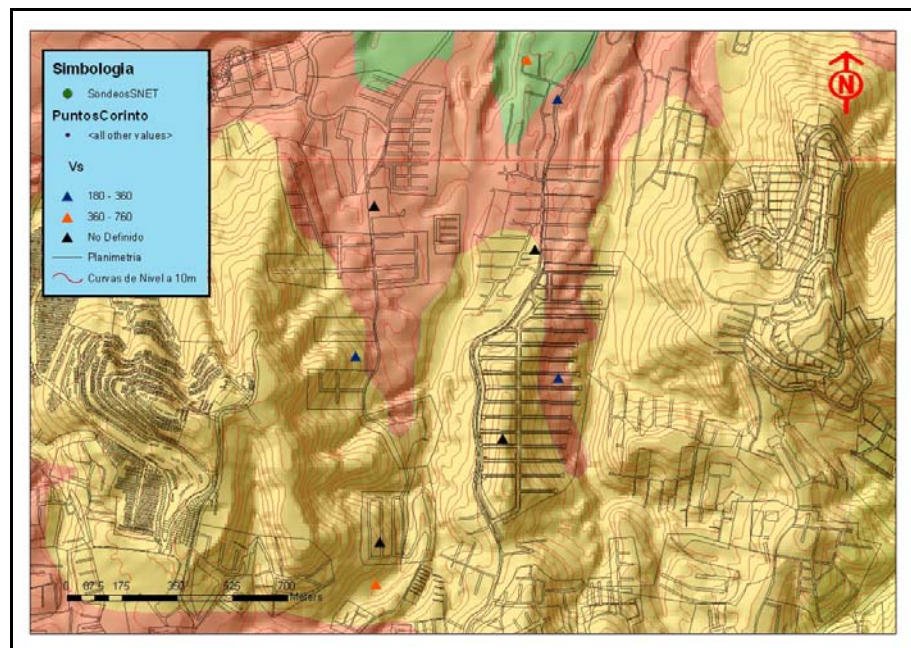


Figura 42. Velocidad de Corte V_s en Cada Punto de Registro

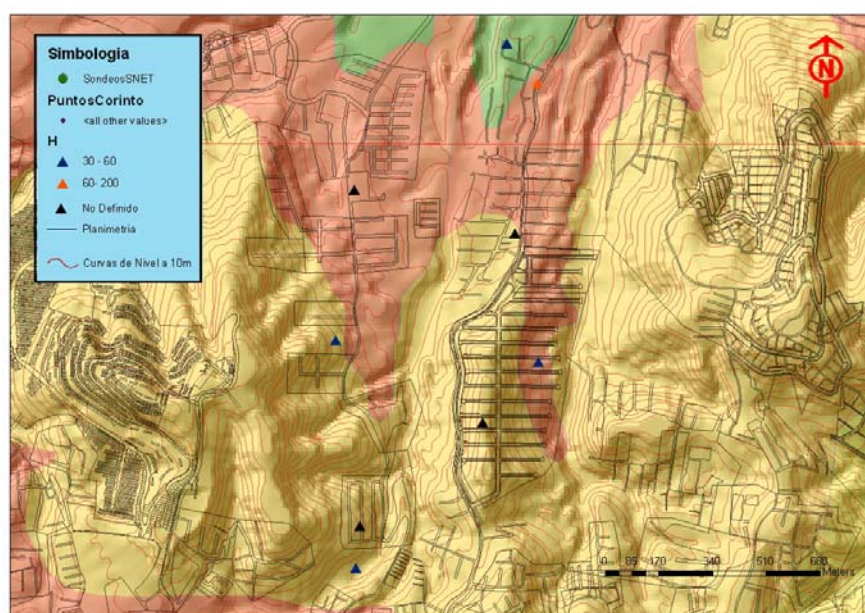


Figura 43. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

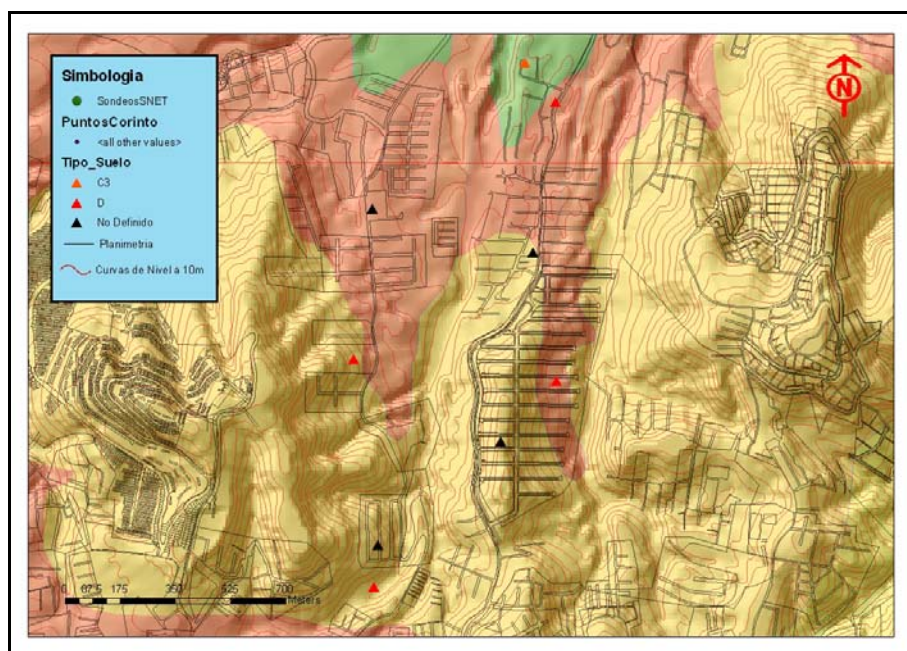


Figura 44. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Área 9 Zona de Troncal del Norte

Esta área de medición fue realizada aproximadamente sobre el 11 ½ km de la Carretera Troncal del Norte y en tramos sobre la vía expresa del Anillo Periférico, en el cual se obtuvieron seis puntos de medición.

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	STN01_taurus_0825_20080213_162958	481171.31	295701.79
2	STN01_taurus_0825_20080213_171136	481446.68	295449.55
3	E397_taurus_0397_20080213_165245	481583.01	295746.44
4	E397_taurus_0397_20080213_173808	482012.20	296020.34
5	E385_taurus_0385_20080213_165623	481248.24	295984.17
6	E385_taurus_0385_20080213_174420	481538.51	295806.50

Todos los registros se hicieron sobre concreto. Los puntos 3 y 6 presentaban topografía inclinada. No se reporta viento.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	Registro no claro	-	-	-
2	7.36	360 - 760	< 30	C1-2
3	Sin pico	> 760	-	B
4	Sin pico	> 760	-	B
5	Sin pico	> 760	-	B
6	5.0	360 - 760	40	C-3

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 9, y la ubicación de los puntos anteriores.

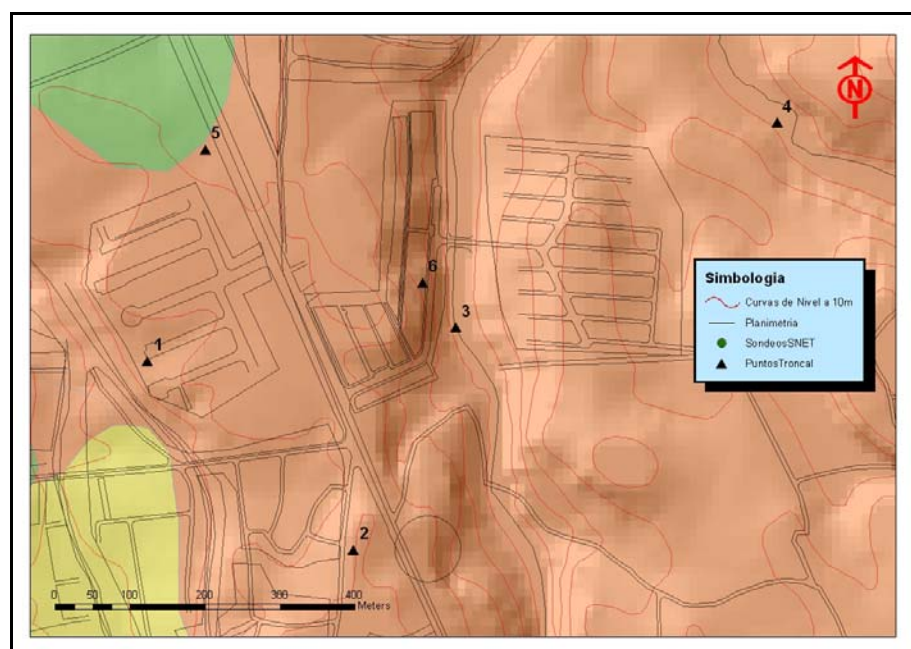


Figura 45. Área de Zona 9 Troncal del Norte, Km 11 y 11 1/2

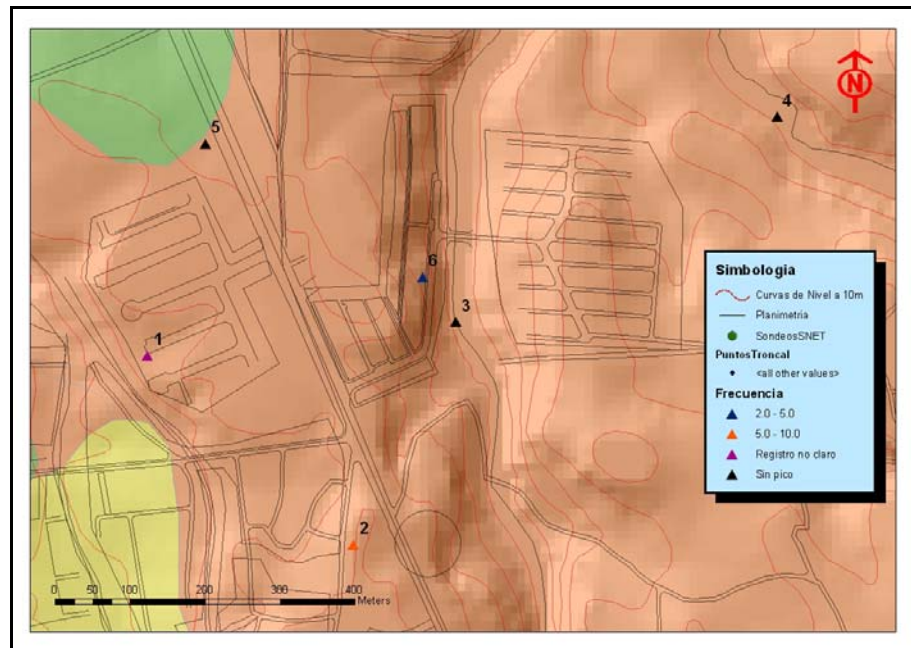


Figura 46. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

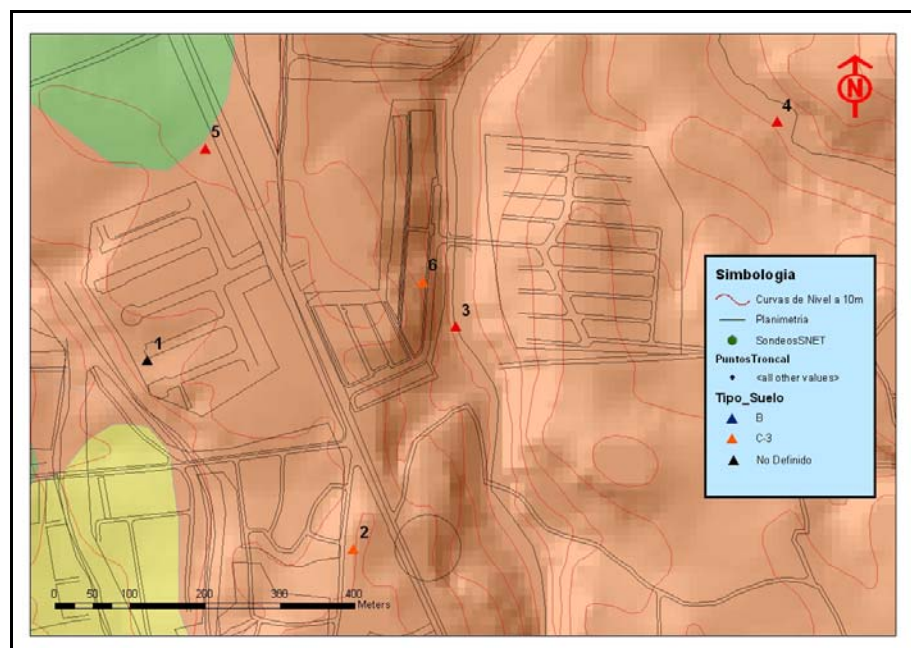


Figura 47. Velocidad de Corte V_s en Cada Punto de Registro

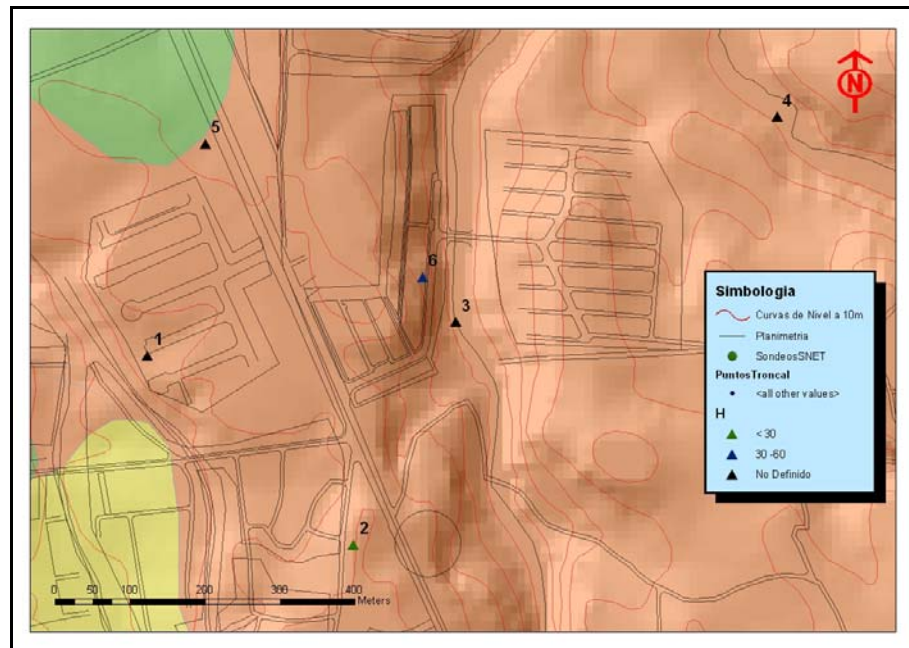


Figura 48. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

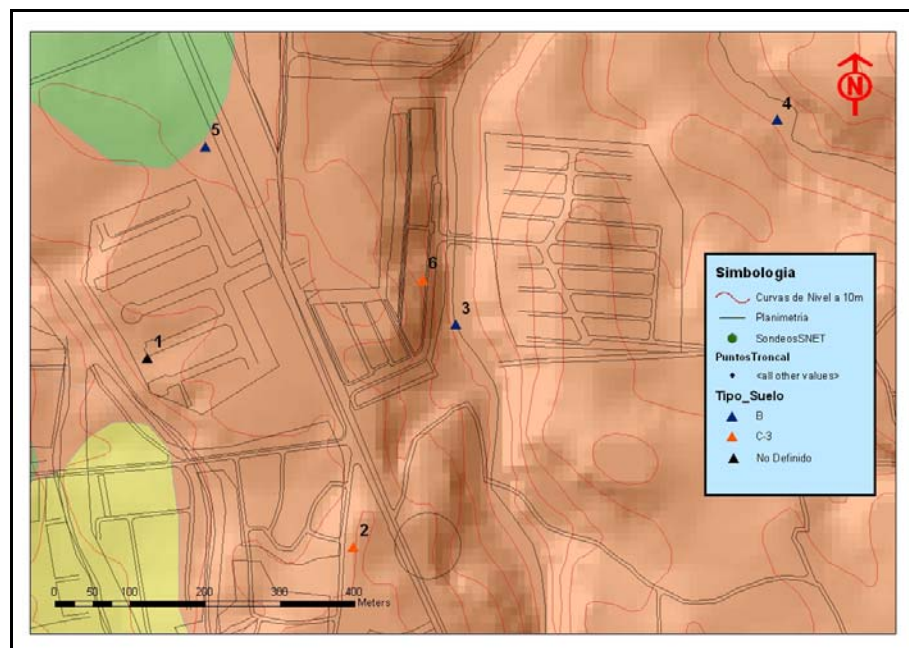


Figura 49. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

Area 10 Zona de Ilopango

Este sector corresponde a la zona de San Bartolo y la Carretera de Oro, en la zona oriental de San Salvador, y en la cual se realizaron la toma de diez mediciones

Puntos	Nombre de Ficheros	X	Y
1	E385_taurus_0385_20080212_150447	488552.32	287845.07
2	E385_taurus_0385_20080212_155319	489158.11	288009.82
3	E385_taurus_0385_20080212_164457	488391.28	287592.78
4	E385_taurus_0385_20080212_174020	488739.97	286688.27
5	E385_taurus_0385_20080212_183355	488486.05	287278.77
6	E385_taurus_0385_20080212_192622	488882.83	286899.74
7	E385_taurus_0385_20080212_201557	489360.99	287699.56
8	E385_taurus_0385_20080212_210458	489248.71	287571.53
9	E385_taurus_0385_20080213_145637	489253.44	287040.43
10	E385_taurus_0385_20080213_154652	489484.60	287262.84

Todas las medidas se registraron sobre concreto salvo el punto 7 que se reporta como suelo. No se reporta ni viento ni topografía inclinada.

En la siguiente tabla presentamos los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica H/V a cada uno de los registros obtenidos así como la Velocidad V_s , el rango de profundidad de los sedimentos y la tipología de suelo según la NEHRP a partir de la técnica propuesta por Lang et al. (2006).

Punto	Frecuencia Predominante(Hz)	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Tipo de Suelo
1	0.60	180 - 360	> 200	D3
2	0.60	180 - 360	> 200	D3
3	0.60	180 - 360	> 200	D3
4	0.50	180 - 360	> 200	D3
5	Registro no claro	-	-	-
6	Registro no claro	-	-	-
7	0.50	180 - 360	> 200	D3
8	0.50	180 - 360	> 200	D3
9	0.50	180 - 360	> 200	D3
10	0.80	180 - 360	> 200	D3

Para una mayor visualización del área de trabajo, se presenta la siguiente imagen de la Zona 10, y la ubicación de los puntos anteriores.

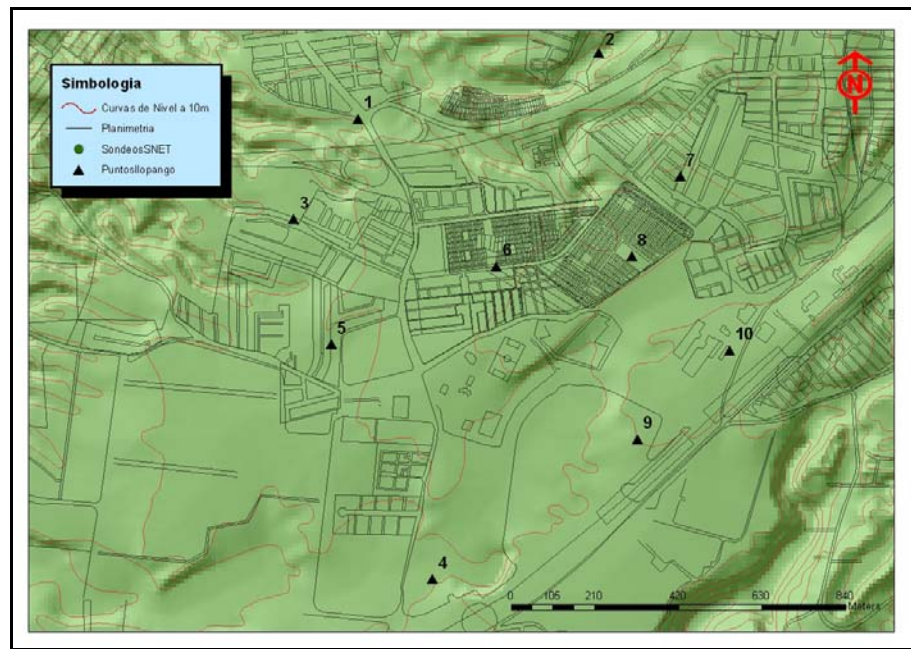


Figura 50. Área de Zona 10 Ilopanago

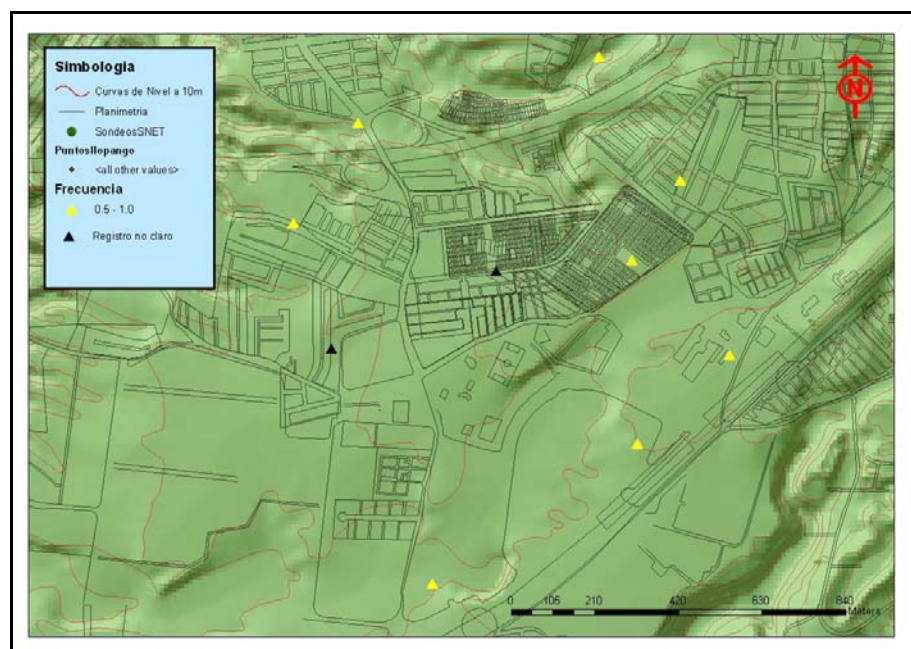


Figura 51. Frecuencias Predominantes en Cada Punto de Registro

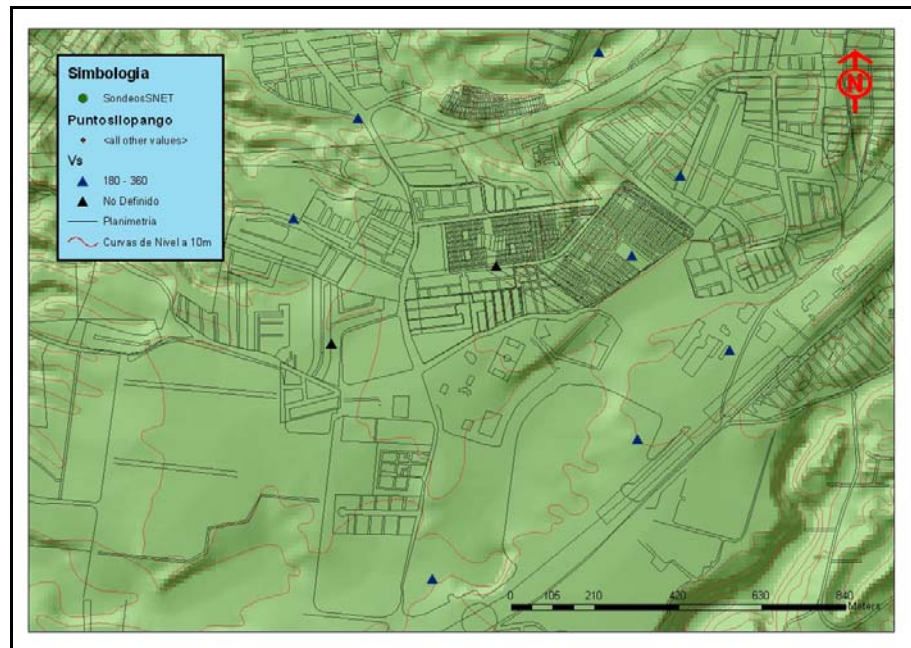


Figura 52. Velocidad de Corte V_s en Cada Punto de Registro

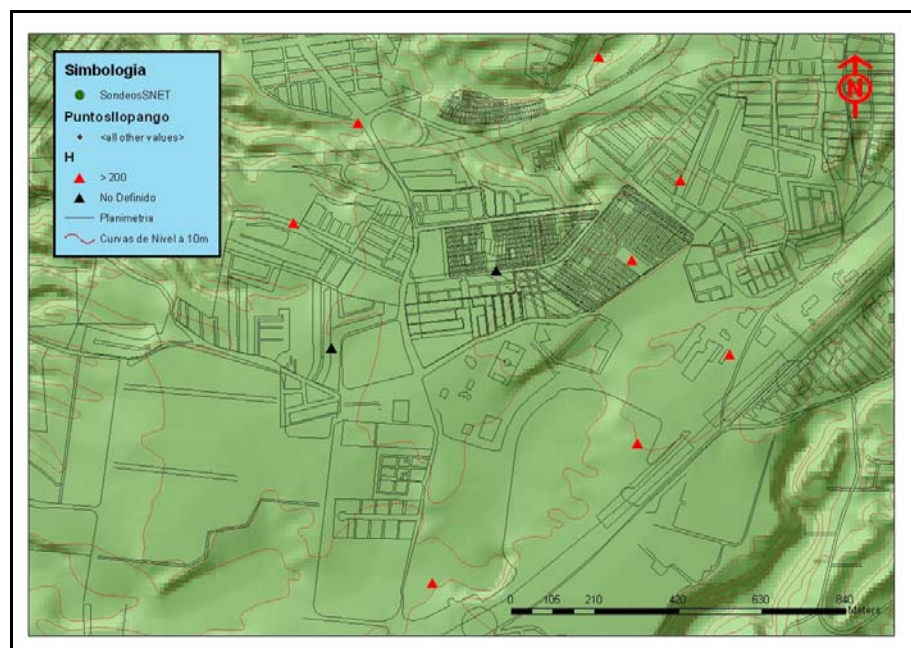


Figura 53. Profundidad de Estrato en Cada Punto de Registro

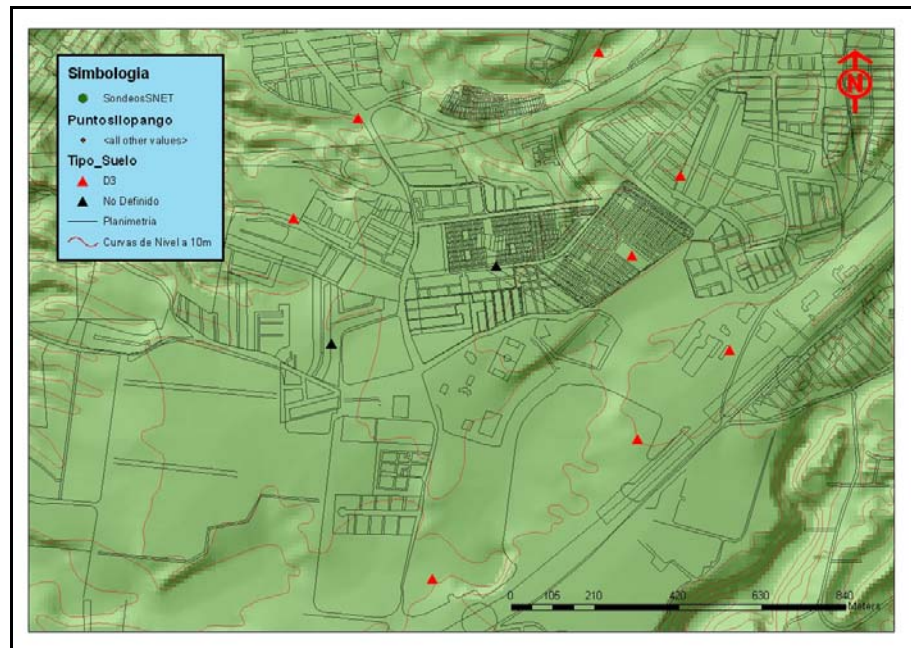


Figura 54. Tipo de suelo según NERHP en Cada Punto de Registro

4. Integración de los datos y resultados en un SIG.

Para facilitar el manejo, acceso y futura actualización de toda la información obtenida y calculada en esta tarea del proyecto RESIS II, se han integrado todos los datos recogidos así como los resultados dentro de un SIG (ARCGIS) compatible con los que actualmente viene utilizando OPAMSS, usuarios que de una forma mas directa se van a ver beneficiados de los resultados obtenidos en esta microzonificación sísmica.

La estructura del SIG es la siguiente:

Bajo la carpeta *NORSAR15042008* se han creado diferentes carpetas para cada zona, numeradas de la 1 a la 10 según el orden expuesto en los apartados anteriores, y que contienen toda la información (datos recogidos, resultados, imágenes, etc.) relativa a esa área. Cada carpeta *ZONA** donde * va del 1 al 10 contiene las siguientes subcarpetas:

- Datos: que almacena todos los ficheros *ascii* con información registrada, así como las ventanas utilizadas (fichero con extensión *div_2x*) y las no utilizadas (ficheros con extensión *div_2nox*) en el computo del valor medio y la desviación estándar de la razón H/V.

- H/V: que almacena todos los ficheros *ascii* con la media y la desviación estándar correspondiente al espectro H/V obtenido para cada punto en la correspondiente zona.
- Imágenes: que almacena los ficheros *jpg*, *ps* y *fig* correspondientes a los datos y resultados obtenidos.

Además se han creado *shapefiles* de cada una de las zonas que almacenan la información más relevante correspondiente a los resultados obtenidos (frecuencia predominante, Vs, profundidad de los sedimentos, clasificación del suelo, etc.) así como vínculos a los datos e imágenes que se han descrito anteriormente.

5. Conclusiones

La utilización de la técnica de Nakamura o de las razones espectrales H/V se ha mostrado como una herramienta adecuada para llevar a cabo la tarea de microzonificación sísmica en San Salvador. Se trata de una técnica sencilla y poco costosa que ha permitido identificar zonas en las que existe una gran potencia de sedimentos, como es el área 10 (Ilopango). Parece existir una buena correlación entre los resultados obtenidos con estudios previos y la información geológica existente, y aunque las velocidades Vs obtenidas con esta técnica son mayores que las que se obtendrían comparando el número de golpes de SPT, hemos de tener en cuenta que la información de golpes de SPT no suele nunca superar los 10 m de profundidad, pudiendo estar también sujeta error.

La creación de un SIG para almacenar y gestionar la información permitirá a la OPAMSS no solo tomar decisiones en el futuro planeamiento de la ciudad sino también actualizar, corregir o ampliar esta información en el futuro.

Finalmente, la implicación directa de personal de OPAMSS en la tarea ha permitido que dicho personal alcance la capacidad necesaria para entender la metodología y procedimiento de trabajo y ser capaz de repetirlo en el futuro, lo cual repercute en un aumento de las competencias de OPAMSS.

6 . Referencias

- AGUILAR COLATO, R.A. (1990). Microzonificación en base a criterios geotécnicos, estimación de las propiedades dinámicas y análisis de la respuesta local de los suelos del área metropolitana de San Salvador (AMSS). Texto de la Conferencia presentada en el Seminario Internacional de Microzonificación y Seguridad de Sistemas de Servicios Públicos Vitales, realizado en Lima-Peru, del 23 de Agosto al 7 de Septiembre de 1990. pp. 1 – 17.
- AKI, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremores. Bulletin of the Earthquake Research Institute Tokyo 35 (1957), pp. 415-456.
- ANSARY, M.A., M. FUSE, F. YAMAZAKI & T. KATAYAMA (1995). Use of microtremores for the estimation of ground vibration characteristics. Proceedings of the Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, April 2nd – 7th, 1995, Volume II, St. Louis/Missouri.
- BARD, P.-Y. (1998). Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on seismic motion – ESG98. Yokohama, Japan, December 1998.
- BRAY, J. D., AND A. RODRÍGUEZ-MAREK (1997). Geotechnical site categories, Proceedings of the First PEERPG&E Workshop on Seismic Reliability of Utility Lifelines, San Francisco/California, 1997.
- CHERRY, S. & P.E. SALT (1971). A preliminary investigation of microtremor spectra in British Columbia. Proceedings of the First Canadian Conference on Earthquake Engineering, Vancouver/Canada, 1971.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY FEMA (1997). NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273). Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences, Washington D.C., 1997.
- FIELD, E.H., S.E. HOUGH & K.H. JACOB (1990). Using microtremores to assess potential earthquake site response: A case study in Flushing Meadows, New York City. Bulletin of the Seismological Society of America 80, No. 6, pp. 1456-1480, December 1990.
- FIELD, E.H. & K.H. JACOB (1995). A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent. Bulletin of the Seismological Society of America 85, No. 4, pp. 1127-1143, August 1995.

- INTERNATIONAL CONFERENCE OF BUILDING OFFICIALS ICBO (1997): Uniform Building Code (1997-UBC). Whittier/CA, United States of America, 492 pp. 1997.
- LACHET, C. & P.-Y. BARD (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. J. Phys. Earth. 42, pp. 377-397, 1994.
- LACHET, C., M. BOUCHON, N. THEODULIDUS & P.-Y. BARD (1994). Horizontal to vertical spectrum ratio and geological conditions. In: G. Duma (ed.) : Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria. Balkema Rotterdam, 1995.
- LANG, D.H. & J. SCHWARZ (2006). Instrumental subsoil classification of Californian strong motion sites based on single-station measurements. 8 U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, United States, 2006.
- LERMO, J. & F.J. GARCIA-CHAVEZ (1994). Are microtremores useful in site response evaluation? Bulletin of the seismological society of America, 83, no. 5, pp. 1574-1594, October 1994.
- NAKAMURA, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTRI 30 (1), February 1989.
- NAKAMURA, Y. (1996). Real time information system for seismic hazard mitigation UrEDAS, HERAS and PIC. Quaterly Report of RTRI 37, No. 3, pp. 112-127.
- NAKAMURA, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland/New Zealand, 2000.
- NOGOSHI, M. & T. IGARASHI (1971). On the amplitude characteristics of microtremor (Part 2). Jour. Seism. Soc. Japan 24, pp. 26-40 (in Japanese with English abstract).

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a OPAMSS, Protección Civil, UCA y SNET por su apoyo continuo y participación en la coordinación de las actividades de esta tarea durante su realización.