



Estimación de las frecuencias de resonancia de los suelos en varias ciudades de la provincia de Manabí con medidas de ruido del ambiente

Noviembre 2016

Laurendeau, A., Barros, J-G., Alvarado, A., Perrault, M., Carrasco, H., Singaicho, J-C., Aguilar, J., Schmitz, M., Mercerat, D., Viracucha, C., Parra X., Espín P., Hernández S., Plain, M., Ojeda, A., Fuentes, D., Wu, H.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	4
	Trabajos realizados:	5
2	GENERALIDADES SOBRE LOS EFECTOS DE SITIOS	5
2.1	Concepto simplificado de la función de transferencia y de las frecuencias de resonancia	7
2.2	Metodologías de estimación de la respuesta espectral de un sitio	9
2.3	Breve introducción sobre los efectos de sitio no lineales	11
2.4	Propuesta de correlación de frecuencias fundamentales con la clasificación de suelos NEC-2015	13
3	ADQUISICIÓN DE DATOS	15
3.1	Grupo 1: Sismómetro 5s + reftek	16
3.2	Grupo 2: Sismómetro 1s + cube3	16
3.3	Grupo 3: Trilium compact 120s + reftek	17
4	DETERMINACION DE MHVSR	17
5	RESULTADOS	19
5.1	INTRODUCCION	19
5.2	MANTA	20
5.2.1	Geología	20
5.2.2	Descripción de las medidas	21
5.2.3	Interpretación de los resultados	23
5.3	BAHÍA DE CARÁQUEZ	26
5.3.1	Geología	26
5.3.2	Descripción de las medidas	26
5.3.3	Interpretación de los resultados	28
5.4	SAN VICENTE	31
5.4.1	Geología	31
5.4.2	Descripción de las medidas	31
5.4.3	Interpretación de los resultados	32
5.5	CANOA	33
5.5.1	Geología	33
5.5.2	Descripción de las medidas	34
5.5.3	Interpretación de los resultados	37
5.6	JAMA	38

5.6.1	Geología	38
5.6.2	Descripción de las medidas	40
5.6.3	Interpretación de los resultados	41
5.7	PEDERNALES	43
5.7.1	Geología	43
5.7.2	Descripción de las medidas	46
5.7.3	Interpretación de los resultados	48
5.8	CHAMANGA	50
5.8.1	Geología	50
5.8.2	Descripción de las medidas	51
5.8.3	Interpretación de los resultados	53
5.9	COJIMÍES	54
5.9.1	Geología	54
5.9.2	Descripción de las medidas	55
5.9.3	Interpretación de los resultados	58
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	59
7	REFERENCIAS	61
8	ANEXOS	63
8.1	Tablas de los parámetros de las medidas para cada ciudad	63
8.1.1	Manta	63
8.1.2	Bahía de Caráquez	65
8.1.3	San Vicente	66
8.1.4	Canoa	67
8.1.5	Jama	68
8.1.6	Pedernales	69
8.1.7	Chamanga	70
8.1.8	Cojimies	70
8.2	Resultados HVSR para cada ciudad	71
8.2.1	Manta	71
8.2.2	Bahía de Caráquez	74
8.2.3	San Vicente	77
8.2.4	Canoa	79
8.2.5	Jama	80
8.2.6	Pedernales	82
8.2.7	Chamanga	83
8.2.8	Cojimies	84

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es proveer una primera estimación de las características de los suelos en las principales ciudades de la provincia de Manabí (Manta, Bahía de Caráquez, San Vicente, Canoa, Jama, Pedernales y Cojimies) y Esmeraldas (San José de Chamanga), que fueron particularmente afectadas por el sismo del 16 de abril del 2016 (Figura 1).



Figura 1: Mapa de las ciudades para las cuales se realizó medidas de ruido del ambiente. El epicentro (IG-EPN) del sismo del 16 de abril de Pedernales está representado.

Este primer estudio se realiza a partir de mediciones de ruido del ambiente, con el fin de obtener la frecuencia fundamental de resonancia del suelo (o las frecuencias de resonancia), con la presencia de contrastes fuertes de impedancia. El análisis se hizo a través de las relaciones espectrales de las componentes horizontales del sensor sobre la componente vertical [mHVSr, m para microtremor] (Nakamura, 1989; Bonilla et al., 1997). Es importante especificar que esta metodología permite obtener solamente las frecuencias de resonancia y no la amplitud de la función de transferencia de los sitios. La amplitud obtenida con mHVSr es solamente relativa y permite dar una primera idea de los sitios con mayor amplificación. Además, estos estudios permiten obtener la respuesta lineal de un suelo, es decir la respuesta en el caso de una deformación no permanente. Por ejemplo, el sismo de Pedernales generó aceleraciones muy

fuertes (>0.1 g) que generaron fenómenos de deformación no lineal (ver Laurendeau et al., 2016).

Trabajos realizados:

Un mes después del terremoto del 16 de abril de 2016, el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional [IG-EPN] lanzó una campaña para investigar los efectos de sitio en la provincia de Manabí y sur de Esmeraldas. Para esto, se realizaron diferentes tipos de medidas:

- A. Medida del nivel de ruido del ambiente en diferentes lugares de las ciudades para extraer las frecuencias de resonancia y su variabilidad espacial.
- B. Se instalaron entre 3 y 4 estaciones sísmicas en las ciudades por algunos días con la finalidad de obtener datos de al menos 15 sismos, y una estación instalada en roca, que se usará como referencia, esto para estimar la amplificación de los suelos.
- C. Aplicando la metodología “Multichannel analysis of surfaces waves [MASW]” se realizaron entre 1 y 2 medidas con arreglos lineales de geófonos para obtener un perfil de velocidades de ondas de corte del subsuelo, en los sitios donde se encuentran instaladas las estaciones acelerométricas y/o en lugares estratégicos.

Este reporte va a tratar los resultados obtenidos para el punto A, es decir las medidas de ruido del ambiente que son las medidas más rápidas de obtener y procesar.

2 GENERALIDADES SOBRE LOS EFECTOS DE SITIOS

La naturaleza y la distribución de los daños que pueden afectar la infraestructura, debido a la ocurrencia de un terremoto, está muy influenciada por la respuesta del terreno frente a cargas cíclicas, como consecuencia de lo cual se produce una modificación de la señal sísmica. La modificación de esta señal sísmica debida a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas, se conoce como efecto de sitio y consiste en la amplificación de dicha señal en varios ordenes de magnitud (Enríquez, 2012).

En las ciudades de México y Kobe, se observaron daños importantes debidos a los sismos de 1985 y 1995 respectivamente, aunque los epicentros de los mismos se encontraban a varias centenas de kilómetros (a más que 300 km en el caso de México).

Estas observaciones están relacionadas con la estructura geológica de los sitios sedimentarios, tales como cuencas, donde las ondas quedan atrapadas (Figura 2). Cuando hay un contraste de impedancia importante entre un sustrato rígido y una cubierta blanda, se generan reflexiones múltiples en la capa superficial, lo cual puede provocar un efecto de resonancia. También en el

caso de relieves, las ondas pueden estar atrapadas y generar efectos de sitio debido a la topografía (Figura 2).

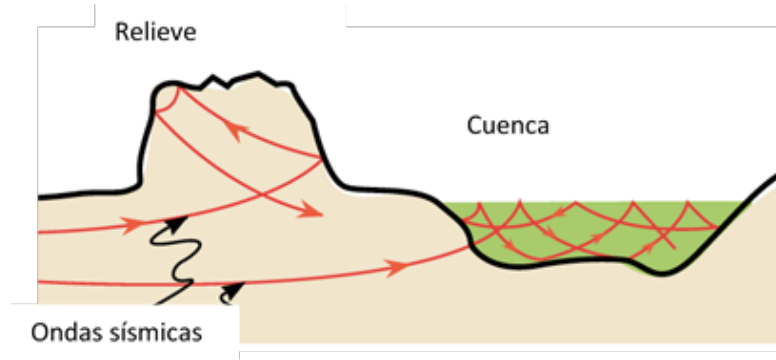


Figura 2: Ilustración del concepto de los efectos de sitio.

En un medio homogéneo, la amplitud y la duración de las ondas se reducen con la distancia a la fuente. En el caso de un efecto de sitio, un incremento local de las amplitudes y de la duración de las vibraciones sísmicas se observan incluso a largas distancias (ver Figura 3).

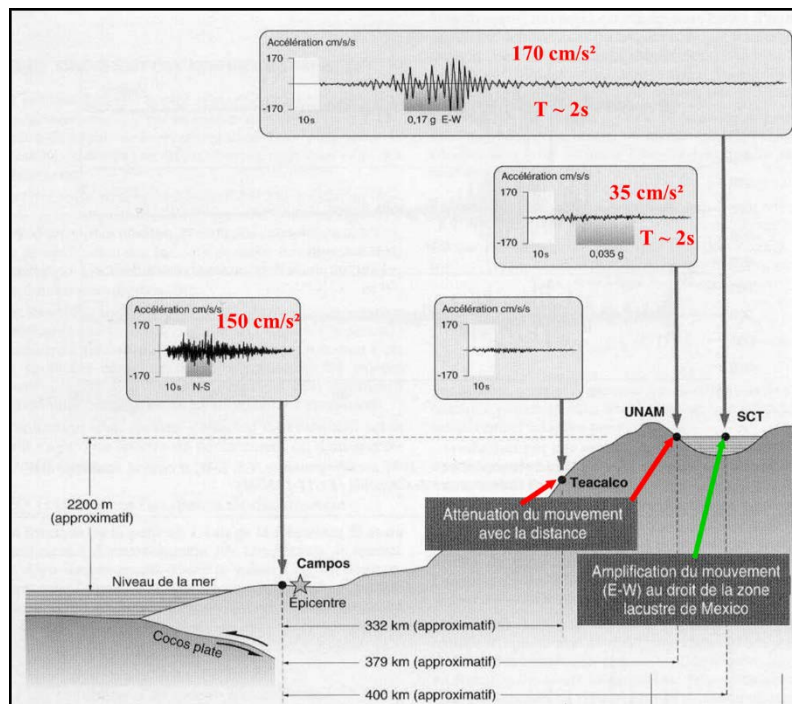


Figura 3: Ejemplo de los efectos de sitio debidos al movimiento sísmico en el caso del sismo de México 1985 de magnitud 8.2. Entre el epicentro y la estación Teacalco se observa de manera clásica la atenuación de la señal sísmica con la distancia. En el centro de la cuenca de México, la amplitud de la señal es casi 5 veces más grande que sobre la roca (estación UNAM). La duración es también más importante. Según Celebi et al. 1987.

Los efectos de sitio son responsables del incremento de los daños durante un terremoto. En el caso de México la señal sísmica fue amplificada en una frecuencia cercana a 0.5 Hz, lo que afectó particularmente los edificios entre 10 y 30 pisos (ver Figura 4). Entonces, la estimación de los efectos de sitio y especialmente de las frecuencias de resonancia es importante para intentar reducir el riesgo sísmico, al entender el comportamiento dinámico de las estructuras con su medio de cimentación (interacción suelo – estructura).

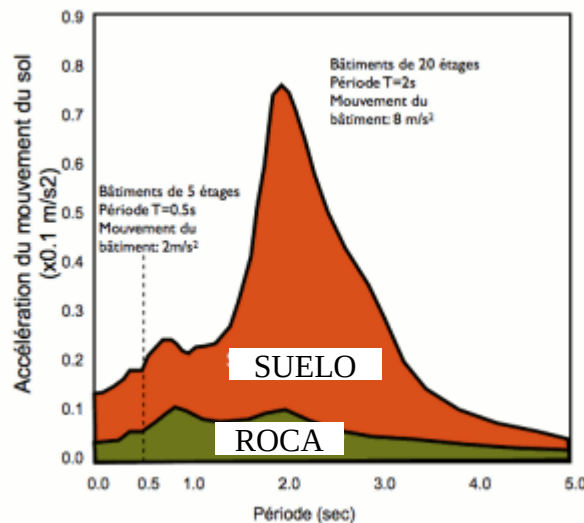


Figura 4: Diferencia de espectros de respuesta grabados durante el sismo de México de 1985 dentro de la cuenca de México (naranja) y sobre una roca (verde). Según ISTERre.

2.1 Concepto simplificado de la función de transferencia y de las frecuencias de resonancia

La propagación de una onda plana armónica que incide verticalmente se describe como sigue (Borcherdt, 1973):

$$A(z, t) = A_0 \exp^{i(kz - 2\pi f t)} \quad (1.1)$$

donde A_0 es la amplitud de la onda a la profundidad $z=0$, k el número de onda, t el tiempo y f la frecuencia. En el caso simple de un modelo de dos capas: con una capa de suelo representada como un medio visco-elástico (de la densidad ρ_1 , de velocidad de las ondas de corte V_{s1} , y de atenuación Q_1) sobre un medio semi-infinito elástico con una velocidad de propagación de las ondas más grande (roca: ρ_2 , V_{s2} y Q_2), la amplificación A_0 (amplificación a la frecuencia de resonancia fundamental a la profundidad $z=0$) depende del contraste de impedancia Z y de un factor de atenuación ξ (Kramer, 1996):

$$A_0 = \frac{Z}{1 + 0.5\pi\xi Z} \quad (1.2)$$

En el caso de un suelo sin atenuación, la amplitud es igual al contraste de impedancia Z , que se caracteriza de la manera siguiente:

$$Z = \frac{\rho_2 V_{S2}}{\rho_1 V_{S1}} \quad (1.3)$$

Para un suelo, el modelo matemático utilizado que relaciona a través de un cociente la respuesta del mismo con una señal de entrada: función de transferencia, permite identificar con claridad las frecuencias para las cuales el movimiento sísmico se amplifica o se atenúa (Figura 5). Para una estructura con dos capas, estas frecuencias se determinan a partir de la siguiente relación (Haskell, 1960):

$$f_n = (2n + 1) \frac{V_S}{4H} \quad (1.4)$$

Donde V_S es la velocidad de las ondas S y H su espesor. Si en la ecuación 1.4 consideramos $n=0$, se obtiene la frecuencia fundamental en donde la amplificación es máxima. Si consideramos $n>0$, obtendremos valores de frecuencias correspondientes a los modos superiores de vibración del suelo.

Para cuantificar la atenuación, el amortiguamiento ξ está relacionado al factor de calidad de la siguiente manera: $Q = 1/2\xi$. Este factor de calidad a su vez se asocia a la pérdida de energía por fricción interna. Para un ciclo ω , para un material determinado, se describe de la siguiente manera:

$$\frac{1}{Q(\omega)} = \frac{-\Delta E}{2\pi E} \quad (1.5)$$

Donde E es el máximo de energía acumulada en un volumen y $-\Delta E$ la energía perdida en cada ciclo debido a la presencia de heterogeneidades (Aki et Richards, 1980). En un medio elástico, Q es infinito. Las propiedades de atenuación del suelo tienen importancia en la forma de la función de transferencia especialmente a altas frecuencias (Figura 6).

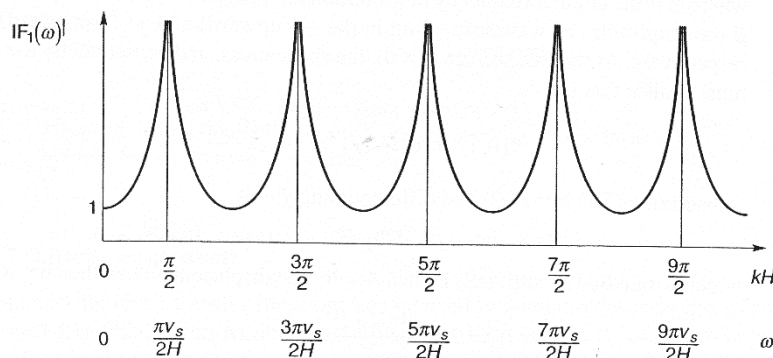


Figura 5: Función de transferencia en el caso de un sustrato rígido debajo de una capa elástica perfecta. Esta figura presenta los diferentes armónicos. Según Kramer, 1996.

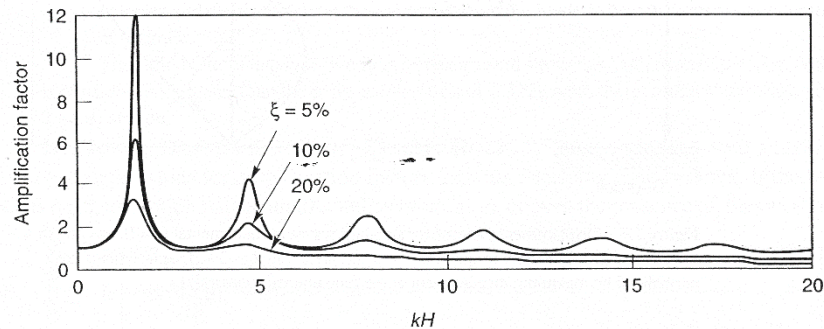


Figura 6: Función de transferencia en el caso de un sustrato rígido debajo de una capa de suelo semi-elástica. Esta figura presenta la variación de la amplitud de esta función de transferencia en relación al amortiguamiento ξ . Según Kramer, 1996.

La amplitud y la forma de la función de transferencia dependen también del ángulo de incidencia de las ondas que depende de la ubicación de la fuente del sismo. Mientras más verticalmente llegue la onda al suelo, mayor será la amplitud (Figura 7).

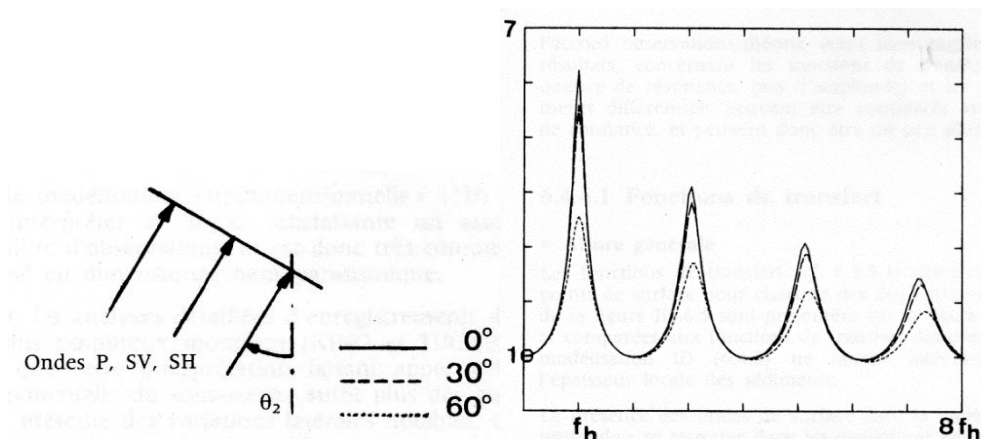


Figura 7: Funciones de transferencia en relación al ángulo de incidencia de las ondas. Según Kramer, 1996.

2.2 Metodologías de estimación de la respuesta espectral de un sitio

Diferentes metodologías permiten obtener con mayor o menor precisión una idea de los efectos de sitio en un lugar (Figura 8). Los parámetros que buscamos en este orden son: la frecuencia fundamental (f_0), la amplitud de la amplificación a esta frecuencia (A_0) y la función de transferencia (FdT) completa. Es posible obtener la frecuencia de resonancia fácilmente con un registro de ruido de menos de una hora y con la metodología mHVSr de Nakamura et al. (1989). Por el contrario, la obtención de la función de transferencia es más laboriosa porque solamente es posible de obtenerla de las siguientes maneras: 1. Simulaciones: en este caso se necesita un buen conocimiento de los parámetros geotécnicos del sitio y de la estructura completa donde se ubica; 2. Cociente espectral del sitio con respecto a una referencia (Borchert, 1970): en este caso

para definir la función de transferencia se necesitan muchos registros de sismos con una buena distribución azimutal y un buen sitio de referencia, es decir un sitio sin resonancia con una función de transferencia plana. Encontrar este tipo de sitio en la superficie no es fácil (Steidl et al., 1996), debido al hecho que esta referencia debe estar cerca al sitio (hipótesis del mismo campo de ondas) y que en superficie, las rocas suelen estar alteradas, lo que puede generar un pico de resonancia a alta frecuencia (por ejemplo, Steidl et al., 1996; Cadet et al. 2010).

DATOS	METODOLOGÍAS	RESULTADOS		
		F0	A0	FdT
Geología, geotécnica	Estimaciones imprecisas $F_0 = V_s/4H$; $A_0 = f(r, V_s)$	x	x	
	Modelizaciones numéricas de la propagación de las ondas 1D, 2D, 3D, lineal, no lineal	X	X	X
Registros de sismos	Funciones receptores (H/V sismo) Langston, 1979	X		
	Cociente espectral sitio /referencia Borchert, 1970, Aki 1988	X	X	X
Registros del ruido ambiente	H/V con el ruido del ambiente Nogoshi et Igarashi, 1971; Nakamura 1989	X		

Figura 8: Las diferentes metodologías para estimar los efectos de sitios, en gris los datos que se necesitan y en verde, las metodologías correspondiente, y los resultados que se pueden obtener (Según Duval et al. 2013).

Para un sitio, lo mejor es obtener la respuesta con diferentes metodologías, para así aumentar la confianza en los resultados. Las respuestas obtenidas con diferentes metodologías o con diferentes medidas pueden mostrar una gran variabilidad.

La Figura 9 presenta un ejemplo para un sitio en Francia (OGDH, ubicado en el centro de la cuenca de Grenoble) para el cual es posible ver la variabilidad de la respuesta de los suelos con diferentes metodologías, especialmente una variabilidad importante en las amplitudes. Cada metodología (excepto la inversión que da solamente la parte en alta frecuencia, curva rosada) permite obtener la primera frecuencia de resonancia a 0.25 Hz. Un segundo pico sale también a relucir a 2 Hz con la mayoría de las metodologías, excepto con el mHVSr de ruido para una medida. En función de la calidad de las medidas de ruido (clima, fuentes de ruido, manera de instalar el sensor), los resultados pueden tener variabilidad con esta metodología (ver Figure 2 del reporte SESAME, 2004). Además, las metodologías basadas sobre la técnica HVSr (con ruido (m) y sismos (e)) permiten únicamente dar una amplitud relativa y no la amplitud real de la función de transferencia.

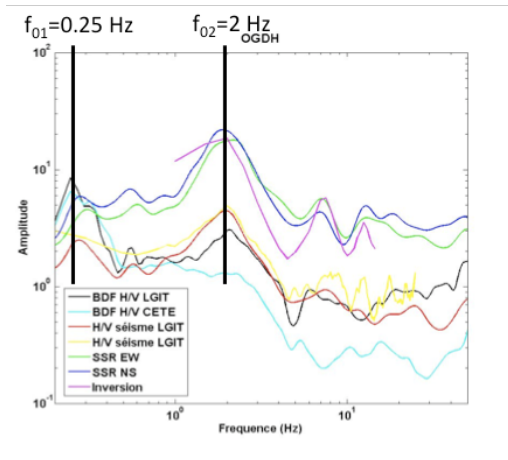


Figura 9: Ejemplo de las respuestas de sitio obtenidas para un sitio en Francia, OGDH, con diferentes metodologías y diferentes medidas: BDF H/V LGIT= HVSR ruido ambiental de un instituto, BDF H/V CETE = HVSR ruido ambiental de otro instituto (otras medidas de ruido), H/V sismo=HVSR con sismos, SSR= cociente espectral sitio/referencia, inversión con la metodología de Drouet et al., 2008. Según Laurendeau, 2009.

La Figura 10 propone una comparación entre el cociente espectral sitio/referencia (SSR_dh, curvas negras, en el contexto de un pozo) y los resultados de simulaciones 1D lineales para sitios en Japón (BTF, curvas rojas). La diferencia entre SSR_dh y BTF, que se nota para los dos sitios a la derecha, podría tener al menos dos orígenes: 1. la geometría del sitio no puede ser representada mediante un modelo unidimensional sino que necesita modelos en 2 o 3 dimensiones, y 2. el perfil de velocidad determinado no cuenta con datos suficientes para una buena definición.

2.3 Breve introducción sobre los efectos de sitio no lineales

En sismos de gran magnitud, es importante considerar el posible comportamiento no lineal de los suelos en el contexto de solicitaciones fuertes (aceleraciones del suelo importantes). Este comportamiento se traduce a través de los efectos de licuefacción, es decir que el suelo va a tener el comportamiento parecido a un líquido. En este caso, el estudio de la licuefacción de suelos es un tema trascendental en ingeniería, ya que cuando se presenta en zonas urbanas, la estabilidad de las estructuras se ve amenazada ante la pérdida de capacidad portante del suelo de cimentación.

Los efectos no lineales afectan también a la función de transferencia. En este caso la amplitud y la frecuencia del modo fundamental serán menores. La Figura 11 presenta un ejemplo en el contexto del sismo de Tohoku en 2011 de Mw 9.0 (Bonilla et al. 2011). Se observan grandes diferencias en la respuesta de los suelos entre el comportamiento lineal y el no lineal.

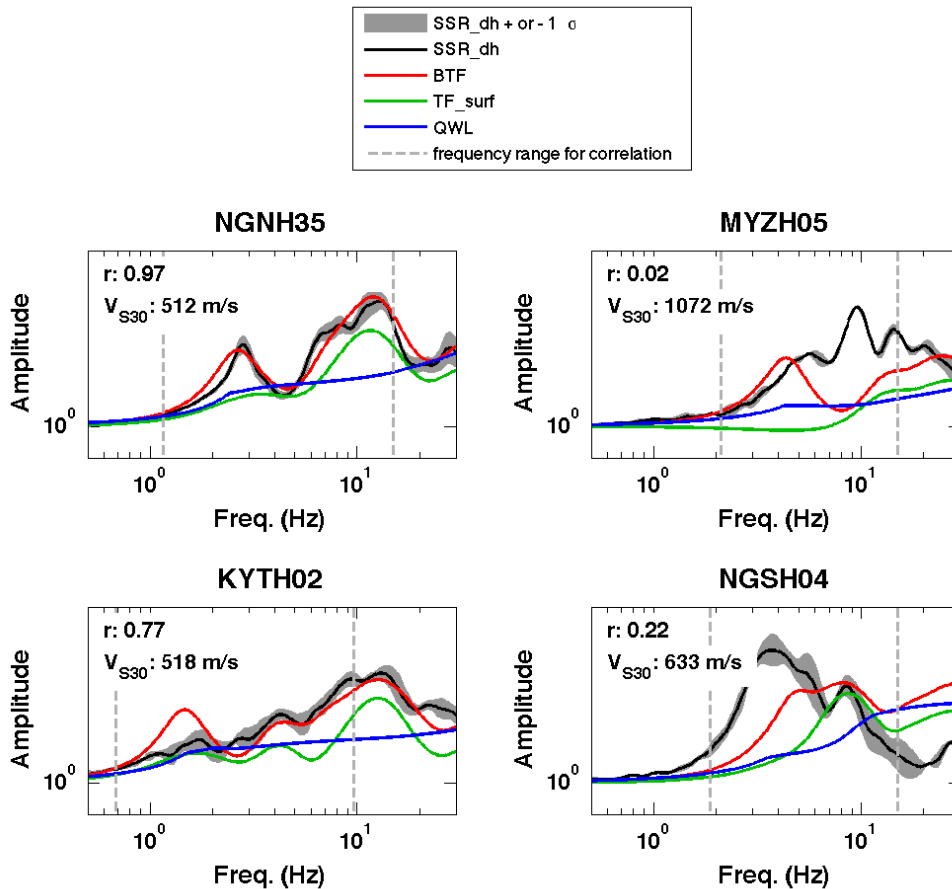


Figura 10: Ejemplo de las respuestas de algunos sitios en Japón con diferentes metodologías: SSR_{dh} = cociente espectral entre un sitio en superficie y un punto dentro de un pozo al nivel de la roca; BTF = función de transferencia obtenida a partir de simulaciones 1D lineal y del perfil de velocidad disponible entre la superficie y la profundidad; TF_{surf} : con simulaciones solo en superficie; QWL : función de transferencia obtenida a partir de un perfil de velocidad simplificado y genérico solo dependiente de V_{S30} . A la derecha, son dos ejemplos para los cuales es posible de reproducir con simulaciones 1D las observaciones; y a la izquierda dos ejemplos que no tienen una buena correlación entre observaciones y simulaciones. El coeficiente r da la correlación entre SSR_{dh} y BTF . Según Laurendeau et al. (Sometido a BEE).

Para tener una idea del comportamiento del suelo en el contexto de grandes aceleraciones, es necesario hacer estudios de los materiales del suelo en laboratorio para definir sus parámetros geotécnicos, como el perfil de velocidad de las ondas de corte, la degradación del módulo de rigidez (G/G_{max}), el amortiguamiento, etc.

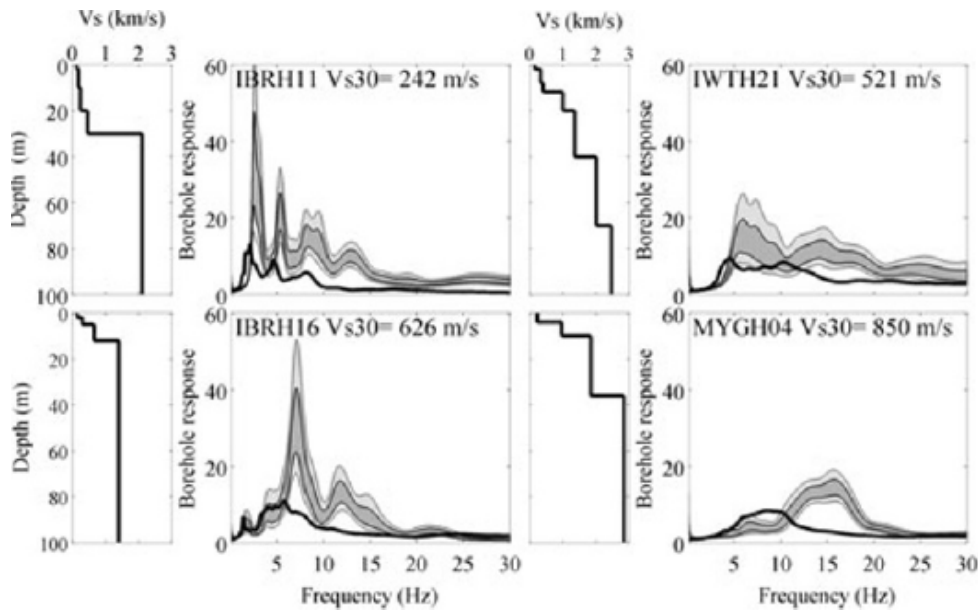


Figura 11: Ilustración de los efectos no lineal en el contexto del sismo de Tohoku 2011 (Mw 9.0). Las curvas grises representan la respuesta lineal de estas estaciones japoneses y la curva negra la respuesta no lineal debida al sismo de Tohoku. Según Bonilla et al., 2011.

2.4 Propuesta de correlación de frecuencias fundamentales con la clasificación de suelos NEC-2015

La norma NEC-SE-DS en su apartado 3.2.1 define seis tipos de perfil de suelo, caracterizados según el parámetro $V_{s,30}$, que corresponden al promedio armónico de la velocidad de las ondas de corte en los 30 m superiores de suelo y se describe así:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad (1.6)$$

con h_i y V_i , el espesor y la velocidad de las ondas S de la i° capa y N el número total de capas. La Tabla 1 da la clasificación en la norma NEC-SE-DS. Según la fórmula 1.4, la frecuencia fundamental (f_0) es:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

A la manera de Zhao et al. (2006), si reemplazamos en la fórmula de la f_0 , la $V_{s,30}$ propia de cada tipo de perfil de la Tabla 1, y tomando la hipótesis de un espesor de suelo H de 30 m, se puede encontrar un rango de frecuencias para cada perfil de suelo propuesto en la Norma Ecuatoriana de Construcción (Tabla 2). Este propuesta de clasificación es para dar una primera idea de los suelos y tiene limitaciones: 1. La hipótesis de un espesor $H=30m$ es fuerte sabiendo que la

frecuencia depende mucho de H ; 2. Si no hay un contraste fuerte de impedancia, no es posible definir f_0 , y no es posible validarlo como una roca. Se necesita tener algunas ideas de la geología en este contexto para discretizar los suelos. En lo que sigue, se seguirá esta clasificación para ordenar los resultados de frecuencia de resonancia.

Este procedimiento implica que el espesor del suelo sobre basamento sea de 30 m. Incluso en los casos que se encuentre un estrato con $V_s=760$ m/s, este no necesariamente corresponde a roca, sino puede haber un nivel más profundo de un contraste de impedancia importante entre la roca y sedimentos consolidados, que serían el estrato de $V_s=760$ m/s. Los efectos de los estratos más profundos parcialmente se proyectan a la calidad del suelo somero, que tenderá a clasificar más blando de lo que pudiera ser en realidad.

Tabla 1: Los diferentes tipos de suelo en la norma NEC-SE-DS en su apartado 3.2. N corresponde al número de golpe con investigación de tipo SPT; S_u : Resistencia al corte no drenado; IP : Índice de plasticidad; w : contenido de agua en %.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_{s30} \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_{s30} \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$760 \text{ m/s} > V_{s30} \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$, $S_u \geq 100\text{KPa}$
D	Perfiles de suelo rígidos, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$360 \text{ m/s} > V_{s30} \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelo rígidos, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$50 > N \geq 15$, $100\text{KPa} > S_u \geq 50\text{KPa}$
E	Perfil que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de corte, o	$V_{s30} < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$, $w \geq 40\%$, $S_u < 50\text{KPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista	

Tabla 2: Propuesta de clasificación de los suelos ecuatorianos a la manera de Zhao et al. (2006).

Tipo de perfil	Velocidad onda de corte	Frecuencia fundamental
A	$V_{S30} \geq 1500$ m/s	$f_0 \geq 12.5$ Hz
B	$760 \leq V_{S30} < 1500$ m/s	$6.33 \leq f_0 < 1.5$ Hz
C	$360 \leq V_{S30} < 760$ m/s	$3.0 \leq f_0 < 6.33$ Hz
D	$180 \leq V_{S30} < 360$ m/s	$1.5 \leq f_0 < 3.0$ Hz
E	$V_{S30} < 180$ m/s	$f_0 < 1.5$ Hz

3 ADQUISICIÓN DE DATOS

En cada ciudad, varias medidas de ruido del ambiente se realizaron con el fin de tener una colección de puntos para caracterizar el suelo (Figura 12). La duración de cada medida fue de al menos 30 minutos para investigar frecuencias de resonancia a partir de 0.2 Hz, siguiendo las recomendaciones del proyecto “Site EffectS using AMbient Excitations” [SESAME] (2004). Para realizar las medidas de ruido del ambiente se utilizaron tres grupos de equipos:

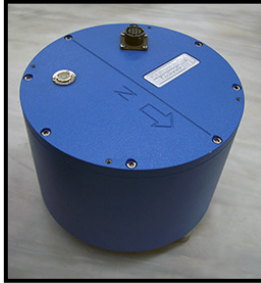
1. Sensor = sismómetro LENNARTZ LE-3D/5s y digitalizador = Banda Ancha REFTEK RT-130
2. Sensor = sismómetro LENNARTZ LE-3Dlite/1s y digitalizador = DATA-CUBE3
3. Sensor = sismómetro de larga frecuencia Trilium compact 120s y digitalizador = Banda Ancha REFTEK RT-130

Sin embargo, hay que indicar que los equipos del grupo 2 tienen limitaciones para determinar frecuencias de resonancia bajo 1 Hz.



Figura 12: Ejemplo de medidas de ruido del ambiente con el equipo del grupo 1 a la izquierda y con el equipo del grupo 2 a la derecha.

3.1 Grupo 1: Sismómetro 5s + reftek
Sismómetro LENNARTZ LE-3D/5s



Eigenfrequency	0.2 Hz
Upper corner frequency	> 40 Hz
Transduction factor	400 Vs/m/s (diferencial)
Output Signal	3 analog voltages, max. +- 7V
Power supply	+10 ... +16V DC, typically 7 mA @12 V
Dimensions	195 mm diameter, 165 mm height (excluding handle)
Weight	6.5 Kg
Temperature range	-15 to +35 °C
Dynamic range	> 120 dB
RMS noise at 1 Hz	< 1 nm/s

Digitalizador de banda Ancha REFTEK RT-130

<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-726584/130S-01%20brochure.pdf>



Input Channels	3
Dimensions	16 cm x 17.5 cm x 33.3 cm
Weight	2 Kg
Temperature range	-20 to +70 °C
Dynamic range	> 138 dB

3.2 Grupo 2: Sismómetro 1s + cube3
Sismómetro LENNARTZ LE-3Dlite/1s



Eigenperiod	1 second
Upper corner frequency	100 Hz
Transduction factor	800 Vs/m/s (differential)
Output signal	3 analog voltages, max. +- 7V
Power supply	+10 ... +16V DC, typically 7 mA @12 V
Dimensions	95 mm diameter, 65 mm height (excluding eyebolt)
Weight	1.6 kg
Temperature range	-15 to +60 °C
RMS noise at 1 Hz	< 3 nm/s
Dynamic range	> 136 dB

Digitalizador DATA-CUBE3

<http://www.omnirecs.de/dc3.html>



Input Channels	3
Dimensions	10 x 10 x 8.3 cm
Weight	1 Kg
Temperature range	-40 to +60 °C

3.3 Grupo 3: Trilium compact 120s + reftek

Sismómetro Trilium compact 120s

<http://www.nanometrics.ca/seismology/products/trilium-compact>



Eigenperiod	120 seconds
Upper corner frequency	100 Hz
Transduction factor	750 Vs/m/s (differential)
Output signal	3 analog voltages, max. +- 7V
Power supply	9 to 36 V DC isolated inputs, typically < 160 V
Dimensions	97 mm diameter, 118 mm height (body only)
Temperature range	-40 to +60 °C
Dynamic range	> 152 dB a 1Hz

4 DETERMINACION DE MHVSR

El principio de la técnica mHVSR (Nakamura, 1989) consiste en usar varias ventanas de ruido de al menos 30 segundos desde un registro de al menos 30 minutos y calcular el cociente entre el espectro de Fourier de las componentes horizontales y el espectro de la componente vertical para cada ventana, y obtener el promedio. Esta metodología permite obtener la frecuencia fundamental de un suelo, en presencia de un contraste de impedancia. Esta no permite obtener la función de transferencia del sitio, pero la amplitud obtenida da una primera idea de la amplificación relativa del suelo. Es decir si hacemos la comparación de dos sitios, podemos saber si un sitio va a amplificar más que otro. Además, en algunos casos es posible interpretar los segundos picos que pueden ser muy claros (ejemplo de la Figura 9).

Esta metodología está implementada en el programa libre y de fácil utilización Geopsy (<http://www.geopsy.org/>). El procesamiento se realizó de la siguiente manera:

- Selección de 30 minutos de señal (Figura 13, izquierda) para los grupos 1 y 2 de equipo y de 3 horas para el grupo 3 (más tiempo disponible).
- Selección de ventanas de ruido de duración entre 30 y 50 segundos (Figura 13, derecha). Eliminación de picos de amplitud alta con un filtro STA/LTA. Una apodización con un “taper” de forma sinusoidal de 5% de la duración de cada ventana.
- Cálculo de los espectros de Fourier de cada componente y aplicación de un alisado de Konno and Ohmachi (1998) ($b=40$).
- Cálculo del cociente para cada ventana entre el promedio de las componentes horizontales sobre la componente vertical entre 0.5 Hz y 10 Hz (Figura 14, líneas de color).
- Cálculo de la curva promedio y de la desviación estándar.
- Determinación de f_0 , si es posible, a partir de la curva promedio.

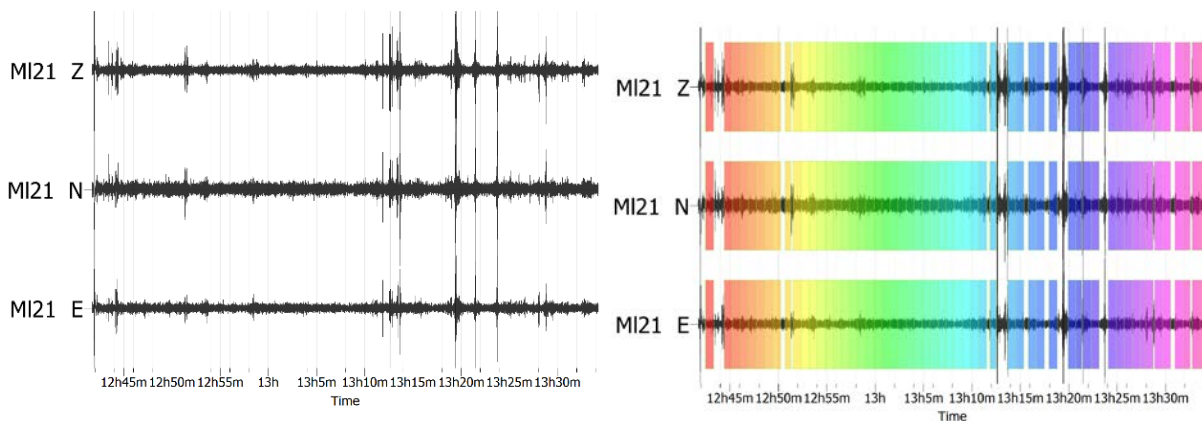


Figura 13: Ejemplo de un señal de medida de ruido ambiente (izquierda) y de la selección de las ventanas que van a servir para el cálculo de espectros.

Las curvas HVSR se determinaron entre 0.5 y 10 Hz, debido a que en este rango, en casi todas las ciudades ya fue posible identificar la frecuencia fundamental. El grupo de equipos 1 permite observar hasta 0.2 Hz, mientras que el grupo de equipos 2, permite solo desde 1 Hz, pero aun así, pone en evidencia los picos para frecuencias más bajas. En el caso del grupo de equipos 3, es posible ir a más baja frecuencia pero la calidad de los datos necesita un filtro entre 0.2 o 0.5 Hz hasta 15Hz.

En algunos sitios, es posible que exista un pico de frecuencia fuera de este rango. Por ejemplo, en la parte sur de Quito, se caracteriza por un pico de aproximadamente 0.3 Hz (Laurendeau et al., 2016).

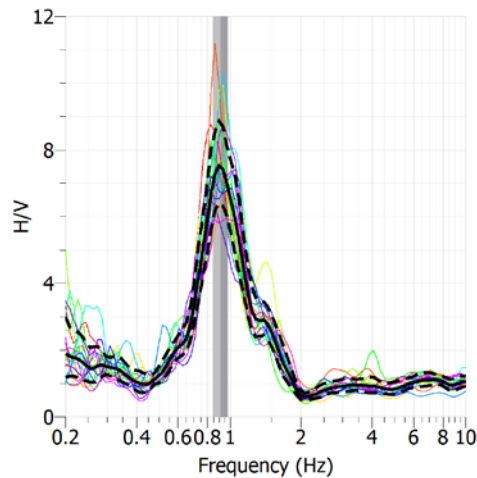


Figura 14: Razones espectrales de las componentes horizontales sobre las verticales de cada ventana (líneas de color) y el promedio de las ventanas (línea negra), con más o menos una desviación estándar (líneas de puntos negros).

5 RESULTADOS

5.1 INTRODUCCION

Cada ciudad contendrá la siguiente descripción:

1. Una introducción sobre la geología de la zona
2. Mapas de ubicación de los diferentes puntos de medida
 - a. Un primer mapa a gran escala con la ubicación de los diferentes puntos y además la ubicación de la estación de referencia, y de los equipos de monitoreo del IG-EPN si los hay.
 - b. Un segundo mapa con un zoom sobre los puntos de ruido con sus respectivos nombres.
3. Una tabla que contiene:
 - a. el grupo de equipos utilizados,
 - b. la ubicación de las diferentes medidas,
 - c. el número de ventanas usadas para calcular la relación media de HVSR,
 - d. f_0 , la frecuencia de resonancia en Hz, que es la frecuencia correspondiente al valor máximo del HVSR promedio,
 - e. las frecuencias, f_0 min y f_0 max, que corresponden a la desviación estándar para el f_0 obtenido para cada ventana,
 - f. la amplitud, A_0 rel, del pico f_0 , para tener una primera idea de la amplificación relativa al sitio

Cuando no hay información sobre las frecuencias, es que no es posible de encontrar un pico de HVSR claro porque la respuesta es plana (gris) o no hay un pico de amplitud claro, pero un rango de frecuencias amplio (azul), o una desamplificación (morado). Estas tres categorías están mostradas de maneras distintas en las tablas.

4. Los cocientes HVSR (promedio y desviación estándar) para los diferentes puntos, con la indicación de f_0 en azul y su desviación estándar en gris.
5. Un mapa con los resultados de f_0 con la propuesta de clasificación de suelos según f_0 relacionada a la norma ecuatoriana. Una propuesta de interpolación dentro de un área definida de manera arbitraria alrededor de los puntos que se disponen.
6. Interpretación de los resultados de f_0 .

5.2 **MANTA**

5.2.1 **Geología**

La zona de Manta está asentada sobre depósitos de terrazas marinas que han sido levantadas (Cantalamessa y Di Celma, 2004; Pedoja et al., 2006). Según el trabajo de Pedoja et al. (2006) se propusieron al menos 5 niveles de terrazas, con una tasa de levantamiento estimada entre 0.3 a 0.5 mm/año, durante los últimos 300.000 años. Sin embargo, estudios recientes sugieren que el número es mayor (Cisneros en prep.).

Los materiales más recientes (Cuaternario y probablemente Plioceno) que componen las terrazas marinas son secuencias de arenas, arcillolitas y limolitas. Las secuencias se pueden describir como de origen litoral, se observan en algunos lugares arenas de playa, con presencia de fósiles marinos y suelos (Figura 15a y b). Hay intercalaciones de cenizas volcánicas, provenientes de las erupciones ocurridas en el arco volcánico (Figura 15a, Vallejo, 2011). En afloramientos en la zona de San Mateo se observan secuencias pertenecientes a la formación San Mateo del Eoceno, compuestas por limolitas, arcillolitas, areniscas y conglomerados.

El basamento formado por basaltos de origen oceánico, que se observan en la entrada a la población de Santa Marianita y en Montecristi, sugiere que estos están bajo todas las secuencias anteriores, la edad estimada de este basamento es Cretácico. No se conoce el espesor de las secuencias más jóvenes que sobreyacen a este basamento.



Figura 15: Ejemplos de depósitos sedimentarios en la zona de Manta. 5a, secuencias de arenas, limos y sedimentos volcánicos. 5b, Areniscas con restos fósiles, conductos de gusanos y conchas. Fotos en la vía a la Refinería.

Por otro lado, a lo largo del río Manta, se tienen terrazas aluviales formadas principalmente de arenas y limos.

5.2.2 Descripción de las medidas

En el caso de Manta, la adquisición de datos se realizó considerando los principales niveles de terrazas marinas, como también las zonas que sufrieron daños importantes especialmente la zona de Tarqui (ver Figura 16 y Figura 17).

Manta tiene una respuesta particular con la posibilidad de identificar diferentes picos de amplitud alta. La Tabla 3 (en el anexo 8.1.1) da los parámetros de las medidas y las frecuencias de resonancia identificadas. Con el equipo del grupo 3, es posible identificar un pico a la frecuencia de 0.3 Hz mientras que no es posible identificar un pico claro con los otros equipos, solamente observar una posible amplificación a más baja frecuencia que 0.5 Hz para casi cada estación (ver Figura 53 en el anexo 8.2.1, las curvas HVSR de ML01, ML02, ML03 por ejemplo). En este contexto, solamente en el caso de Manta, identificamos como f_0 este pico a baja frecuencia y como f_1 el pico a más alta frecuencia, si existe.

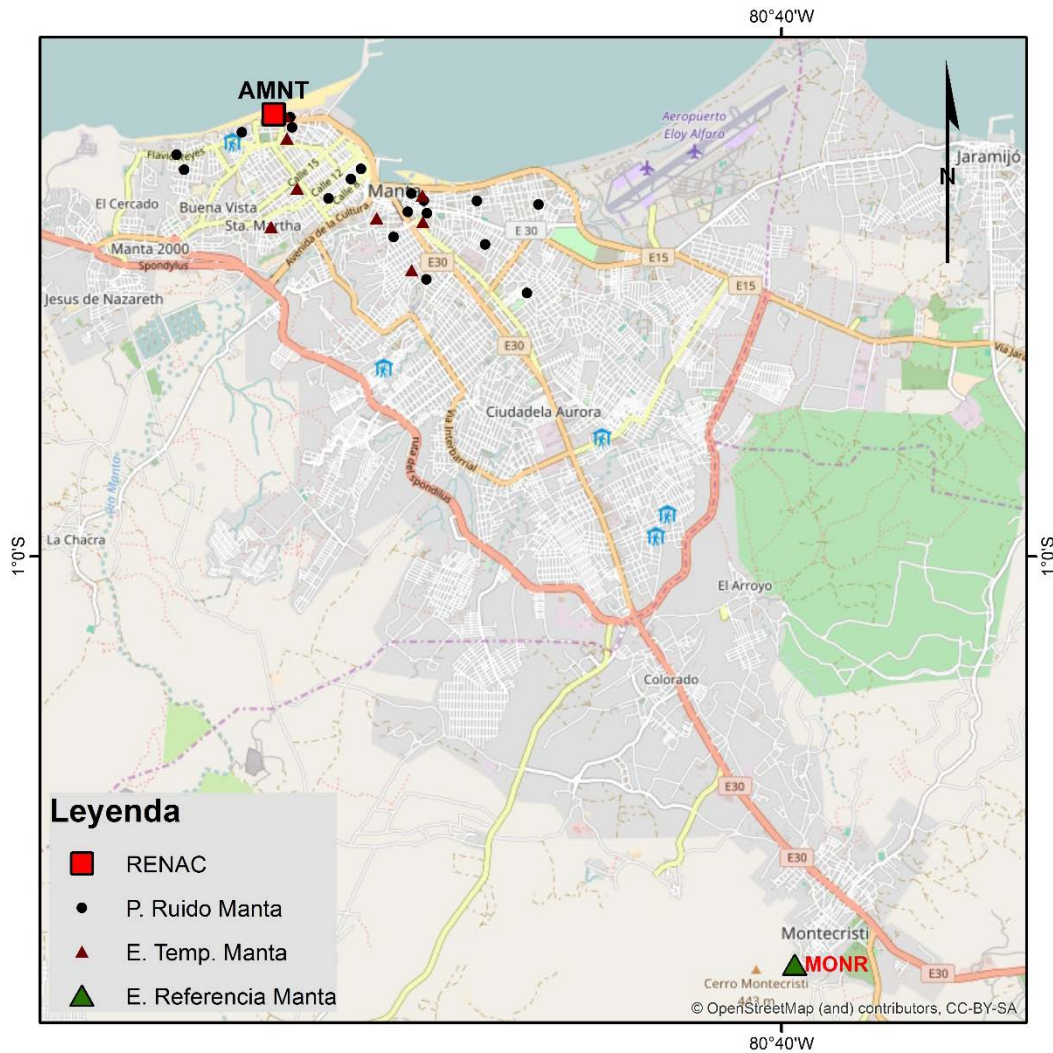


Figura 16: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Manta. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

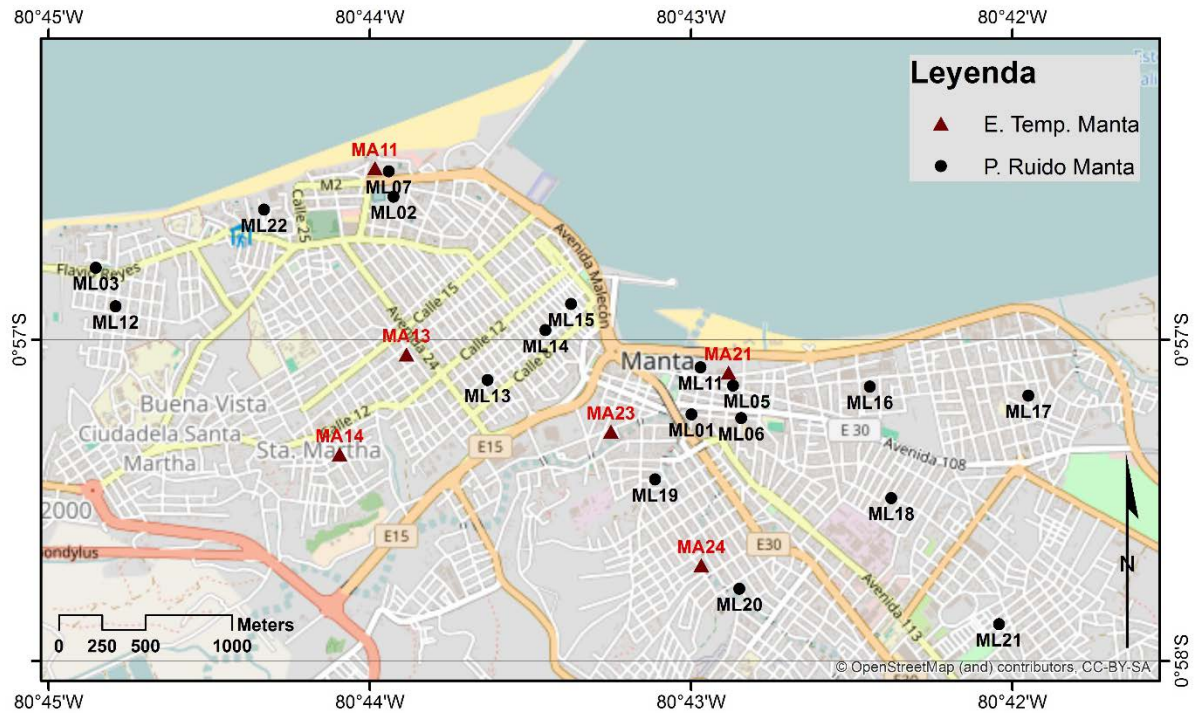


Figura 17: Zoom del mapa de la Figura 16 sobre la zona de medida principal al norte de Manta.

5.2.3 Interpretación de los resultados

- Con los sensores del grupo 3, que permiten ver frecuencias más bajas que 0.5 Hz, es posible identificar una frecuencia de resonancia para cada estación entre 0.3 y 0.4 Hz (Figura 18). Para casi cada sensor del grupo 2, se observa al inicio de la respuesta a 0.5 Hz, una amplitud de HVSR más grande. Hay que indicar que debido al tipo de instrumentación no hay confiabilidad para valores bajo 0.5 Hz. Esta frecuencia de resonancia puede estar relacionada a un contraste de impedancia entre los depósitos de las terrazas marinas y el basamento formado por basaltos de origen oceánico, que se observan en la entrada a la población de Santa Marianita y en Montecristi, a algunos kilómetros de distancia de estas medidas.

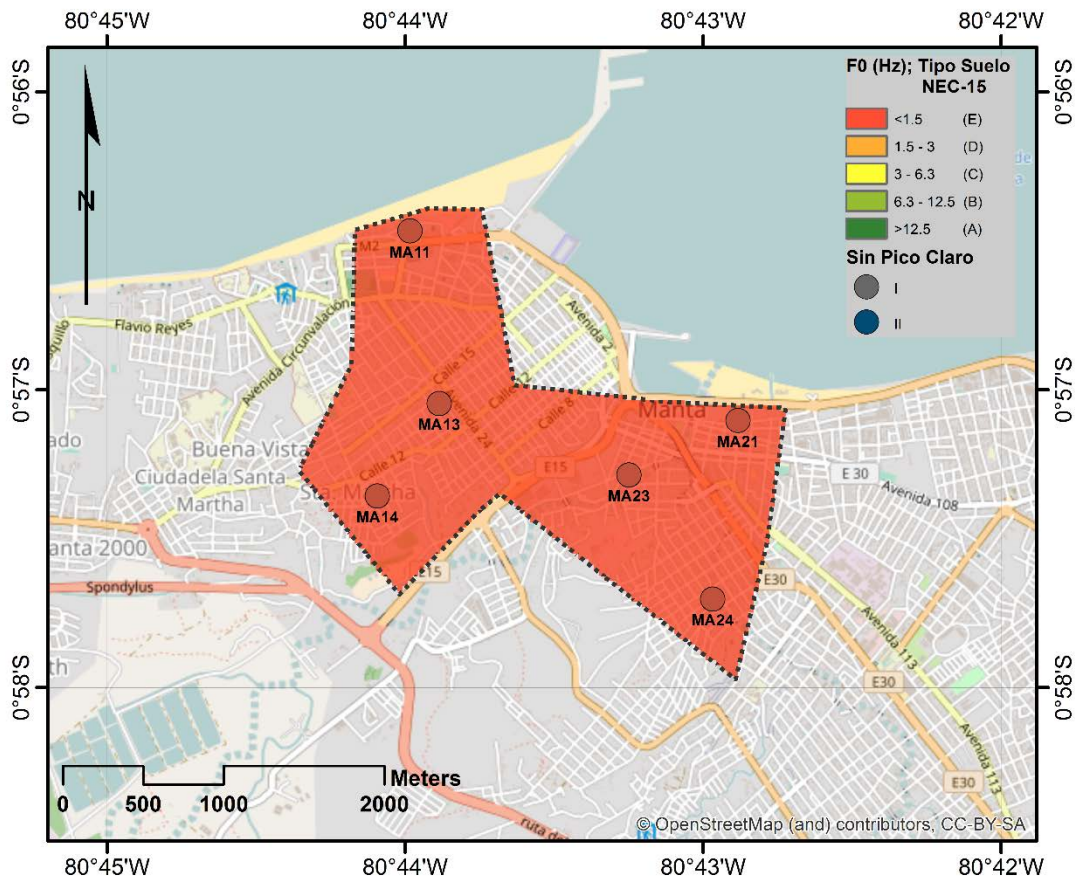


Figura 18: Distribución espacial de f_0 en la zona de Manta obtenida solamente a partir de los sensores del grupo 3. Los límites de la zona en rojo son solo referenciales, definidos por los puntos de muestreo.

En la ciudad de Manta se observa una clara distribución en los resultados de las medidas para el f_1 (Figura 19):

- Las medidas realizadas en la parte nor-oeste (ML22, ML12, ML03, ML07, ML02) presentan las mismas características, y ellas no muestran picos HVSR claros, en el rango de frecuencias 0.5 Hz – 10 Hz. Solamente, los puntos ML22 y ML03 muestran una ligera amplificación en un rango de frecuencias muy amplio entre 0.5 y 5.5 Hz. La falta de un pico claro indica que no existe un contraste de impedancia fuerte.

En esta zona, solamente, el punto MA11 (en el patio del hotel Oro Verde) presenta un pico muy notable a 6 Hz. La curva HVSR de este punto muestra también una ligera amplificación (no notable) alrededor de 2Hz.

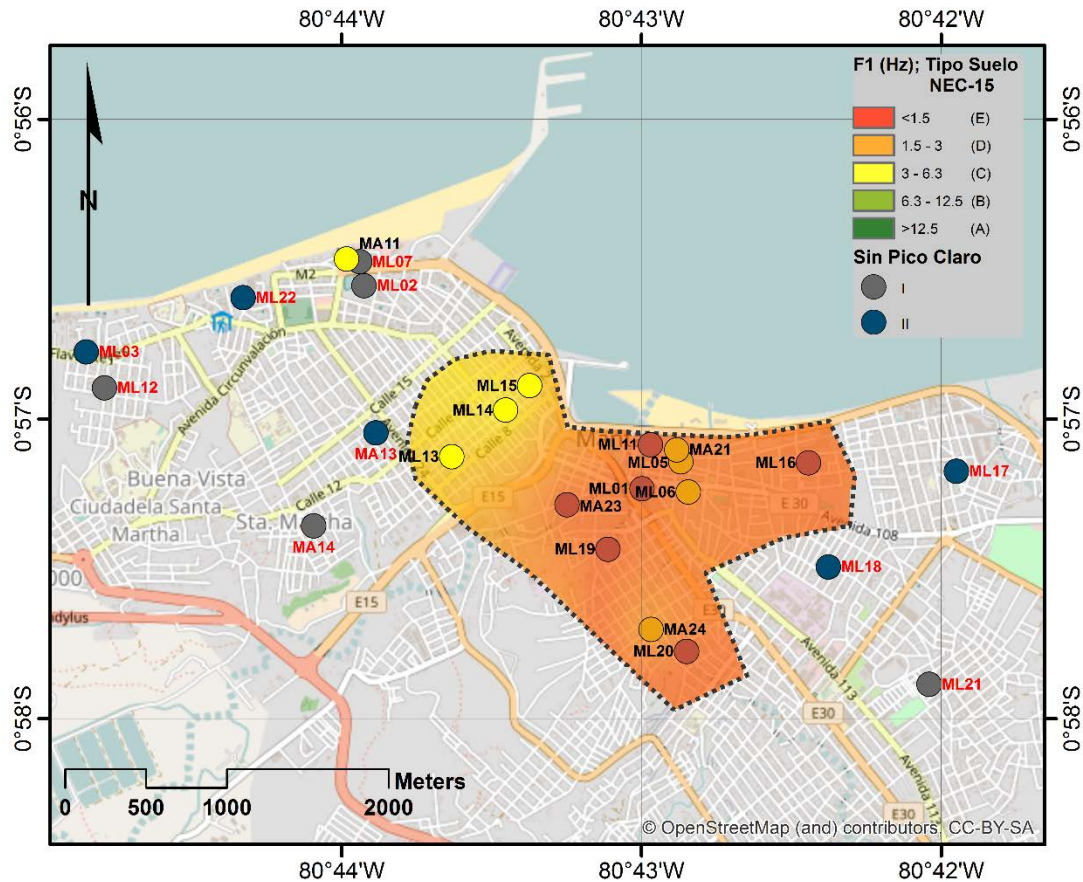


Figura 19: Distribución espacial de f_1 en la zona de Manta. Los límites de la interpolación están dados por los puntos de muestreo y son referenciales.

- La zona directamente al nor-oeste de la Avenida de la Cultura (ML13, ML14, ML15) se caracteriza por una respuesta HVSR similar, es decir con una amplificación que tiene más o menos la forma de un triángulo anti-simétrico con un pico claro a alta frecuencia entre 4 y 6 Hz de amplitud relativa de al menos 2.7, y esta amplificación empieza alrededor de 1 Hz.

Al sur de la zona oeste, los puntos MA13 y MA14 no presentan picos claros, solo MA13 tiene una ligera amplificación entre 2 y 4 Hz que está en concordancia con las observaciones de ML13.

- En la zona de Tarquí y en las zonas cercanas, los puntos ML11, ML01, ML06, ML19 y MA23 presentan curvas HVSR similares con diferentes amplificaciones: un pico claro entre 1.1 y 1.8 Hz de amplitud relativa bastante importante (> 3.5) y, a más alta frecuencia, otra amplificación entre 4-8 Hz, pero no es notable siguiendo los criterios de

SESAME (2004). Sería importante realizar otros tipos de medidas para confirmar otros picos.

Los puntos ML16, ML05 y MA21, que son los tres puntos más al nor-este de esta zona, presentan solamente similitud en el primero pico (f_1) alrededor de 1.5 Hz, pero para ML16 y MA21 la amplitud relativa es menor (2.8).

- Al sur de esta zona, ML20 presenta una respuesta similar a ML16, mientras que MA24 que está muy cercana presenta un pico a más alta frecuencia alrededor de 3 Hz. Estos dos puntos están ubicados a un lado diferente cada uno del río, lo que puede explicar depósitos diferentes en cada lado, por ende respuestas diferentes.
- En la parte este, los puntos ML17, ML18 y ML21 no presentan picos claros. Solo ML17 y ML18 presentan una ligera amplificación alrededor de 1.4 Hz, es decir en el mismo rango que la zona de Tarqui.

5.3 BAHÍA DE CARÁQUEZ

5.3.1 Geología

La ciudad de Bahía de Caráquez está asentada sobre sedimentos aluviales y marinos, que sobreyacen los depósitos de edad pliocena, correspondientes a la formación Borbón, compuesta principalmente de areniscas masivas (Reyes, 2013). Se desconoce el espesor de los sedimentos aluviales y marinos.

5.3.2 Descripción de las medidas

La distribución para la adquisición de las muestras se consideró en dos áreas (Figura 20 y Figura 21), una en la punta de la Bahía y otro grupo se hizo en la entrada de la ciudad y en las colinas que rodean la misma. Los parámetros de las medidas se describen en la Tabla 4 del anexo 8.1.2.

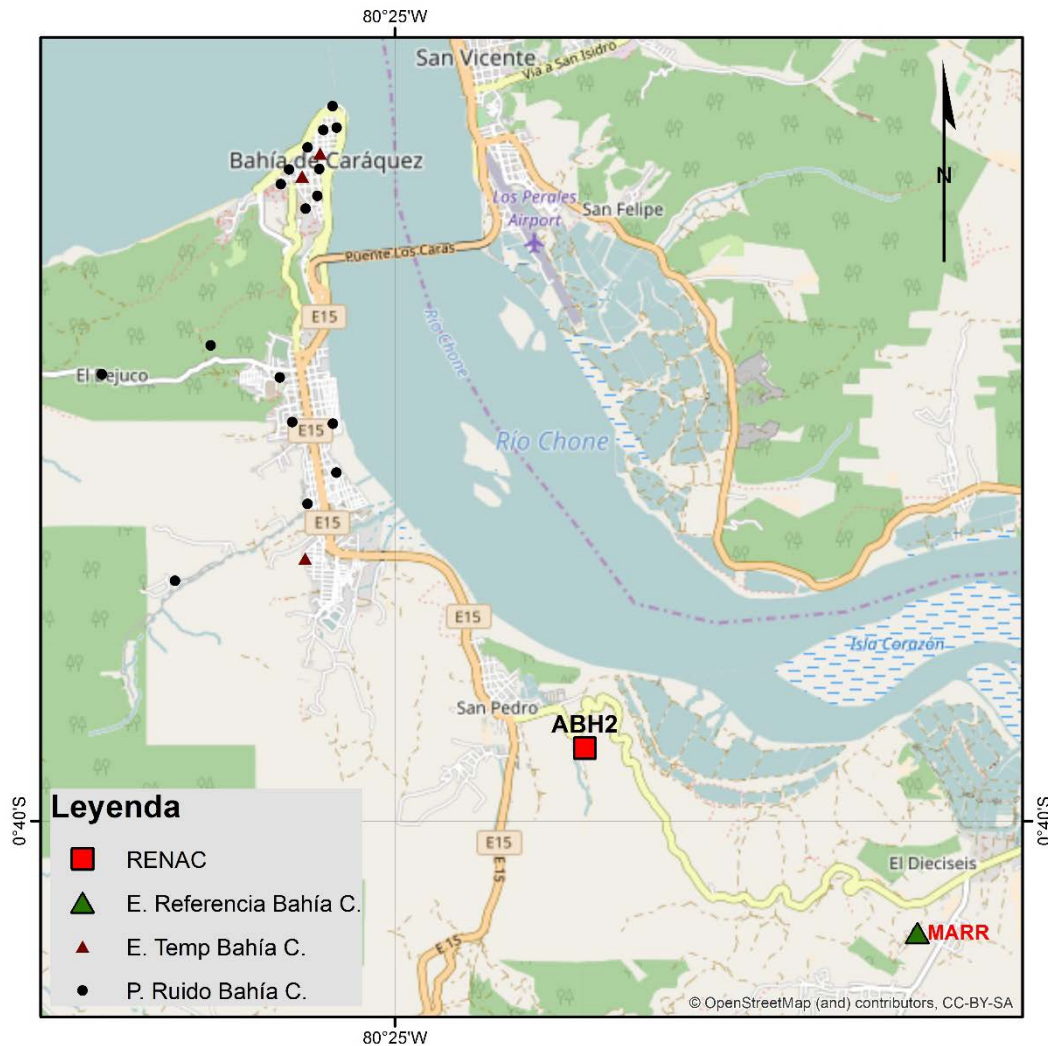


Figura 20: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Bahía de Caráquez. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

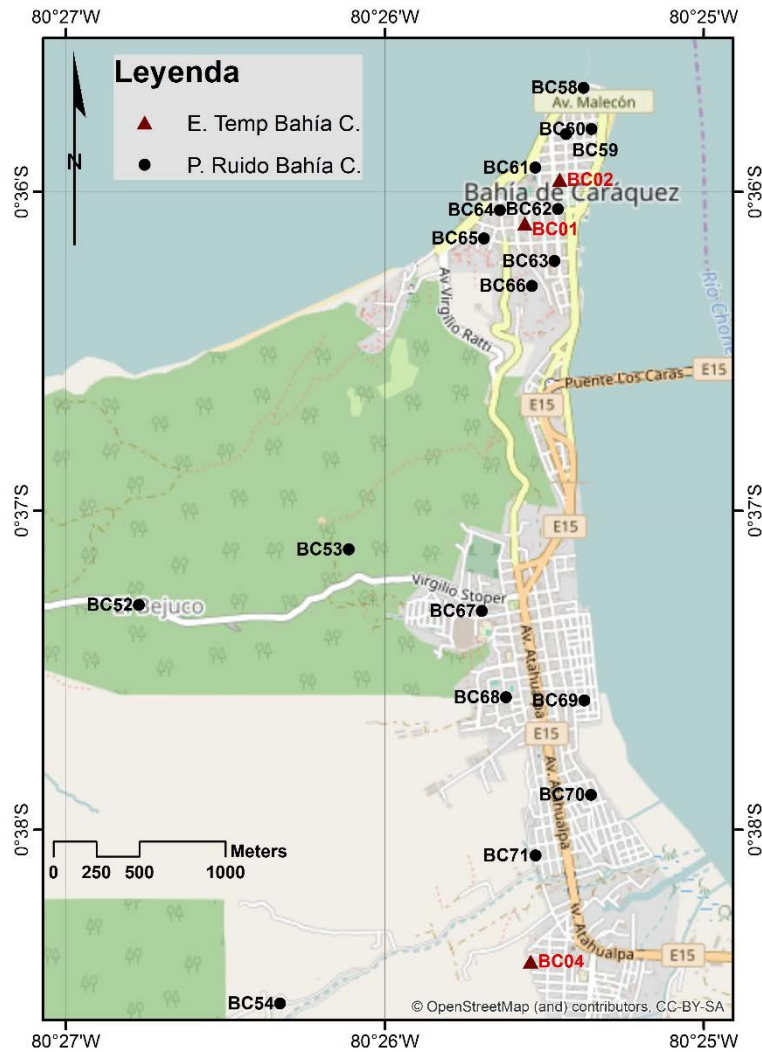


Figura 21. Zoom del mapa de la Figura 20 sobre la zona de medida principal en Bahía de Caráquez.

5.3.3 Interpretación de los resultados

Para Bahía de Caráquez, se tratará por separado la punta de Bahía (Figura 22) y la entrada de la ciudad (Figura 23).

En la punta de Bahía, no se identifica una zonificación de las curvas de HVSR, como en Manta. Lo que se observa es una variabilidad espacial muy importante de las respuestas HVSR, en pocas decenas de metros (Figura 54). Esta zona está bajo la influencia del mar que aporta diferentes tipos de sedimentos, así como también el río, que se debieron depositar en secuencias muy heterogéneas.

Sin embargo, con la interpolación de los picos de frecuencia (Figura 22), se diferencia dos zonas:

- La punta que se caracteriza con frecuencias menores, y que corresponde a depósitos más recientes (zona ganada al mar).
- La zona sur al punto BC62, que se caracteriza por frecuencias más altas, y que corresponde a una parte más antigua.

Además, lo que se nota, es que todos los picos identificados tienen una amplitud relativa bastante importante entre 3 y 5.

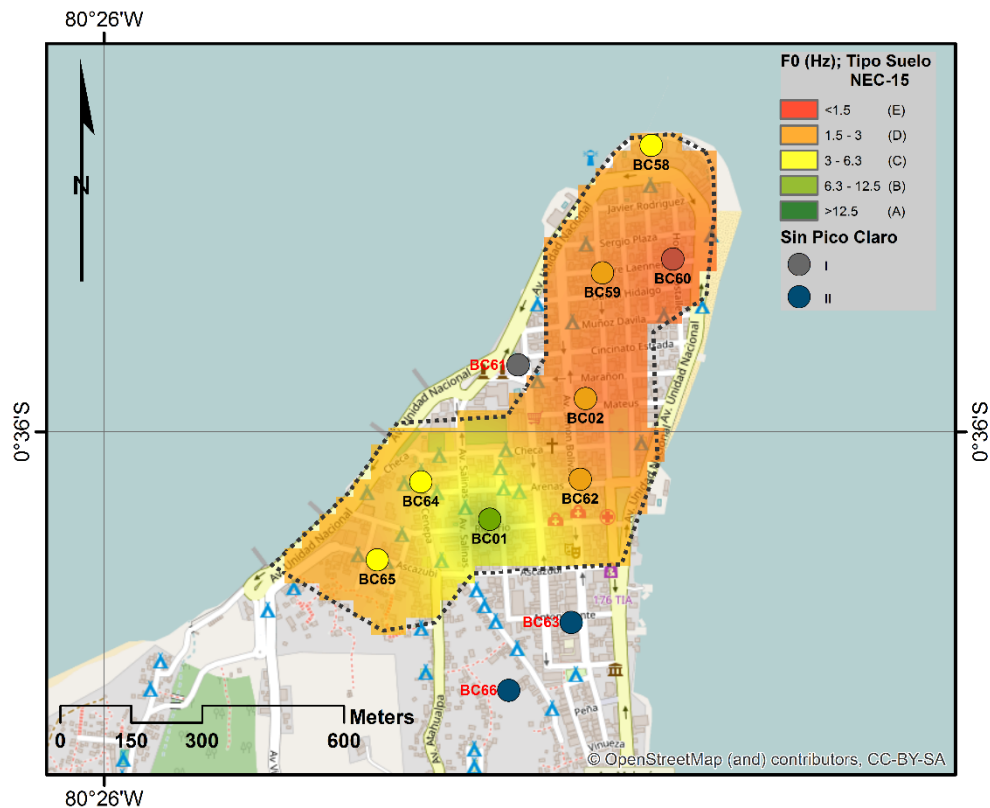


Figura 22: Distribución espacial de f_0 en la punta de la Bahía. Los límites de la interpolación están dados por los puntos de muestreo y son referenciales.

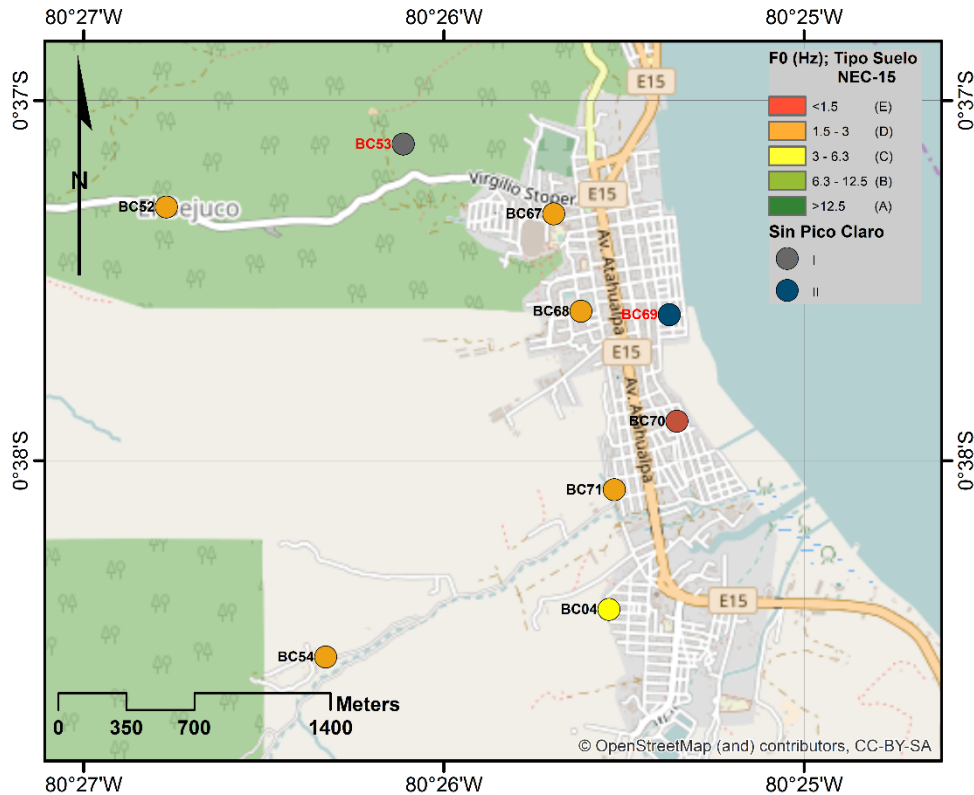


Figura 23: Distribución espacial de f_0 en la entrada de la Bahía.

En la entrada de Bahía de Caráquez, en la zona residencial, es posible agrupar BC67, BC68, BC70 y BC71 que están caracterizados con un pico que varía entre 1 y 4 Hz, cuyas amplitudes relativas llegan hasta 3.

Hay dos puntos en esta zona que presentan un comportamiento diferente:

- El punto BC69, ubicado cerca del estuario del río Chone, no presenta un pico claro pero sí una ligera amplificación de rango largo entre 0.5 y 2.5 Hz con una amplitud máxima de 2.21.
- El punto BC04, ubicado al sur de esta zona, presenta un pico a alta frecuencia, es decir a 4.2 Hz y con una amplitud relativa de 6.

Sería importante realizar un muestreo más fino para delimitar mejor las zonas de transición de f_0 , en especial en las áreas pobladas.

A parte de estas zonas, se realizaron 3 medidas al nivel de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, ubicada al sur de Bahía y alrededor de la estación acelerográfica ABH2 (Figura 20). BC57 y BC56 presentan un pico muy claro a 2.5 Hz, y alta amplitud relativa a 5.9. El punto BC55 presenta una amplificación más amplia con un pico a 3.36 Hz de amplitud relativa 4.8.

5.4 SAN VICENTE

5.4.1 Geología

Esta área se encuentra principalmente sobre los depósitos pliocénicos, de la formación Borbón (Reyes, 2013), formados por areniscas de color crema, se observan algunas depósitos de origen aluvial/marino, con espesor desconocido.

5.4.2 Descripción de las medidas

El muestreo se realizó a lo largo de toda la ciudad (Figura 24 y Figura 25). En la Tabla 5 (anexo 8.1.3), se describe la ubicación y características de los puntos de muestreo en la población de San Vicente.

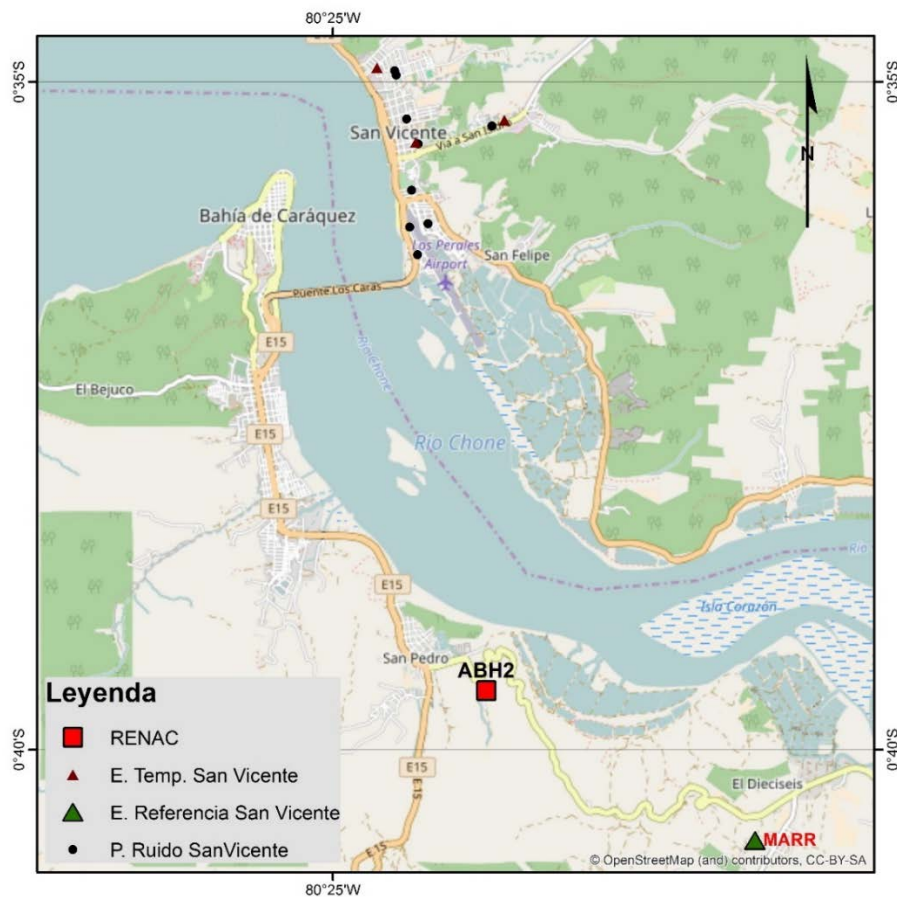


Figura 24: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de San Vicente. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

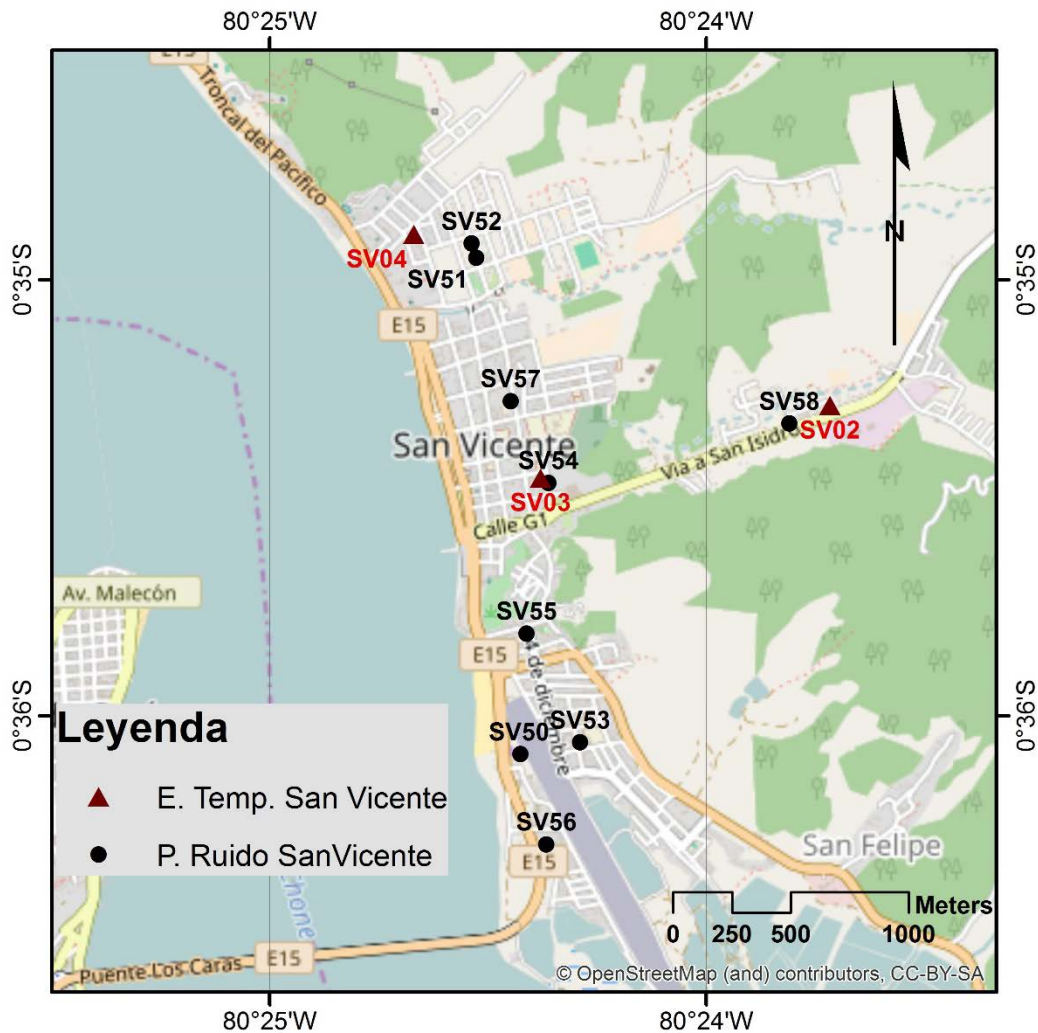


Figura 25: Zoom del mapa de la Figura 24 sobre la zona de medidas principales en San Vicente.

5.4.3 Interpretación de los resultados

Con la Figura 55 del anexo 8.2.3 es posible de reagrupar las formas de HVSR en diferentes grupos:

- Los puntos SV50, SV51 y SV52 se caracterizan por tener una amplitud HVSR clara entre 1 y 2 Hz, además en los puntos SV51 y SV52 se distinguen otros picos a más alta frecuencia alrededor de 5-7 Hz.
- SV53 y SV55 muestran un pico bien definido entre 2.5 y 3.5 Hz.
- SV56 y SV58 tienen una respuesta similar con un pico HVSR amplio entre 1 y 3 Hz.
- SV57 y SV54 presentan una forma de respuesta similar con un pico más marcado por SV57 y con una amplificación amplia entre 3 y 4 Hz.

- SV02 y SV04, también se agrupan, con una amplificación entre 1 y 3 Hz.

En esta región, no hay un patrón en la distribución de las frecuencias de resonancia. Las estaciones que tienen una respuesta similar, no están ubicadas cerca (ver Figura 26). Puede haber gran variación de la respuesta de los suelos en apenas algunos metros.

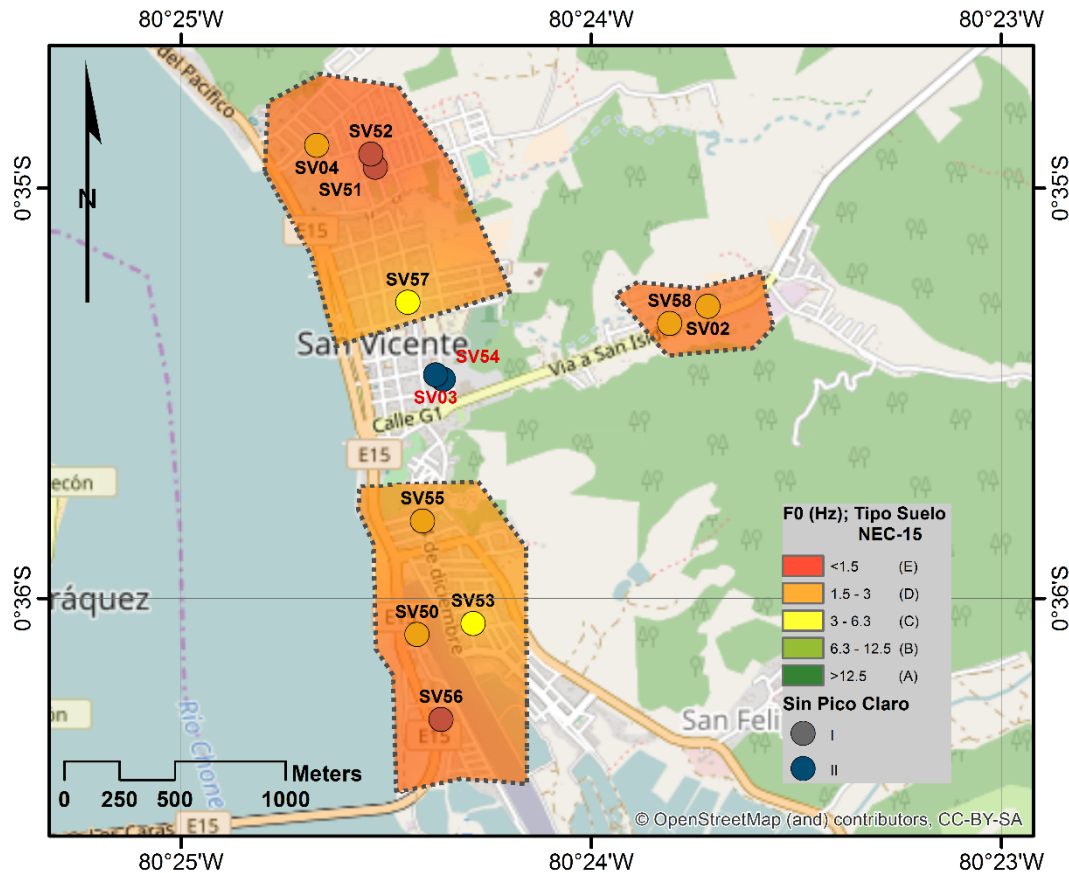


Figura 26: Distribución espacial de f_0 en San Vicente. Los nombres en negro corresponden a los equipos 1 y 2, y los nombres en rojo corresponden al equipo 3. Los límites de la interpolación están dados por los puntos de muestreo y son referenciales.

5.5 CANOA

5.5.1 Geología

Entre San Vicente y Canoa existe un afloramiento importante de la Formación Borbón (Plioceno) caracterizada por areniscas y limos de color crema, que durante el terremoto se vio afectada por un gran deslizamiento (Reyes, 2013) (Figura 27). Las colinas que rodean Canoa están mapeadas como materiales de la misma Formación Borbón. Hay que indicar además que el río Muchacho a depositado sedimentos compuestos de arenas, limos y arcillas producto de la

erosión. Sobre estos materiales está asentada la parte norte de Canoa. No se conoce el espesor de los sedimentos en esta zona.



Figura 27: Deslizamiento en las cercanías de Canoa producido por el sismo. El afloramiento muestra las areniscas de la Formación Borbón de edad Pliocena.

5.5.2 Descripción de las medidas

En Canoa, se consideró hacer tres series, unas en las cercanías de la playa, otras hacia el centro de la población y una más al este cerca del cauce de una pequeña quebrada (ver Figura 28 y Figura 29). En la Tabla 6 del anexo 8.1.4, se describen los datos de las medidas realizadas en la población de Canoa.

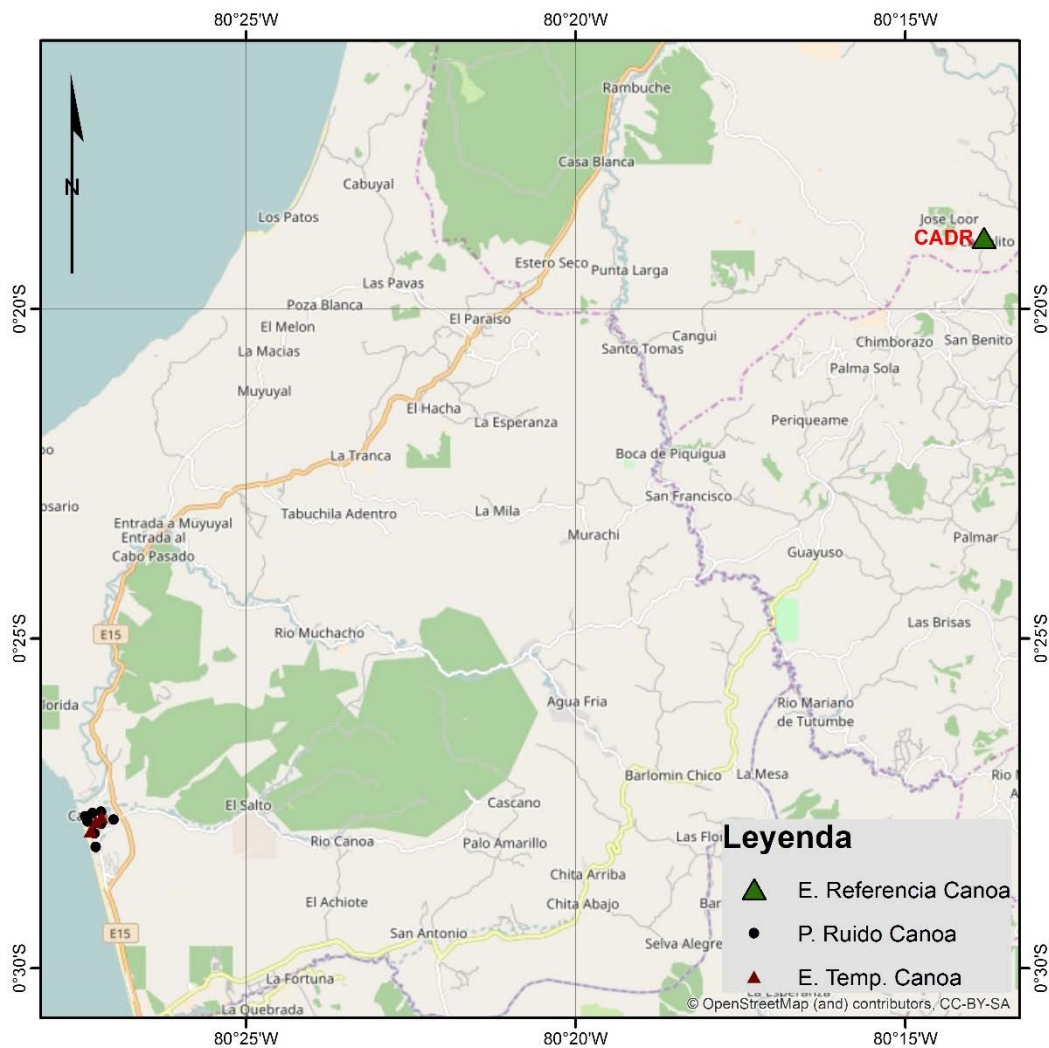


Figura 28: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Canoa. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

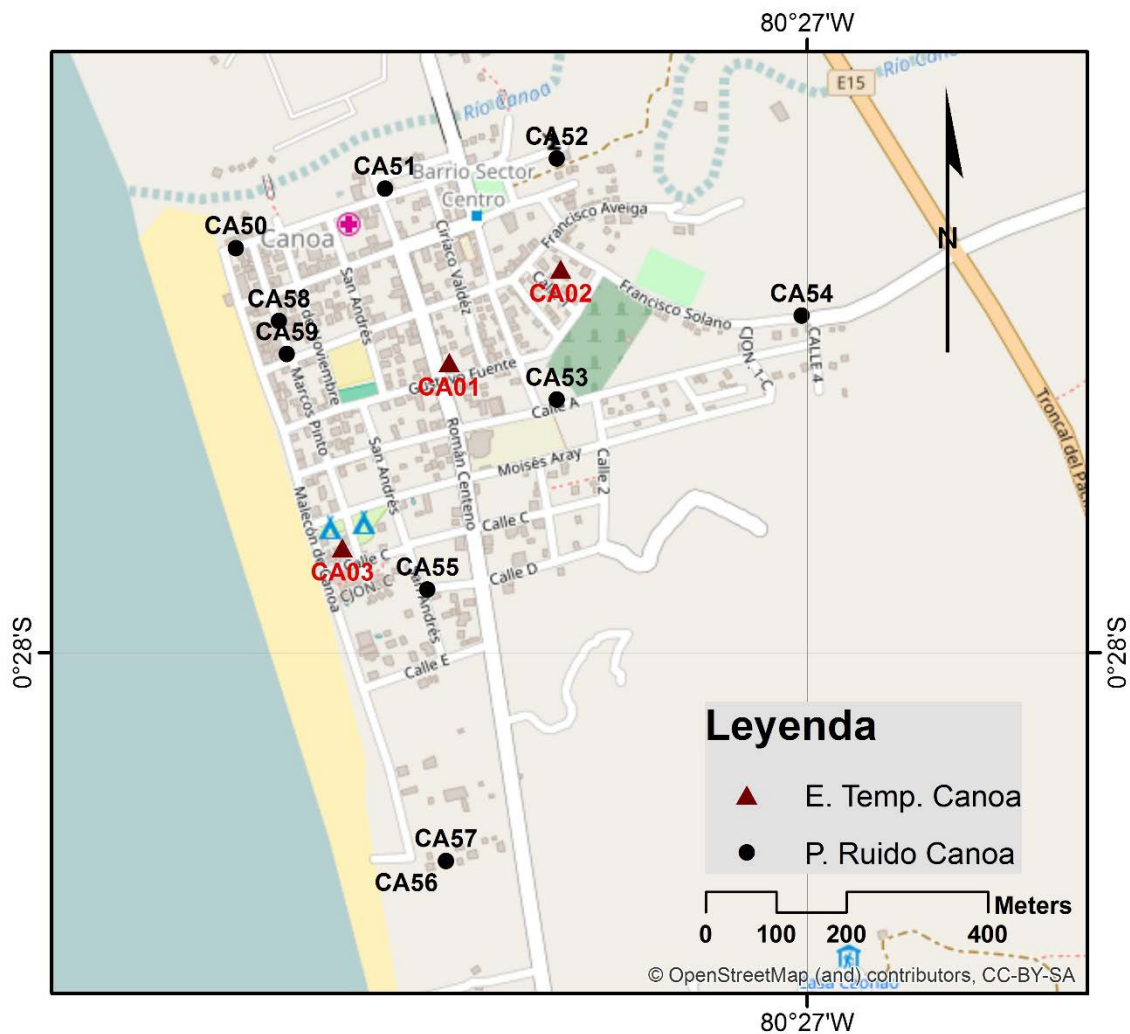


Figura 29: Zoom del mapa de la Figura 28 sobre la zona de medidas principales en Canoa.

5.5.3 Interpretación de los resultados

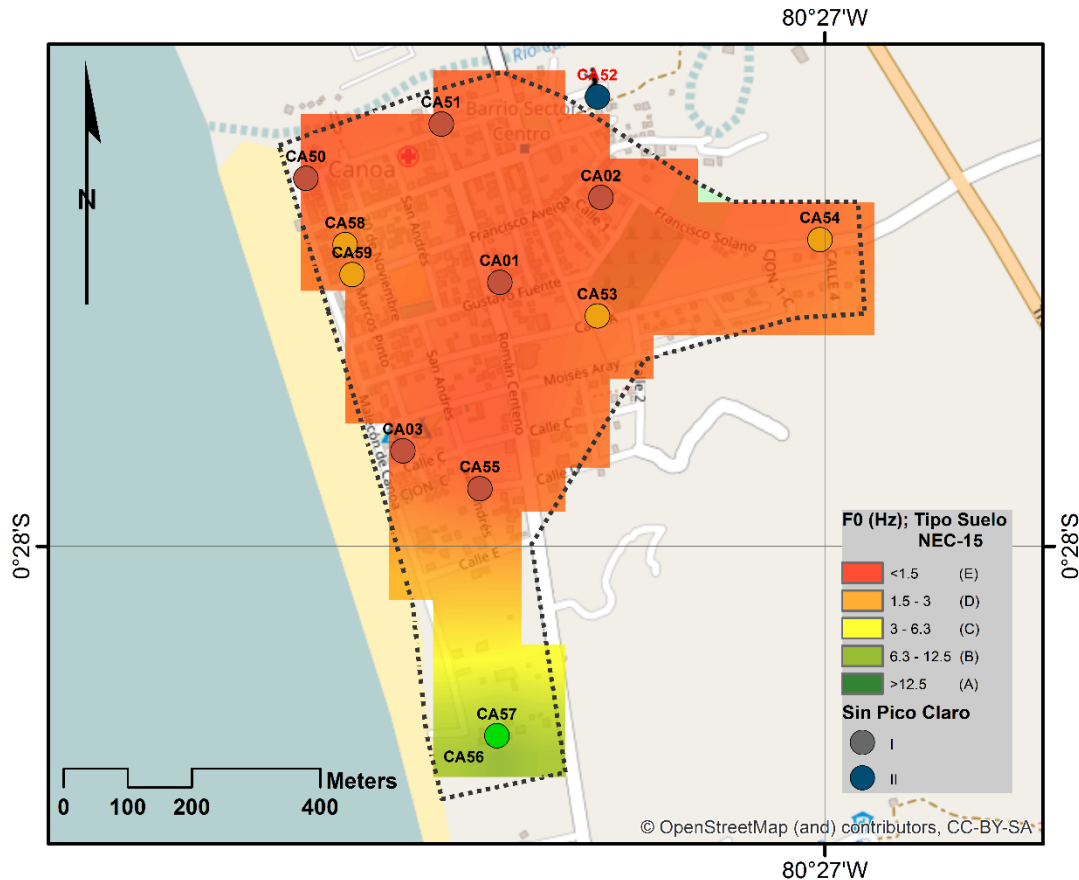


Figura 30: Distribución espacial de f_0 en Canoa. Los límites de la interpolación están dados por los puntos de muestreo y son referenciales.

Es posible identificar diferentes comportamientos:

- Canoa está caracterizada por algunos sitios que presentan un pico HVSR muy claro entre 1 y 2 Hz y con amplitud relativa alta en comparación a las otras ciudades. Particularmente CA51 (amplitud de 15), CA55 (amplitud de 12), CA50 (amplitud de 8), CA53 (amplitud de 6), CA02, CA03 y CA53 (amplitud alrededor de 5). El punto CA01, que está ubicado en el centro de Canoa, presenta una amplificación en el mismo rango de frecuencia pero más liso y de menos amplitud.
- La respuesta de CA58 y CA59 se caracteriza con un pico de frecuencia más alto, alrededor de 2 Hz, y de forma más amplia.
- Los puntos CA56 y CA57, que están localizados en la parte sur-oeste, se caracterizan por un pico claro a alta frecuencia (8.6 Hz) y de amplitud casi de 6.

La zona de Canoa se caracteriza por curvas HVSR que presentan picos de amplitud muy importantes. Los efectos de sitios pueden jugar un rol muy importante en esta área.

5.6 **JAMA**

5.6.1 Geología

La ciudad de Jama se ubica sobre la cuenca de depósito del río Jama. Los sedimentos que se encuentran en la zona son principalmente arenas limosas, con arcillas, en algunos casos bloques del material erosionado de las partes altas. En los alrededores de la población de El Matal, se encuentran paredes formadas por secuencias de arenas, limos y arcillas correspondientes a la Fm. Jama del Pleistoceno-Temprano, contiene fósiles y su origen es marino (Catamalesa et al., 2005).

Cabe indicar que luego de sismo, a lo largo del río Jama, se observaron evidencias importantes de licuefacción, en especial zonas con “lateral spreading”, que generó abundante material sedimentario dentro del río (Figura 31). Tanto en las camaroneras ubicadas hacia el oeste de Jama y dentro de la ciudad se observaron grietas largas y abundantes (Figura 32). Cerca de la playa, se identificaron, a parte de las grietas, volcanes de arena de diferente dimensión, algunos alcanzaron algunos metros de diámetro y el reporte de la población es que la expulsión de agua, llegó hasta 2 m de altura y hubo zonas que sufrieron hundimientos y otras que se levantaron algunos centímetros producto de la expulsión del agua (Figura 33).

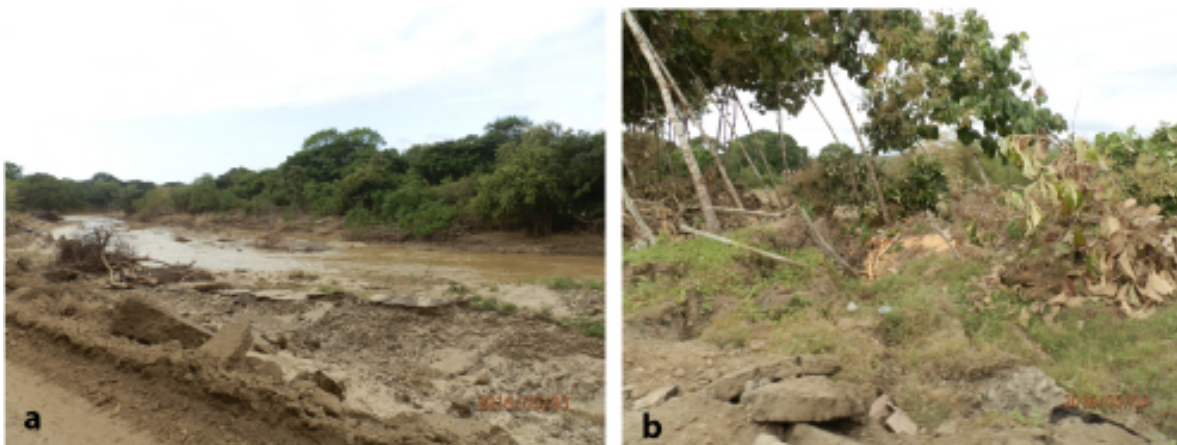


Figura 31: Evidencias de lateral spreading en el margen del río Jama, generado luego del sismo.



Figura 32. Ejemplos de grietas. a. En la ciudad de Jama estas grietas rompieron las veredas y causaron la caída de postes. Las grietas hacia el interior de la tierra llegaron hasta los 50 cm de profundidad. b. En la zona de las camaroneras ubicadas al oeste de Jama fueron frecuentes las grietas que afectaron los caminos y causaron el derrumbe de casas y en este caso de postes.



Figura 33. Ejemplos de volcanes de arena al oeste de Jama, cerca de la playa. Se la figura a se observan restos de un volcán de arena que alcanzaron hasta 1.20 m de diámetro. b. serie de volcanes con dimensiones centimétricas.

5.6.2 Descripción de las medidas

Para Jama se hicieron medidas en dos líneas paralelas a lo largo de la ciudad como se muestra en las Figura 34 y Figura 35. Se realizó también una medida para el Matal. La Tabla 7 del anexo 8.1.5 da las características de estas medidas.

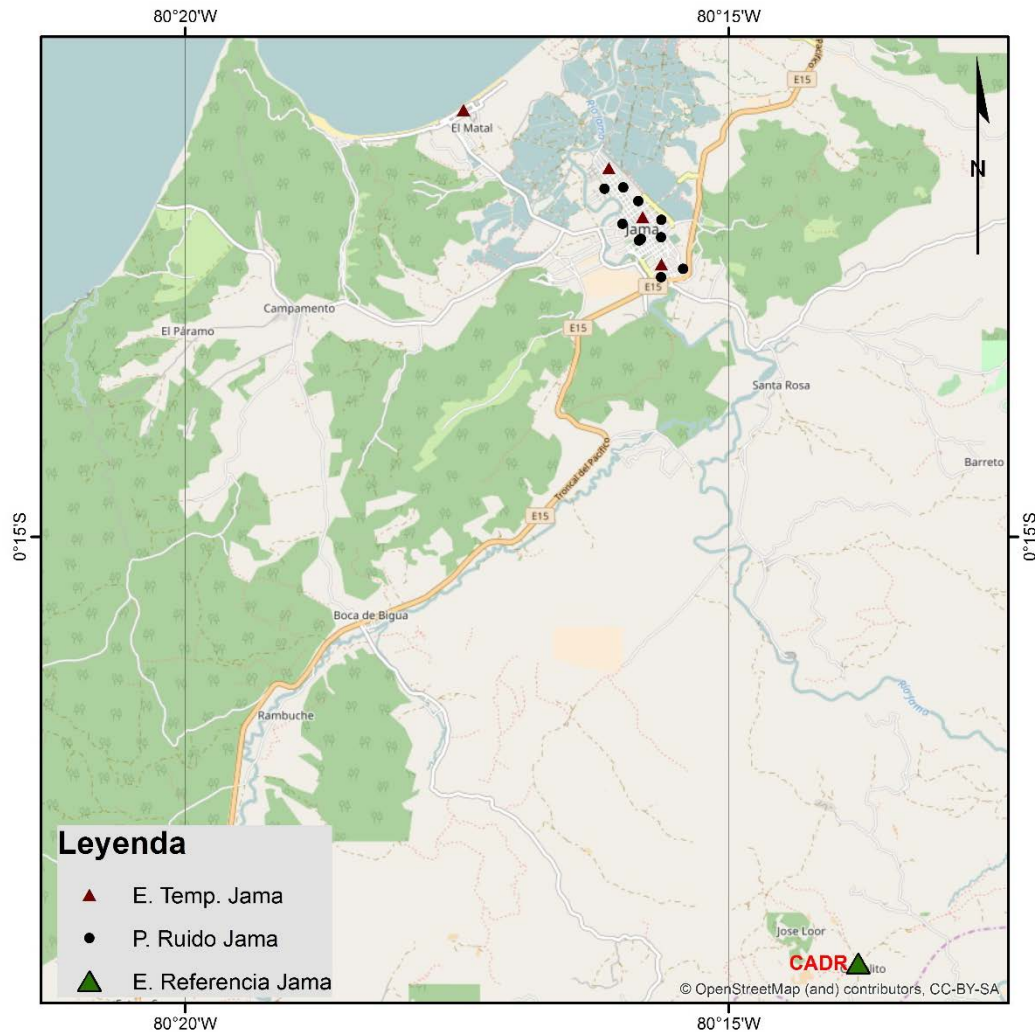


Figura 34: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Jama. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

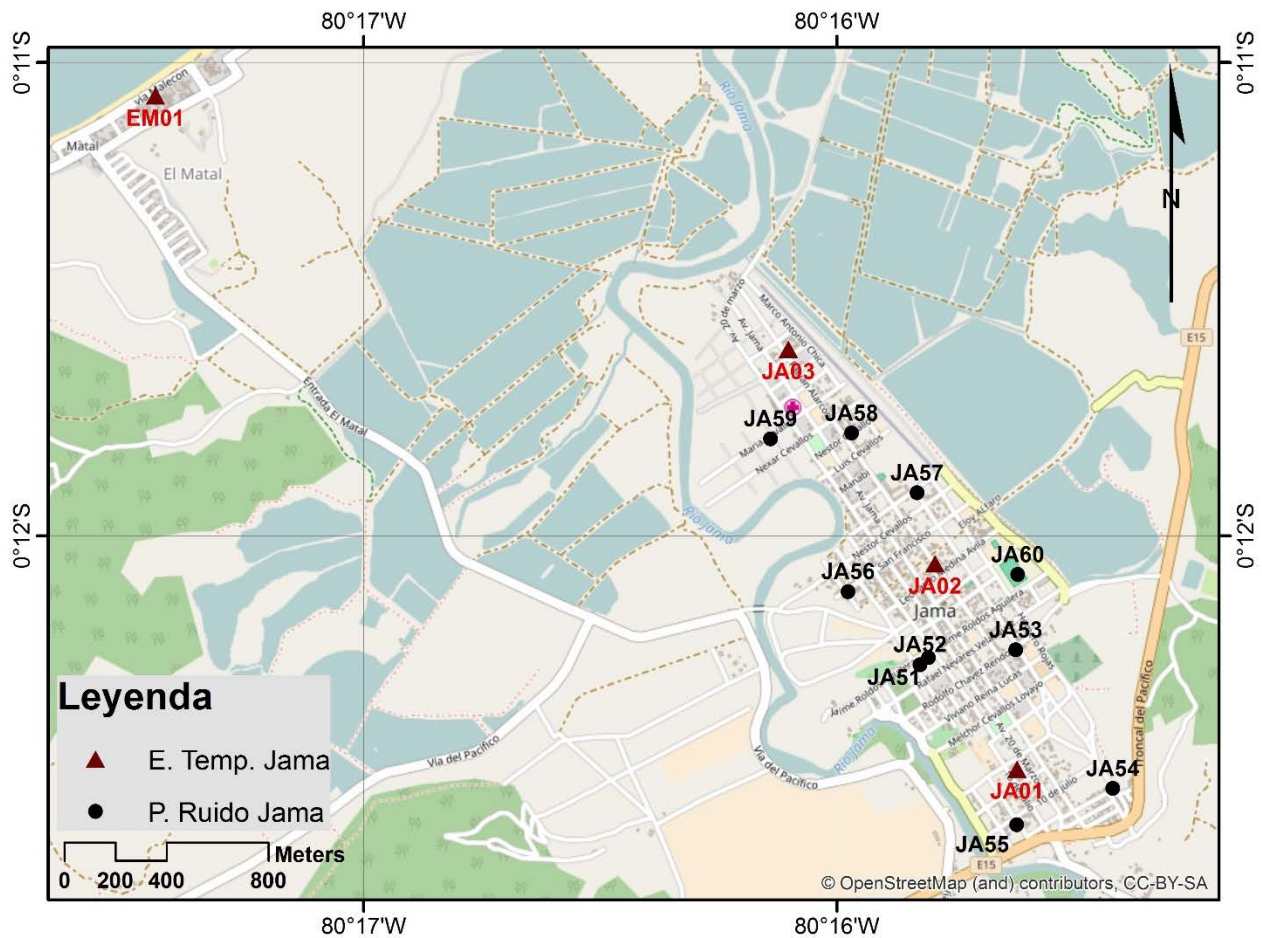


Figura 35: Zoom del mapa de la Figura 34 sobre la zona de medidas principales en Jama.

5.6.3 Interpretación de los resultados

Para la ciudad de Jama, en la zona residencial, se tiene 8 puntos de medidas de ruido (JA01, JA02, JA51, JA52, JA56, JA57, JA58, JA59) que tienen una respuesta muy similar con una frecuencia que varía entre 0.3 y 2 Hz, cuentan además con un pico de resonancia alrededor de 0.9 Hz y con una amplitud relativa muy importante de al menos 4.9 para JA59 hasta 8 para JA51. Los puntos JA53 y JA55 tienen una respuesta casi similar con un pico de frecuencia un poco más alto alrededor de 1.25 Hz. El punto JA03, ubicado al norte de la ciudad, presenta una amplificación similar pero de amplitud baja (2.4) y con un pico a 0.7 Hz.

Solamente los puntos JA54 y JA60 presentan una respuesta diferente, sin pico claro y con una amplificación larga entre 1 y 4 Hz. Estos puntos están ubicados más al sur-este de la ciudad, y hay una concordancia con la topografía de la zona.

Con estos puntos de medidas fue posible hacer una interpolación en un mapa (Figura 36). Lo que se nota es que la distribución espacial de estas frecuencias sigue la litología que esta principalmente definida por el río Jama que está ubicado el oeste de la ciudad.

La metodología HVSR con el ruido del ambiente no permite dar la amplificación real del suelo pero es posible tener una idea de la amplitud relativa entre los diferentes suelos. Lo que es notorio es que la amplitud es bastante importante para este primer pico de frecuencia fundamental.

En la zona de Jama, parece que los suelos tienen un potencial importante a generar efectos de sitio considerables y alrededor del río. Después del terremoto de Abril 2016, se observa fenómenos de licuefacción. Para las construcciones es muy importante conocer esta respuesta del suelo.

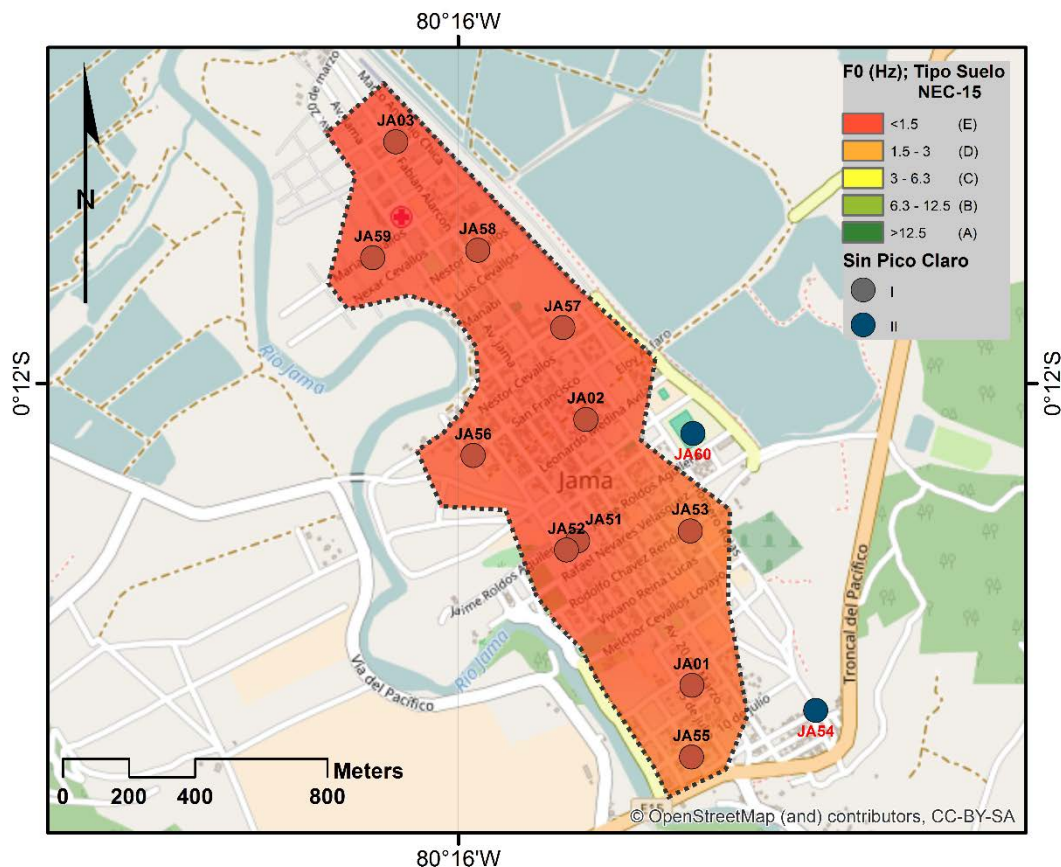


Figura 36: Distribución espacial de f_0 en Jama. Los límites de la interpolación están dados por los puntos de muestreo y son referenciales.

5.7 PEDERNALES

5.7.1 Geología

La información geológica de la zona tiene mapeado la Formación Borbón Superior (Reyes, 2013), de edad cuaternaria. En observaciones realizadas en la zona, la ciudad se ubica sobre una terraza que se eleva sobre el nivel del mar entre 10 a 17 m de altura. En los afloramientos se encuentran secuencias de limos arcillosos, intercalados con niveles de ceniza, así como con niveles de lúticos arcillosos de color blanquecino. Sobre esta secuencia se ha desarrollado el suelo actual (Figura 37).



Figura 37. Detalle de la estratigrafía de la terraza sobre la que se encuentra la población de Pedernales.

Efectos de licuefacción se observaron principalmente en la zona del malecón de Pedernales, en donde además hubo deformación importante asociada a una falla secundaria que levantó, entre 10 a 18 cm, como se observa en la Figura 38. Esta falla seguramente se reactiva con sismos de estas magnitudes y afectó también algunas calles y casas, el mecanismo de ruptura es inverso (Figura 38). La falla se la puede seguir por al menos 1 km (Figura 39). En el malecón se observó plegamiento a lo largo de la acera y en la calle. Los sifones se levantaron unos 10 cm aproximadamente, por efecto de licuefacción.

Las construcciones de los restaurantes ubicados al lado occidental de la calzada se desplazaron sobre la vereda algunos centímetros. En la vereda, este del malecón, se presentó expulsión de arena. En la Figura 40 se muestran ejemplos de estas deformaciones.



Figura 38. Falla inversa ubicada al este del malecón de Pedernales. Las figuras a y b, muestran el desplazamiento vertical que generó la estructura, en algunas de las casas ubicadas en esta zona, el desplazamiento vertical es variable, entre 10 a 15 cm. La dirección promedio de la falla es N 20°. En el caso de las figuras c y d la deformación de la falla se manifiesta con plegamiento de las zonas afectadas.



Figura 39. Falla a lo largo del malecón de Pedernales, la línea punteada muestra la falla inferida. La falla fue visible por al menos 1 km.



Figura 40. Deformaciones en el malecón de Pedernales. a. Pliegue en el malecón de Pedernales, dirección del eje de pliegue 23°. b. Evidencias de licuefacción en la vereda este del malecón. c. Sifones levantados producto de procesos de licuefacción. d. Sobreposición de los restaurantes sobre la vereda del malecón indicado por la flecha amarilla.

5.7.2 Descripción de las medidas

Para Pedernales, se hicieron algunas medidas repartidas en toda la zona habitada (ver Figura 41 Figura 42). La Tabla 8 del anexo 8.1.6 presenta los característicos de las medidas.

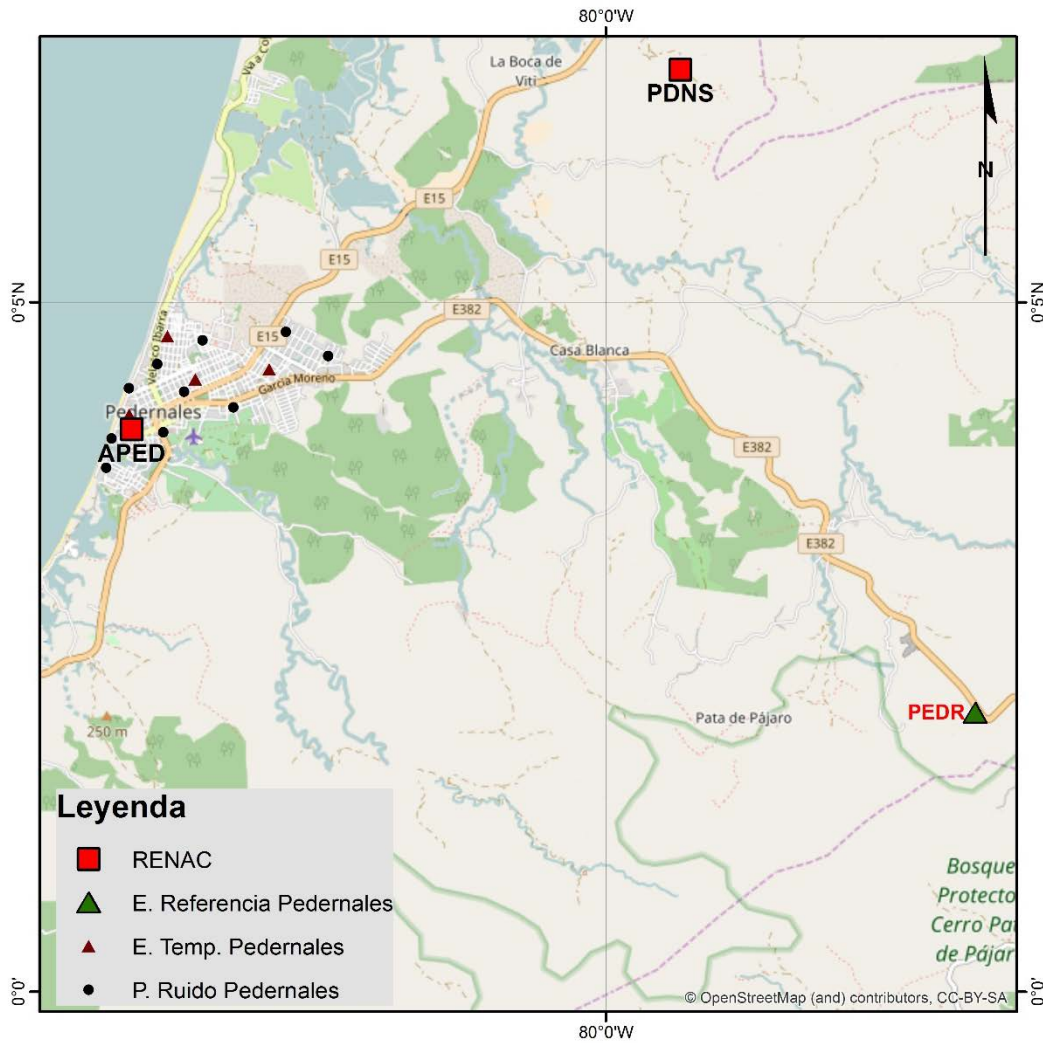


Figura 41: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Pedernales. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

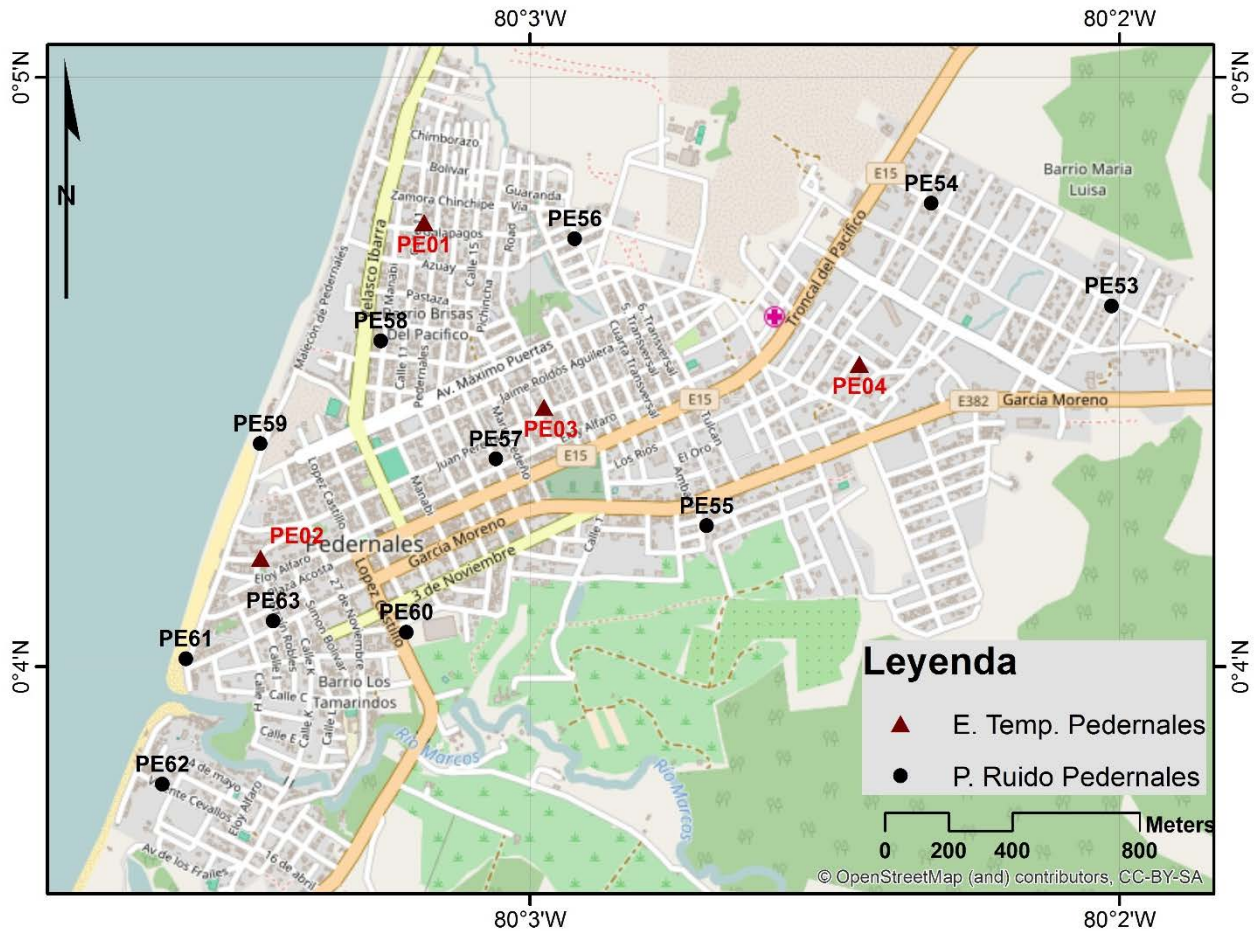


Figura 42: Zoom del mapa de la Figura 41 sobre la zona de medidas principales en Pedernales.

5.7.3 Interpretación de los resultados

- En Pedernales, PE60, PE02, PE63 y PE61, que están localizados en la parte sur-oeste presentan un pico de HVSR claro entre 1 y 3 Hz con una amplitud relativa superior a 3.
- El punto PE62, localizados más en la parte sur de la ciudad, tiene un pico en alta frecuencia (4.8 Hz).
- En el Norte, el punto PE56, presenta un HVSR con un pico bien marcado a 1.4 Hz.
- Los otros puntos no presentan picos marcados pero una ligera amplificación en un rango de frecuencias amplio y con una amplitud alrededor de 2, excepto para los puntos PE59 y PE53 que presentan una respuesta plana. Para PE58, PE57, PE55, esta ligera

amplificación está en el rango de frecuencia 1 – 3.5 Hz. En un rango similar a las observaciones en el sur de Pedernales, el contraste de impedancia es menos marcado. Los dos puntos más en el centro de Pedernales, PE03 y PE04, presentan una ligera amplificación a más alta frecuencia, (~ 5.5 Hz), lo que puede ser característico para un depósito superficial.

- Después del terremoto del 16 de abril, se observa en el malecón de Pedernales, efectos de licuefacción. Entonces, en este contexto, por ejemplo la frecuencia que se nota al punto PE61 de 1.95 Hz puede bajar. Es importante tomar en cuenta este posible rango de variabilidad de frecuencia.

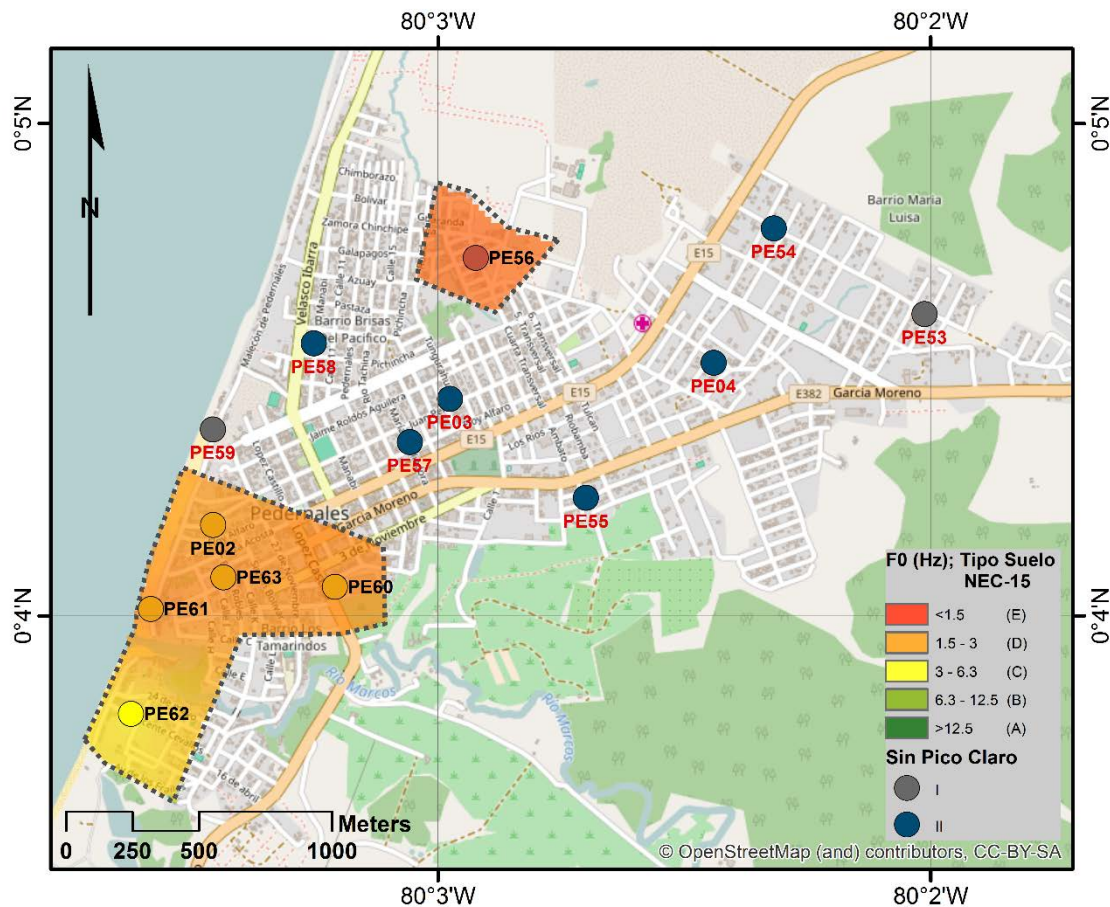


Figura 43: Distribución espacial de f_0 en Pedernales. Los nombres en negro corresponden a las medidas con un pico claro y los en rojo, a las medidas sin pico claro. Los límites de la interpolación están dados por los puntos de muestreo y son referenciales.

5.8 CHAMANGA

5.8.1 Geología

Una parte de la población de Chamanga está ubicada sobre un nivel de terraza marina, que está compuesta de arenas y limos, poco consolidados, con algunos niveles de conglomerados de poco espesor y restos de conchas. En la parte superior de la secuencia se observa un limo de color más oscuro que podría corresponder al suelo reciente (Figura 44).

La terraza tiene una altura que varía entre 10 y 15 m sobre el nivel del estero. En la parte baja, al pie del talud una parte del pueblo está sobre el suelo del manglar y hacia el mar se encuentra un relleno realizado por la población, sobre el que se han edificado algunas de las viviendas que sufrieron más daños (Figura 44).



Figura 44. a. Litología de la terraza sobre la que se encuentra una parte de la población de Chamanga, se observan las secuencias de líticas y arenas. b. Aspecto de la zona de relleno en las cercanías del mar. C. Terraza sobre la que se levanta una parte de Chamanga.

En la entrada a la población, al norte de Chamanga cerca del estero se observaron evidencias de licuefacción, con la presencia de expulsión de agua y sedimentos, a lo largo de grietas, y grietas

que se distribuyeron a lo largo de varias decenas de metros (Figura 45a). También se observó una vivienda que se hundió, Figura 45b.



Figura 45. a. fractura en la cancha de básquetbol en la entrada a Chamanga. b. Vivienda afectada por licuación en las cercanías al estero, observar el lado derecho que está más hundido (J-G Barros).

5.8.2 Descripción de las medidas

En Chamanga, se hicieron pocas medidas para dar una primera idea del comportamiento de los suelos en esta ciudad (Figura 46 y Figura 47). La Tabla 9 del anexo 8.1.7 da los característicos de las medidas.

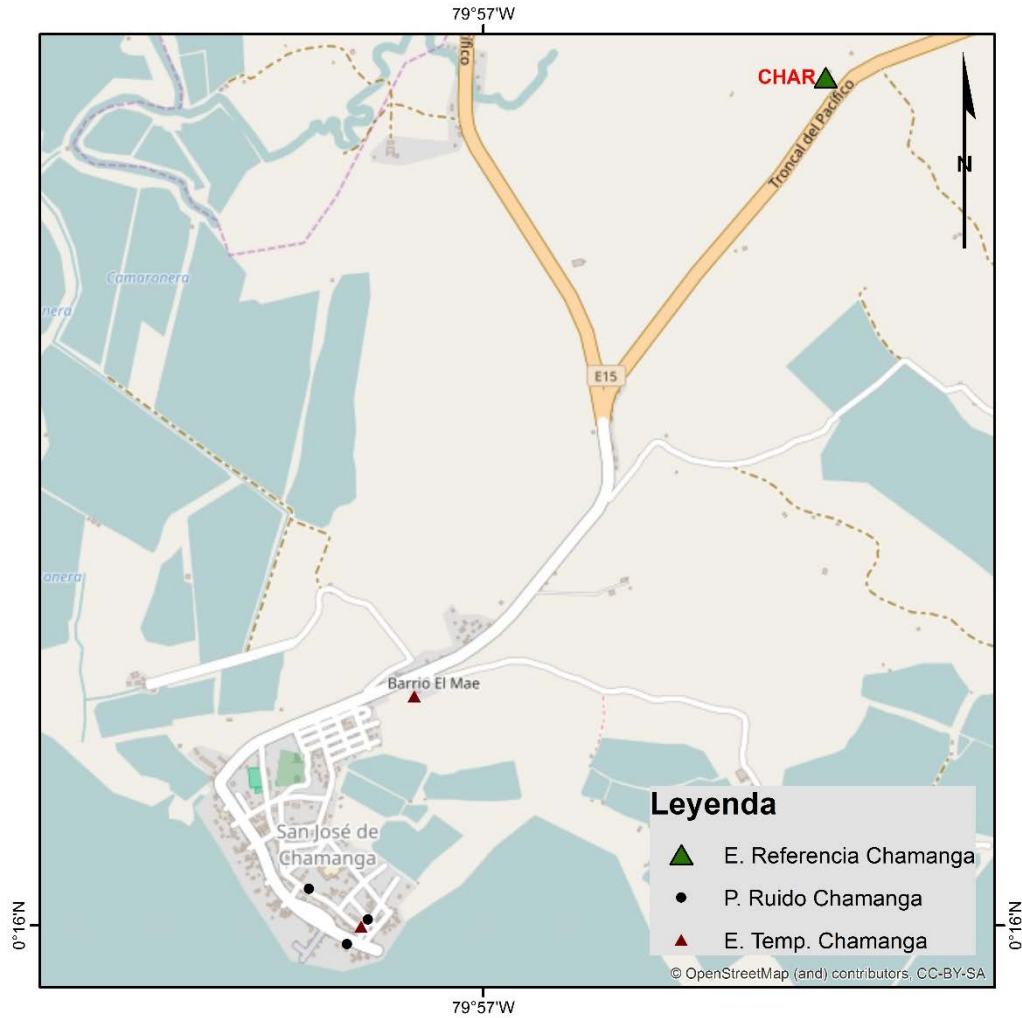


Figura 46: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Chamanga. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.



Figura 47: Zoom del mapa de la Figura 46 sobre la zona de medida principal en Chamanga.

5.8.3 Interpretación de los resultados

La Figura 48 presenta un mapa de los valores de f_0 , sin interpolación debido a la poca cantidad de puntos que se disponen.

- Los 3 puntos al sur-este de Chamanga están caracterizados con un pico claro entre 0.8-1 Hz, de amplitud relativa más grande que 3.5. El pico de frecuencia y la amplitud relativa está ligeramente subiendo en relación al alejamiento de la costa del estuario al oeste.
- En el centro de Chamanga, el punto CH53, muestra un pico de resonancia claro a 0.8 Hz, de amplitud relativa importante a 5.1.
- En el norte de la ciudad, el punto CHA3 presenta un pico de frecuencia más alta de 1.7 Hz y de amplitud más suave de 3.

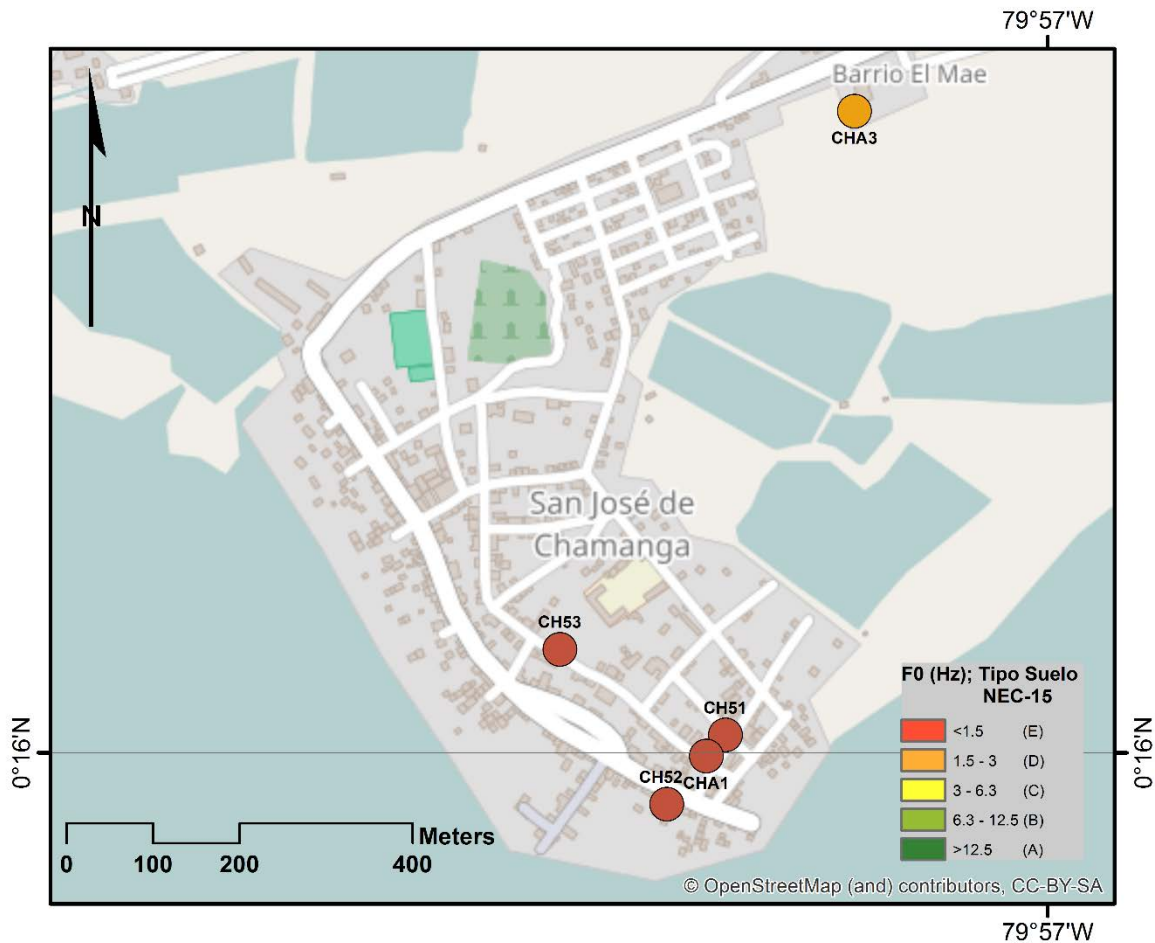


Figura 48: Distribución espacial de f_0 en Chamanga.

5.9 COJIMÍES

5.9.1 Geología

La población de Cojimíes se encuentra asentada en lo que se denomina un cordón litoral, son barras de arenas que permiten la prolongación de la línea de costa hacia el mar. Estos se forman por que la arena es transportada hacia el interior de una bahía. Para Cojimíes no se tiene información geológica adicional, además no se observaron afloramientos en la zona.

Hay que indicar que en esta población no se reportaron, ni se observaron efectos de licuación los daños en las edificaciones fueron muy pocos y leves (Figura 49).



Figura 49. Vista de la ciudad de Cojimies después del terremoto del 16 de Abril de 2016 (P. Mothes).

5.9.2 Descripción de las medidas

En Cojimies, se hicieron medidas repartidas en la ciudad (Figura 50 y Figura 51). La Tabla 10 del anexo 8.1.8 da los característicos de las medidas.

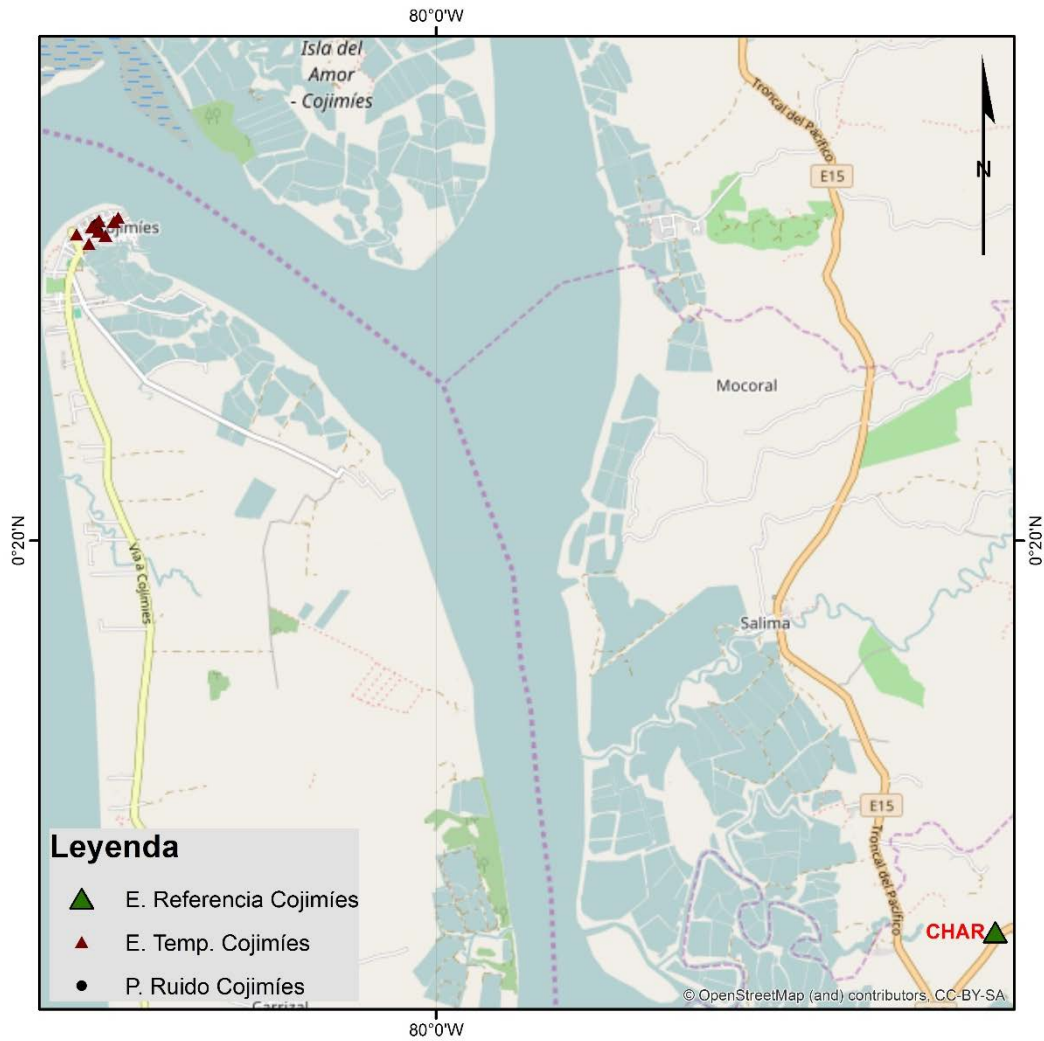


Figura 50: Mapa de los diferentes puntos de medidas realizados por el IG en la zona de Cojímies. RENAC: estación acelerográfica perteneciente a la Red Nacional de Acelerógrafos. P.Ruido: representa punto de muestra de ruido. E Temp: corresponde a una estación temporal. E. Referencia: es la estación de referencia utilizada en cada ciudad.

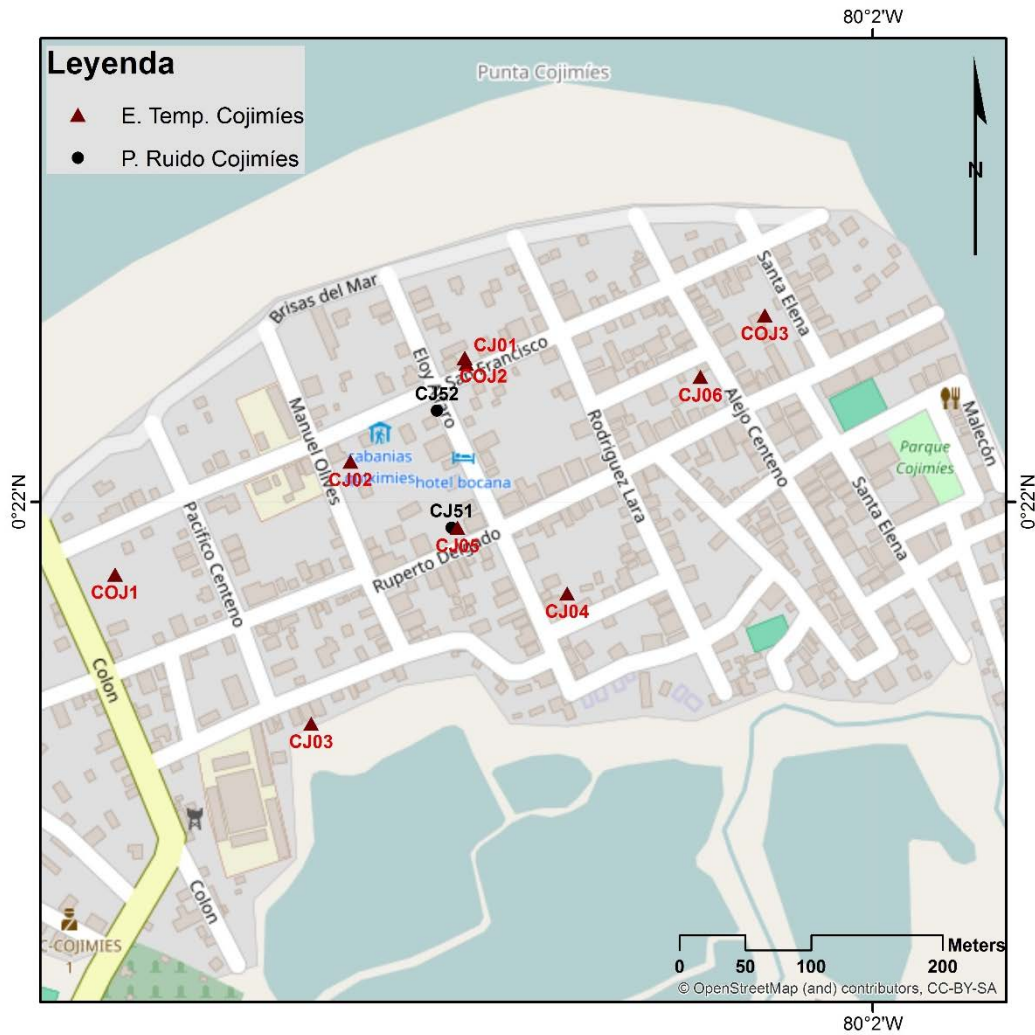


Figura 51: Zoom del mapa de la Figura 46 sobre la zona de medidas principales en Cojimies.

5.9.3 Interpretación de los resultados

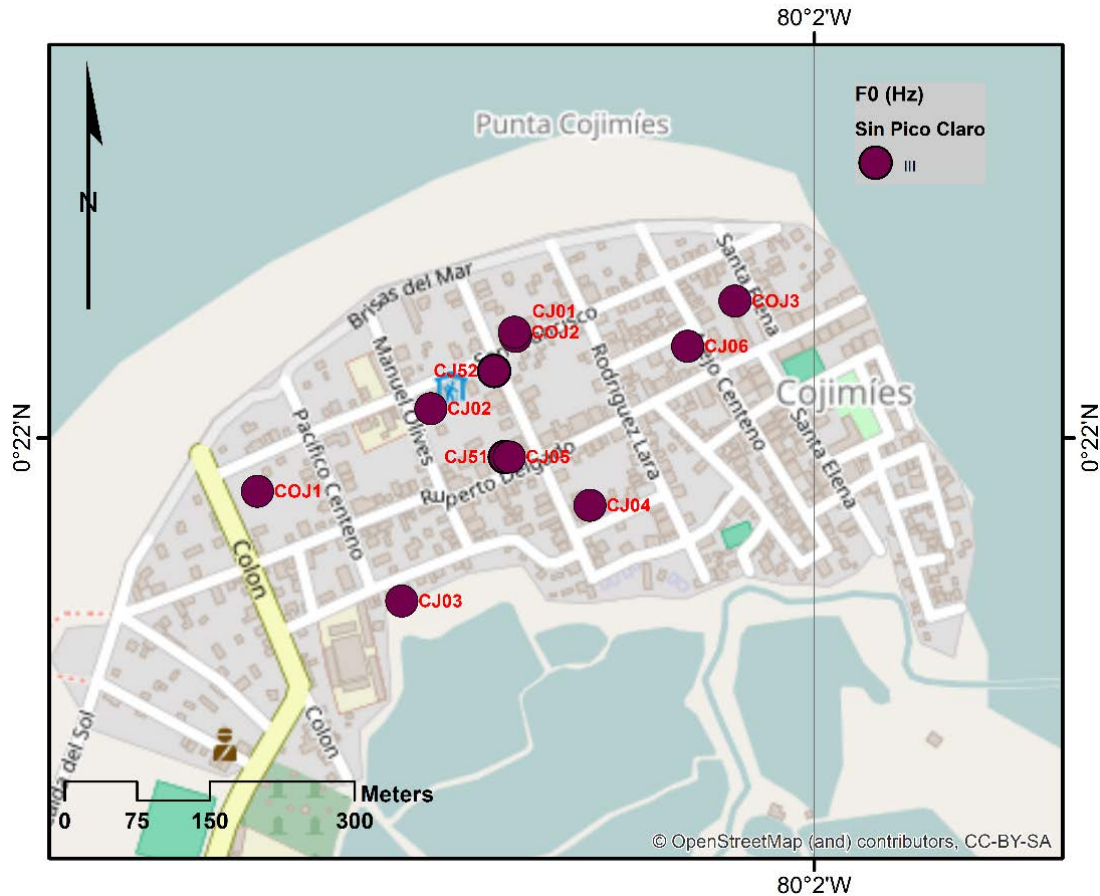


Figura 52: Distribución espacial de la respuesta de los suelos en Cojimies.

Los puntos en Cojimies, se caracterizan por una respuesta similar: no existe amplificación, los datos muestran una amplitud relativa menor a 2, sin embargo, no es completamente plana, debido a la presencia de una desamplificación entre 1 y 2 Hz, debido probablemente a la metodología HVSr, y a una respuesta de la componente vertical en rangos de frecuencias más altos que lo que se observa en las componentes horizontales.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- Las medidas de ruido del ambiente que se realizaron en un gran parte de las ciudades de la Provincia de Manabí y el sur de Esmeraldas, ayudan a evidenciar zonas que pueden presentar efectos de sitio durante un terremoto, además de las frecuencias de resonancia en esas zonas, o el rango de frecuencia para el cual puede haber una amplificación.
- Este valor de frecuencia de resonancia se usa para conocer las frecuencias para las cuales puede haber una interacción con las frecuencias propias de las edificaciones. Se usa también cuando no se cuenta con ninguna otra información para deducir el tipo de suelo para el diseño de los espectros de respuesta para la construcción.
- Una gran parte de las ciudades de la costa tienen una respuesta con picos claros alrededor de 1-2 Hz, con la excepción de Manta, donde se observaron adicionalmente a las respuestas de 1-2 Hz y de 3-5 Hz picos de 0.3 Hz (obtenidos con instrumental y procedimiento de registro que permite registrar bajas frecuencias).

- o **Canoa** es la ciudad que muestra las amplitudes más grandes con picos muy claros alrededor de 1.3-1.6, localmente hasta 2 Hz. Podrían ser indicativos para suelos tipo E (suelos blandos) y parcialmente de tipo D (suelos rígidos). En el sur de la ciudad, se observaron dos puntos con picos alrededor de 8Hz, indicativos para cercanía de roca.
- o También, **Jama** presenta picos muy claros y de larga frecuencia alrededor de 1 Hz, distribuidos principalmente en las cercanías del río, lo que podría ser indicativo para suelos tipo E (suelo blando).
- o En **Manta**, la zona de **Tarqui** tiene una respuesta muy clara entre 1 y 2 Hz, y presenta también otros picos entre 4 y 8 Hz, lo que podría ser indicativo para suelos tipo D (suelo rígido) y parcialmente de tipo E (suelo blando).

En el **centro de Manta** (zona directamente al nor-oeste de la Avenida de la Cultura) podría tenerse suelos tipo C (suelos muy densos), debido a la observación de un segundo pico en el rango 3-5 Hz.

El resto de la ciudad (partes oeste y este), no presenta un pico identificable pero algunos sitios presentan una ligera amplificación que se necesita de tomar en cuenta. Es difícil en este caso de asociar los sitios a un tipo de suelo.

Las respuestas de los suelos en **Manta** van a estar influenciados por estratos más profundos que generan picos alrededor de 0.3 Hz, que han sido obtenido con instrumental de baja frecuencia y, que corresponden a las estructuras geológicas profundas, que puede tener una explicación con un contraste de impedancia entre el basamento oceánico que aparece en Montecristi y las terrazas marinas que se observan en Manta.

- o La ciudad de **San Vicente** se caracteriza por dos tipos de respuesta. Predominan sitios con picos claros alrededor de 1-2 Hz, que podría ser indicativo para suelos tipo D (suelo rígido) y parcialmente de tipo E (suelo blando). Además, pocos sitios se presentan con picos de 2.5 Hz y 3.5 Hz, que podría ser indicativo para suelos tipo C (suelos muy densos).
 - o Los puntos en el centro y SE de **Chamanga** presenta picos claros alrededor de 0.8 a 1 Hz, que podría ser indicativo para suelos tipo E (suelo blando).
 - o En **Pedernales**, los sitios que están localizados en la parte sur-oeste presentan picos de HVSR claros entre 2 a 5 Hz, lo que podría ser indicativo para suelos tipo D (suelo rígido) y más hacia el sur, un solo punto tipo C (suelos muy densos). Hacia el norte, hay un punto con un pico por debajo de 1.5 Hz, que podría ser suelo tipo E (suelo blando). El resto de los sitios no desarrolla una frecuencia marcada.
 - o En **Bahía de Caráquez**, los únicos sitios que tienen un pico marcado están alrededor de 1 y 2.5 Hz, los que podría ser indicativo para suelos tipo D (suelo rígido) y parcialmente de tipo E (suelo blando), pero también puntos hasta 9 Hz. Para esta ciudad además, no es posible hacer una zonificación ya que hay una variación espacial muy rápida de la forma de respuesta de los suelos entre cada punto de medida. Sería importante hacer medidas con menor espaciamiento para determinar los lugares de cambio en las frecuencias. Esta variabilidad podría explicarse por la influencia que existe por la presencia de la sedimentación marina y también la fluvial, al estar ubicada justamente en el estuario del río Chone.
 - o Para el caso de **Cojimíes** no se observa un pico claro en ninguno de los registros, hay una respuesta sin amplificación, incluso con una desamplificación. Sin embargo, sería necesario realizar otros tipos de medidas en este sector para ver si este patrón se observa todavía en todo el casco urbano de Cojimíes.
- Las medidas HVSR permiten tener una primera idea de la respuesta de los suelos y de sus frecuencias de resonancia. Una segunda etapa debería consistir en estudiar los resultados provenientes de los otros métodos para intentar definir en estas ciudades, la función de transferencia en algunos puntos, además de definir un perfil de velocidad de las ondas de corte, que ayude a obtener una función de transferencia más real.

7 **REFERENCIAS**

- Aki, K. y Richards, P. (1980). Quantative seismology: Theory and methods. University Science Books Sausalito, California.
- Aki, K. (1988). Local site effects on ground motion. Earthquake Engineering and Soil Dynamics II-Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication, 20, 103-155.
- Bonilla, L.F., Steidl, Jamison H., Lindley, Grant T., Tumarkin, Alexei G., and Archuleta, Ralph J., (1997). Site amplification in the San Fernando Valley, California; variability of site-effect estimation using the S-wave, coda and H/V methods. Bull. Seism. Soc. Am. 87. 3. 710-730.
- Bonilla, L. F., Tsuda, K., Pulido, N., Régnier, J., & Laurendeau, A. (2011). Nonlinear site response evidence of K-NET and KiK-net records from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Earth, planets and space, 63(7), 785-789.
- Borcherdt, R. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. Bulletin of the Seismological Society of America, 60(1):29-61.
- Borcherdt, R. (1973). Energy and plane waves in linear viscoelastic media. Journal of Geophysical Research, 78(14):2442-2453.
- Cadet, H., Bard, P.-Y. y Rodriguez-Marek, A. (2010). Defining a standard rock site: Propositions based on the KiK-net database. Bulletin of the Seismological Society of America, 100(1):172-195.
- Cantalamessa, G., Di Celma, C., Ragaini L., (2005). Sequence stratigraphy of the Punta Ballena Member of the Jama Formation (Early Pleistocene, Ecuador): insights from integrated sedimentologic, taphonomic and paleoecologic analysis of molluscan shell concentrations., PALAEO 2016. 1-25. doi:10.1016/j.palaeo.2004.09.012.
- Cantalamessa, G., Di Celma, C., 2004. Origin and chronology of Pleistocene marine terraces of the Isla de la Plata and of flat, gently dipping surfaces of the southern coast of Cabo San Lorenzo (Manabi Ecuador). Journal of South American Earth Sciences 16. 633- 648.
- Celebi, M., Dietel, C., Prince, J., Onate, M., & Chavez, G. (1987). Site amplification in Mexico City (determined from 19 September 1985 strong-motion records and from recordings of weak motions) (pp. 141-152). Elsevier, Amsterdam.
- Drouet, S., Chevrot, S., Cotton, F. y Souriau, A., 2008. Simultaneous Inversion of Source Spectra, attenuation parameters, and site responses: application to the data of the French accelerometric network. Bulletin of Seismological Society of America, Vol 98, n°1, 198-219.
- Duval, A. M., Bertrand, E., Vidal, S., y Delgado Marchal, J. (2013). Détection des effets de site sismiques: mise au point de méthodes expérimentales et application à Nice.
- Konno K., and Ohmachi T (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*. **88**. 228-241.
- Kramer, S. (1996). Geotechnical earthquake engineering. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.

- Haskell, N. (1960). Crustal reflection of plane SH waves. *Journal of Geophysical Research*, 65(12):4147–4150.
- Langston, C. A. (1979). Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B9), 4749-4762.
- Laurendeau (2009). *Projet RAP-ID: définition de fiches d'Identité géophysiques pour les stations RAP. Rapport de stage de master 2, Université Montpellier II.*
- Laurendeau, A., Bard, P-Y, Hollender, F., Perron, V., Foundotos, L., Ktenidou, O-J y Hernandez, H. (sometido). Derivation of consistent hard rock ($1000 < V_s < 3000$ m/s) GMPEs from surface and down-hole recordings: Analysis of KiK-net data. *Bulletin of earthquake engineering*.
- Laurendeau, A., Perrault, M., Mercerat, D., Bonilla, L.F., Courboux, F., Beauval, C., Barros, J-G., Vasconez, F., Marinière, J., Singaicho, J.C., Ruiz, M., Alvarado, A., Bertrand, E. (2016). Preliminary observations of site effects during the Mw 7.8 Pedernales (Ecuador) earthquake of April 16th 2016. 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion. Taipei, Taiwan. August 15-17. 2016. 12 pages.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface. *QR of RTRI*. 1;30:25–33.
- NEC-SE-DS (2015). *Norma Ecuatoriana de Construcción: Peligro sísmico, diseño sismo resistente.*
- Nogoshi, M., y Igarashi, T. (1971). On the amplitude characteristics of microtremor (part 2). *Jour. Seism. Soc. Japan*, 24, 26-40.
- Pedroja, K., Dumont, J.F., Lamothe, M., Ortlieb, L., Collot, J.Y., Ghaleb, B., Auclair, M., Alvarez, V., Labrousse, B., 2006a. Plio-Quaternary uplift of the Manta peninsula and La Plata Island and the subduction of the Carnegie Ridge, central coast of Ecuador. *Journal of South America Earth Sciences* 22. 1-21.
- Reyes, P. (2013). *Evolution du relief le long des marges actives: étude de la déformation Plio – Quaternaire de la cordillere cotiere d'Equateur. Tesis Doctora. Universidad Nice-Sophia Antipolis Francia.* 312 p.
- SESAME team (2004). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. European Research Project.* 62 pages.
- Steidl, J., Tumarkin, A. y Archuleta, R. (1996). What is a reference site? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(6):1733–1748.
- Vallejo, S. (2011). *Distribución de las cenizas volcánicas holocénicas – tardías en la costa del Ecuador. Tesis Ingeniería. EPN Facultad Geología y Petróleos.* 267 p.
- Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., ... & Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898-913.

8 ANEXOS

8.1 Tablas de los parámetros de las medidas para cada ciudad

8.1.1 Manta

Tabla 3. Parámetros de los puntos de medida en la zona de Manta.

Código	Digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f ₀	f ₀ min	f ₀ max	A ₀ rel	f ₁	f ₁ min	f ₁ max	A ₁ rel
MONR	RT-130	Tr. Comp	-1.054566	-80.66489	83	Respuesta plana							
MA11	RT-130	Tr. Comp	-0.94111	-80.73306	41	0.315	0.284	0.378	2.77	5.994	5.826	6.722	2.86
MA13	RT-130	Tr. Comp	-0.95077	-80.73143	24	0.334	0.297	0.378	3.97	No pico claro pero una amplificación entre 2 y 4 Hz de amplitud menos que 2			
MA14	RT-130	Tr. Comp	-0.955945	-80.73489	65	0.334	0.326	0.396	3.64	Respuesta plana			
MA21	RT-130	Tr. Comp	-0.95172	-80.71471	20	0.348	0.332	0.388	4.11	1.636	1.520	1.752	2.89
MA23	RT-130	Tr. Comp	-0.95477	-80.72081	45	0.342	0.319	0.390	4.1	1.368	1.324	1.605	3.69
MA24	RT-130	Tr. Comp	-0.96171	-80.71613	56	0.371	0.337	0.400	4.33	2.984	2.518	3.176	3.58
ML01	RT D99D	Lennartz 5s	-0.95388	-80.71664	34					1.44	1.32	1.59	4.00
ML02	RT D99D	Lennartz 5s	-0.94259	-80.73209	34					Respuesta plana			
ML03	RT D99D	Lennartz 5s	-0.94627	-80.74754	18	Curva HVSR mal definida con una alta variabilidad, amplitud más grande que 2 sobre todo el rango de frecuencia y especialmente entre 0.5 y 3 Hz							
ML05	RT D99D	Lennartz 5s	-0.95238	-80.71448	35					1.58	1.43	1.83	4.77
ML06	RT D99D	Lennartz 5s	-0.95407	-80.71406	33					1.78	1.60	1.96	4.46
ML07	RT D99D	Lennartz 5s	-0.941263	-80.73234	72					Respuesta plana			

ML11	RT D99D	Lennartz 5s	-0.95144	-80.71617	32		1.17	1.05	1.25	4.66
ML12	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.94827	-80.74652	29		Respuesta plana			
ML13	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.9521	-80.72722	31		4.69	3.94	4.79	2.78
ML14	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.94951	-80.72422	6		5.80	5.39	5.99	2.79
ML15	RT D99D	Lennartz 5s	-0.94815	-80.72288	31		4.29	3.66	4.51	2.92
ML16	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.95244	-80.70738	29		1.49	1.30	1.78	2.80
ML17	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.95291	-80.69916	35		No pico claro pero una amplificación entre 1 y 4 Hz con una amplitud máxima a 1.89 Hz y de 2.03			
ML18	RT D99D	Lennartz 5s	-0.95823	-80.70627	28		No pico claro pero una amplificación entre 1 y 3 Hz con una amplitud máxima a 1.63 Hz y de 1.97			
ML19	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.95725	-80.71853	36		1.36	1.27	1.44	5.29
ML20	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.96293	-80.71416	30		1.40	1.24	1.69	4.44
ML21	RT D99D	Lennartz 5s	-0.96476	-80.70068	33	Amplificación alrededor de 0.5 Hz pero limitación del sensor	Respuesta plana			
ML22	RT D99D	Lennartz 5s	-0.94326	-80.73881	35		No pico claro pero amplificación entre 1.2 y 5.5 Hz de amplitud de aproximadamente 2.5			

* Para ML14, el número de ventanas no es suficiente para tener una medida confiable.

** El color verde representa el rango de frecuencia para lo cual la medida no permite definir un pico en este rango.

8.1.2 Bahía de Caráquez

Tabla 4. Parámetros de los puntos de medida en la zona de Bahía de Caráquez.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max	A_0 rel
MARR	RT-D9AB	Tr. Comp	-0.67797	-80.36401	23	No pico claro pero una amplificación de 2 a 10 Hz de amplitud alrededor de 2			
BC01	RT-130	Tr. Comp	-0.60166	-80.426	50	8.882	8.089	9.304	3.78
BC02	RT-130	Tr. Comp	-0.59937	-80.42418	47	1.501	1.375	1.751	3.59
BC04	RT-130	Tr. Comp	-0.64022	-80.4257	33	4.192	3.839	4.416	6.00
BC51	RT D99D	Lennartz 5s	-0.67776	-80.36404	24	No pico claro pero amplificación de larga frecuencia casi sobre todo el rango con una amplitud máxima de 3.56			
BC52	RT D99D	Lennartz 5s	-0.62159	-80.44617	32	1.9514	1.77115	2.3249	2.64
BC53	RT D99D	Lennartz 5s	-0.61868	-80.43521	25	Respuesta plana			
BC54	RT D99D	Lennartz 5s	-0.64242	-80.4388	32	1.78206	1.61861	1.97282	3.74
BC55	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.65979	-80.39777	24	3.36433	2.91455	3.70063	4.83
BC56	RT D99D	Lennartz 5s	-0.65946	-80.39781	22	2.48588	2.41218	2.61151	5.92
BC57	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.65936	-80.39806	15	2.41179	2.22783	2.63003	5.93
BC58	RT D99D	Lennartz 5s	-0.59456	-80.42293	25	3.57422	3.10223	3.75654	4.04
BC59	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.59698	-80.42386	24	2.07315	1.71086	2.17429	3.13
BC60	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.59672	-80.42252	28	1.0654	0.917656	1.13424	4.81
BC61	RT D99D	Lennartz 5s	-0.59873	-80.42546	22	Respuesta plana			
BC62	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.6009	-80.42428	17	2.72211	2.58949	3.18158	4.67
BC63	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.60362	-80.42445	32	No pico claro pero amplificación de larga frecuencia alrededor de 2.8 Hz con A_0 rel de 2.44			
BC64	RT D99D	Lennartz 5s	-0.60095	-80.42731	32	4.83725	4.66656	5.1097	3.27
BC65	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.60243	-80.42814	23	3.26405	2.78888	3.66776	4.42
BC66	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.60491	-80.42564	36	No pico claro pero una amplificación con una amplitud máxima de 2.75 entre 3 y 5 Hz con un máximo a 3.36 Hz			
BC67	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.62191	-80.42825	24	1.53184	1.40693	2.02097	3.35
BC68	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.62642	-80.42699	21	2.48588	2.17929	2.63735	4.88
BC69	RT D99D	Lennartz 5s	-0.62658	-80.4229	30	No pico claro pero amplificación de largo rango entre 0.5 y 2.5 Hz con una amplitud máxima de 2.21			
BC70	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.63151	-80.42255	29	1.20249	1.11759	1.57062	3.1
BC71	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.63468	-80.42545	25	1.9514	1.80029	2.06409	5.48

8.1.3 San Vicente

Tabla 5: Parámetros de los puntos de medida en la zona de San Vicente.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max	A_0 rel
SV02	RT-130	Tr. Comp	-0.58814	-80.39526	74	1.758	1.644	1.922	4.44
SV03	RT-130	Tr. Comp	-0.59092	-80.40632	110	No pico claro pero pequeña amplificación a baja frecuencia entre 0.2 y 1.5 Hz con 2 picos no claros diferentes a 0.35 Hz y a 1 Hz con amplitud cercana a 2			
SV04	RT-130	Tr. Comp	-0.5816	-80.41115	98	1.624	1.484	1.712	3.27
SV50	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.60147	-80.40708	34	1.58	1.32	1.64	5.45
SV51	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.58249	-80.40877	27	1.07	0.87	1.15	4.27
SV52	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.58195	-80.40895	27	1.03	0.87	1.14	4.56
SV53	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.60102	-80.4048	28	3.26	2.98	3.51	4.82
SV54	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.5911	-80.40601	30	No pico claro pero una amplificación entre 2 y 4 Hz con una amplitud máxima a 2.89 Hz de 2.52			
SV55	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.59686	-80.40685	26	2.64	2.50	2.78	4.42
SV56	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.60492	-80.4061	33	1.49	1.40	1.91	3.18
SV57	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.58797	-80.40745	28	3.47	3.15	3.93	3.01
SV58	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.58883	-80.39681	19	1.53	1.46	1.91	3.62

8.1.4 Canoa

Tabla 6: Parámetros de las medidas realizadas en Canoa.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max	A_0 rel
CADR	RT-130	Tr. Comp	-0.31544	-80.23013	18	No pico claro pero una pequeña amplificación entre 2.5 y 10 Hz con amplitud alrededor de 2			
CA01	RT-130	Tr. Comp	-0.46297	-80.45456	73	1.387	1.352	1.779	3.74
CA02	RT-130	Tr. Comp	-0.46178	-80.45314	59	1.501	1.468	1.570	4.93
CA03	RT-130	Tr. Comp	-0.46533	-80.45592	97	1.501	1.398	1.637	5.56
CA50	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.46151	-80.45728	27	1.32	1.23	1.43	7.93
CA51	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.46075	-80.45538	17	1.49	1.39	1.52	15.04
CA52	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.46037	-80.45319	18	No pico claro pero una amplificación notable a partir de 1 Hz y hasta 10 Hz con una amplitud máxima a 2.34 Hz y de amplitud 3.14			
CA53	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.46344	-80.45319	30	1.68	1.51	1.93	6.05
CA54	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.46237	-80.45007	33	1.63	1.61	2.12	5.33
CA55	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.46586	-80.45484	28	1.36	1.29	1.45	11.66
CA56	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.46932	-80.4546	34	8.60	8.11	8.93	5.98
CA57	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.46932	-80.4546	34	8.60	8.10	8.98	5.76
CA58	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.46244	-80.45673	32	2.20	1.65	2.40	3.72
CA59	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.46286	-80.45663	25	2.01	1.94	2.52	4.42

8.1.5 Jama

Tabla 7. Descripción de las medidas efectuadas en la ciudad de Jama.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max	A_0 rel
EM01	RT-130	Tr. Comp	-0.18451	-80.29066	27	Respuesta plana			
JA01	RT-130	Tr. Comp	-0.20821	-80.26032	19	0.898	0.847	0.979	7.48
JA02	RT-130	Tr. Comp	-0.19343	-80.26837	35	0.797	0.740	0.842	5.98
JA03	RT-130	Tr. Comp	-0.20098	-80.26362	19	0.708	0.656	0.914	2.39
JA51	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.20428	-80.26343	32	0.84	0.77	0.92	8.10
JA52	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.20453	-80.26373	32	0.84	0.75	0.92	6.14
JA53	Cube AF7	Lennartz 1s	-0.20401	-80.26036	31	1.24	1.09	1.31	5.83
JA54	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.20889	-80.25695	33	No pico claro pero una amplificación de largo rango de frecuencia entre 1 y 4 Hz de amplitud máxima de 2.72			
JA55	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.21016	-80.26033	31	1.28	1.05	1.32	4.79
JA56	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.20196	-80.26627	31	0.94	0.84	1.05	7.36
JA57	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.19848	-80.26383	31	0.89	0.75	1.01	5.85
JA58	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.19638	-80.26614	31	0.94	0.83	1.09	5.60
JA59	Cube AGL	Lennartz 1s	-0.19658	-80.269	27	0.86	0.76	1.00	4.91
JA60	RT D9A6	Lennartz 5s	-0.20136	-80.26029	20	No pico claro una ligera amplificación de largo rango de frecuencia entre 0.5 y 4 Hz con una amplitud máxima de 2.75			

8.1.6 Pedernales

Tabla 8. Descripción de las medidas efectuadas en la ciudad de Pedernales.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max	A_0 rel
PEDR	RT-130	Tr. Comp	0.03375	-79.9554	23	Respuesta plana			
PE02	RT-130	Tr. Comp	0.06973	-80.05761	112	2.892	2.694	3.017	3.02
PE03	RT-130	Tr. Comp	0.0740	-80.0496	85	Un pico no claro (variabilidad alta) a 5.46 Hz de amplitud 2.09			
PE04	RT-130	Tr. Comp	0.07522	-80.04068	27	No pico pero ligera amplificación (amplitud alrededor de 2) para frecuencias más grande que 6			
PE53	RT D9A6	Lennartz 5s	0.07687	-80.03355	31	Respuesta plana			
PE54	Cube AF7	Lennartz 1s	0.07977	-80.03865	34	No pico claro pero una ligera amplificación alrededor de 1.4 Hz de amplitud 2.18			
PE55	Cube AGL	Lennartz 1s	0.07065	-80.045	26	No pico claro pero una ligera amplificación entre 1.3 y 3.5 Hz de amplitud alrededor de 2			
PE56	RT D9A6	Lennartz 5s	0.07877	-80.04873	27	1.44	1.30	1.63	3.85
PE57	Cube AF7	Lennartz 1s	0.07254	-80.05096	19	No un pico bien definido pero una amplificación entre 1.5 y 3 Hz con un máxima a 2.01 de amplitud 2.26			
PE58	Cube AGL	Lennartz 1s	0.07588	-80.05421	28	No pico claro pero una ligera amplificación entre 1 y 3 Hz de amplitud alrededor de 2			
PE59	Cube AGL	Lennartz 1s	0.07297	-80.05762	29	Respuesta plana			
PE60	RT D9A6	Lennartz 5s	0.06764	-80.05349	20	2.20	1.89	2.51	3.71
PE61	Cube AF7	Lennartz 1s	0.06689	-80.05972	27	1.95	1.71	2.08	4.47
PE62	RT D9A6	Lennartz 5s	0.06334	-80.06039	34	4.84	4.46	5.22	3.21
PE63	RT D9A6	Lennartz 5s	0.06796	-80.05726	31	2.14	1.72	2.32	2.55

8.1.7 Chamanga

Tabla 9. Descripción de las medidas efectuadas en la ciudad de Chamanga.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max	A_0 rel
CHAR	RT-130	Tr. Comp	0.29134	-79.94004	19	Respuesta no plana con algunos picos (0.27Hz; 1.45 Hz) pero sobre todo el rango de frecuencia de amplitud menos que 2			
CHA1	RT-130	Tr. Comp	0.26663	-79.95355	56	0.934	0.832	1.024	3.98
CHA3	RT-130	Tr. Comp	0.27126	-79.95798	29	1.689	1.517	1.829	3.08
CH51	Cube AF7	Lennartz 1s	0.26685	-79.95335	30	1.00	0.86	1.16	4.01
CH52	Cube AF7	Lennartz 1s	0.26613	-79.95396	34	0.84	0.72	0.92	3.67
CH53	Cube AGL	Lennartz 1s	0.26774	-79.95507	34	0.81	0.75	0.85	5.10

8.1.8 Cojimies

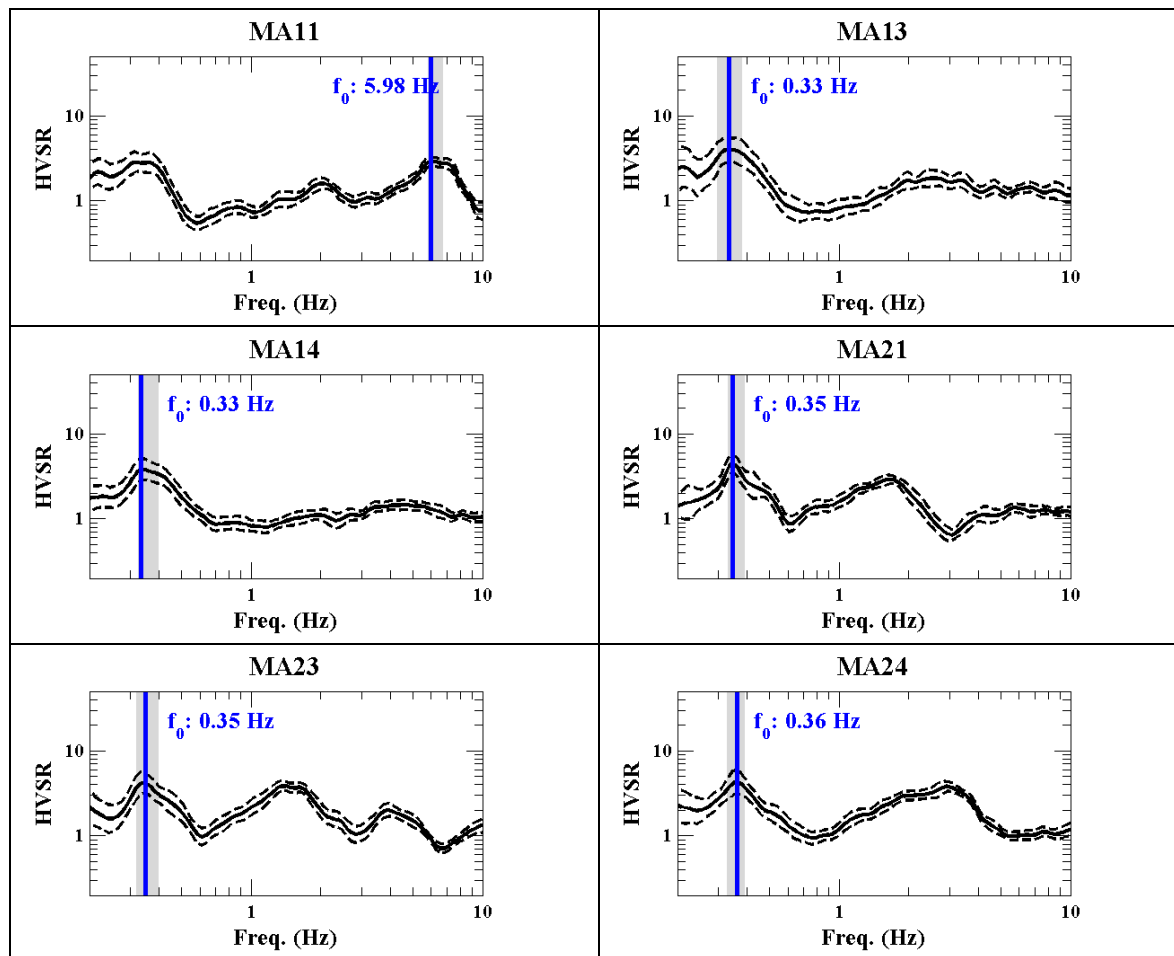
Tabla 10: Descripción de las medidas efectuadas en la ciudad de Cojimies.

Código	Serial digitalizador	Sensor	Latitud	Longitud	Numero de ventana	f_0	f_0 min	f_0 max
CHAR	RT-130	Tr. Comp	0.29134	-79.94004	19	Respuesta no plana con algunos picos (0.27Hz; 1.45 Hz) pero sobre todo el rango de frecuencia de amplitud menos que 2		
COJ1	RT-130	Tr. Comp	0.36617	-80.03851	79	Desamplificación		
COJ2	RT-130	Tr. Comp	0.36765	-80.03612	78	Desamplificación		
COJ3	RT-130	Tr. Comp	0.36794	-80.03407	81	Desamplificación		
CJ01	RT-130	Tr. Comp	0.36761	-80.03611	82	Desamplificación		
CJ02	RT-130	Tr. Comp	0.36694	-80.0369	82	Desamplificación		
CJ03	RT-130	Tr. Comp	0.36515	-80.03717	71	Desamplificación		
CJ04	RT-130	Tr. Comp	0.36604	-80.03542	62	Desamplificación		
CJ05	RT-130	Tr. Comp	0.36649	-80.03617	73	Desamplificación		
CJ06	RT-130	Tr. Comp	0.36752	-80.03451	72	Desamplificación		
CJ51	Cube AGL	Lennartz 1s	0.36649	-80.03621	31	Respuesta plana		
CJ52	Cube AF7	Lennartz 1s	0.36729	-80.03631	35	Respuesta plana		

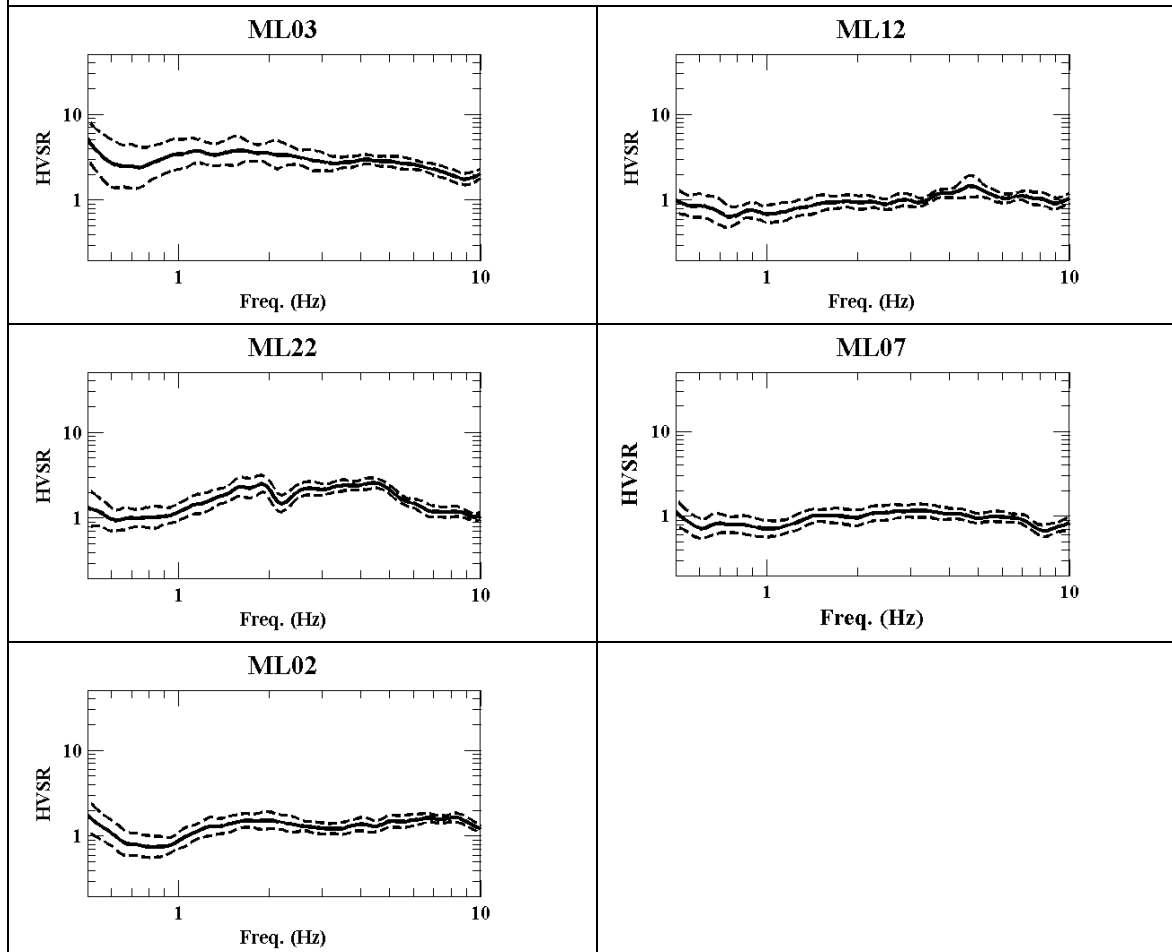
8.2 Resultados HVSR para cada ciudad

Las siguientes figuras presentan la respuesta de los suelos, en términos de curvas HVSR, para cada sitio en cada ciudad estudiada. La línea negra corresponde al promedio y las líneas en puntos negros a la desviación estándar. Cuando es posible ver un pico identificable, la información sobre la frecuencia de resonancia es reportada. La línea azul corresponde al máximo del promedio. El área en gris corresponde a la desviación estándar del valor de la frecuencia de resonancia definida para cada ventana.

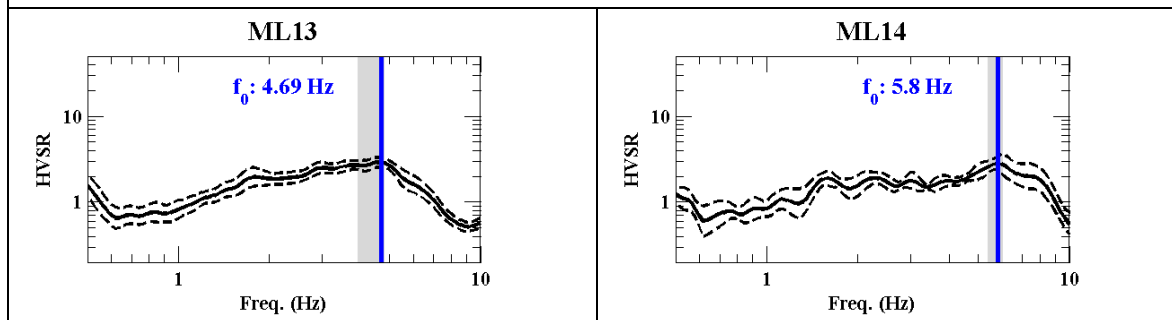
8.2.1 Manta

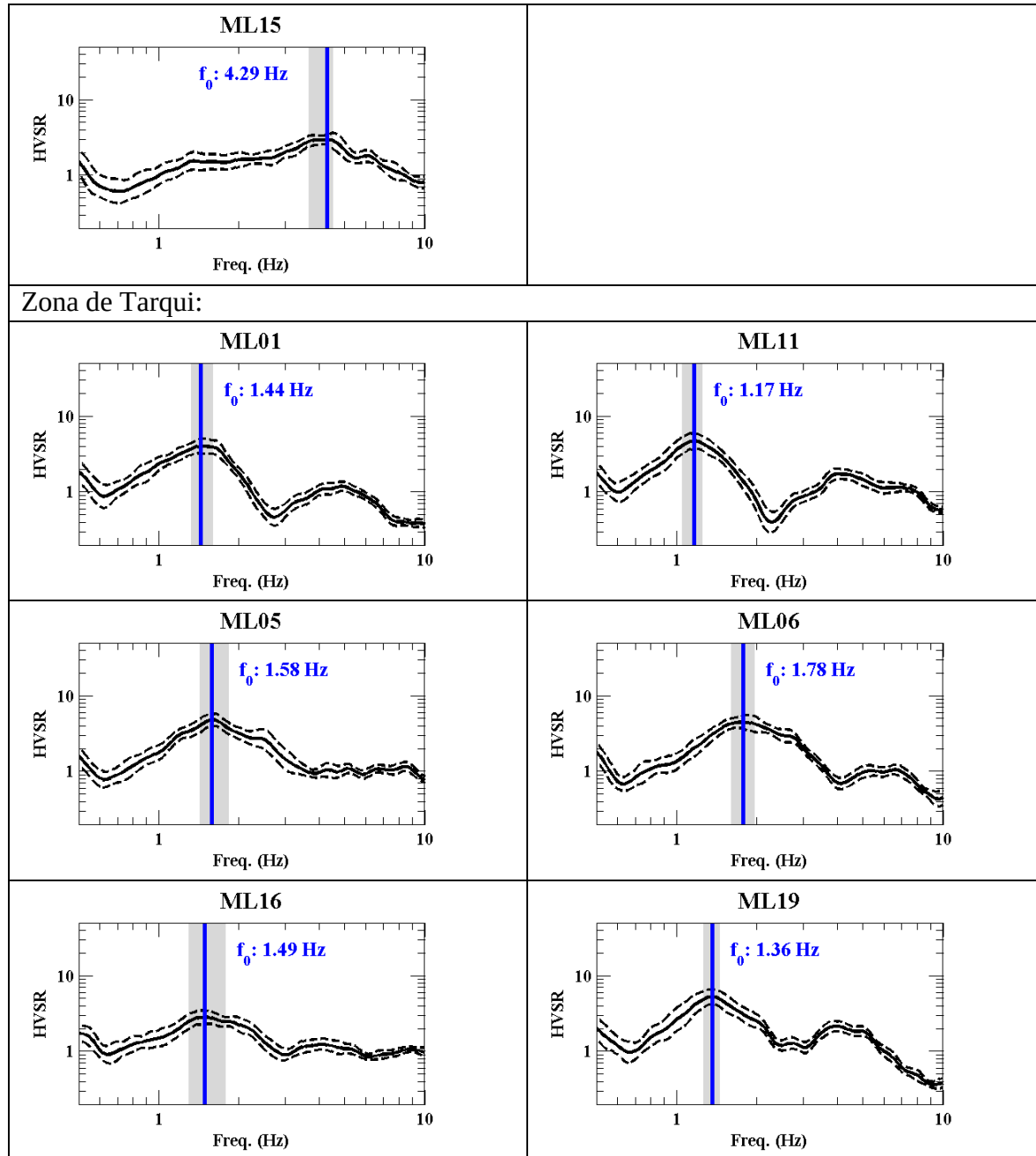


Zona oeste:

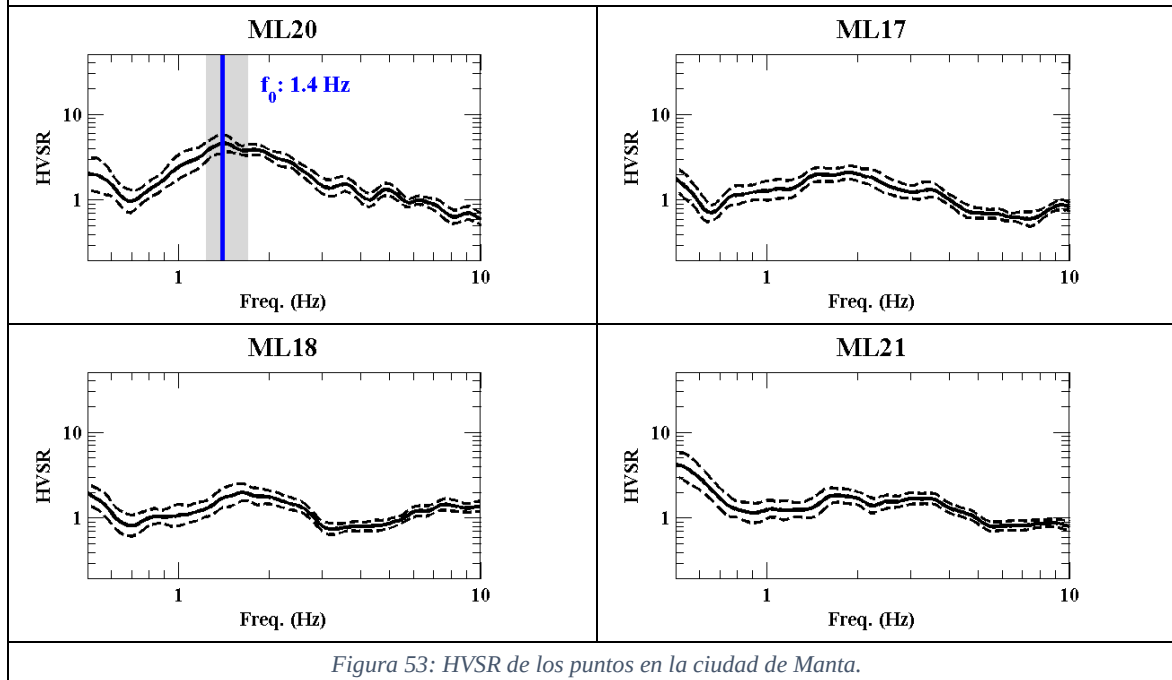


Zona oeste-norte de la Avenida de la Cultura:



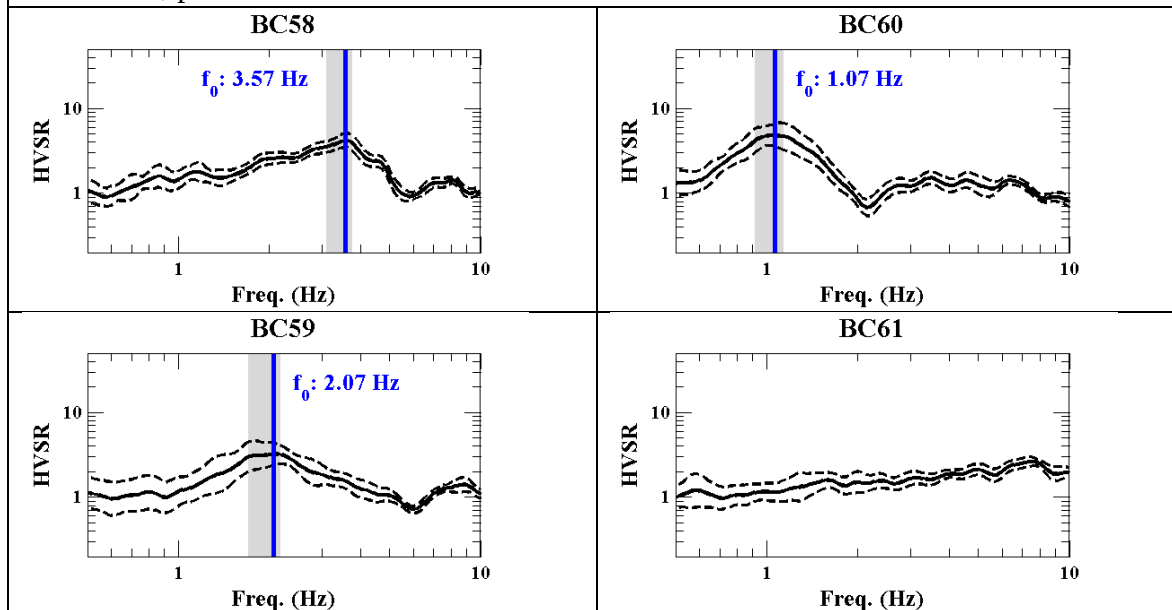


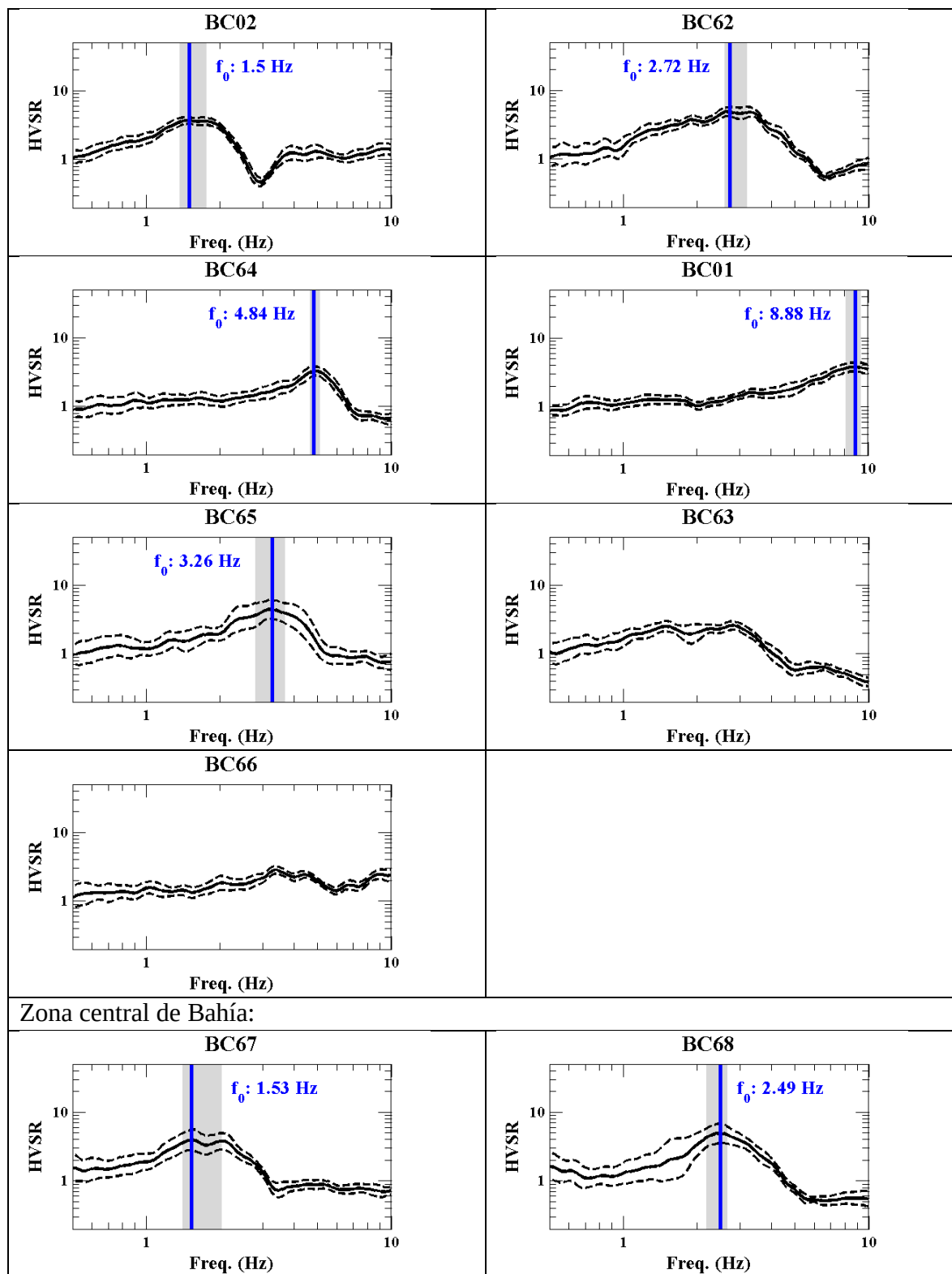
Zona sur-este:

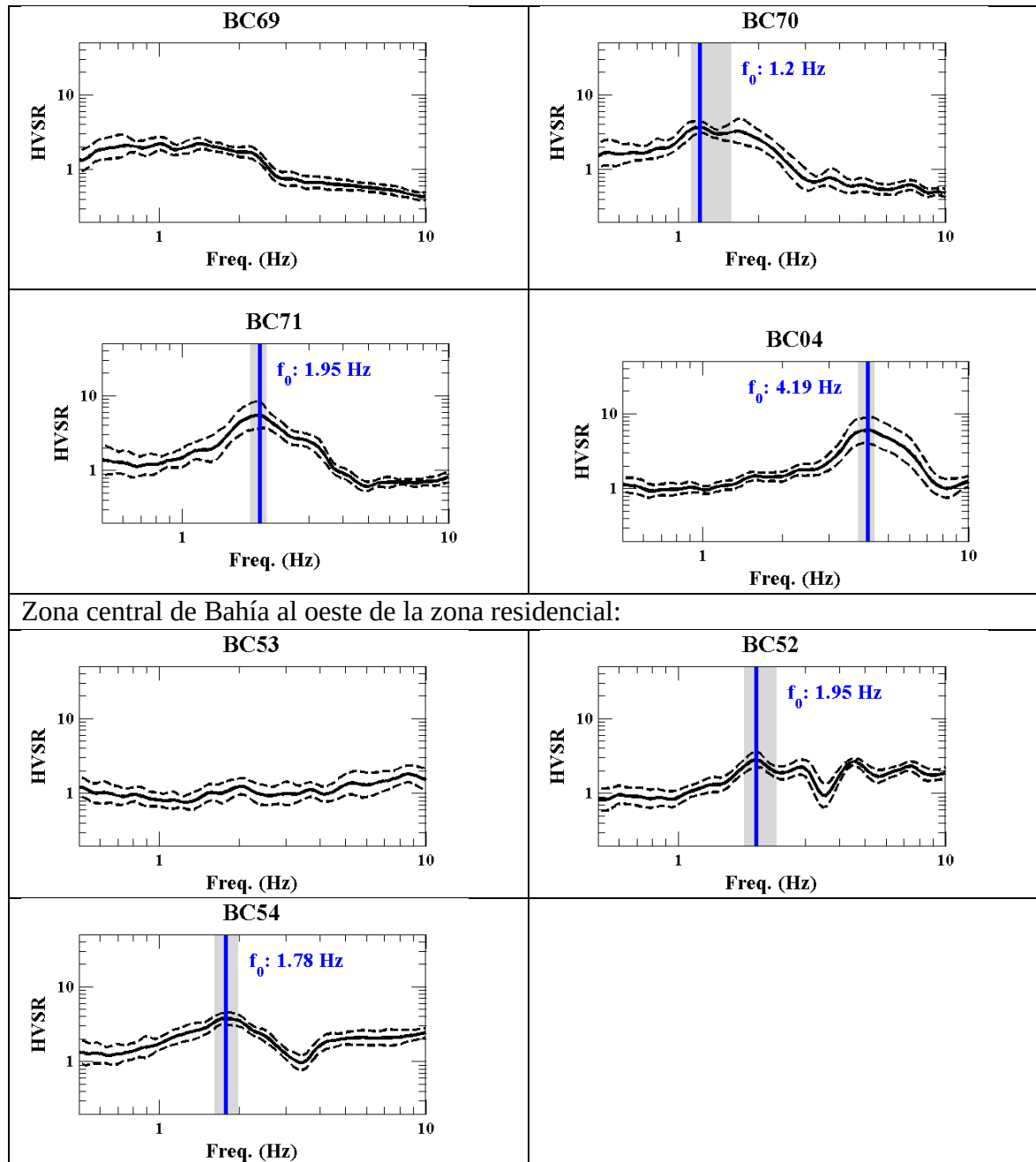


8.2.2 Bahía de Caráquez

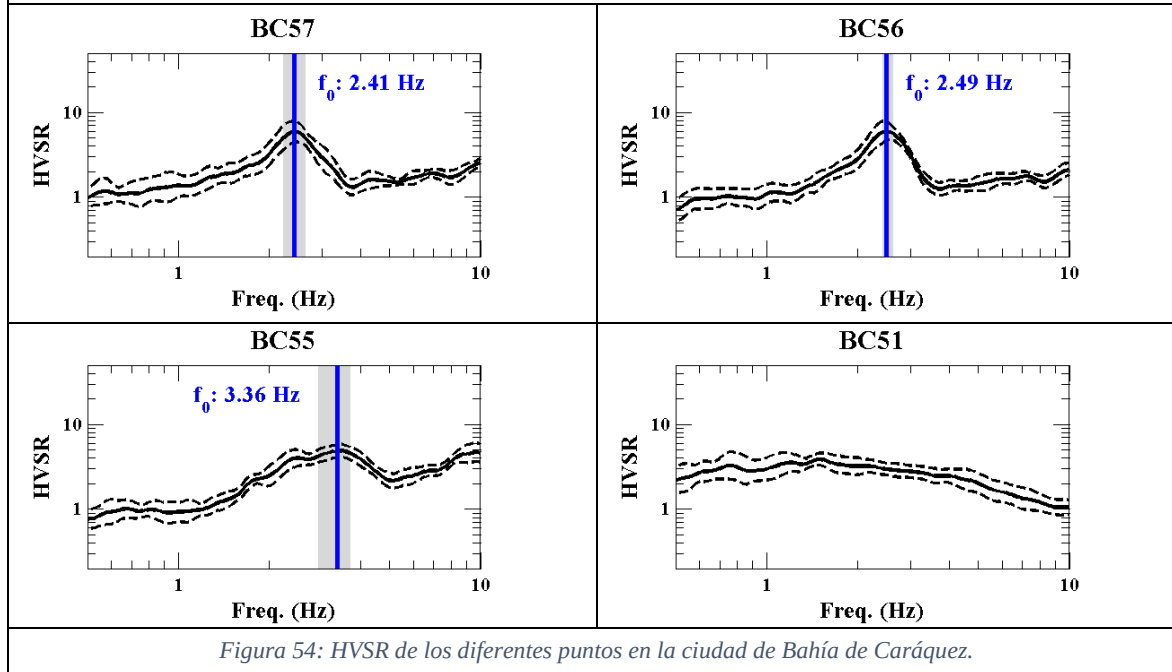
Zona norte, punta de Bahía:



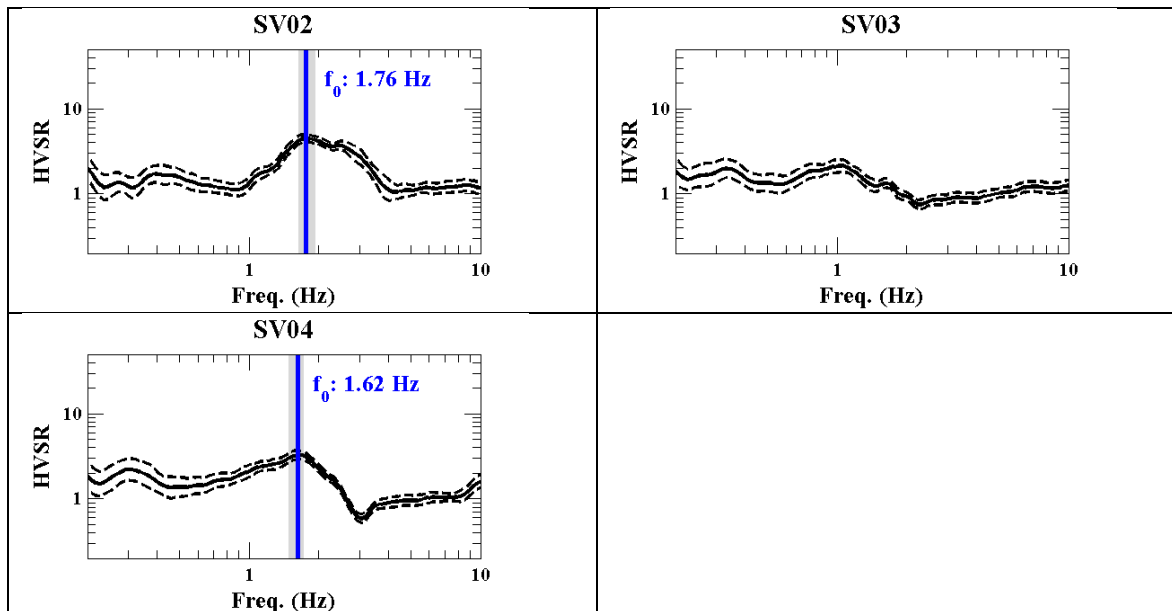


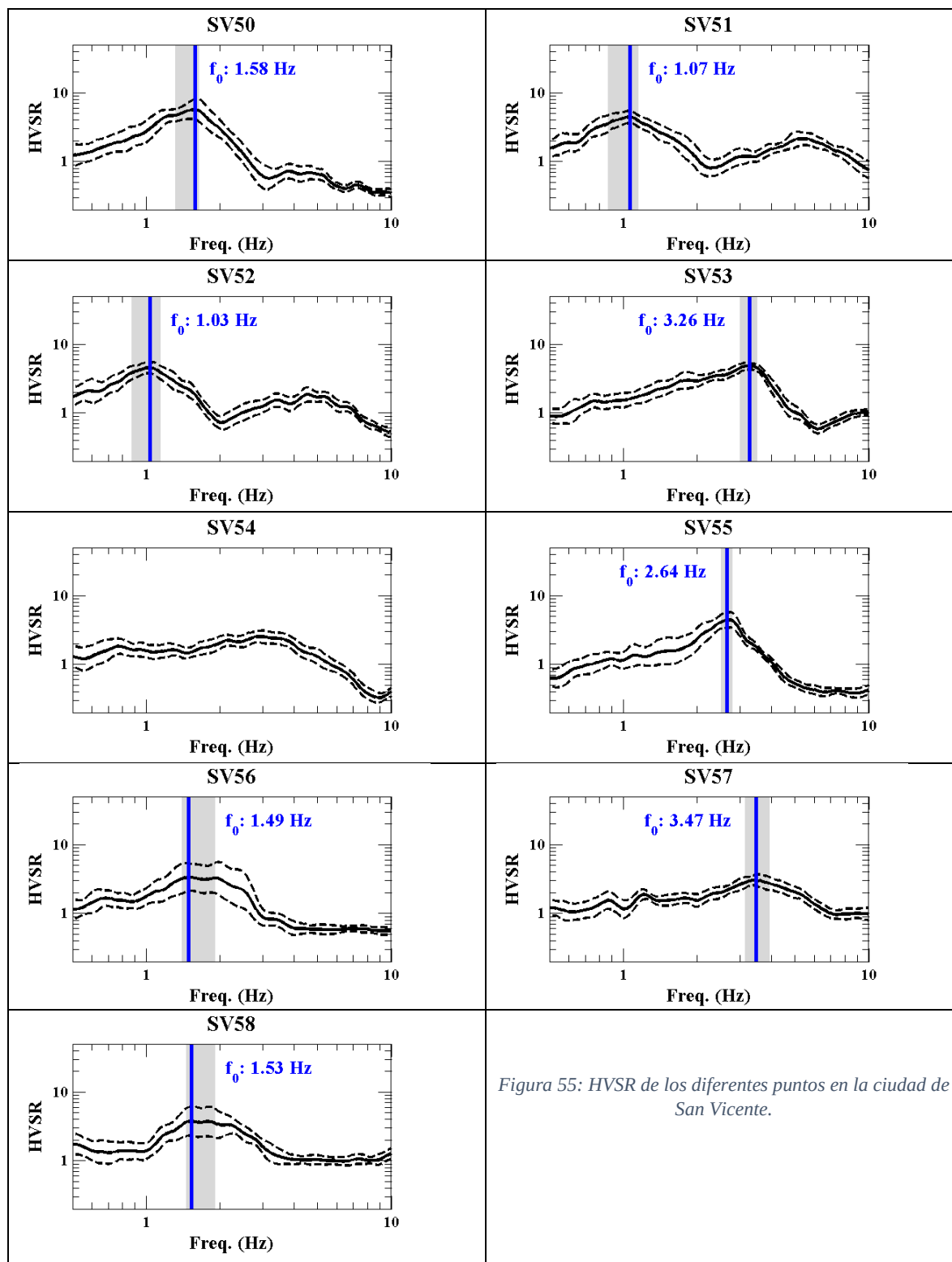


Zona al sur de Bahía:

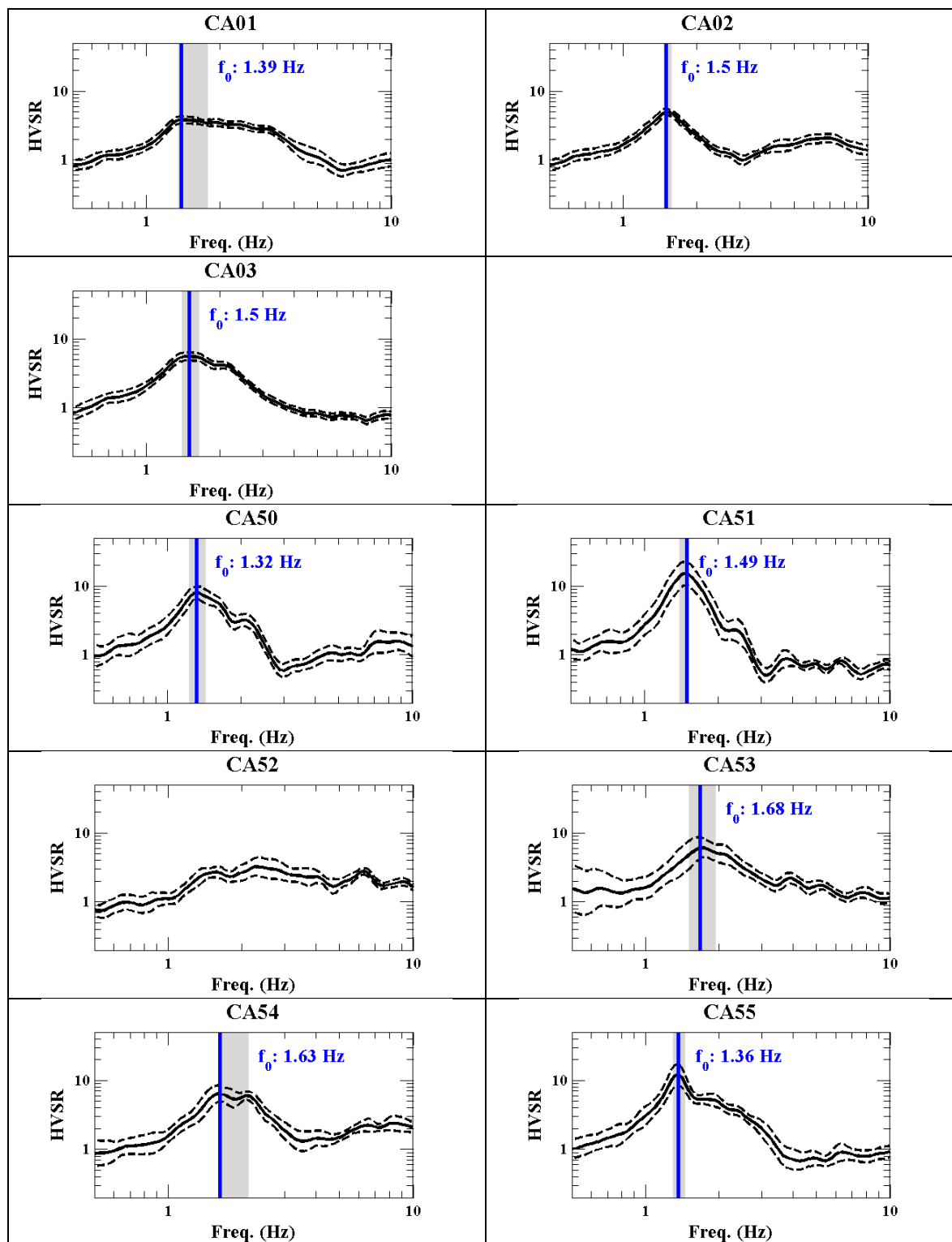


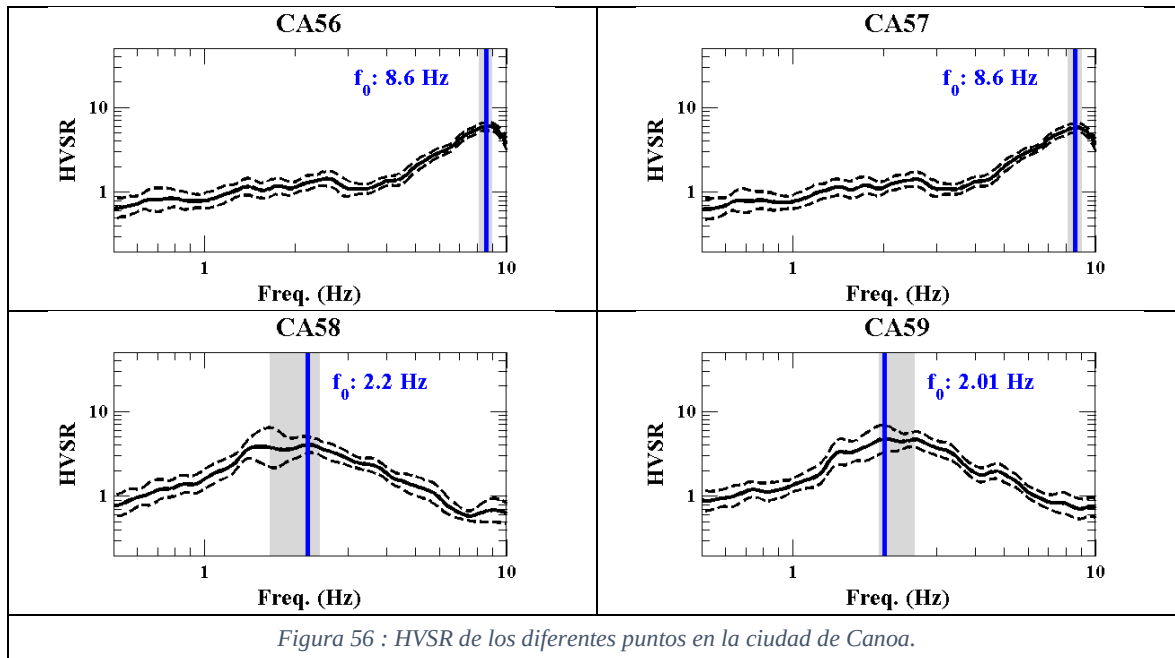
8.2.3 San Vicente



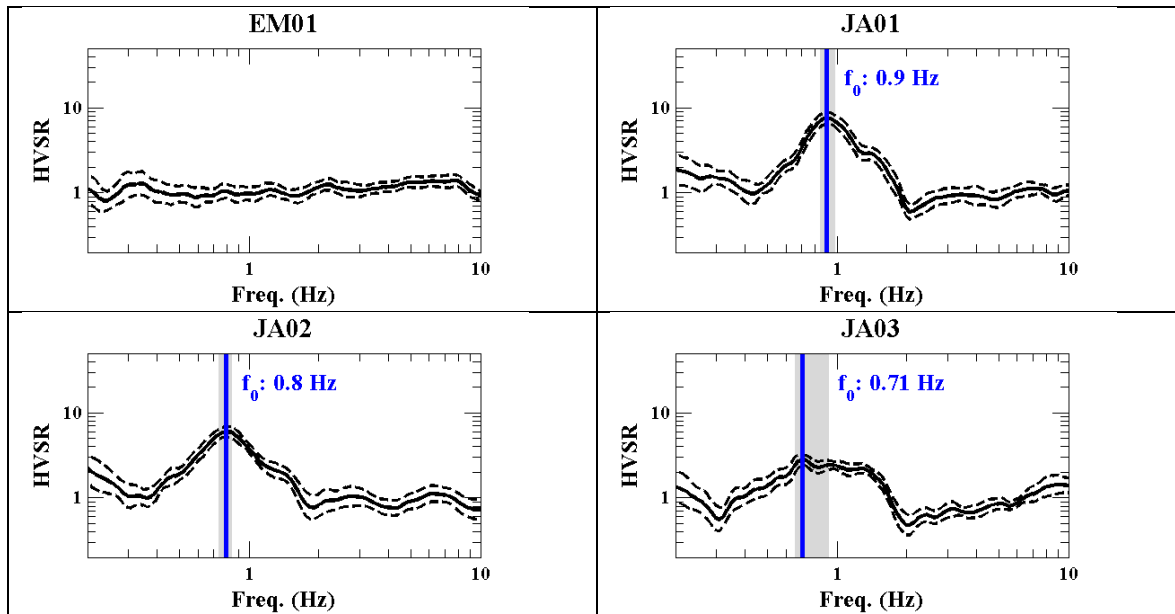


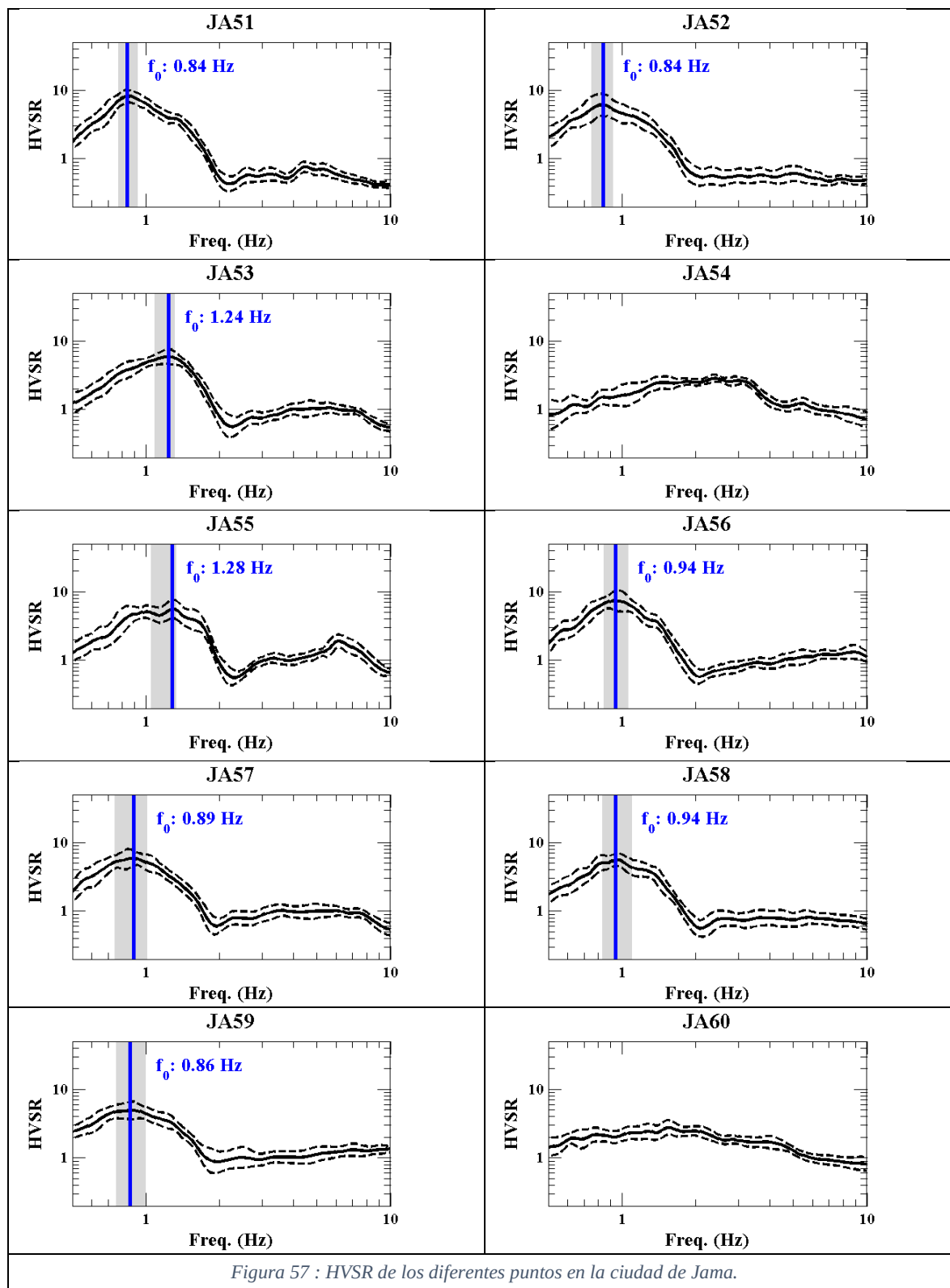
8.2.4 Canoa



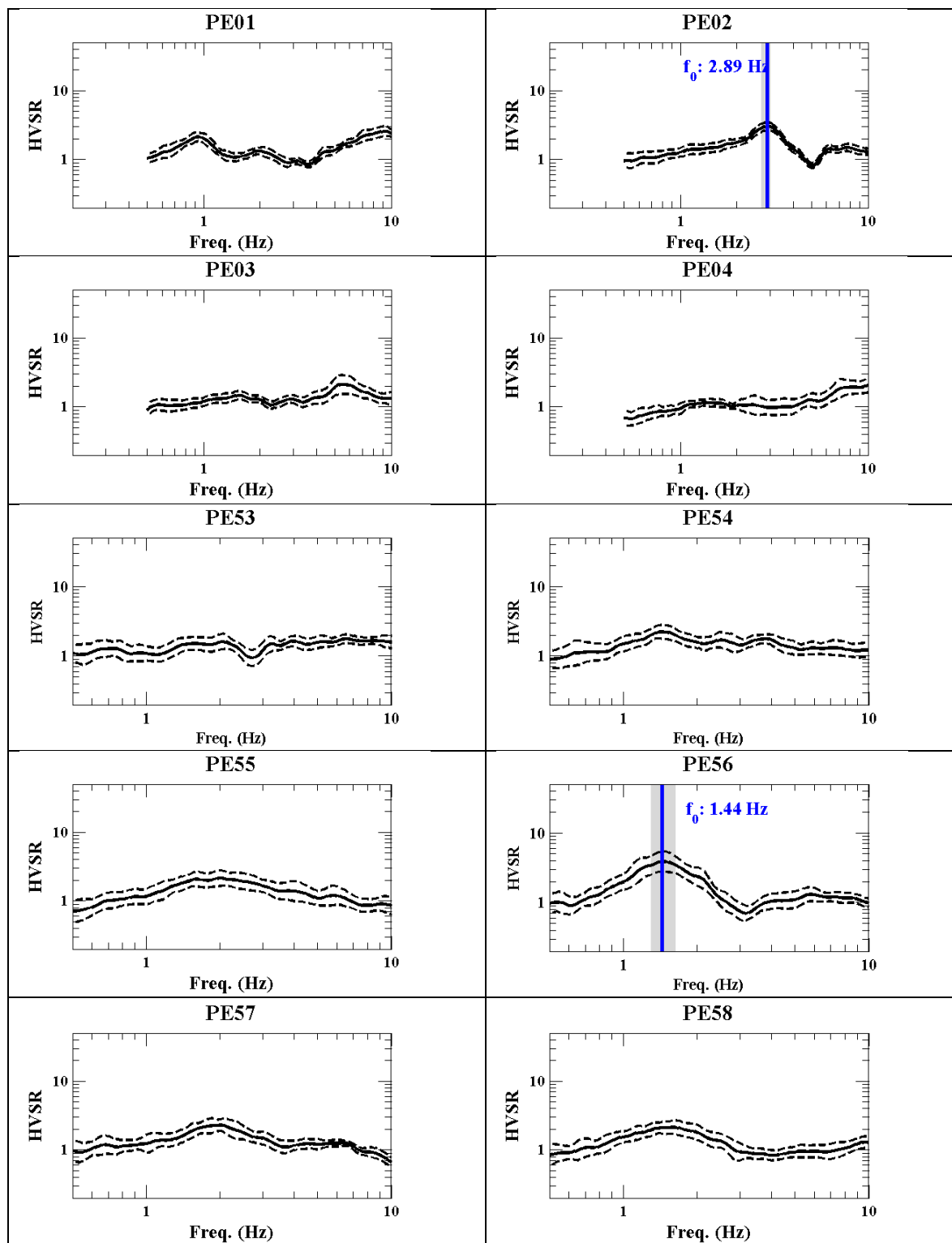


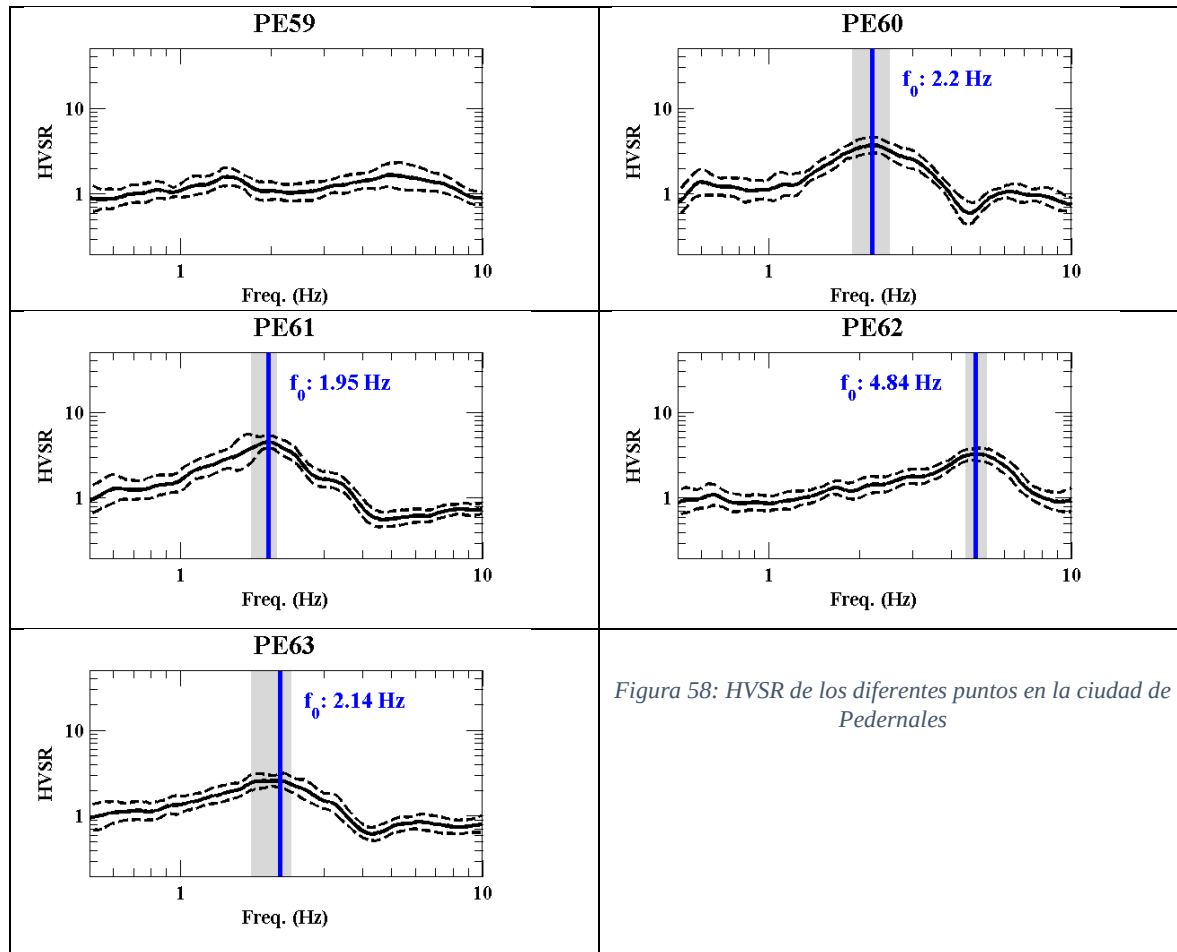
8.2.5 Jama



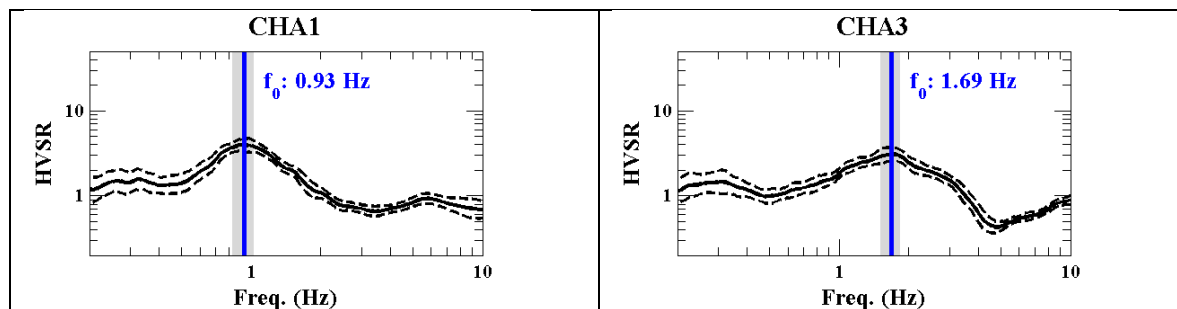


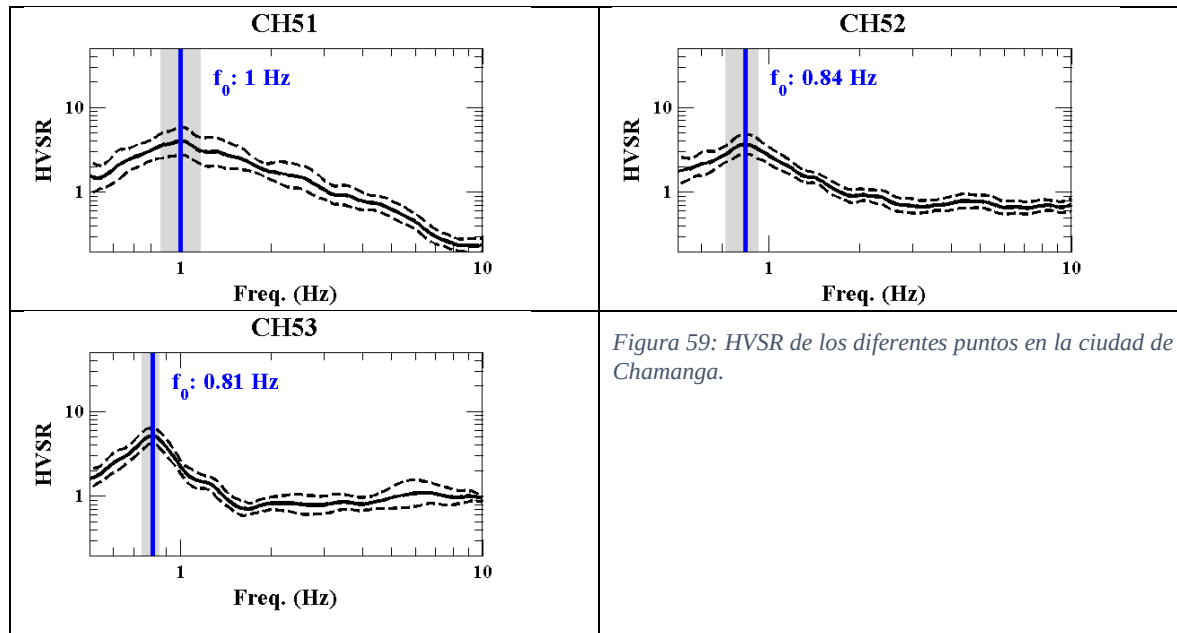
8.2.6 Pedernales





8.2.7 Chamanga





8.2.8 Cojimies

