

INTEGRACIÓN DE ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN VALLE DE LA PASCUA CON FINES DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Yetsybeth Acosta¹, Javier Sánchez-Rojas^{1*}, Paola Pastor², Kenny García¹ y Michael Schmitz^{1,2,3}.

¹ FUNVISIS – Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Caracas, Venezuela.

² Universidad Simón Bolívar, Venezuela

³ Universidad Central de Venezuela

*sanchjav7@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de la re-interpretación y re-procesamiento de estudios geofísicos con fines de microzonificación sísmica realizados en la ciudad de Valle de la Pascua. Estos estudios incluyen a los métodos de Refracción de Microtremores (ReMi) para la caracterización de sedimentos someros hasta 30 m de profundidad y mediciones de ruido sísmico ambiental para determinar los períodos fundamentales del suelo mediante la técnica de H/V. Se determinó que las velocidades de las ondas de corte hasta los 30 m (V_{s30}) varían entre 300 y 580 m/s, relacionadas posiblemente con los cambios litológicos de la formación Quimare. Las curvas de la relación H/V en función de la frecuencia muestran tres tendencias, curvas con picos de frecuencia fundamental claros en un rango de 3- 6 Hz, curvas con dos picos y curvas sin un pico claro.

Palabras Clave: ReMi, Nakamura, Microzonificación sísmica, Períodos fundamentales, V_{s30} .

ABSTRACT

This paper presents the preliminary results of the re-interpretation and re-processing of geophysical data aimed for seismic microzoning carried out in the city of Valle de la Pascua. The study includes the methods of Refraction Microtremor (ReMi) for the characterization of shallow sediments up to 30 m of depth and measurements of seismic noise to determine the fundamental soil periods by means of the H/V technique. The shear wave velocities of the upper 30 m (V_{s30}) vary between 300 and 580 m/s, possibly related to the lithological changes in the Quimare formation. The curves of the H / V ratio as a function of frequency show three trends, curves with clear fundamental frequency peaks in a range of 3-6 Hz, curves with two peaks and curves without a clear peak.

Keywords: ReMi, Nakamura, Seismic microzonation, Fundamental soil periods, V_{s30} .

INTRODUCCIÓN

Valle de La Pascua es una ciudad con un alto potencial de crecimiento en el Eje Norte Llanero, localizada al noreste del estado Guárico, en la zona de transición entre los Llanos Centrales y los Llanos Orientales. Esta área presenta diferentes unidades morfológicas como superficies aplanadas,

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

ondulaciones, llanuras de inundación y lagunas [1]. El estudio se realizó en el marco del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos, financiado por FONACIT (2007000939) en el marco de la Misión Ciencia. Según la Norma de Construcciones Sismorresistentes COVENIN 1756 (2001) [2] Valle de la Pascua se ubica en la zona 3 de moderada amenaza sísmica con un valor A_0 de 0,2 g. Sin embargo, en un análisis de amenaza sísmica actualizado [3] el valor A_0 , está por debajo de 0,1 g, es decir de baja amenaza sísmica.

Desde un punto de vista regional pertenece a la subcuenca de Guárico (Figura 1), la cual está asociada al frente de deformación del Sistema de fallas de Guárico con un marco tectónico complejo [4]. El basamento está compuesto de rocas cretácicas con diferentes ciclos de sedimentación en el Terciario Superior, pertenecientes a la Formación Quiamare [5], constituida por una secuencia monótona de arcillas con intercalación de areniscas y lutitas con un espesor de 3050 m en su sección tipo [6].

Mediante la caracterización del suelo de la ciudad con métodos geofísicos (mediciones de ruido ambiental para la determinación del período predominante y mediciones ReMi para caracterizar las características sísmicas de los primeros 30 m, Vs30 y de los estratos profundos hasta el basamento sísmico) se aspira contribuir a la gestión del riesgo en esta zona de fuerte crecimiento. El análisis de 140 mediciones de ruido ambiental y 54 perfiles de ReMi permitió caracterizar de manera general los suelos de la ciudad como compactos con Vs30 oscilando entre 300 y 580 m/s, lo que resulta en rangos de frecuencias generalmente entre 3 y 6 Hz, sin mucho potencial de amplificar la baja amenaza sísmica en la región.

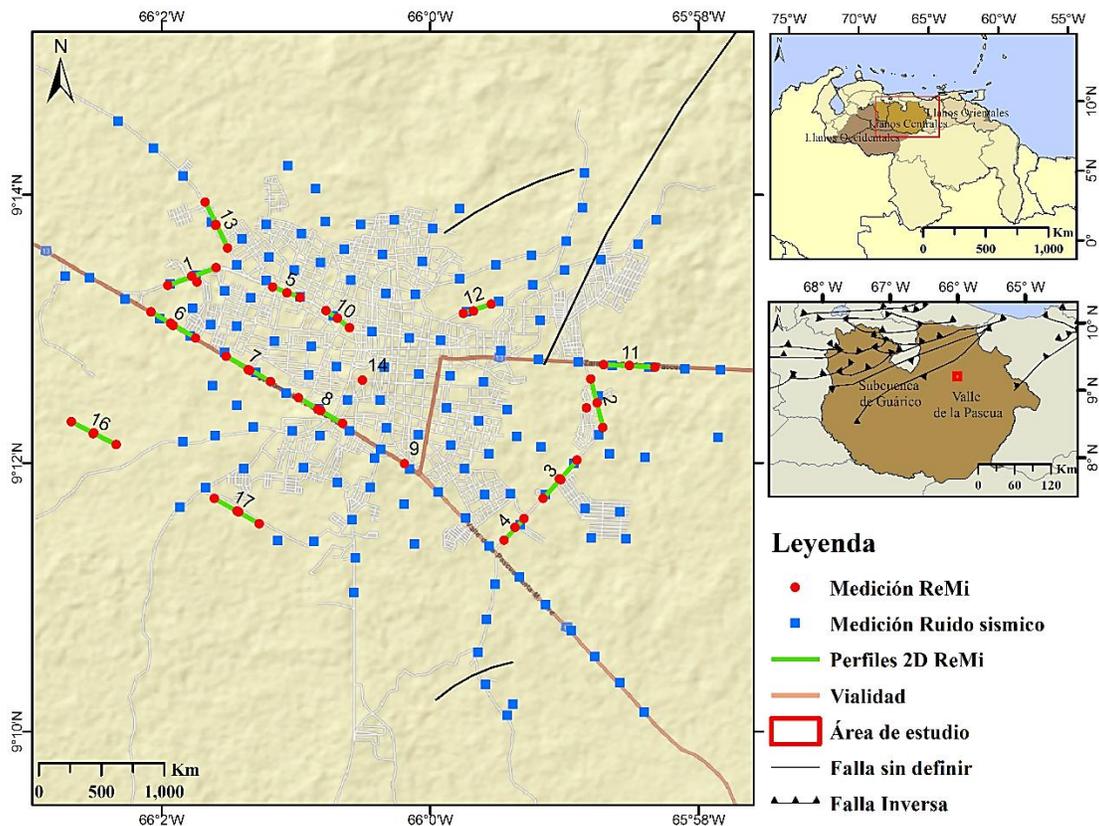
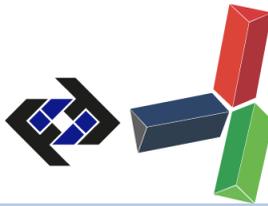


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de los estudios geofísicos realizados en Valle de la Pascua. ReMi (Puntos rojos) y Ruido sísmico ambiental (cuadros azules).



METODOLOGÍA

Los datos usados fueron adquiridos en los años 2011[7] y 2014 [8] . La metodología usada en este trabajo es la siguiente:

ReMi

Se realizaron 54 perfiles [8] (ver figura 1), 14 entre 700 y 1050 m de longitud y 40 con longitudes entre 280 y 350 m. Los instrumentos usados fueron 70 sismógrafos digitales marca Reftek modelo 125A (Texan), 70 geófonos individuales y un GPS. La separación entre los geófonos fue de 15, 10 y 4 m para los perfiles de 1050, 700 y 280-350 m respectivamente.

El procesamiento de los datos se divide en dos etapas:

Etapla 1: se procesa con el programa SeisOpt®ReMi™, está constituido por dos fases, la primera corresponde al análisis espectral de velocidades, donde se centran los registros evitando la desviación de los datos y se le borra la geometría de los encabezados. La segunda fase es el análisis de la curva de dispersión, corresponde al cálculo de la onda de superficie y se obtiene una imagen de la lentitud en función de la frecuencia, dada por la transformada de Fourier compleja, de la cual se va a digitalizar la curva de dispersión siguiendo la mejor tendencia de la curva.

Etapla 2: Modelado de las velocidades de ondas de corte, el cual se realiza con el programa SeisOpt®ReMi™ Vdisper. Este programa permite ajustar un modelo 1D con espesores y velocidades de las ondas S definidas a la curva de dispersión.

Adicionalmente, se determinó la velocidad del basamento sísmico, estimando la velocidad de la onda Rayleigh (V_r) a partir de las velocidades de ondas de corte (V_s) en profundidad en los perfiles 1D, asumiendo que la relación entre dichas velocidades es la ecuación (1) y V_s ocurre a una profundidad (H) que se relaciona con la longitud de onda (λ) a través de la ecuación (2).

$$\frac{V_s}{V_r} \approx 1,1 \quad (1)$$

$$H = \frac{\lambda}{3} \quad (2)$$

Aplicando las relaciones (1) y (2) para diferentes frecuencias se obtiene una curva de la velocidad de propagación en función de la frecuencia y esto se conoce como como curva de dispersión lo que permitió obtener el perfil de velocidades de corte en función de la profundidad [9].

Se realizó además una clasificación de los materiales geológicos a través de la V_s del subsuelo, utilizando los parámetros dictados por la Norma COVENIN 1756:2001 [2] donde la V_s promedio (V_{sp}) se calculó de la siguiente manera:

Primero, se calculó el tiempo que recorre la onda en cada estrato, dada por la sumatoria del tiempo que la onda tarda en recorrer el espesor $h_{e,i}$ con una velocidad $V_{sp,i}$ para cada intervalo, empleando la relación (3). Luego se obtiene la V_{sp} , la cual está definida por el espesor total de los estratos entre la sumatoria del tiempo recorrido (Te, i) por la onda:

$$\sum_{i=1}^n Te, i = \frac{h_{e, i}}{V_{sp, i}} \quad (3)$$

$$V_{sp} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n Te, i = \frac{h_{e, i}}{V_{sp, i}}} \quad (4)$$

Por otro lado, el valor de V_{s30} se calculó con la relación (5) para los primeros 30 m del subsuelo y así predecir el potencial de amplificación de la sacudida sísmica, este valor es usado en códigos internacionales de construcción:

$$V_{sp} = \frac{30}{\sum_{i=1-N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (5)$$

Ruido sísmico

Se adquirieron 140 estaciones [7] con un espaciamiento promedio de 500 m, con un registro de datos de 20 minutos, frecuencia de muestreo de 200 mps (ver figura 1), empleando un sismógrafo REFTEK 130, con un sensor banda ancha marca Güralp modelo (CMG-40T).

El programa empleado para el procesamiento de las señales fue Geopsy. Los registros fueron filtrados con un filtro pasa banda (0.2-40 Hz). El filtrado fue tipo coseno al 10%, para una ventana de muestreo de 20 s con una ganancia de 10 s y la extracción del valor medio de las amplitudes.

Después del filtrado de las señales, se calculó la relación espectral H/V, donde se observó la relación entre la frecuencia y la amplitud natural del sitio.

Luego se seleccionaron 90 picos de frecuencia bien definidos para generar un Mapa de Isoperiodos, descartando los otros 50 por presentar dos picos o más o no presentar un pico definido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ReMi

Se dividieron los perfiles realizados para evitar la dispersión de los datos y poder generar modelos 2D. Por ejemplo, el perfil 7 fue dividido en 3 perfiles nombrados 7.1, 7.2 y 7.3. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores de los modelos generados de los perfiles 7.1, 7.2 y 7.3

CAPA	PERFIL 7.1		PERFIL 7.2		PERFIL 7.3	
	Espesor(m)	Vs (m/s)	Espesor(m)	Vs (m/s)	Espesor(m)	Vs(m/s)
1	37	460	37	382	23	507
2	77	578	84	590	143	541
3	-	1543	-	1447	-	1309

El primer modelo 7.1 está al NW, el 7.3 al SE y el 7.2 entre ellos, con diferentes espesores y valores de velocidad, solo coinciden los espesores en los primeros 37 metros para los perfiles 7.1 y 7.2, luego para el perfil 7.3 disminuye. La velocidad de los primeros 37 m está en un rango entre 382 m/s y 507 m/s. Analizando gráficamente los modelos 1D y 2D (Figura 2 b y c), se ve un pequeño engrosamiento en dirección sureste de las capas. Además, el modelo 1D muestra que las capas se ajustan a los cambios de velocidad del modelo 2D, presentando un cambio de velocidad a los 37m, a los 50 m y a los 77m (Figura 2 c). Este mismo procedimiento se repitió para los perfiles 3, 9, 10, 11, 12,13, y 16.

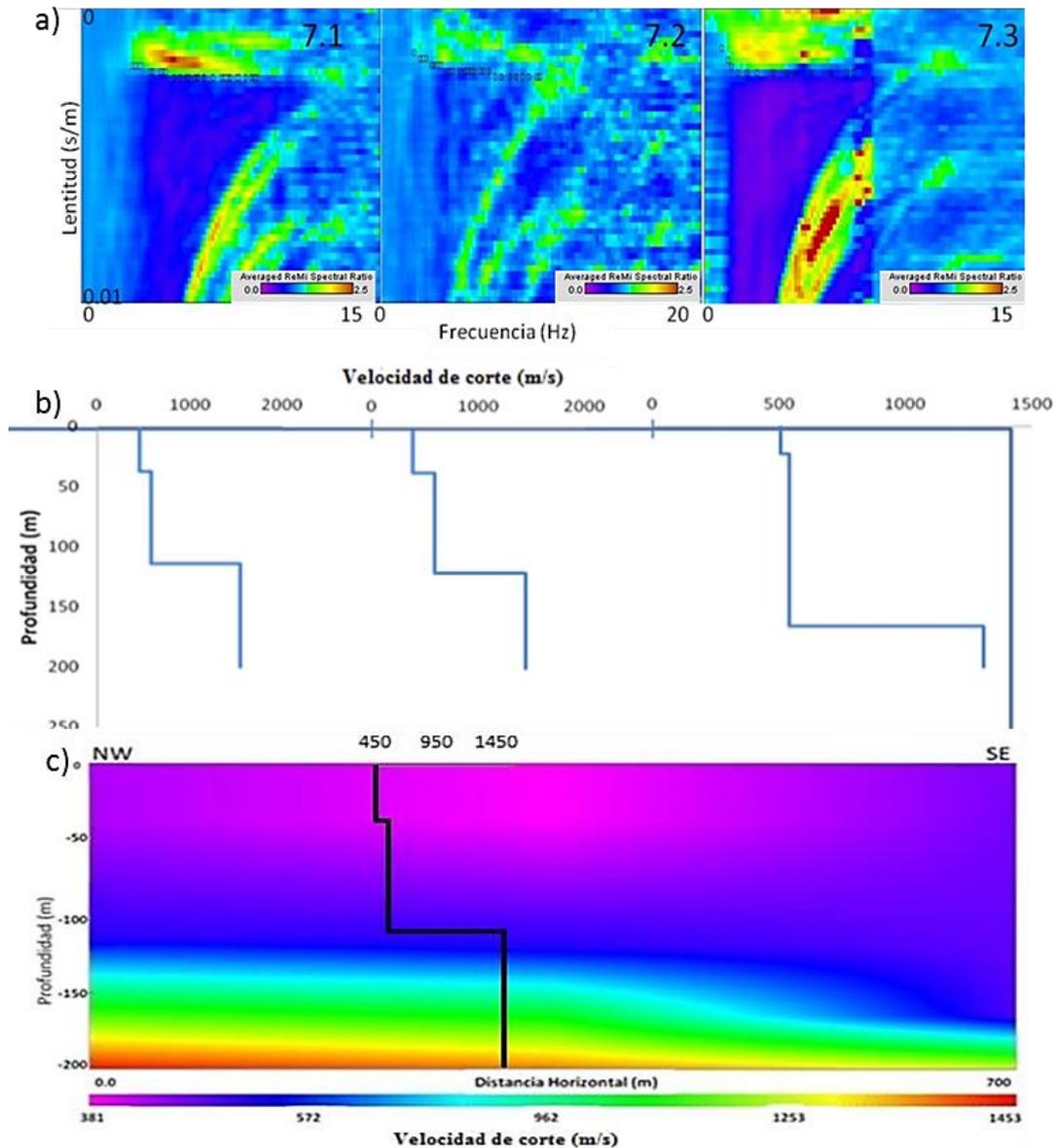


Figura 2. (a) Curvas de dispersión lentitud-frecuencia, (b) Modelos 1D (profundidad- velocidad de corte) de los perfiles 7.1, 7.2. y 7.3, (c) Modelo 2D integración con el perfil 1D del perfil 7 (línea negra) (Pastor, 2014).

El mapa de distribución de los valores de V_{s30} obtenido se muestran en la figura 3. En general, la zona presenta altos valores de velocidades con un máximo de 580 m/s hacia el noreste de la ciudad y un mínimo de 300 m/s en la parte central.

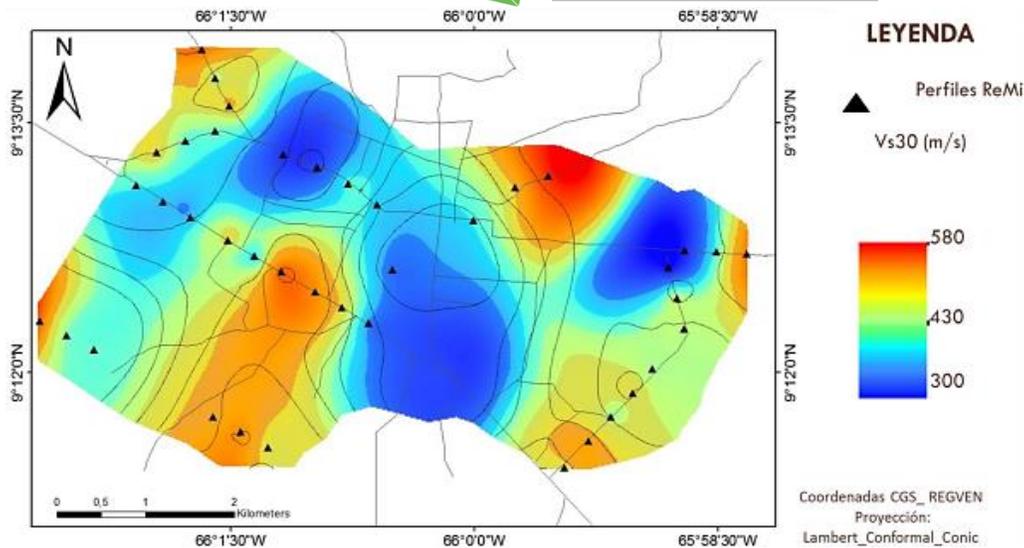


Figura 3. Mapa de distribución de velocidad V_{s30} en Valle de la Pascua. (Tomado de Pastor, 2014)

Comparando los valores de V_{s30} con los V_{sp} de la norma se puede observar que la parte central de Valle de la Pascua tiene un valor espectral predominante S2 y en algunos casos S1, lo que corresponde a suelos duros o densos y roca blanda o meteorizada respectivamente.

Para analizar las profundidades en la zona, se tomó en cuenta que la Formación Quiamare tiene grandes espesores de arcillas de distintos colores con intercalaciones de conglomerados con mala cementación y lutitas micáceas [10]. Sin embargo, los modelos 1D y 2D de los perfiles de ReMi resultan insuficientes para alcanzar el basamento rocoso de la ciudad, por tanto se estableció un basamento sísmico con una velocidad entre 1200 y 1500 m/s, el cual se ubica a 100 – 150 m de profundidad.

Ruido sísmico:

Luego de procesar los datos de ruido sísmico, se obtienen tres grupos de curvas de relación H/V en función de la frecuencia. El primer caso se observa en la figura 4, donde las curvas presentan un pico de frecuencia fundamental bastante claro, con un rango que va entre 3 y 6 Hz (0,15 – 0,35 s). El segundo caso corresponde a picos donde existen dos frecuencias fundamentales, que requieren de mayor análisis tanto espacial como geológico para poder escoger un valor (ver figura 5a) y por último perfiles donde no se observa ningún pico de frecuencia claro (Figura 5b), los cuales deben ser descartados o estudiados con mayor detalle para discriminar si son considerados en el estudio.

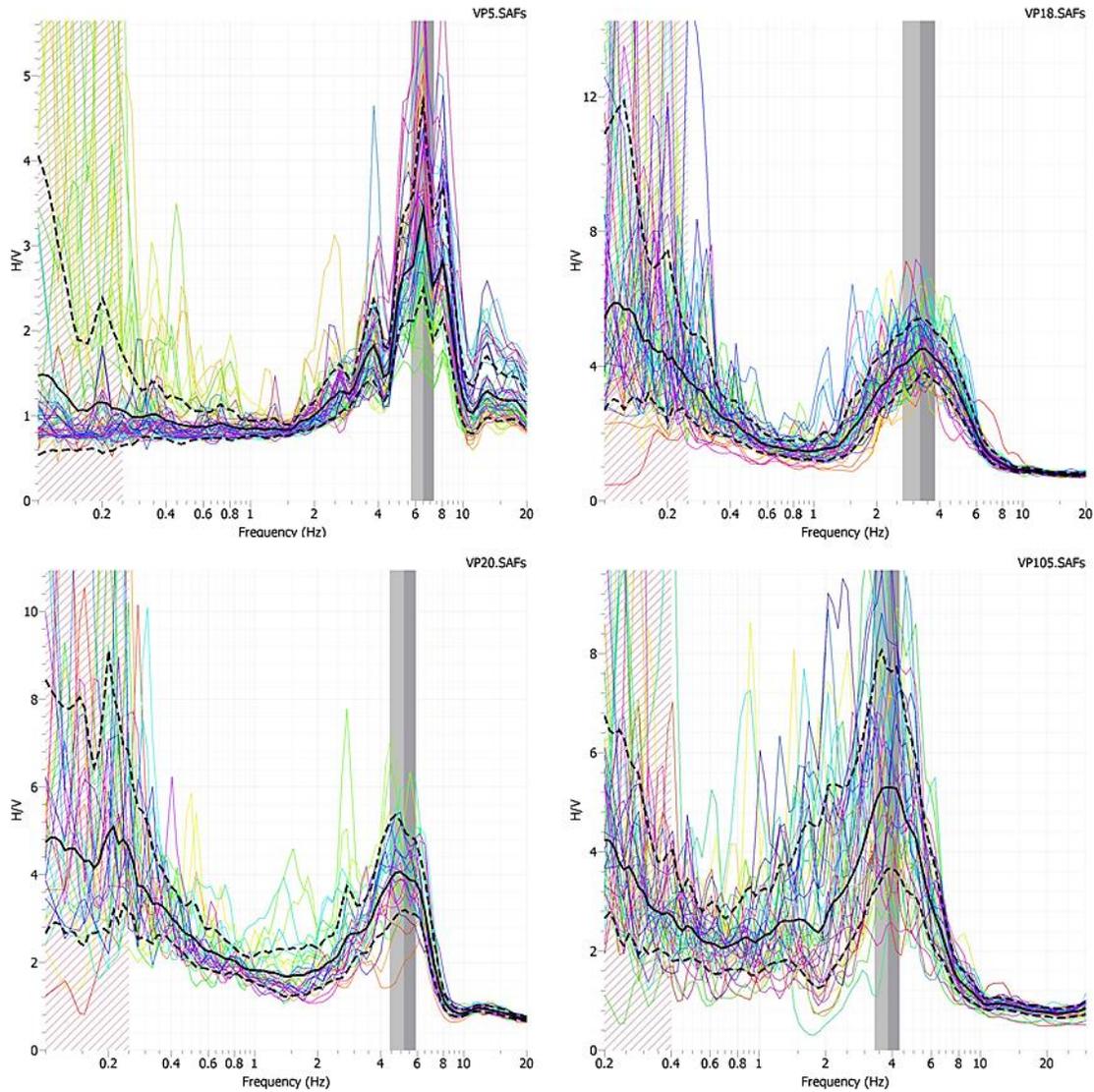


Figura 4. Gráfico de relación H/V en función de la frecuencia para los perfiles VP5, VP18, VP20 y VP105.

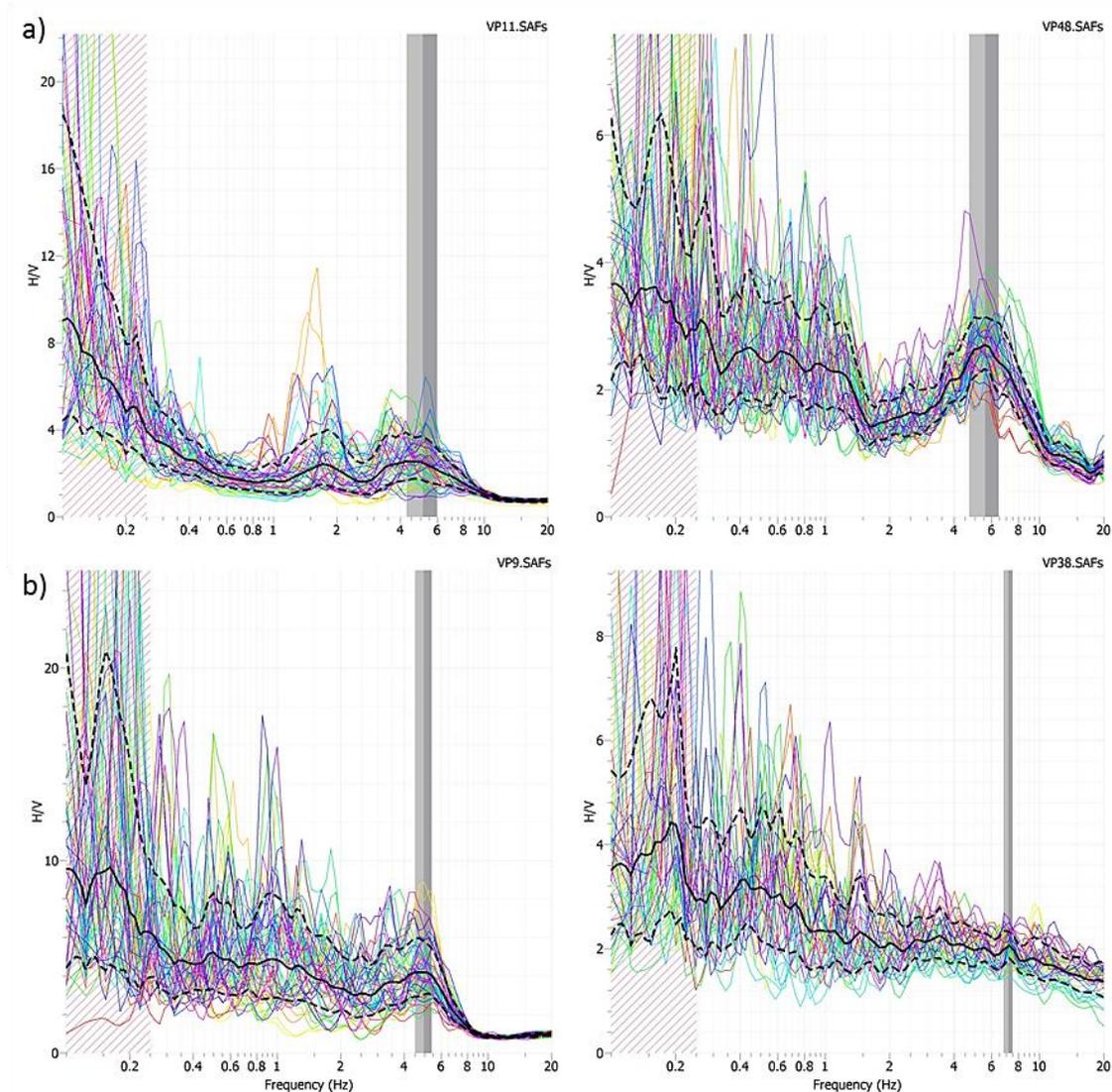


Figura 5. Gráfico de relación H/V en función de la frecuencia para los perfiles VP11, VP48 (curvas con dos picos de frecuencia), VP9 y VP38 (curvas sin picos claros).

Luego de descartar los perfiles donde no se tenían picos definidos (50 perfiles), se obtuvo el mapa que se muestra en la figura 6. Se observan los valores: mínimo (0.09 s) y máximo (0.37 s) de período en la parte central de la ciudad, mientras que la parte norte tiene bajos valores de período lo que se puede interpretar como una zona de alta frecuencia y más somera que la parte sur, ya que esta tiene valores más altos de periodos (0.3-0.37 s).

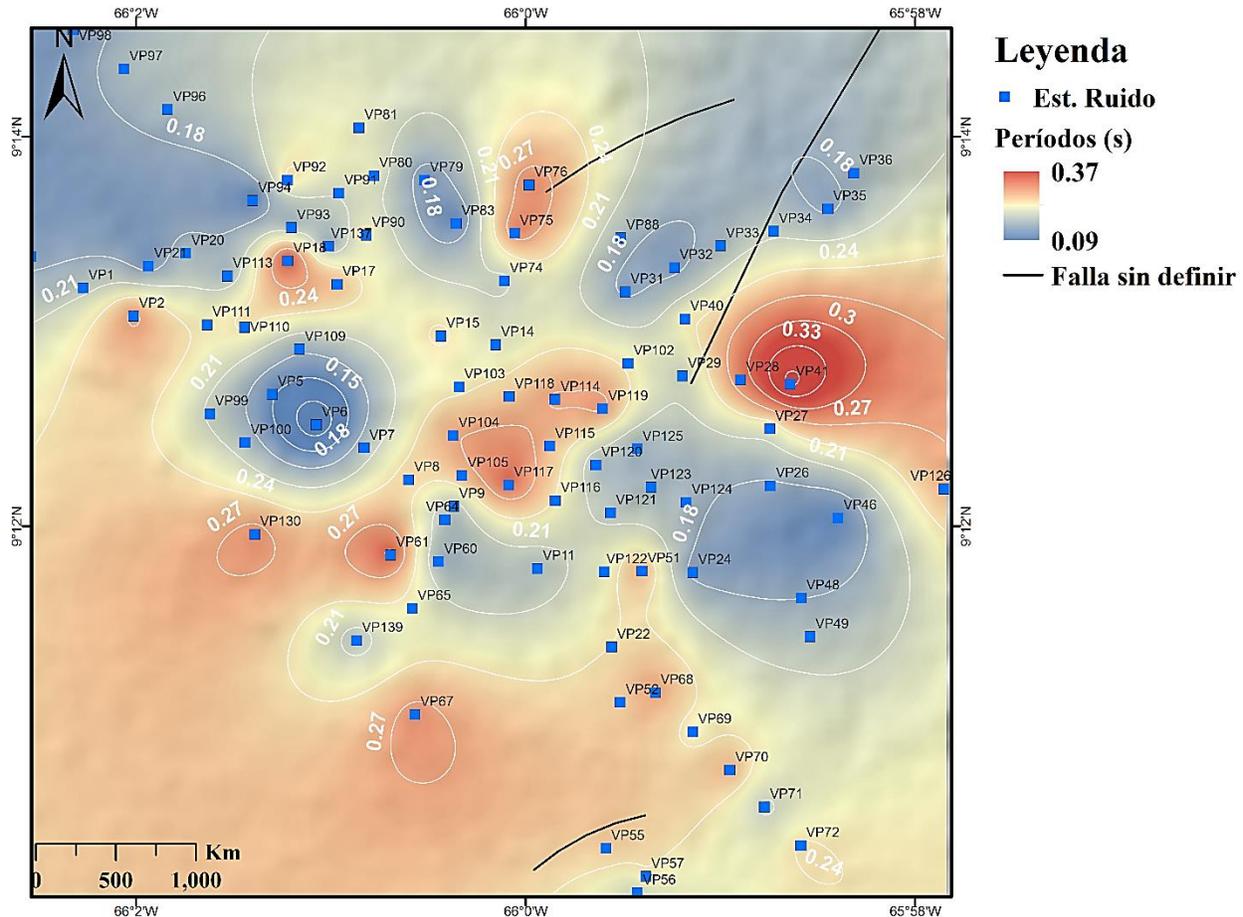
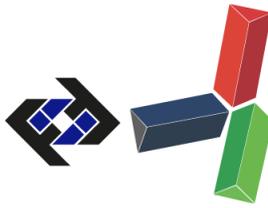
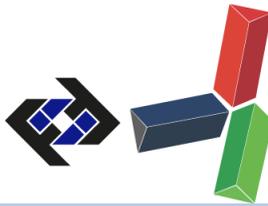


Figura 6. Mapa de Isoperiodos de Valle de la Pascua

CONCLUSIONES

De acuerdo a los estudios realizados en la ciudad se concluye:

- Los valores de V_{s30} oscilan entre 300 y 600 m/s, suelos bastante rígidos, que se podrían clasificar como suelos para los cuales aplican las formas espectrales S2 y en algunos casos S1 de la norma COVENIN 1756:2001.
- Los suelos rígidos muestran frecuencias fundamentales generalmente entre 3 y 6 Hz (0,15 – 0,35 s de período predominante).
 - Se identificó una velocidad de ondas de corte de aproximadamente 1200 a 1500 m/s como basamento sísmico, ubicado a profundidades de 100 a 150 m de profundidad.
 - La distribución de velocidades está, posiblemente, asociada a cambios litológicos de la Formación Quiamare, los cuales son secuencias de arcilitas con intercalaciones de areniscas y lutitas.
 - Dada la baja amenaza sísmica de la región, las condiciones del subsuelo son generalmente favorables. Se sugiere prestar atención a potenciales problemas geotécnicos por la presencia de arcillas expansivas.



REFERENCIAS

- [1] C. González de Juana, "Estudio de aguas subterráneas en los Llanos de Venezuela," *Revista del Ministerio de Fomento*, vol. 64, pp. 47-51, 1946.
- [2] COVENIN, 2001. Edificaciones Sismorresistentes: Norma Venezolana COVENIN 1756:2001. Comisión Venezolana de Normas Industriales, FONDONORMA, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Infraestructura, FUNVISIS, Caracas.
- [3] Hernández, J.J., Schmitz, M., Paolini, M., Delgado, Y., 2017. Caracterización y mapas de amenaza sísmica de Venezuela para la actualización de la norma COVENIN 1756. XI CONVESIS, Caracas, del 17 al 19 de julio de 2017, Resumen in Extenso, CONV-082, 12 pp.
- [4] F. Yoris and M. Ostos, "Geología de Venezuela *WEC Venezuela 1997- Evaluación de Pozos*," pp. 1-44, 1997.
- [5] PDVSA-INTEVEP. (2011). *Código Estratigráfico de Las Cuencas Petroleras de Venezuela*. Available: <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>
- [6] G. Young, A. Bellizzia, H. H. Renz, F. W. Johnson, R. H. Robie, and J. Masvall, "Geología de las cuencas sedimentarias de Venezuela y de sus campos petrolíferos," *Boletín Geológico*, vol. 2, p. 140, 1956.
- [7] A. Natera, G. Rumbos, and E. Amaris, "Adquisición, procesamiento e interpretación de datos de ruido sísmico ambiental aplicando el método e Nakamura (Relación H/V), en Valle de la Pascua estado Guárico," FUNVISIS, 2011.
- [8] P. Pastor, "Caracterización de los sedimentos someros y profundos en Valle de la Pascua, Estado Guárico, Aplicando el Método ReMi," Pregrado., Ciencias de la Tierra, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas 2014.
- [9] R. Jones, "In- situ measurement of the dynamic properties of soil by vibration methods," *Geotechnique*, vol. 8, pp. 1-21, 1958.
- [10] C. M. Beck, "El substrato cretáceo de la faja piemontina en la parte central de la Serranía del Interior, en Venezuela septentrional. ," *Caribbean Geol.*, vol. Confr.:8-9., 1977.