

Estimación de valores de Vs30 por topografía en el Área Metropolitana de Mérida como aporte a la microzonificación sísmica de la región

Estimation of Vs30 values by topography in the Mérida Metropolitan Area as a contribution to the seismic microzonation of the region

María Saavedra

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
Departamento de Geofísica
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8128-254x>
marijsa1991@gmail.com
Miranda-Venezuela

Michael Schmitz

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas
Departamento de Geofísica
Universidad Simón Bolívar Universidad Central de Venezuela
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4543-2352>
schmitzschutt@gmail.com
Miranda-Venezuela

Freddy Rondón

SustentaCorp. Departamento de Geofísica terrestre
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0659-3719>
frondon@sustentacorp.com
Montevideo-Uruguay

Resumen

El Área Metropolitana de Mérida se ubica en el sistema de fallas de Boconó, una zona de alta amenaza sísmica con aceleraciones estimadas entre 0,21g y 0,36g. Localmente, la región está asentada sobre depósitos cuaternarios (terrazas y abanicos aluviales) que amplifican el movimiento sísmico (efecto de sitio), incrementando el riesgo para infraestructuras y población. Los estudios existentes se han enfocado principalmente en el núcleo urbano de los municipios Campo Elías, Libertador y Santos Marquina, dejando sin caracterizar las áreas periféricas dentro de estos. Esta limitación es particularmente relevante considerando que las regulaciones sismorresistentes se implementan a escala municipal, por lo que la efectividad en su promulgación depende de una cobertura territorial completa. Este estudio busca superar estas limitaciones aplicando la metodología de Allen y Wald (2009) para estimar el Vs30 mediante datos topográficos, permitiendo una caracterización de los efectos de sitio en toda el área municipal. Los resultados identificaron tres zonas principales: zonas de baja velocidad (300-400 m/s), correspondiente a depósitos sedimentarios; zonas intermedias (400-650 m/s) correspondiente a transiciones entre unidades geológicas y zonas de alta velocidad (≥ 650 m/s) correspondientes a pendientes rocosas consolidadas. La metodología demostró ser particularmente útil para extrapolalar información a zonas sin datos directos, manteniendo coherencia con mediciones en sitio. La investigación proporciona la primera base técnica integral para el desarrollo de normas sismorresistentes municipales que cubran la totalidad del territorio, incluyendo áreas no consideradas previamente. Este enfoque metodológico representa una solución costo-efectiva para la gestión del riesgo sísmico en regiones con datos limitados.

Abstract

The Metropolitan Area of Mérida is situated within the Bocono fault system, a region characterized by high seismic hazard with estimated ground accelerations ranging from 0.21g to 0.36g. Locally, the area rests on Quaternary deposits (terraces and alluvial fans) which amplify seismic shaking (site effect), thereby increasing the risk to infrastructure and the population. Previous research has mainly concentrated on the urban centers of the Campo Elias, Libertador, and Santos Marquina municipalities, without characterizing the surrounding areas within these municipalities. This limitation holds particular significance given that earthquake-resistant regulations are enforced at the municipal level, making complete territorial coverage crucial for their effective implementation. The aim of this study is to address these limitations by employing the Allen and Wald (2009) methodology for Vs30 estimation via topographic data, thus allowing for the characterization of site effects throughout the municipality. The results revealed three primary zones: low-velocity zones (300-400 m/s), characterized by sedimentary deposits; intermediate zones (400-650 m/s), characterized by transitions between geological units; and high-velocity zones (≥ 650 m/s), characterized by consolidated rocky slopes. The methodology demonstrated its particular utility in extrapolating information to areas lacking direct data, while maintaining coherence with field measurements. This investigation establishes the first comprehensive technical foundation for the development of municipal seismic-resistant codes that encompass the entire territory, including areas not previously taken into account. This methodological approach offers a cost-effective solution for managing seismic risk in data-scarce regions.

Palabras clave:

Amenaza sísmica; Vs30; efecto de sitio; pendiente topográfica; construcciones sismorresistentes

Keywords:

Seismic hazard; Vs30; site effect; topographic slope; seismic-resistant constructions



Introducción

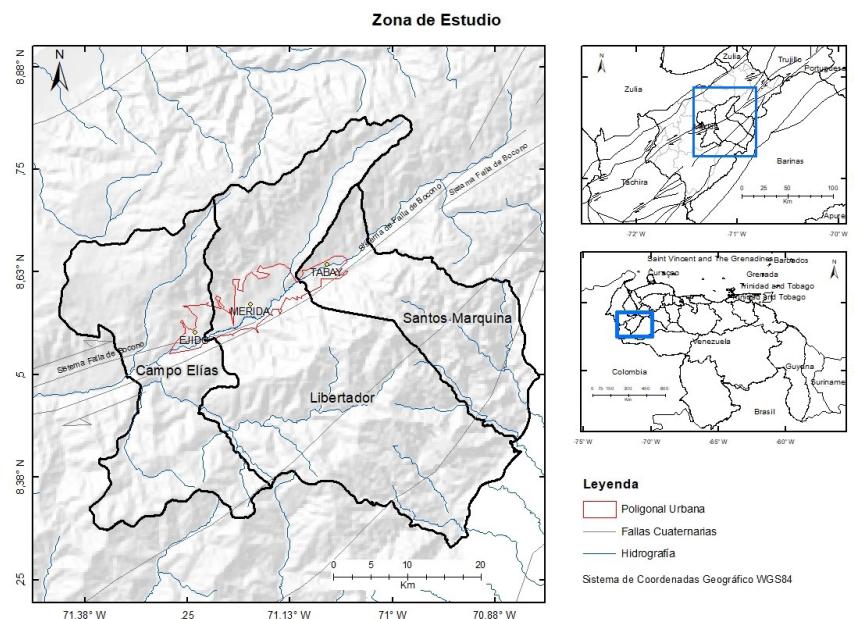
La amenaza sísmica en el Área Metropolitana de Mérida (AMM), localizada en el sistema de fallas de Boconó, presenta los mayores valores de aceleración sísmica en el occidente de Venezuela (A_0 : 0,21g-0,36) (Covenin, 2019). Esta área se encuentra asentada principalmente sobre depósitos sedimentarios de tipo terrazas y abanicos aluviales formados principalmente por los aportes laterales de las formaciones Mucujún, La Quinta, Palmarito, la Asociación Sierra Nevada, y un menor aporte de las formaciones Sabaneta, Capacho, La Luna, San Javier y Aguardiente (Cerrada *et al.*, 2015). Por lo tanto, las condiciones locales del suelo pueden amplificar el movimiento sísmico debido a su configuración y propiedades, lo que se conoce como "efecto de sitio". Anteriormente, se han implementado ordenanzas para edificaciones sismorresistentes en Barquisimeto y el Área Metropolitana de Caracas, aprobadas bajo el marco del Proyecto de Gestión de Riesgo para Estudios Geofísicos en Cuencas Urbanas en Venezuela, sin embargo, el AMM, que abarca, los municipios Santos Marquina, Libertador y Campo Elías (ver Figura N° 1), carece aún de una regulación

para construcciones sismorresistentes basada en estudios geofísicos actualizados.

Uno de los primeros pasos para la creación de una ordenanza para construcciones sismorresistentes es la caracterización del suelo en base a sus parámetros geotécnicos, que incluyen la estratigrafía y la geometría de los depósitos. El objetivo es definir el área por uno o varios perfiles geotécnicos caracterizados por su clase de sitio, su condición topográfica y la profundidad al basamento rocoso.

La clase de sitio representa el grado de rigidez mecánica de las capas de terreno, cuyo índice cuantitativo es la velocidad promedio de las ondas de corte en los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}) (Covenin, 2019). El parámetro V_{s30} puede determinarse mediante mediciones geofísicas directas (métodos sísmicos, mediciones de ruido ambiental, análisis de ondas superficiales, entre otros), o métodos indirectos sustentados estadísticamente como los derivados del relieve.

Figura N° 1. Municipios Campo Elías, Libertador y Santos Marquina del estado Mérida



Fuente: Cerrada *et al.* (2015).

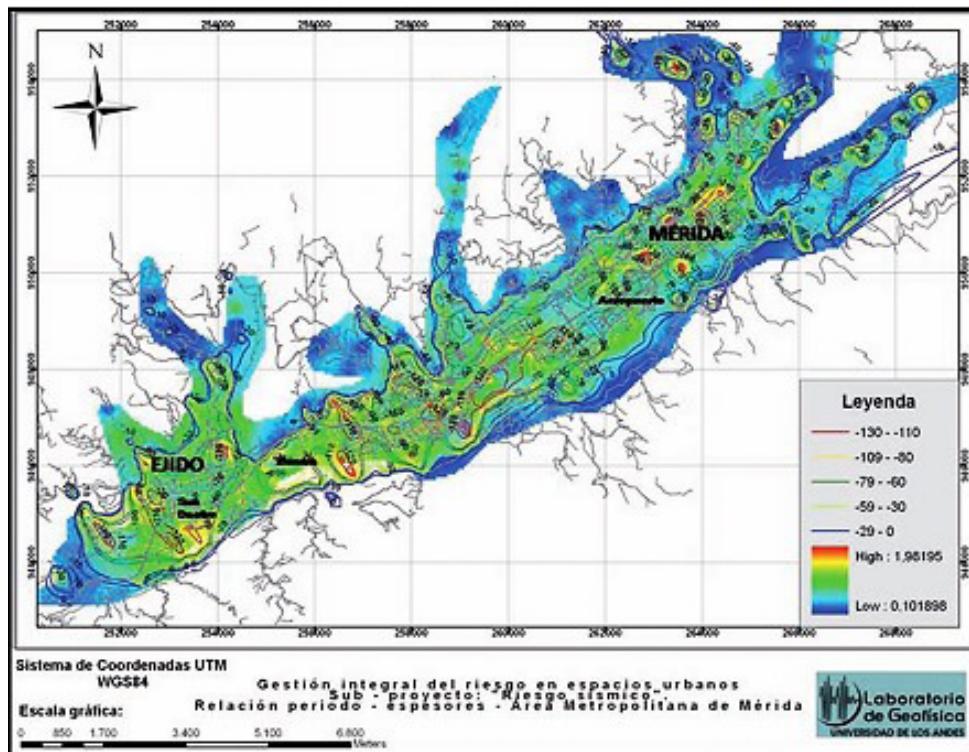


Previamente, se han realizado estudios para la caracterización geofísica del suelo en el AMM entre los años 2007 y 2009 para caracterizar la región en base a espesores de sedimentos y velocidades de las ondas P y de las ondas S de las capas más superficiales del área. Dentro de estos estudios tenemos:

- **Ruido Sísmico Ambiental y Gravimetría:** 654 mediciones adquiridas entre los meses de septiembre de 2008 y mayo de 2009 (Mazuera-Rico *et al.*, 2009; Rivera y Yegres, 2009; Zambrano, 2009); 553 mediciones gravimétricas adquiridas entre los meses de abril y mayo de 2008 (Nava, 2009). Con la integración de estos estudios se obtuvo un mapa de contornos de los espesores de sedimentos (ver Figura N° 2), con los mayores espesores localizados en la parte central de la terraza de Mérida y en la ciudad de Ejido (Cerrada *et al.*, 2015).

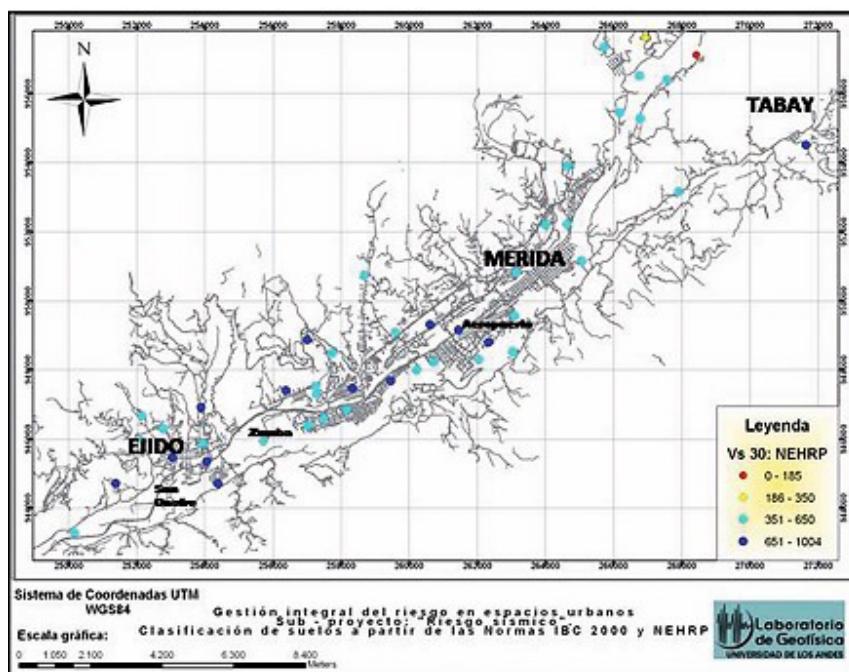
- **Sísmica de Refracción:** 62 perfiles sísmicos someros con longitudes de aproximadamente 94 m en toda el área metropolitana adquiridos durante los años 2007 – 2009 (Cerrada y Mora, 2007; Rivera y Yegres, 2009; Zambrano, 2009). Se pudo determinar que las velocidades de la onda de corte de los primeros 30 metros de profundidad (Vs30) varían entre 185 y 1004 m/s (ver Figura N° 3), indicando, según la norma (Covenin, 2019) y la clasificación del Programa Nacional de Reducción del Riesgo Sísmico (NEHRP *Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures*, 1997), la presencia de suelos densos ($180 \text{ m/s} < Vs < 360 \text{ m/s}$), suelos muy densos ($360 \text{ m/s} < Vs < 760 \text{ m/s}$) y suelos tipo roca ($760 \text{ m/s} < Vs < 1500 \text{ m/s}$) (Cerrada *et al.*, 2015).

Figura N° 2. Mapa de espesores sedimentarios del Área Metropolitana de Mérida



Fuente: Cerrada *et al.* (2015).

Figura N° 3. Velocidades de onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad (Vs30) obtenidas mediante sísmica de refracción



Fuente: Cerrada *et al.* (2015).

Dado que la información geotécnica disponible en la zona de estudio no abarca la totalidad de los tres municipios que contienen el AMM (Campo Elías, Libertador y Santos Marquina), es conveniente emplear otra metodología para extender la determinación del Vs30 en toda la región. Este estudio tiene como objetivo generar un mapa de Vs30 basado en la topografía, siguiendo la metodología propuesta por Allen y Wald (2009) y Morales *et al.*, (2011), para comparar e integrar los resultados obtenidos con los de estudios previos, ampliar la caracterización del suelo en toda la extensión de los tres municipios y generar una base técnica para la regulación para construcciones sismorresistentes.

Topografía como indicador de las condiciones sísmicas de un sitio

Una de las primeras relaciones entre la topografía y las condiciones sísmicas la establecen Allen y Wald (2007),

quienes analizaron la posibilidad de utilizar datos de elevación topográfica, disponibles de manera uniforme a nivel global, como una alternativa para caracterizar las condiciones geotécnicas y geológicas en regiones donde la información sobre la geología superficial y la velocidad de las ondas de corte es inexistente, de calidad variable o difícilmente accesible. Su estudio parte de la premisa de que las variaciones topográficas pueden ser un indicador confiable de la geomorfología y litología cercanas a la superficie. Plantearon que la pendiente del terreno o gradiente podría ser un factor diagnóstico del Vs30, ya que los materiales más competentes (de mayor velocidad) tienden a formar pendientes pronunciadas, mientras que los sedimentos en cuencas profundas suelen acumularse en áreas de gradientes bajos. Además, exploraron la relación entre la finura de los sedimentos y la pendiente, destacando cómo los depósitos aluviales gruesos de abanicos escarpados transicionan a sedimentos más finos en pendientes



menores, como resultado de procesos fluviales y pluviales de menor energía.

En su trabajo, Allen y Wald (2007) emplearon datos topográficos de 30 segundos de arco para correlacionarlos con mediciones de Vs30 en zonas de tectónica activa, debido a la falta de conjuntos de datos globales de mayor resolución. Aunque estudios previos demostraron que datos más detallados pueden mejorar la resolución local, la disponibilidad uniforme de estos a escala global sigue siendo limitada. A partir de estas correlaciones, desarrollaron mapas de Vs30 basados en la pendiente topográfica, evaluando su precisión visual y estadísticamente al compararlos con observaciones directas y con mapas de Vs30 existentes. Este enfoque también se aplicó a regiones continentales estables, generando mapas regionales de condiciones del sitio para los Estados Unidos, lo que demostró el potencial de los datos topográficos para predecir características del subsuelo a escala global.

Posteriormente, Morales *et al.* (2011) utilizaron la metodología anterior para elaborar un mapa de la distribución de velocidades de onda de corte (Vs30) para la ciudad de Caracas. Para ello, realizaron un ajuste racional-polínómico de la relación entre Vs30 y la pendiente topográfica para resoluciones de 9 segundos de arco en regiones tectónicamente activas (Allen y Wald, 2009). Esto se reduce a la siguiente expresión:

$$Vs_{30} = \frac{2046p^3 + 1612p^2 + 377,4p + 1,259}{p + 0,007324} \text{ (m/s)} \quad (1)$$

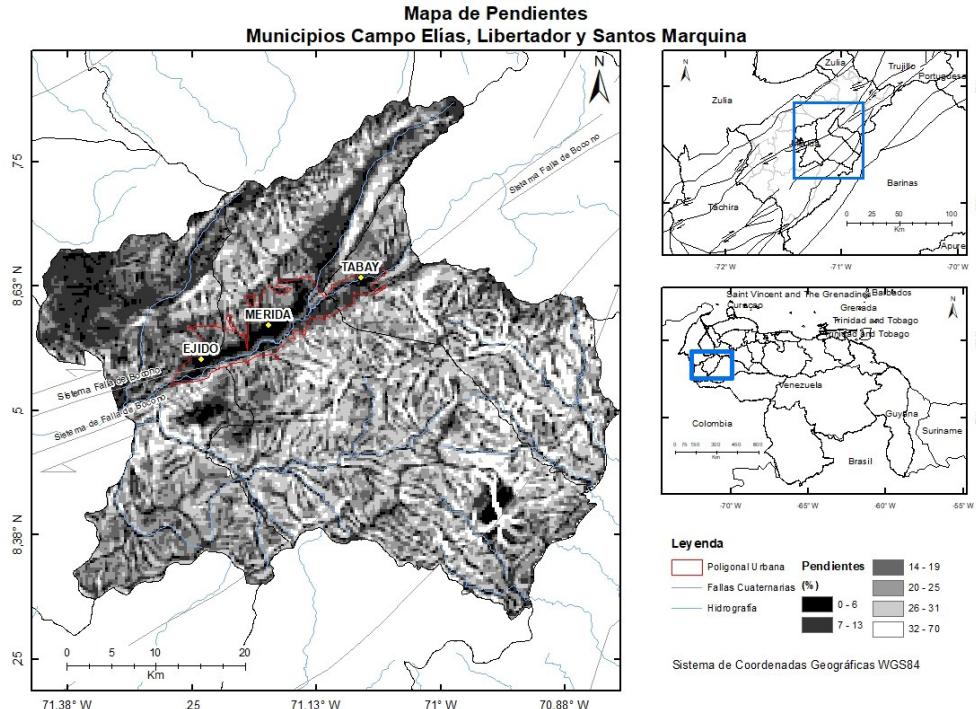
Donde p es el valor de la pendiente en unidades naturales (m/m). La expresión anterior es la primera relación cuantitativa entre la pendiente topográfica y la velocidad de onda de corte para estimar las condiciones geotécnicas y sísmicas en una ciudad de Venezuela y es válida para valores de $p \leq 0,2$.

Metodología

Para realizar el cálculo de Vs30 en los tres municipios que abarca el AMM (municipios Campo Elías, Libertador y Santos Marquina), se empleó un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de nueve segundos de arco (tamaño de celda de 300 m por 300 m), derivado de una imagen matricial proporcionada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Utilizando el software de ArcMap, se obtuvo un mapa de pendientes expresadas en porcentaje a partir del DEM anterior (ver Figura N° 4), valores necesarios como parámetro de entrada para el cálculo del Vs30 mediante el uso de la expresión 1. Posteriormente, los valores de pendiente fueron convertidos a números decimales, es decir, el rango de pendientes se normalizó entre 0-1, y mediante la herramienta *Raster Calculator* de ArcMap, se incorporó la expresión matemática propuesta por Morales *et al.* (2011) para estimar el Vs30 en cada celda.



Figura N° 4. Mapa de pendientes en formato raster de los municipios Campo Elías, Libertador y Santos Marquina del estado Mérida



Fuente: Morales *et al.* (2011).

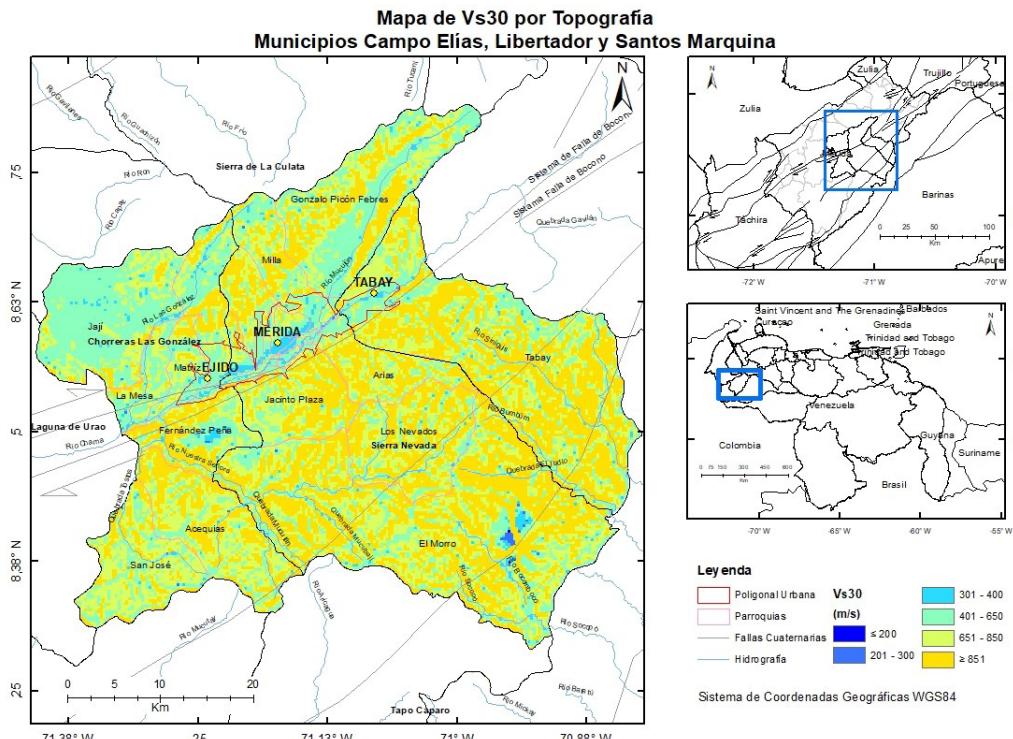
Resultados y Discusión

La Figura N° 5 muestra el mapa de distribuciones de valores de Vs30 obtenidos a través de datos topográficos para los municipios Campo Elías, Libertador y Santos Marquina del estado Mérida. Las velocidades se clasificaron en seis rangos según las clases de sitio DE, D, CD, C, BC y B de la norma Covenin 1756-1 (Tabla N° 1). Se identifican tres rangos principales de velocidades predominantes en los tres municipios estudiados:

- 300-400 m/s, correspondiente a los sedimentos de la terraza.
- 400-650 m/s, correspondiente a las zonas aledañas a la terraza.
- ≥ 650 m/s, asociado a las formaciones geológicas laterales.



Figura N° 5. Mapa de Vs30 por topografía en los municipios Campo Elías, Libertador y Santos Marquina del estado Mérida



Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla N° 1. Clase de sitio de los perfiles geotécnicos

CLASE	DESCRIPCIÓN CUALITATIVA	V _{s30} (m/s)
A	Roca cristalina sana muy dura, sin fracturación ni meteorización notable.	>1500
AB*	Propiedades intermedias entre las clases A y B.	1300 a 1500
B	Roca dura o formación similar (e.g conglomerados), con eventual fracturación y un máximo de 5 metros de espesores de meteorización con $V_s \geq 350$ m/s.	850 a 1300
BC*	Propiedades intermedias entre las clases B y C.	650 a 850
	1) Roca dura con espesores meteorizado superior a 5 metros.	
C	2) Roca blanda (e.g margas). 3) Arnas o gravas muy densas. 4) Arcillas muy duras.	300 a 400
CD*	Propiedades intermedias entre las clases C y D.	200 a 300
	1) Arenas o gravas densas a medio-densas.	
D	2) Arcillas duras. 3) Arcillas firmes de menos de 30 metros de espesor.	170 a 200



CLASE	DESCRIPCIÓN CUALITATIVA	V _{s30} (m/s)
D E*	Propiedades intermedias entre las clases D y E.	-69,376
E	1) Arenas sueltas o arenas limosas, con suficiente proporción de finos no susceptibles de licuación, de acuerdo con 5.5. 2) Arcillas blandas, plásticas ($IP \geq 20$) u orgánicas, no incluidas en la Clase F.	120 a 170
F**	Arenas o arenas limosas susceptibles de licuación***, arcillas sensibles, arcillas expansivas, suelos cementados colapsables, turbas o arcillas orgánicas de más de 3 metros de espesor, arcillas firmes o blandas con más de 30 metros de espesor, rellenos artificiales con o sin pendiente y sitios con $V_{s30} < 120$ m/s.	variable; incluye el caso de $V_{s30} < 120$

Fuente: Tomado de la Norma Covenin 1756-1 (2019).

En el municipio Campo Elías, se destacan dos regiones con bajo gradiente topográfico. La primera región se encuentra en el límite noroeste del municipio, específicamente en la parroquia Jají, con velocidades predominantes de 400 a 650 m/s. La segunda región se localiza en el borde sur de la terraza (Parroquia Fernández Peña), con velocidades que oscilan entre 300 y 400 m/s. Una situación similar se observa en el municipio Libertador, a lo largo del río Mucujún (Parroquia Gonzalo Picón Febres), donde una zona de bajo gradiente topográfico presenta velocidades entre 400 y 650 m/s. Dado que la metodología utilizada se basa en la correlación entre topografía y geología, específicamente en la relación entre el gradiente topográfico y la competencia de los materiales, se considera que los materiales más densos (de mayor velocidad) tienden a formar pendientes pronunciadas, mientras que los sedimentos suelen depositarse en áreas de gradiente muy bajo. Por lo tanto, estas zonas de bajo gradiente topográfico pueden interpretarse como depósitos asociados a los sistemas de drenaje presentes en el área.

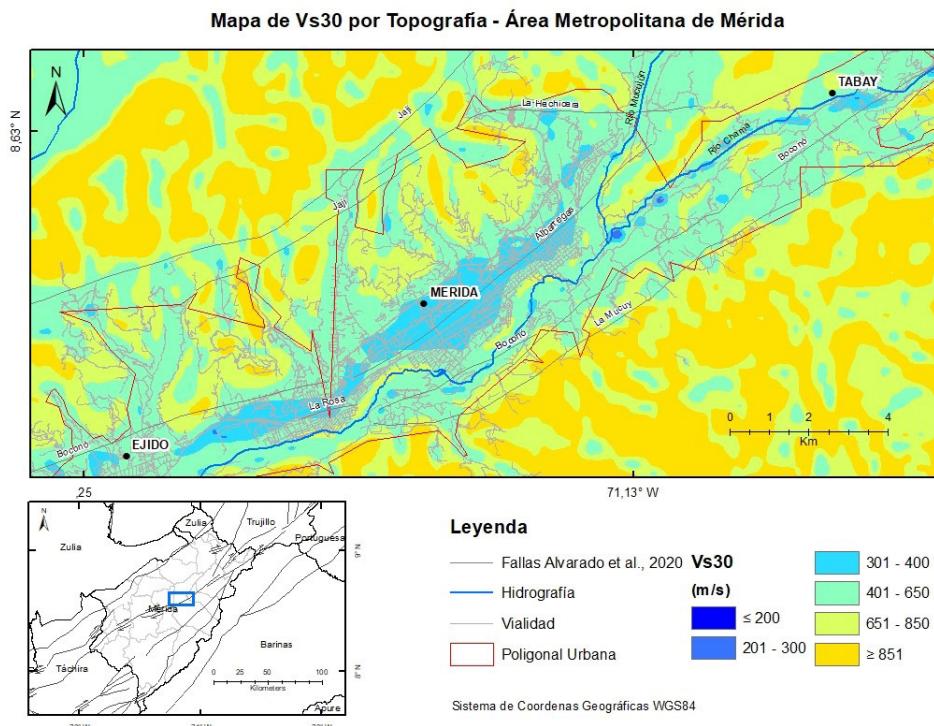
En el área metropolitana (ver Figura N° 6), los valores de V_{s30} derivados de la topografía varían entre 300 y 650 m/s. Según la norma Covenin, este rango de velocidades corresponde a dos clases de sitio: clase C, que incluye sedimentos muy densos o roca blanda a meteorizada, con velocidades entre 400 y 650 m/s, y clase CD, que representa un tipo intermedio entre las clases C y D, siendo esta última característica de sedimentos densos. El área metropolitana

de Mérida se distingue por una notable heterogeneidad en sus propiedades físicas, ya que está asentada sobre sedimentos cuaternarios, principalmente terrazas y abanicos aluviales, cuya fuente son las formaciones geológicas adyacentes (Mucujún, La Quinta, Palmarito, la Asociación Sierra Nevada, Sabaneta, Capacho, La Luna, San Javier y Aguardiente). En el área metropolitana también se puede observar una clara delimitación del contacto roca-sedimento en el límite sur de la terraza, donde las velocidades superan los 650 m/s, indicando una transición hacia materiales más competentes.

Las zonas ocupadas por el Parque Nacional Sierra Nevada en los municipios Libertador y Santos Marquina presentan valores de V_{s30} que superan los 850 m/s (ver Figura N° 5). Esto se debe a que el parque se encuentra sobre terrenos con afloramientos rocosos, los cuales suelen exhibir V_{s30} elevadas debido a su alta consolidación y rigidez. En contraste, las áreas urbanizadas del AMM que están asentadas sobre depósitos aluviales o sedimentarios menos consolidados, donde la V_{s30} tiende a ser menor (300–600 m/s).



Figura N° 6. Mapa de Vs30 por topografía en el Área Metropolitana de Mérida



Fuente: Elaboración propia (2025).

Al comparar estos resultados con los estudios previos (Cerrada *et al.*, 2015), se confirma que los mayores espesores sedimentarios y períodos fundamentales se concentran en la terraza aluvial, coincidiendo con bajos valores de Vs30 (300-650 m/s), típicos de depósitos densos no consolidados. Sin embargo, mientras Cerrada y Mora (2007); Rivera y Yegres (2009); Zambrano (2009) reportan valores de Vs30 de 350-650 m/s para suelos densos y 651-1000 m/s para suelos tipo roca en el AMM, este estudio identifica que los máximos valores en la terraza no superan los 650 m/s, mostrando discrepancias puntuales con mediciones sísmicas directas que registran valores más altos. Aunque los métodos *in situ* (como la sísmica de refracción) suelen ser más precisos, la consistencia de la mayoría de los datos (<650 m/s en la terraza) sugiere dos hipótesis: (1) las velocidades cercanas al límite inferior del rango de los suelos tipo roca (651 m/s) podrían estar camufladas,

o (2) factores geológicos locales, como heterogeneidades en la compactación o contenido de agua, que no fueron capturados por el modelo topográfico. Esta incertidumbre resalta la importancia de integrar múltiples metodologías, ya que la mejor correlación se observa entre los estudios de ruido sísmico (Mazuera-Rico *et al.*, 2009; Rivera y Yegres, 2009; Zambrano, 2009) y gravimetría (Nava, 2009).

Conclusión

La metodología desarrollada por Allen y Wald (2007) se consolida como una herramienta eficaz para estimar indirectamente Vs30 en regiones con escasa información geotécnica o de acceso restringido. Su enfoque permite complementar estudios previos y ampliar la caracterización del subsuelo en áreas donde los métodos directos (como mediciones *in situ*) resultan inviables. Para adaptar



esta metodología al contexto venezolano —una región tectónicamente activa—, se empleó el ajuste racional-polínómico propuesto por Morales *et al.* (2011), el cual define la relación entre las velocidades de onda de corte y las pendientes topográficas originalmente establecida por Allen y Wald (2009).

La aplicación de esta metodología ha permitido caracterizar una de las propiedades geotécnicas del subsuelo en los municipios de Campo Elías, Libertador y Santos Marquina. Los resultados revelan tres rangos de velocidad de onda de corte claramente diferenciados: (1) terrazas aluviales con Vs30 de 300-400 m/s (suelos blandos), (2) zonas de transición geológica con 400-650 m/s (depósitos moderadamente consolidados) y tres áreas rocosas con valores ≥ 650 m/s (correspondientes a las formaciones consolidadas adyacentes). Esta caracterización evidencia el contraste entre los valles sedimentarios y las áreas montañosas, particularmente en los municipios Libertador y Santos Marquina donde predominan las velocidades más altas fuera de la terraza.

Se observa una buena correlación al comparar los resultados de este estudio con los obtenidos mediante ruido sísmico y gravimetría. Las discrepancias entre los valores de Vs30 derivados de topografía y los obtenidos mediante sísmica de refracción pueden indicar presencia de heterogeneidades geológicas locales en la terraza aluvial del AMM. También hay que tener en cuenta que los métodos indirectos como la sísmica de refracción proporcionan mediciones precisas en puntos (perfils) específicos, mientras que los métodos indirectos (ruido sísmico, gravimetría) detectan transiciones laterales en propiedades del subsuelo que podrían pasar desapercibidas con sondeos aislados. Esta diferencia podría explicar las discrepancias observadas. Por tanto, la combinación de técnicas es una estrategia óptima para reducir incertidumbres en la microzonificación sísmica.

A pesar de la alta amenaza sísmica en la región, reflejada en valores significativos de aceleración sísmica, no existen regulaciones específicas para construcciones sismorresistentes basadas en estudios geofísicos actualizados. Ade-

más, el AMM se caracteriza por una notable diversidad en sus propiedades físicas debido a su emplazamiento sobre depósitos cuaternarios, como terrazas y abanicos aluviales, que reciben aportes sedimentarios de varias formaciones geológicas adyacentes, lo que refuerza la necesidad de una zonificación adecuada. Este trabajo proporciona una base técnica para avanzar en la elaboración de ordenanzas que reduzcan el riesgo sísmico tanto en el AMM como en la totalidad de la extensión de los tres municipios que la conforman.

Referencias

- Allen, T., y Wald, D. (2007). *Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site-Conditions (VS30) and Amplification Around the Globe* (2007-1357). Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/publication/ofr20071357>
- Allen, T., y Wald, D. (2009). *On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (VS30)*. Bulletin of the Seismological Society of America, 99(2 A), 935-943. doi:10.1785/0120080255
- Cerrada, M., y Mora, K. (2007). *Caracterización geofísica mediante la aplicación de sísmica de refracción entre los sectores Zumba, La Parroquia y la avenida Andrés Bello*. Estado Mérida. Universidad de Los Andes, Mérida.
- Cerrada, M.; Klarica, S.; Choy, J.; Guada, C.; Aranguren, R.; Laffaille, J.; Mazuera, F.; Reinoza, C.; Schmitz, M.; Rocabado, V.; Morales, C. y Yegres, L. (2015). *Determinación de microzonas sísmicas preliminares del Área Metropolitana de Mérida*. Boletín de Geología, 37(1), 67-74.
- Construcciones Sismorresistentes, Covenin 1756-1:2019., (2019).
- Mazuera-Rico, F.; Gonzalez, L.; Rocabado, V. y S., K. (2009). *Determinación de períodos fundamentales del suelo de la ciudad de Mérida, Venezuela, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental*. Revista Ciencia e Ingeniería 1316-7081, 30, 57-68.
- Morales, C.; Hernández, J.; Schmitz, M.; Cano, V. y Tagliaferro, M. (2011). *Velocidades promedio de ondas de corte en*



los primeros 30 m de profundidad (vs30), inferidas a partir del relieve en el área metropolitana de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 26, 161-168.

Nava, R. (2009). *Estimación de espesores de sedimentos a partir de modelado gravimétrico con fines de microzonificación sísmica: área metropolitana de la ciudad de Mérida, estado Mérida.* Universidad de Los Andes.

NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures, (1997).

Rivera, Y. y Yegres, L. (2009). *Caracterización geofísica del subsuelo de la zona noreste del área metropolitana de Mérida, a partir de la adquisición de datos de ruido sísmico ambiental y sísmica de refracción.* Universidad de Los Andes.

Zambrano, O. (2009). *Determinación del modelo geofísico del subsuelo, mediante la adquisición de datos de ruido sísmico ambiental y sísmica de refracción, de la zona suroeste del área metropolitana de Mérida.* Universidad de Los Andes, Mérida.