

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **GENERACIÓN DE MAPAS VS30 Y MICROZONAS SISMICAS, MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES INTERFEROMÉTRICO (IMASW) Y ENSAYOS GEOTECNICOS EN MARACAY, ESTADO ARAGUA.**

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela para

Optar al título de Ingeniero Geofísico

Por el Br Nixon López

Ciudad Universitaria de Caracas, septiembre 2021.

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **GENERACIÓN DE MAPAS VS30 Y MICROZONAS SISMICAS, MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES INTERFEROMÉTRICO (IMASW) Y ENSAYOS GEOTECNICOS EN MARACAY, ESTADO ARAGUA.**

Tutor académico: Dr. Michael Schmitz

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela para

Optar al título de Ingeniero Geofísico

Por el Br. Nixon López

Ciudad Universitaria de Caracas, septiembre 2021

## ACTA DE APROBACION TESIS

Caracas, 14 de septiembre de 2021

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el **Br. Nixon López**, titulado:

**“GENERACIÓN DE MAPAS VS30 Y MICROZONAS SISMICAS, MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES INTERFEROMÉTRICO (IMASW) Y ENSAYOS GEOTECNICOS EN MARACAY, ESTADO ARAGUA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducentes al título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas del autor, lo declaran **APROBADO**.



---

Prof. Michael Schmitz  
Tutor Académico



---

Prof. Dionisio González  
Jurado



---

Prof. Janckarlos Reyes  
Jurado

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, esposa e hija, y a todos mis familiares que me apoyaron en el transcurso de mi carrera.*

*A mis amigos de la escuela de Geofísica...*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco primeramente a Dios.*

*A mis padres por brindarme su apoyo.*

*A mi esposa por siempre haber estado allí apoyándome.*

*A mis amigos Freyder Ali, Juan Fernandes, Yohnny Rodríguez, José Carrillo, Kristhian Pérez....*

*A mis amigos de la universidad Central, con los que compartí momentos de sacrificio, esfuerzo y momentos agradables.*

*A mis profesores, especialmente a mi tutor Michael Schmitz.*

*A la ilustre Universidad Central de Venezuela.*

# **Generación de mapas vs30 y microzonas sísmicos, mediante el análisis multicanal de ondas superficiales interferométrico (IMASW) y ensayos geotécnicos en Maracay, estado Aragua.**

**Autor:** Nixon López **Tutor académico:** Dr. Michael Schmitz

## **RESUMEN**

**Palabras claves:** microzonificación sísmica, IMASW, ReMi, Vs30 por SPT, espesor de sedimento, perfiles de suelos.

La ciudad de Maracay estado Aragua, se encuentra en el centro norte del país, cubierta por sedimentos aluviales, fluviales y lacustres, con la Serranía del litoral al norte y la Serranía del interior al sur. La mayor parte de la población se ubica dentro de la cuenca, siendo esta tectónicamente activa, presentando un importante riesgo sísmico. Por tal motivo se realiza este estudio, con el propósito de estimar la condición local del subsuelo y contribuir en la definición de las microzonas sísmicas de la ciudad. En base a las investigaciones existentes, se utilizaron los datos de diversas metodologías de Vs30 obtenidas por IMASW, Vs30 por SPT, espesor de sedimentos, perfiles de suelos entre otros. Se obtuvo que el grupo MS-5, corresponde a la clasificación “DE\*”, con las velocidades Vs30 más bajas del estudio (<200m/s), y espesores entre 150-250m para la MS (5-1) y los máximos espesores >250m para la MS (5-2), ubicadas hacia el sur y suroeste de la ciudad, bordeando el lago de Valencia. Las zonas que presentan menor amenaza sísmica, son las que muestran Vs30 altos y espesores de sedimentos bajos, ubicadas hacia el norte, donde se encuentra el sector El Limón y El Castaño, debido a la cercanía con los altos topográficos de la ciudad, donde afloran los Esquistos Las Mercedes y Las Brisas. Las microzonas con los mayores espesores de sedimentos, velocidades bajas, y cercanas a fallas, deben ser consideradas con mayor cuidado para las nuevas construcciones y la evaluación de las edificaciones existentes, para de esta manera presentar una mejor amenaza sísmica en superficie.

## INDICE GENERAL

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| ACTA DE APROBACION TESIS .....      | iii  |
| DEDICATORIA.....                    | iv   |
| AGRADECIMIENTO .....                | v    |
| RESUMEN.....                        | vi   |
| INDICE GENERAL.....                 | vii  |
| INDICE DE TABLAS.....               | xii  |
| INDICE DE FIGURAS .....             | xiii |
| CAPITULO I.....                     | 17   |
| INTRODUCCION.....                   | 17   |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 18   |
| 1.2 OBJETIVOS.....                  | 19   |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN.....              | 20   |
| 1.4 UBICACIÓN.....                  | 21   |
| 1.5 ANTECEDENTES .....              | 22   |
| CAPÍTULO II.....                    | 29   |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| MARCO GEOLÓGICO .....                                                  | 29 |
| 2.1 Sistema montañoso de la Cordillera del Caribe .....                | 30 |
| 2.2 Cordillera de la Costa .....                                       | 30 |
| 2.3 Serranía del Interior Central .....                                | 30 |
| 2.4 Lago de valencia.....                                              | 31 |
| 2.5 Cambios en el nivel del Lago de Valencia según Peeters (1968)..... | 31 |
| 2.6 Sistema de fallas. ....                                            | 33 |
| 2.7 Formaciones geológicas .....                                       | 35 |
| CAPÍTULO III .....                                                     | 39 |
| MARCO TEÓRICO .....                                                    | 39 |
| 3.1 Principios de los métodos sísmicos .....                           | 39 |
| 3.2 Ondas sísmicas .....                                               | 40 |
| 3.3 Microzonificación Sísmica.....                                     | 43 |
| 3.4 Ruido sísmico ambiental .....                                      | 44 |
| 3.5 Determinación de Vs30 a partir de datos topográficos.....          | 45 |



|                                                                                |        |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 3.6 Efecto de sitio .....                                                      | 45     |
| 3.7 Interferometría sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales ..... | 46     |
| 3.8 Velocidad de onda de corte en los primeros 30 m (Vs30).....                | 46     |
| 3.9 Curva de dispersión .....                                                  | 47     |
| 3.10 Análisis espectral de ondas superficiales.....                            | 47     |
| 3.11 Dispersión de ondas superficiales.....                                    | 48     |
| 3.12 Ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test, SPT).....      | 48     |
| 3.13. Clasificación del suelo mediante el parámetro Vs30.....                  | 49     |
| 3.14 Propuesta de fórmulas para estimado de Espesor.....                       | 52     |
| <br>CAPÍTULO IV .....                                                          | <br>53 |
| <br>MARCO METODOLÓGICO .....                                                   | <br>53 |
| 4.1 Recopilación de datos.....                                                 | 53     |
| 4.2 Procesamiento.....                                                         | 58     |
| 4.3 Calculo de Vs a partir de SPT. ....                                        | 65     |
| 4.4 Calculo del parámetro Vs30 (SPT).....                                      | 66     |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5 Estimado del espesor de Perfiles de Suelos.....                          | 67 |
| CAPITULO V .....                                                             | 70 |
| RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....                                     | 70 |
| 5.1 Mapa de Vs30 por topografía. ....                                        | 70 |
| 5.2 Mapa de Vs30 (ReMi e IMASW).....                                         | 72 |
| 5.3 Mapa de Vs30 a partir de datos geotécnicos (SPT).....                    | 74 |
| 5.4 Mapa de Vs30 integrado.....                                              | 76 |
| 5.5 Mapa de espesor sedimentario integrado.....                              | 78 |
| 5.6 Mapa de Microzonas .....                                                 | 81 |
| 5. 7. Mapa de microzonas sísmicas con el sistema de fallas de la ciudad..... | 85 |
| 5.8 Perfiles de suelos .....                                                 | 87 |
| CAPÍTULO VI.....                                                             | 92 |
| CONCLUSIONES.....                                                            | 92 |
| RECOMENDACIONES .....                                                        | 94 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                             | 95 |

APÉNDICE .....103

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 3. Clasificación del suelo mediante el parámetro Vs30 (COVENIN 1756-1, 2019). ....                                                                                         | 50  |
| Tabla 4.1. Hoja de cálculo de Vs30 a partir de información geotécnica.....                                                                                                       | 58  |
| Tabla 4.2.Relación entre la pendiente topográfica y las categorías de Vs30 según NEHRP (BSSC, 2003). Se muestran los respectivos rangos de topografía (Allen & Wald, 2009). .... | 62  |
| Tabla 4.3. Hoja de cálculo de Vs30 a partir de información geotécnica.....                                                                                                       | 67  |
| Tabla 4.4 Ejemplo de un perfil de suelo utilizando los datos de la empresa OT Heredia, Rojas (2008), Ornelas (2018) y Escobar (2019).....                                        | 68  |
| Tabla 5.1. Perfil de suelo de la estación M-116, a partir de la propuesta de Hernández 2021..                                                                                    | 88  |
| Tabla 5.2. Perfil de suelo de la estación M-118, a partir de la propuesta de Hernández 2021..                                                                                    | 89  |
| Tabla 5.3. Perfil de suelo de la estación M-221, a partir de la propuesta de Hernández 2021..                                                                                    | 90  |
| Tabla 5.4. Perfil de suelo de la estación M-202, a partir de la propuesta de Hernández 2021..                                                                                    | 91  |
| Tabla A.5.8. Información de tendidos de ruido antrópico procesados por Escobar (2019). ...                                                                                       | 113 |
| Tabla A.5.9.Ubicación de perforaciones geotécnicas, realizadas por la Empresa OT Heredia en la ciudad de Maracay.....                                                            | 115 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....                                                                                                                                                                                               | 21 |
| Figura 1.2. Mapa de distribución por rango de períodos de la ciudad de Maracay, Estado Aragua. (Rojas 2008).....                                                                                                                                        | 23 |
| Figura 1.3. Mapa datos Vs30 ReMi y Vs30 por topografía(Casalena, 2011). ....                                                                                                                                                                            | 25 |
| Figura 1.4. Mapa de espesor de sedimentos. (Romero 2017).....                                                                                                                                                                                           | 26 |
| Figura 1.5. Mapa de espesor de sedimentos de la ciudad de Maracay.(Ornelas 2018). ....                                                                                                                                                                  | 27 |
| Figura 1.6. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenido mediante IMASW (Escobar 2019). ....                                                                                                                                                                       | 28 |
| Figura 2.1. Mapa geológico de la zona de estudio, Modificado de Hackley et al., (2006). por ArcGIS 10.4.....                                                                                                                                            | 29 |
| Figura 2.2. Mapa de las extensiones que ha tenido el Lago de Valencia de acuerdo a Peeters 1968. Tomado de Hernández 2006.....                                                                                                                          | 32 |
| Figura 2.3. Mapa de Falla Cuaternaria de la zona Nor-Central de Venezuela. (Audemard, et al., 2000). ....                                                                                                                                               | 35 |
| Figura 3. Ondas corpóreas: ondas primarias (P) y ondas secundarias (S) (FUNVISIS, 2002). 42                                                                                                                                                             |    |
| Figura 3.1. Ondas superficiales: ondas Rayleigh (R) y ondas Love (L). Tomado de (FUNVISIS, 2002) .....                                                                                                                                                  | 43 |
| Figura 3.2. Estructuras que pueden dar lugar a efectos de sitio. a) Capas sedimentarias horizontales sobre un substrato rocoso; b) relleno sedimentario de un valle; c) discontinuidades laterales bruscas; d) relieves (Moncayo & Edmundo, 2003). .... | 45 |
| Figura 3.3 (a) Curva de dispersión del modo fundamental. (b) Curvas de dispersión para el modo fundamental y el modo de orden 1. Modificado de Everett (2013). ....                                                                                     | 47 |

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.4. Clasificación de suelos basada en Vs30 según las recomendaciones de NEHRP (2003). .....                                                                         | 51 |
| Figura 4.1. Distribución de los tendidos de ruido sísmico. El punto amarillo representa el centro de cada tendido. (Tomada de Arcgis 10.4).....                             | 55 |
| Figura 4.2 Distribución de las estaciones de ruido sísmico usadas en el método H/V. El punto verde representa la ubicación de cada estación. (Tomada de Arcgis 10.4). ..... | 56 |
| Figura 4.3. Distribución de las perforaciones geotécnicas otorgadas por la empresa OT Heredia. (Tomado de Arcgis 10.4). .....                                               | 57 |
| Figura 4.4. Generación de Mapas con datos existentes.....                                                                                                                   | 61 |
| Figura 4.5. Generación de puntos del Vs30 por topografía.....                                                                                                               | 64 |
| Figura 4.6. Generación de coordenadas del mapa de Vs30 por topografía. ....                                                                                                 | 65 |
| Figura 4.7. perfiles con datos geofísicos, basada en el método simplificado de Rayleigh de Dobry et al., 1976).....                                                         | 69 |
| Figura 5.1. Mapa de Vs30 por topografía. Obtenido mediante el Arcgis 10.4.....                                                                                              | 71 |
| Figura 5.2. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenidos mediante datos ReMi de Escobar 2019. ...                                                                                     | 73 |
| Figura 5.3. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenidos mediante datos IMASW de Escobar 2019. ....                                                                                   | 74 |
| Figura 5.4. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenidos mediante el promedio de tres metodologías N-SPT-Vs, datos otorgados por la empresa OT Heredia. ....                          | 75 |
| Figura 5.5. Mapa de Vs30 integrado. Obtenido mediante los datos geofísicos, geotécnicos y topográficos. ....                                                                | 77 |
| Figura 5.6. Mapa de espesor sedimentario integrado. Obtenido mediante los datos geofísicos geotécnicos y topográficos. ....                                                 | 80 |

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5.7. Mapa de Microzonas sísmicas, a partir del mapa Vs30 integrado y el mapa de espesor sedimentario integrado. .... | 84  |
| Figura 5.8. Mapa de Microzonas sísmicas con las fallas activas de la ciudad de Maracay. ....                                | 86  |
| Figura A.5.1. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-234. ...                               | 103 |
| Figura A.5.2. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-228. ...                               | 104 |
| Figura A.5.3. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-289. ...                               | 104 |
| Figura A.5.4. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-116. ...                               | 105 |
| Figura A.5.5. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-144. ...                               | 105 |
| Figura A.5.6. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-264. ...                               | 106 |
| Figura A.5.7. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-083. ...                               | 106 |
| Figura A.5.8. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-201. ...                               | 107 |
| Figura A.5.9. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-179. ...                               | 107 |
| Figura A.5.10. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-118. .                                | 108 |
| Figura A.5.11. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-127. .                                | 109 |
| Figura A.5.12. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-137. .                                | 109 |
| Figura A.5.13. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-277. .                                | 110 |
| Figura A.5.14. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-247. .                                | 110 |
| Figura A.5.15. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-236. .                                | 111 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura A.5.16. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-221. . | 112 |
| Figura A.5.17. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-202. . | 112 |
| Figura A.5.18. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970). .....      | 121 |
| Figura A.5.19. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970). .....      | 122 |
| Figura A.5.20. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970). .....      | 123 |
| Figura A.5.21. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970).....        | 124 |



# CAPITULO I

## INTRODUCCION

Los principales centros poblados se hallan en márgenes de placas continentales que liberan energía de forma imprevista y, que de acuerdo a las condiciones del subsuelo y del tipo de construcciones la intensidad de los daños durante eventos sísmicos puede variar.

La ciudad de Maracay es una de las ciudades que se encuentran sobre la cuenca del Lago de Valencia, la cual es una depresión generada entre la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior. Desde el Mesozoico, estos sistemas montañosos han servido como fuentes de sedimentos para diferentes cuencas ubicadas al norte del país. Además, la ciudad de Maracay se encuentra limitada al norte y al sur por fallas con dirección este-oeste, las cuales han estado activas desde el Terciario superior (González de Juana *et al* 1980, Audemard *et al* 1990).

La Fundación Venezolana de Investigación Sismológica (FUNVISIS), ha venido desarrollando el proyecto de investigación aplicada a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos: conformación de redes de actores, en las áreas metropolitanas de Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona y Valle de la Pascua, con el fin de contribuir a la toma de decisiones, al manejo de recursos asociados y a la prevención de riesgos de accidentes y catástrofes, en zonas de alto riesgo (amenaza sísmica, geomorfológicas e hidrometeorológicas), (Schmitz, et al., 2009).

En la ciudad de Maracay se han realizado diferentes estudios geofísicos y geotécnicos, con la finalidad de caracterizar los estratos más someros, aplicando además de ello diferentes metodologías. Este proyecto tiene como objetivo, integrar la información geofísica y geotécnica ya existente, con la finalidad de generar un mapa de microzonas sísmicas a partir de valores Vs30.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Venezuela es un país sísmico, ya que se encuentra ubicada en el límite de las placas tectónicas de Suramérica y el Caribe; debido a esto en el país existe una gran cantidad de fallas sísmogénicas como respuesta al movimiento relativo entre ambas placas. Las principales ciudades del país se ubican justamente en los valles de la cordillera de los Andes y en el área centro-norte, que son tectónicamente activas. Tal es el caso de la ciudad de Maracay, que se encuentra en la fosa tectónica del lago de Valencia, la cual está cubierta de sedimentos aluviales, fluviales y lacustres, situada como bloque hundido entre los pilares de la Serranía del litoral al norte y la Serranía del interior al sur, ubicada en el centro del sistema montañoso (Vivas, 1992) y afectada por el sistema de fallas de la Victoria al sur y la falla de San Sebastián al norte, como lo establece Audemard *et al.* (2000). Por lo antes descrito y lo establecido en las normas de construcción sismorresistente, sumado a la creciente densidad demográfica, la ciudad de Maracay presenta un importante riesgo sísmico. Actualmente existen metodologías geofísicas de bajo costo que permiten estimar el riesgo sísmico de determinadas zonas; una de estas metodologías es el análisis multicanal de ondas superficiales interferométrico (IMASW), la cual los analiza a fin de inferir las propiedades dinámicas del suelo y la respuesta de un sitio ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Los estudios de microzonificación se implementan para estudiar el riesgo existente, cuyo objetivo es evaluar las condiciones regionales y determinar con la mayor precisión posible las propiedades dinámicas del sitio (Schmitz *et al.*, 2015, Gil y Pérez, 2007). Varios proyectos geofísicos se han hecho utilizando diferentes metodologías, a fin de caracterizar el subsuelo del área estudio, como lo es el proyecto de Casalena (2011), el cual aplicó el método de refracción por microtemores (ReMi), en la ciudad de Maracay; a partir de estos datos se han realizado otras investigaciones aplicando diferentes técnicas geofísicas (ReMi e IMASW). Por lo tanto, este trabajo se presenta como una integración de los estudios anteriores con el objetivo de ser utilizados como aporte al proyecto de microzonificación sísmica y a la elaboración de un conjunto de ordenanzas municipales complementarias a la norma COVENIN 1756-1 (2019), vigente para edificaciones sismorresistentes.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general:**

Elaborar un mapa de clasificación de microzonas sísmicas a partir de valores  $V_{s30}$  y espesores de sedimentos, con base a la información geofísica y análisis de datos geotécnicos existentes en la ciudad de Maracay.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Crear una base de datos con información adquirida de ruido sísmico, información geológica y datos geotécnicos.
- Generar un mapa de  $V_{s30}$  a partir de datos topográficos.
- Comparar modelos unidimensionales a partir de las curvas IMASW y los ensayos geotécnicos.
- Generar un mapa de los valores de  $V_{s30}$  de la ciudad de Maracay.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La mayor parte de las poblaciones están asentadas en lugares donde se concentra la mayor actividad sísmica, por lo que se hace necesario realizar estudios que permitan determinar las condiciones de los suelos en las principales ciudades del país. A demás se ha evidenciado a lo largo de la historia varios terremotos que han causado daños a edificaciones y desarrollos urbanos. Es por ello, que se creó el Proyecto de Gestión de Riesgo para Estudios Geofísicos en Cuencas Urbanas en Venezuela, con fines de microzonificación sísmica. Sin embargo, hasta la fecha son muy pocas las ciudades que cuenta con un estudio de microzonificación sísmica y que hayan sido implementados en ordenanzas municipales para la construcción de edificaciones sismoresistentes. Hasta la fecha en Venezuela hay ordenanzas aprobadas en las áreas metropolitanas de Barquisimeto y de Caracas.

Por tal motivo se realiza este trabajo especial de grado, el cual recopila información geotécnica y geofísica para la elaboración de un mapa de  $V_s30$ , con el propósito de estimar la condición local del subsuelo y contribuir en la definición de las microzonas sísmicas de la ciudad, lo que será un aporte al proyecto liderado por FUNVISIS que consiste en definir microzonas sísmicas en los principales centros poblados del país y complementar la información sobre la magnitud del riesgo sísmico en Maracay, Estado Aragua.

## 1.4 UBICACIÓN

En la figura 1, se muestra la ciudad de Maracay, ubicada geográficamente en la parte Centro Norte del Estado Aragua, con una Extensión de 311,57 Km<sup>2</sup>; limita al Norte con la Cordillera de la costa y al Sur por la Serranía del Interior, al este con el Distrito Federal y Miranda, y al oeste con el estado Carabobo. La ventana de estudio abarca parte de los municipios; Girardot, Mario Briceño Iragorry, Santiago Mariño, Francisco Linares Alcántara y Libertado, de la ciudad de Maracay

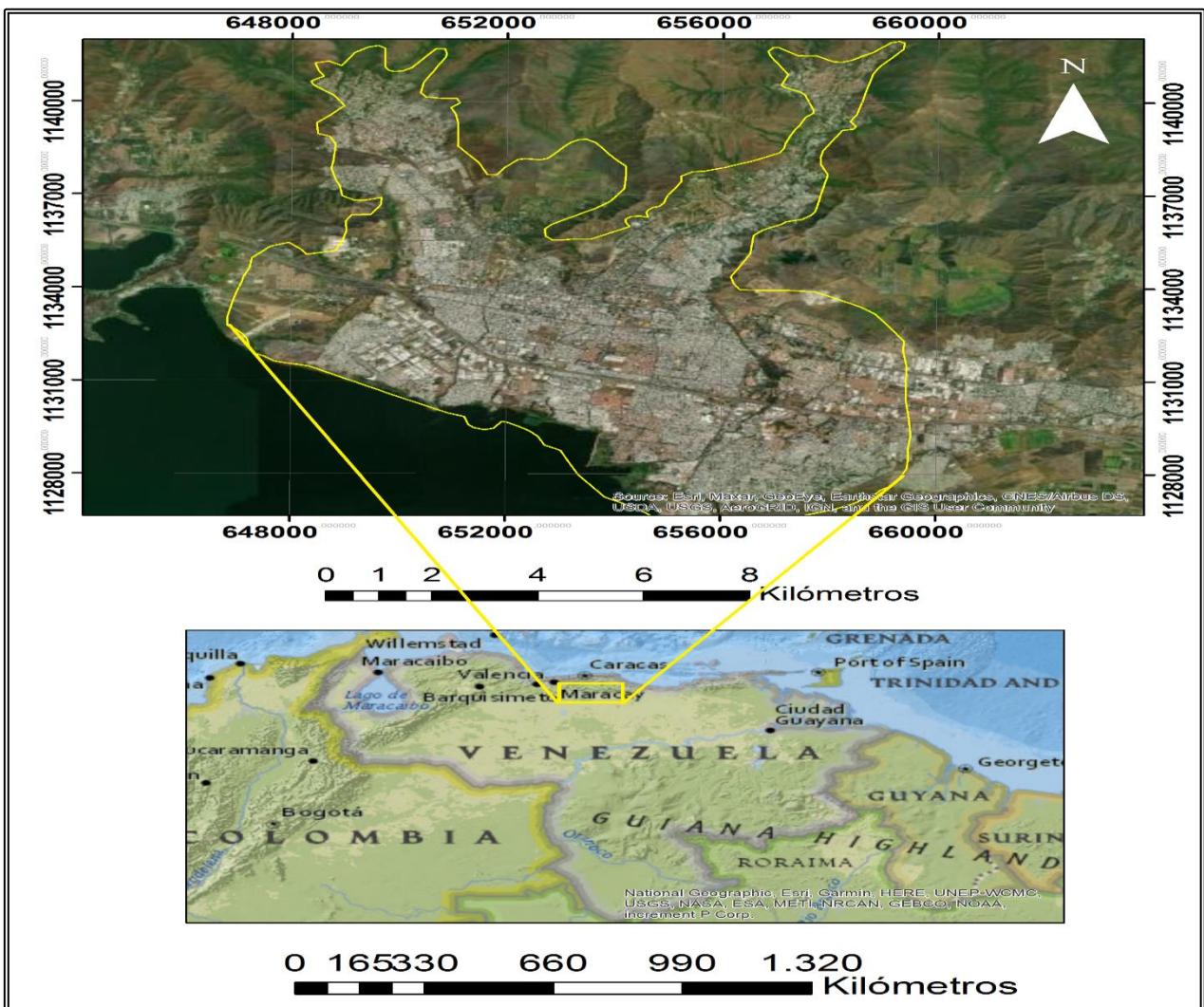


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

## 1.5 ANTECEDENTES

La cuenca hidrográfica de Lago de Valencia está ubicada geográficamente al centro – norte de Venezuela y abarca parte de los estados Aragua y Carabobo, incluyendo la superficie total, o parcial, de 11 municipios del estado Aragua y 9 del estado Carabobo, en esta zona existe una alta densidad poblacional, así como también importantes construcciones industriales y urbanas las cuales han sido edificadas sobre suelos lacustres poco consolidados. Con el propósito de contribuir soluciones a la problemática antes mencionada en el año 1988 el Ministerio del Desarrollo Urbano (MINDUR), solicitó la colaboración de FUNVISIS, para que efectuara un estudio piloto de amenaza sísmica centrado sobre las urbanizaciones de la parte oriental del lago. Este estudio se realizó para las urbanizaciones. Dicho estudio recibió el nombre de Estudio de Amenaza Sísmica para las Urbanizaciones La Punta y Mata Redonda (Audemard, et al., 1988) al sur de Maracay. En dicho estudio el material natural del estrato superficial resultó de un limo arenoso orgánico con muy bajas velocidades, tanto para las ondas primarias como para las de corte. Para los efectos de este trabajo, los materiales del estrato superficial se consideraron como un suelo granular fino muy suelto. Los estudios geofísicos efectuados en dicho estudio, indican velocidades de ondas de corte inferiores a los 150 m/s.

Años después debido a la importancia de los resultados obtenidos del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, FUNVISIS, llevó a cabo el Proyecto de Microzonificación Sísmica aplicada a la gestión integral de riesgos en espacios urbanos en la ciudad de Maracay, a partir de la caracterización del subsuelo aplicando métodos geofísicos. Rojas (2008) fue el primero, aplicando el Método de Nakamura o relación espectral H/V, realizando 315 mediciones de ruido sísmico ambiental, distribuidas a lo largo de la ciudad, en los cuales se calcularon los períodos fundamentales en la zona de interés, obteniendo los siguientes resultados:

Los valores de período varían entre 0,1s a 2,8s, con los mayores valores al sur de la zona de estudio, disminuyendo hacia el norte. Para la zona norte, los valores de período se encuentran en un rango de 0,2s a 0,6s. Para la zona del centro, los valores de período se encuentran en un

rango de 0,6s a 1,7s. Por último, para la zona sur, los valores de período se encuentran en un rango de 1,7 a 2,8 s.

A partir de estos periodos se calculó el espesor de sedimentos en cada una de las estaciones, utilizando la fórmula propuesta por (Rocabado, 2000), obteniéndose que los valores más bajos de período fundamental se encuentran localizados, hacia el norte de la ciudad, dando, así como resultado el menor espesor de sedimentos hacia esa zona, debido a la cercanía de la Cordillera de la Costa. Mientras hacia el sur se encuentran los periodos fundamentales más altos, al igual que el espesor sedimentario, debido a la cercanía del Lago de Valencia, figura 1.2.

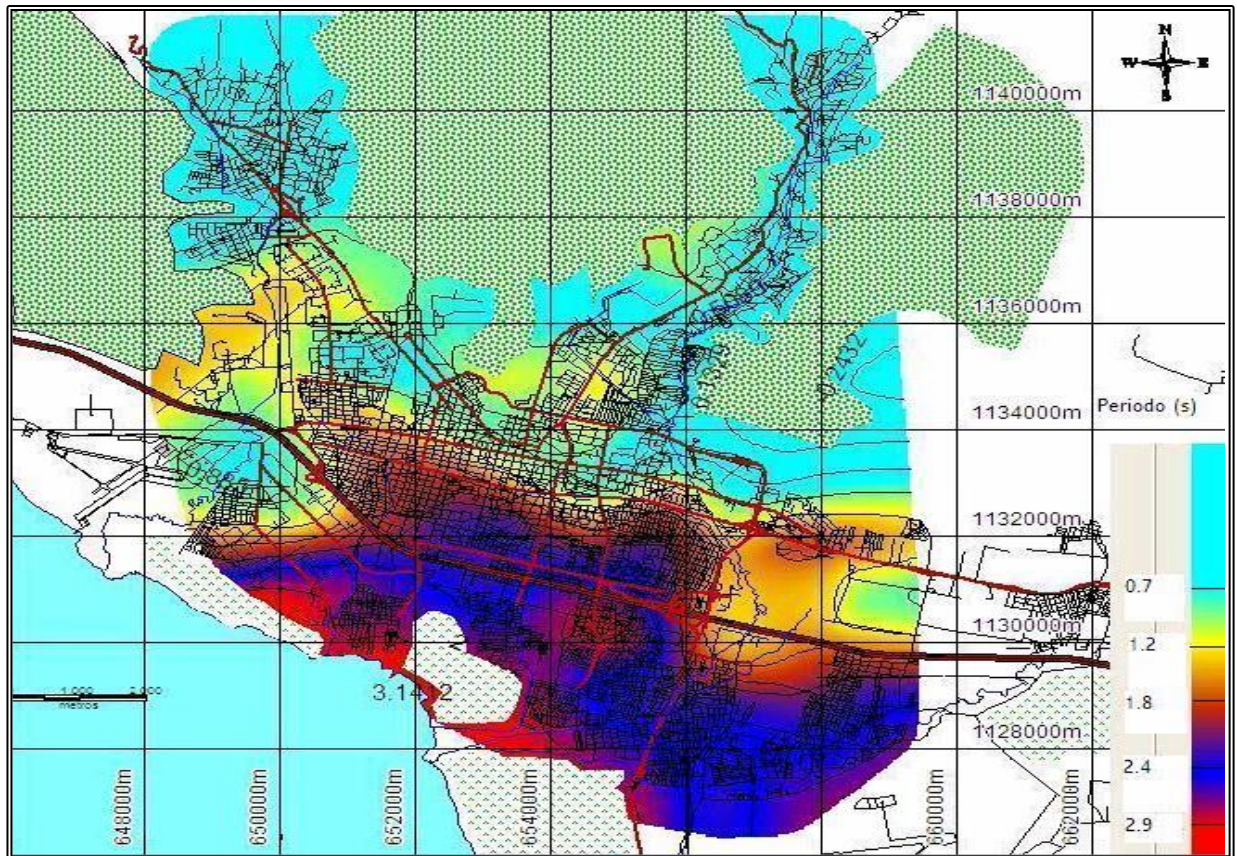


Figura 1.2. Mapa de distribución por rango de períodos de la ciudad de Maracay, Estado Aragua. (Rojas 2008).

Casalena (2011), realizó un estudio aplicando el método de Refracción por Microtremores (ReMi) y la integración de información geológica y geofísica de la ciudad de Maracay. Este estudio contó con un total de 98 tendidos, 43 correspondientes a un perfil que cruza la ciudad de Maracay de norte a sur y otros 45 tendidos distribuidos a una distancia aproximadamente 500 m entre sí. De acuerdo a los valores Vs30 obtenidos en los modelos 2D del perfil norte-sur y de los demás modelos 1D, se observó el comportamiento del promedio local de las ondas de corte en los primeros 30 metros de la superficie del área de estudio, obteniéndose que los valores Vs30 de la zona sur del área de estudio varían en un rango que oscila entre 192 y 200 m/s, mientras que en la parte norte se tienen valores de Vs30 que van de 250 m/s hasta 354 m/s, figura 1.3. Se pudo comprobar, entre otras cosas, que las relaciones empíricas, utilizadas para calcular velocidades utilizando datos de perforaciones geotécnicas, arrojan velocidades menores a las medidas directamente en el terreno y que los valores obtenidos por medio de estas se ven afectados por efectos en la geología presente en la zona.

En dicho estudio las comparaciones de los valores obtenidos entre las perforaciones geotécnicas y el método de ReMi, no hubo una muy buena correlación, atribuido a que la mayoría de las perforaciones no llegaban a profundidades considerables por ambos métodos para la interpretación de las velocidades (>20 m). Sin embargo, en las zonas ubicadas más al norte, la relación mejora estando los valores de las perforaciones y del método ReMi en el mismo rango de velocidades entre 300 y 400 m/s. Las distorsiones presentes en las Vs30 resultantes de las perforaciones pueden estar ligadas a las fórmulas empíricas usadas para la obtención de las mismas.



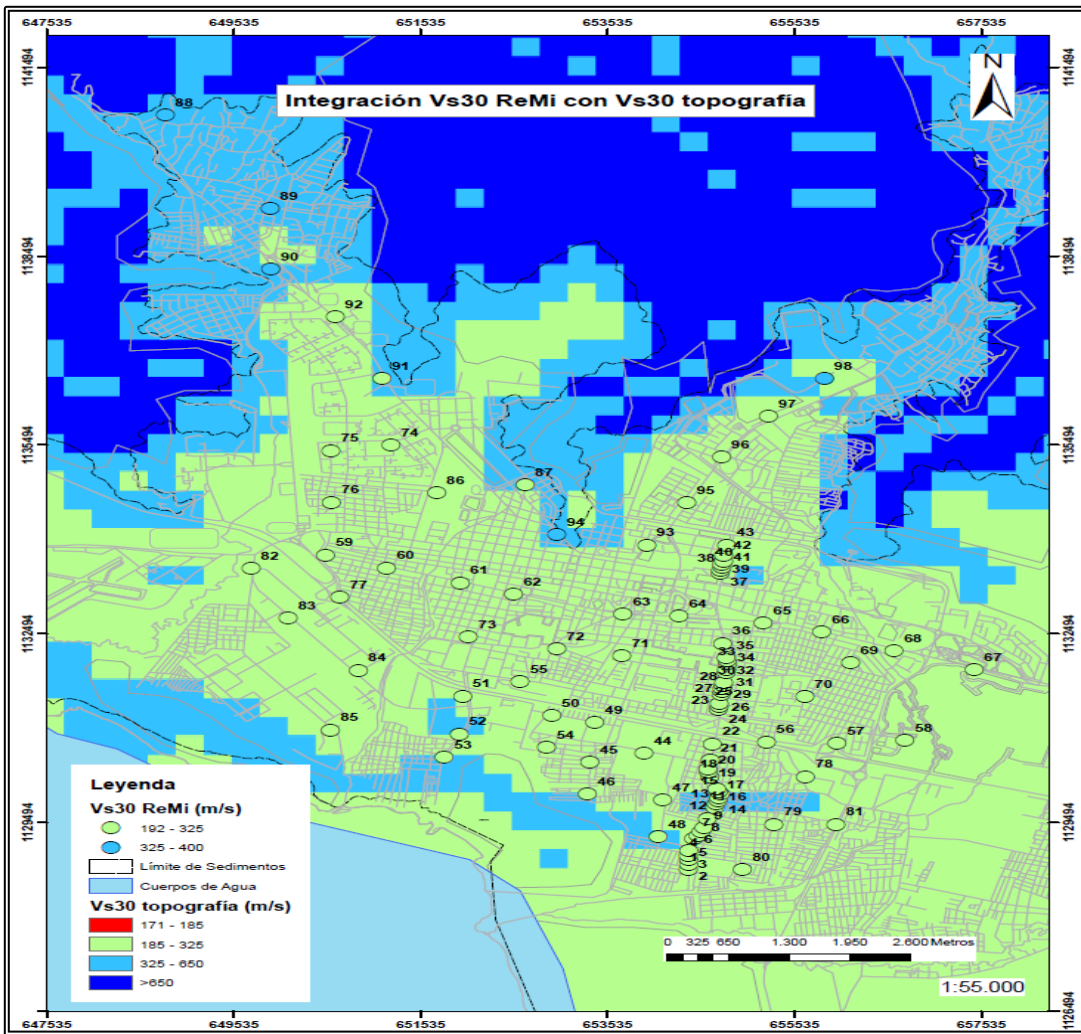


Figura 1.3. Mapa datos Vs30 ReMi y Vs30 por topografía(Casalena, 2011).

Romero (2017), realizó la elaboración de un modelo gravimétrico en 3D del basamento en la ciudad de Maracay, donde a partir del modelo generado se construyó el mapa de espesores de sedimentos de la cuenca y se llegó a las siguientes conclusiones:

De la evaluación integrada de los resultados, se calculó el espesor de sedimentos sobre la ciudad de Maracay, Valencia y la Zona de La Cabrera. Lo cual permitió delimitar la cuenca y encontrar espesores máximos de 850 m de sedimentos en el centro de la cuenca.

Para Maracay se obtuvo un espesor máximo de 430 m sobre la sección Nor-Este de la ciudad; y un espesor promedio 150 m. Sobre la zona de La Cabrera se encontró una capa de sedimentos que guarda coherencia y difieren poco con los resultados publicados por Jorge (2013). Se obtuvo espesor promedio de 100 m (el cual sólo difiere por 10 m) y un valor máximo de 270 m, figura 1.4.

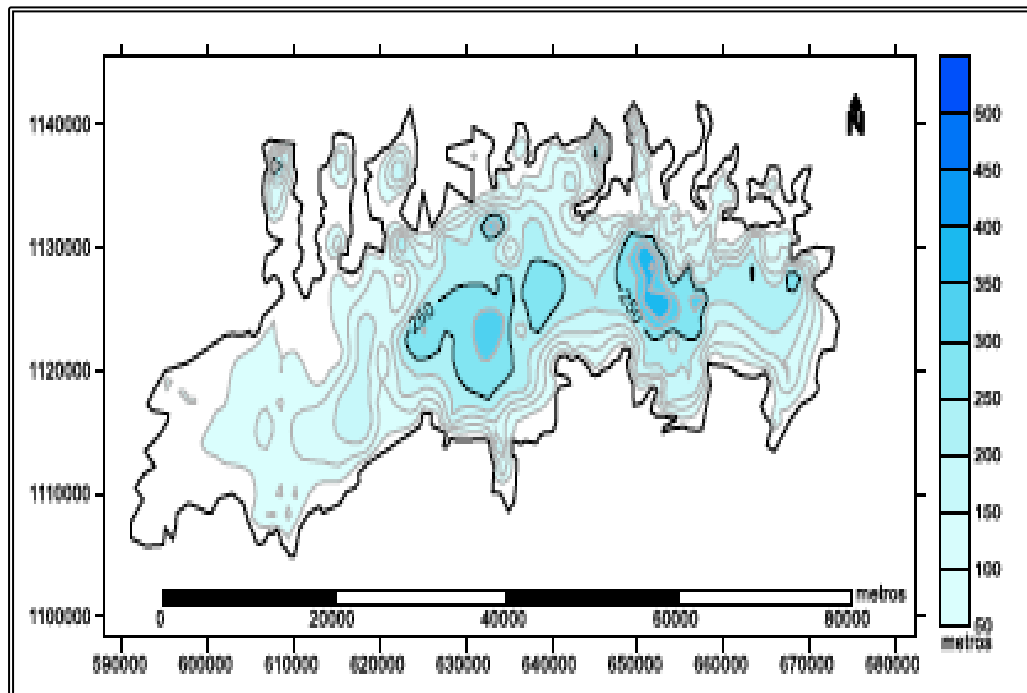


Figura 1.4. Mapa de espesor de sedimentos. (Romero 2017).

Ornelas (2018), realizó a partir de las 315 estaciones adquiridos por Rojas (2008) en la ciudad de Maracay, el procesamiento de ruido ambiental, en la que implemento la metodología de Inversión 1D de la onda de Rayleigh, realizando la inversión de 172 curvas de elipticidad de la onda Rayleigh, las cuales se generaron con el método de campo difuso de Sánchez-Sesma et al. (2008). En él se obtuvo que el estrato sedimentario presenta valores de 0 a 40 m de espesor sobre la Cordillera de la Costa, al norte de la ciudad. Y alcanza un espesor máximo de 310 m al sur del Lago de Valencia. La cuenca sedimentaria tiene una velocidad de propagación de onda S de 137 m/s a 657 m/s, y de onda P que varía 333 m/s a 1170 m/s. Se diferenció una primera capa de basamento asociada a roca meteorizada con una VS promedio de 720 m/s y

VP de 1450m/s, y un segundo estrato que se presume corresponde a una roca dura, cuya VS promedio es de 1250 m/s y una VP promedio igual a 2200 m/s la cual puede asociarse a los Esquistos Las Mercedes o Las Brisas.

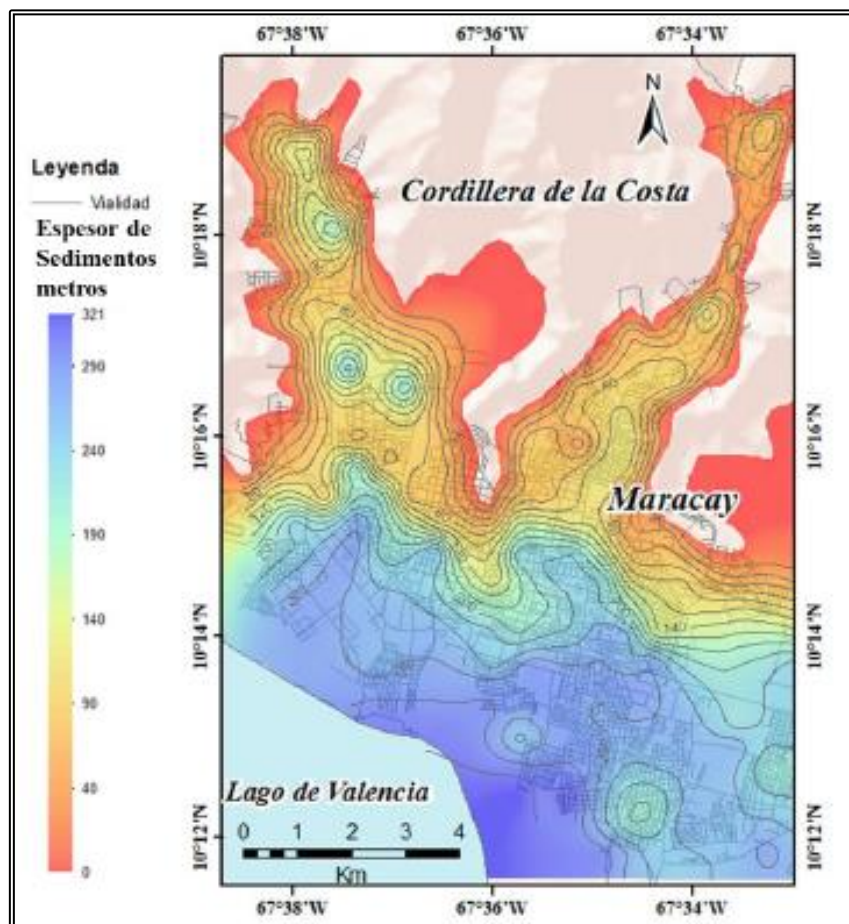


Figura 1.5. Mapa de espesor de sedimentos de la ciudad de Maracay.(Ornelas 2018).

Escobar 2019, con los datos adquiridos por (Casalena, 2011), en la ciudad de Maracay realizó, el reprocesamiento de los mismos datos, utilizando las metodologías IMASW y ReMi para comparar los resultados entre sí. Verificó que los resultados obtenidos mediante el análisis multicanal interferométrico (IMASW) concuerdan con los estudios previos realizados aplicando otras metodologías, como estudios de penetración estándar.

Realizo perfiles en dos dimensiones para identificar las variaciones de velocidad en profundidad del área de estudio, obteniendo los valores más bajos hacia las cercanías del Lago de Valencia lo que se atribuye a los sedimentos lacustres blandos. Por otra parte, hacia el norte, los valores de velocidad se incrementan, lo cual se atribuye a una disminución del espesor de sedimentos del cuaternario y una mayor influencia de las rocas metamórficas subyacentes.

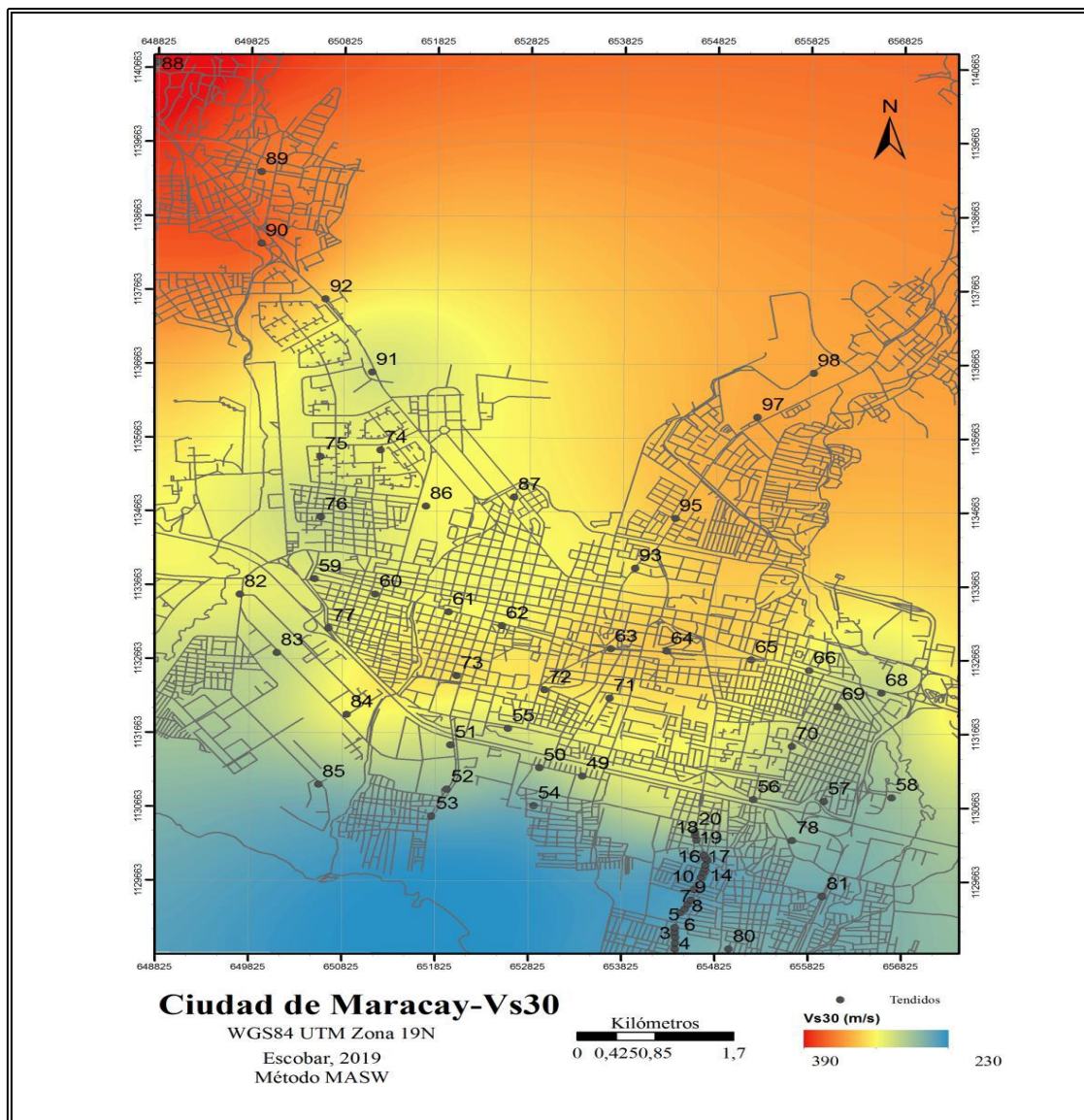


Figura 1.6. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenido mediante IMASW (Escobar 2019).

## CAPÍTULO II

### MARCO GEOLÓGICO

La ciudad de Maracay se ubica en la zona norcentral de Venezuela y al occidente del Sistema montañoso del Caribe, dentro de la cuenca del Lago de Valencia, donde se observa como el Lago de Valencia forma una depresión entre las cordilleras. Figura 2.

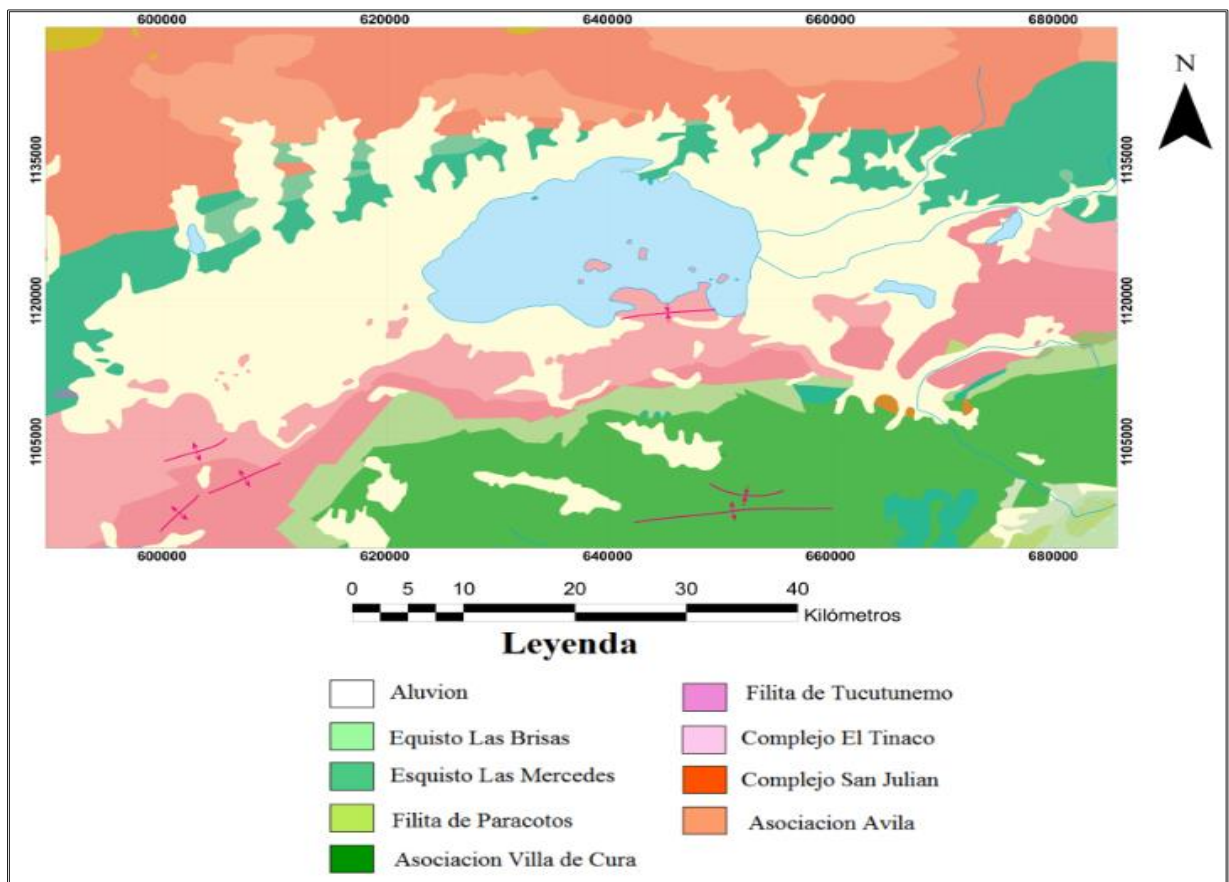


Figura 2.1. Mapa geológico de la zona de estudio, Modificado de Hackley et al., (2006). por ArcGIS

## **2.1 Sistema montañoso de la Cordillera del Caribe**

De acuerdo a González de Juana et al. (1980), la Cordillera del Caribe se extiende desde la depresión de Barquisimeto al oeste, hasta el extremo oriental de la península de Paria en el este. El sector occidental está integrado por dos elementos tectónicos divididos por una hendidura axial que sigue el curso de la falla de La Victoria y es representada fisiográficamente por la depresión del Lago de Valencia. La depresión en cuestión se encuentra limitada al norte por la Cordillera de la Costa y al sur por la Serranía del Interior.

## **2.2 Cordillera de la Costa**

Comienza en el surco de Barquisimeto. Predomina una topografía baja con elevaciones máximas de 800 m, su prolongación hacia el este y el norte puede observarse como una serie de 6 cerros alineados. Hacia el este del río Aroa se eleva la Serranía de Aroa, un macizo orientado de suroeste a noroeste.

Entre Puerto Cabello y Cabo Codera, la Cordillera de la costa se mantiene aproximadamente rectilínea. Donde los grandes macizos montañosos coinciden con los altos estructurales. El drenaje de esta cordillera determina la formación de torrenteras de curso corto, subnormales a la cresta. Solamente se conocen algunos valles de mayor significación, ubicados entre las montañas (Rojas, 2008).

## **2.3 Serranía del Interior Central**

La Serranía del Interior Central tiene una extensión en dirección oeste-este de 500 km, desde la Serranía de portuguesa, al oeste, hasta el valle del río Cúpira, al este. Al norte de la serranía se distinguen la falla de Boconó, al oeste, y la falla La Victoria, al este. Esta serranía tiene elevaciones mayores a 1000 m de altura y su máxima elevación corresponde al cerro Platillón entre Carabobo y Guárico que alcanza 1930 m de altura (González de Juana *et al.*, 1980, Mendoza, 2005).

## **2.4 Lago de valencia**

Debido al sistema de fallas producidas en dirección Este-Oeste en el espacio comprendido entre la Serranía del Interior y la Cordillera de la Costa, se formó una depresión de forma alargada, conocida como Graben de Valencia, hacia donde se vertieron de lado a lado, las aguas de las serranías. La formación de conos aluvionales o de deyección, por erosión de las montañas, condicionaron el represamiento de las aguas y la formación del lago de Valencia, que evolucionó hasta su forma y extensión actual en un área próxima a 1280Km<sup>2</sup>, en cuyo centro está el lago de Valencia, (Hidalgo J y Paredes L, 2015).

La cuenca del Lago de Valencia se encuentra dentro de una fosa tectónica formada por la falla de la Victoria. Esta tiene una sismicidad que actualmente puede considerarse baja. En el mapa sismológico publicado por Fiedler (1972), no aparecen epicentros de sismos registrados en esa época en la zona. No obstante, se ha detectado la presencia de algunas fallas en direcciones paralelas; al Norte de la falla de la Victoria, como son la Falla la Cabrera y la Falla de Horno (Shubert y Laredo, 1979). Según el estudio de estos autores, la Falla de Horno tuvo su último movimiento durante el Pleistoceno, pero la Falla de la Cabrera ha continuado activa hasta el presente. (González, Iturralde y Picard, 1980)

En esa área, hacia el Sur, buscando la línea costera del Lago de Valencia, la granulometría de los sedimentos se torna más fina, apareciendo en la parte media de la ciudad de Maracay, entre su límite Norte y Sur, depósitos de arcilla y limos arcillosos, que van aumentando su proporción respecto a los suelos granulares al Sur de la avenida Aragua, con variaciones laterales debido a la aparente forma sinusoidal de la antigua línea de costa del Lago, (Hidalgo J y Paredes L, 2015).

## **2.5 Cambios en el nivel del Lago de Valencia según Peeters (1968)**

Un aspecto importante son los cambios de nivel del Lago de Valencia, ya que en una de las extensiones que llegó a tener en el pasado ocupó parte de lo que es hoy el sur de la Ciudad de

Maracay. Según Peeters (1968), la fosa tectónica del Lago de Valencia desarrolló un sistema hidrográfico que drenaba toda el área entre los valles de Aragua y la cuenca que sería ocupada por el lago, provocando conos aluviales y sedimentos fluviales, originando el represamiento de aguas y con éste el origen del lago Valencia I, cuyo nivel máximo de aguas probablemente no sobrepasó los 440 m y se ramificaba entre los conos de deyección como se muestra en la figura 2.2.

Posteriormente, el clima evolucionó a condiciones sub-áridas desecando el lago Valencia I, reduciéndolo y originando el Lago de Valencia II que Peeters (1968) estima de edad Pleistocena.

Seguidamente, una vez más, cambian las condiciones a un clima pluvial y el nivel del lago sube considerablemente generando el Lago Valencia III, alcanzando la máxima cobertura de aguas: 427 m a fines del período III, hace unos 1300 a 700 años. Peeters (1968) también encuentra la existencia de tres niveles de arcilla con *Planorbis* intercalados con niveles de sedimentos fluviales, lo que sugiere períodos de transgresión-regresión lacustre.

Finalmente, el Lago Valencia IV se estima de edad Holoceno-presente, con variabilidad y tendencia al descenso en el nivel del lago (González de Juana *et al.*, 1980; Peeters, 1968).

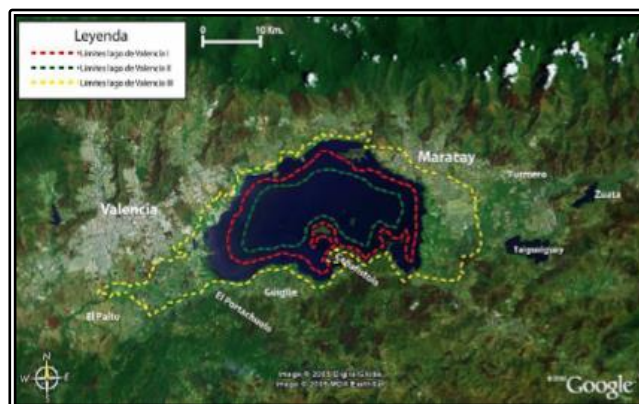


Figura 2.2. Mapa de las extensiones que ha tenido el Lago de Valencia de acuerdo a Peeters 1968.

Tomado de Hernández 2006.



## **2.6 Sistema de fallas.**

### **2.6.1 Falla La Victoria.**

Esta sección de la falla se extiende entre las ciudades de Maracay (al oeste) y Las Tejerías (al este). Lleva el nombre de La Victoria, una ciudad al oeste-suroeste de Caracas.

#### **2.6.1.1 Geometría de la falla:**

Longitud: de extremo a extremo 52 kilómetros (acumulado 52 km).

Rumbo promedio: N. 77° E.  $\pm$  3°.

Inclinación promedio: Sub-vertical.

Sentido del movimiento: Derecho-lateral.

Tasa de Movimiento: 0.55 mm/año.

**2.6.1.2 Expresión geomorfológica:** Formas geomorfológicas características sobre rocas metamórficas del Mesozoico, al este de Maracay: Estos incluyen el desplazamiento lateral-derecho de los drenajes, la desviación de ríos, grabens, pop-ups, drenajes y valles lineales (como el Valle de Aragua). Expresión en sedimentos Cuaternarios, a lo largo de los Valles de Aragua, es pobre debido a que la tasa de sedimentación es más rápida que la tasa de deslizamiento de la falla.

En ella se ubica la falla activa, de rumbo NO-SE (falla El Limón), de una longitud de unos 35 km, corta oblicuamente a la Serranía litoral entre la falla de San Sebastián a la altura de la bahía de Turiamo, y la falla E-O de Las Trincheras, al Norte de Maracay en El Limón, donde

presenta clara evidencia geomorfológica de movimiento lateral dextral. La velocidad estimada de esta falla es de 2,2 mm/año y el sismo máximo alcanzaría una magnitud Ms de 6,4 (Singer, 1984; Paolini *et al.* 2012)

### **2.6.2 Falla La Cabrera.**

Esta falla se encuentra por debajo de la superficie del Lago de Valencia y está enteramente dentro de su cuenca Cuaternario.

#### **2.6.2.1 Geometría de la falla:**

Longitud de extremo a extremo 26 km (acumulado 26 km).

Rumbo promedio: N. 72° E.  $\pm$  0°.

Inclinación promedio: subverticales.

Sentido del movimiento: lateral.

Tasa de movimiento: 1.1 mm/año.

**2.6.2.2 Expresión geomorfológica:** Su traza es totalmente bajo el agua. La falla interrumpe el fondo del lago y sus depósitos lacustres del Holoceno.

### **2.6.3 Falla El Horno.**

Esta falla se encuentra por debajo de la superficie del Lago de Valencia y está enteramente dentro de su cuenca Cuaternario.

#### **2.6.3.1 Geometría de la falla:**

Longitud de extremo a extremo 34 km (acumulado 34 km).

Rumbo promedio: N.  $72^\circ \pm 2^\circ$  E.

Inclinación promedio: subverticales.

Sentido del movimiento: Derecho-lateral.

Tasa de movimiento: 0.5 mm/año.

**2.6.3.2 Expresión geomorfológica:** Oculto, traza es completamente bajo el agua. La falla interrumpe depósitos lacustres en el piso del Lago de Valencia.

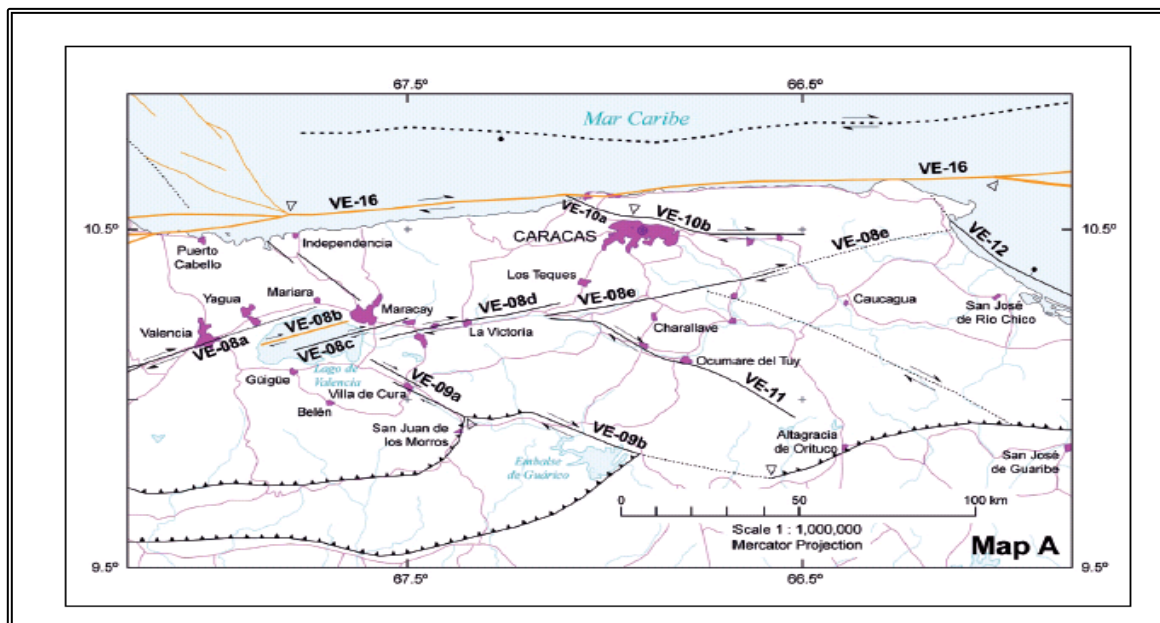


Figura 2.3. Mapa de Falla Cuaternaria de la zona Nor-Central de Venezuela. (Audemard, et al., 2000).

## 2.7 Formaciones geológicas

### 2.7.1 Esquisto de Las Brisas.

Definida por González de Juana et al. (1980) como una secuencia de sedimentos metamorfizados que afloran, principalmente, en la región de Caracas, en el sitio llamado Las Brisas.

## MESOZOICO (Jurásico Tardío)

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (1937) mencionan un metaconglomerado arcósico. Dengo (1951) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquisto cuarzo – micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas. Smith (1952), divide la formación en dos miembros: miembro inferior, constituido por gneises y esquistos microclínicos conglomeráticos y miembro superior, formado casi enteramente por esquistos sericíticos. Las rocas del Esquisto de Las Brisas corresponden a sedimentos de ambientes plataformales de aguas poco profundas. (Urbani, 2002).

### **2.7.2 Esquisto las Mercedes**

## MESOZOICO (Jurásico - Cretácico)

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (1938), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado a gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - moscovítico – calcítico – grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado “Caliza de los Colorados”. Seiders (1965), menciona, además, meta – areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Las rocas del Esquisto de Las Mercedes corresponden a ambientes marinos de aguas más profundas y a veces anóxicas, con ocasionales cuerpos de arena aportados por flujos turbidíticos (Urbani, 2002).

### **2.7.3 Asociación Metamórfica Ávila**

Las rocas de la Asociación Metamórfica Ávila (AM Ávila), con edades desde el Precámbrico al Paleozoico, corresponden a unidades típicas de un margen pasivo de corteza continental,

representando un basamento exhumado, donde a gran escala la foliación muestra una estructura antiforme. La configuración del macizo del Ávila, localidad tipo de la asociación, muestra una estructura tipo horst, controlado mayoritariamente por las fallas San Sebastián, Macuto y Ávila, con otras fallas intermedias que producen un notable escalonamiento topográfico tanto en el flanco norte como en el sur.

Las unidades individuales corresponden en gran parte a cuerpos de composición granítica, originalmente de composición y granulometría muy diversa, de fina a muy gruesa, que debido a la posterior deformación ha permitido la formación de una amplia gama de tipos de gneis (Augengneis de Peña de Mora).

Las rocas graníticas están intermezcladas o envueltas por rocas esquistosas de típica naturaleza metasedimentaria (algunos de los tipos de esquistos del Complejo San Julián), de probable edad Paleozoica. El sedimento original pudo haberse depositado en un margen continental pasivo sobre un basamento mayormente granítico (protolitos del Augengneis de Peña de Mora y de los otros cuerpos graníticos, de edad Precámbrico - Paleozoico). Hay muchas intercalaciones, mayormente concordantes de rocas máficas (pero no hay serpentinita). Estas rocas pueden representar intrusiones de diabasa, gabro, piroxenita, etc. (Urbani, 2002).

#### **2.7.4 Augengneis de Peña de Mora**

##### **PRE – MESOZOICO**

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (1937) describieron augengneis que interpretan como formados por inyección “lit – par – lit” de un magma granítico en una roca laminar, posteriormente Dengo (1951, 1953) añadió a esta descripción niveles sin estructura augen, capas de cuarcita y diques de aplita, que generalmente no sobrepasan 30 cm de espesor, igualmente incluye en su unidad a lentes de mármoles en la parte superior del augengneis. Wehrmann (1972) a su vez amplió la aceptación de la Formación Peña de Mora definiéndola como un complejo ígneo – metamórfico equivalente lateral, por lo menos en parte, de la

Formación Las Brisas que prácticamente forma el núcleo de la Cordillera de la Costa, incluyendo augengneises gruesos y bandeados, gneises de grano fino a medio, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo – muscovíticos y ocasionalmente anfibolitas, mármoles delgados, así mismo dentro de esa secuencia identifica cuerpos dispersos de roca ultramáficas, máficas y félsicas. Encuentra que los augengneises son de colores claros ligeramente verdosos y meteorización marrón claro; los “augen” son mayoritariamente de feldespato potásico, llegado a alcanzar hasta 3 cm de largo están rodeados por minerales micáceos y cuarzo.

### **2.7.5 Complejo San Julián**

#### **PRE – MESOZOICO**

Descripción litológica: Las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo – plagioclásico – micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnésico (Urbani y Ostos, 1989a). Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita. El esquisto es de color gris oscuro con tonalidades verde, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado. A escala centimétrica o plurimétrica pueden encontrarse niveles alternos de esquisto y/o gneis con proporciones variables de los minerales esenciales y accesorios, adquiriendo características diferentes en cuanto a color y desarrollo de foliación. El gneis siempre tiene colores más claros que los esquistos, ya que su textura se debe fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos. Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquisto cuarzo - plagioclásico – micáceo, es que la plagioclasa (albita – oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartándole a la roca un aspecto moteado.

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Principios de los métodos sísmicos

Schuck y Lange (op. cit.) destacan que la velocidad de las ondas sísmicas es el parámetro más fundamental en los métodos sísmicos. Depende de las propiedades elásticas, así como de las densidades aparentes de los medios y varía con el contenido mineral, la litología, la porosidad, la saturación del fluido en los poros y el grado de compactación. Las ondas P tienen principalmente una velocidad más alta que las ondas S, su relación viene dada por ecuación mostrada más adelante. Las ondas S no se pueden propagar en fluidos porque los fluidos no soportan el esfuerzo cortante, por lo que mientras que las ondas P brindan información sobre la litología y el contenido de fluidos, las ondas S solo contienen información sobre la litología.

$$V_p = \sqrt{3} * V_s \quad (\text{Ec. 3})$$

$V_p$ = Velocidad de ondas P;  $V_s$ = Velocidad de ondas S

Según Dobrin (1961), las velocidades de las ondas corpóreas y superficiales también están relacionadas de la siguiente forma:

$$V_p > V_s > V_{Love} > V_{Rayleigh}$$

El tiempo de viaje de las ondas es también otro parámetro importante en este método. Durante su propagación dentro del subsuelo, las ondas sísmicas se reflejan, refractan o difractan cuando se producen contrastes elásticos en los límites entre capas de diferentes propiedades rocosas. El registro de las ondas sísmicas que regresan del subsuelo a la superficie permite

extraer conclusiones sobre las estructuras y la composición litológica del subsuelo. Al medir los tiempos de viaje de las ondas sísmicas y determinar sus velocidades específicas de material, se puede construir un modelo geológico del subsuelo (Schuck y Lange, s.f.).

Por último, Telford et al. (1990) destacan al principio que rige la teoría de elasticidad y que fundamenta a los métodos sísmicos, el mismo establece la relación entre esfuerzo y deformación que hace posible la propagación de las ondas. Es conocido como la Ley de Hooke y establece que *“Dada una deformación en un medio elástico, isotrópico y homogéneo, ésta es directamente proporcional al esfuerzo producido. Cuando existen varios esfuerzos, cada uno produce deformaciones independientes de los otros esfuerzos, entonces el total de las deformaciones es la suma de las deformaciones individuales producidas por cada esfuerzo”*.

### **3.2 Ondas sísmicas**

Estas ondas se dividen en: ondas internas y ondas superficiales.

#### **3.2.1 Las ondas internas o corpóreas son:**

##### **3.2.1.1 Ondas P**

Las partículas de una onda P o de compresión oscilan en la dirección de la propagación de la onda; estas ondas son parecidas a las ondas sonoras ordinarias. Las ondas P son más rápidas que las ondas S, es decir, después de un sismo en un registro se pueden observar primero las llegadas de las ondas P y posteriormente las ondas S y superficiales (Dobrin, 1960). La velocidad de las ondas P se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (\text{ecuación 3.1})$$

Dónde: k = módulo de incompresibilidad



$\mu$ = módulo de rigidez

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$\rho$ = densidad del medio, en que se propaga la onda P.

Dónde:  $\lambda$  y  $\mu$  = constantes de Lamé

$\rho$ = densidad del medio, en que se propaga la onda P.

### 3.2.1.2 Ondas S

Las partículas de una onda S o de cizalla oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Se distinguen las ondas SH, cuyas partículas oscilan en el plano horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, y las ondas SV, cuyas partículas oscilan en el plano vertical y perpendicular a la dirección de propagación. En las ondas S polarizadas, sus partículas oscilan en un único plano perpendicular a su dirección de propagación (Dobrin, 1960). La velocidad de la onda S se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (\text{ecuación 3.3})$$

Dónde:  $\mu$  = módulo de rigidez

$\rho$  = densidad del medio, en que se propaga la onda s.

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2(1+\sigma)\rho}}$$

(ecuación 3.4)

Dónde: E = módulo de elasticidad

$\rho$  = densidad del medio, en que se propaga la onda s.

$\sigma$  = constante de Poisson.

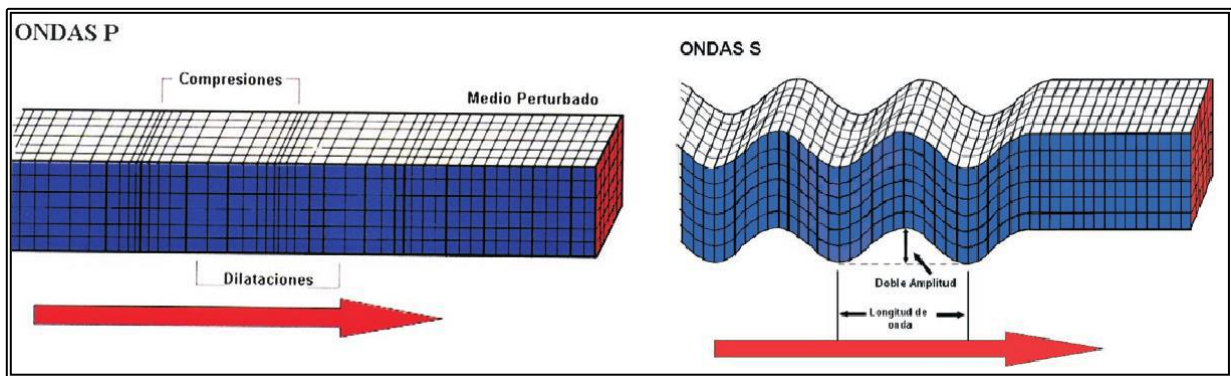


Figura 3. Ondas corpóreas: ondas primarias (P) y ondas secundarias (S) (FUNVISIS, 2002).

### 3.2.2 Las principales ondas superficiales son:

#### 3.2.2.1 Ondas Love.

Las ondas Love son ondas de cizalla que oscilan sólo en el plano horizontal, es decir, son ondas de cizalla horizontalmente polarizadas (Dobrin, 1960). Para su propagación requieren la existencia de una capa superficial de menor velocidad en comparación a las formaciones subyacentes, es decir, un gradiente de velocidad positivo (la velocidad se incrementa con la profundidad).

### 3.2.2.2 Ondas Rayleigh

Son ondas superficiales con un movimiento descrito matemáticamente como ondas planas en un espacio semi-infinito elástico. Las ondas Rayleigh causan un movimiento rodante parecido a las olas del mar y sus partículas se mueven en forma elipsoidal en el plano vertical, que pasa por la dirección de propagación. En la superficie el movimiento de las partículas es retrógrado con respecto al avance de las ondas. La velocidad de las ondas Rayleigh ( $V_{\text{Rayleigh}}$ ) es menor que la velocidad de las ondas S (transversales) y es aproximadamente  $V_{\text{Rayleigh}} = 0,9 V_s$  (Dobrin, 1960).

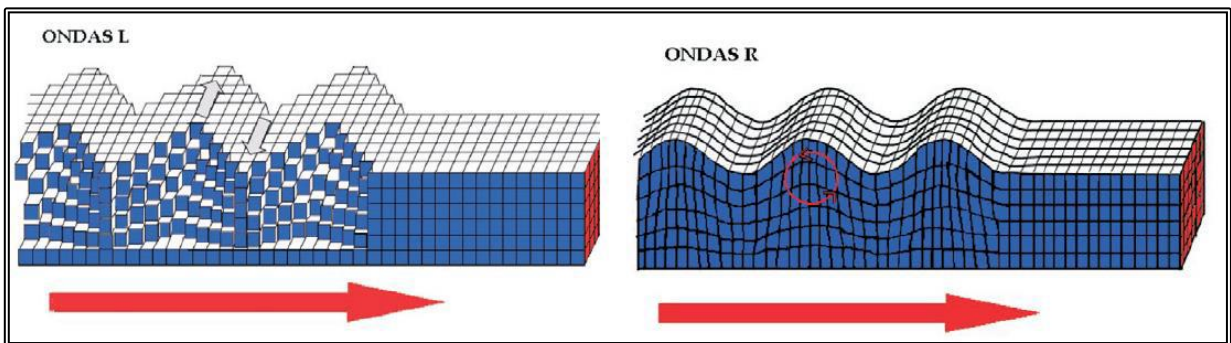


Figura 3.1. Ondas superficiales: ondas Rayleigh (R) y ondas Love (L). Tomado de (FUNVISIS, 2002)

### 3.3 Microzonificación Sísmica

La microzonificación sísmica es considerada como la metodología de trabajo adecuada para utilizarse en la reducción del riesgo sísmico en ciudades. El objetivo de un proyecto de microzonificación sísmica consiste en evaluar los niveles de amenaza sísmica y los efectos locales probables, lo que permite la implementación de estrategias que tomen en cuenta estas condiciones regionales y locales del suelo, responsables para la modificación de la respuesta sísmica en una ciudad. Para ello se analizan con un enfoque multidisciplinario tanto los datos disponibles del subsuelo, como los nuevos estudios realizados. Rev. Fac. Ing. UCV (2011).

### **3.4 Ruido sísmico ambiental**

Los microtemblores también se conocen como microtrepidaciones, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores. Los microtemblores pueden definirse como: a) vibraciones en la superficie debido a la incidencia oblicua de ondas de cuerpo que se propagan en todas direcciones con la misma energía; b) una superposición de ondas superficiales, que constituyen un campo estacionario y homogéneo; y, c) el ruido ambiental generado por fuentes naturales y culturales, como el tráfico vehicular o la actividad humana (Flores-Estrella, 2004).

El rango de periodo para medición de microtemblores es menor a 1 ó 2 segundos. Sin embargo, existen algunas excepciones donde los microtemblores son de periodo mayor a 5 segundos debido a la existencia de sedimentos muy blandos (Seo, 1995).

En la actualidad, los microtemblores son ampliamente usados para fines de microzonificación sísmica, uno de los aspectos que se toma en cuenta para establecer un sitio de medición de microtemblores, es verificar antes que nada que se obtengan periodos estables y variaciones cotidianas en amplitud de las vibraciones; adicionalmente tomar en cuenta interferencias ocasionadas por estructuras enterradas. La medición de estas ondas no es invasiva ya que no requiere de ninguna fuente explosiva o causante de daños o interrupciones, en cambio estos implementan estaciones de mediciones temporales. Además, son muy versátiles porque pueden cubrir grandes áreas en poco tiempo, se puede realizar en diversos sitios de la ciudad y a diferentes horas del día sin interferir con el curso normal de la vida urbana (Cuadra, 2007).

Las mediciones de microtemblores tienen como propósitos principales: Obtención de período fundamental del suelo, evaluación de efectos de sitio, determinación de  $V_{s30}$ , el monitoreo de vibraciones en estructuras y afectación al ser humano y la obtención de perfiles de velocidades de ondas sísmicas.

### 3.5 Determinación de Vs30 a partir de datos topográficos

El Vs30 topográfico es un parámetro introducido por Wald y Allen (2007), quienes promueven el uso de la pendiente topográfica como una aproximación rápida para reconocer las condiciones sísmicas y amplificaciones del sitio alrededor de todo el mundo. Este parámetro se basa en la correlación entre la pendiente topográfica y el valor de Vs30 medido en puntos donde se conoce la tectónica involucrada, pudiendo ser estas de carácter tectónico activo o continental estables. Dichas correlaciones fueron realizadas utilizando DEMs de 30 arcossegundos (Wald y Allen, 2007), y fueron posteriormente recalculadas basadas en DEMs de 9 arcossegundos (Allen y Wald, 2009).

### 3.6 Efecto de sitio

El efecto de sitio es la modificación de la señal sísmica que ocurre debido a la repuesta del terreno blando frente a la energía generada por un terremoto, y consiste en la amplificación de dicha señal en varios órdenes de magnitud. Debido a esto, se registra un aumento considerable en los daños generados por terremotos en un rango de períodos de vibración del suelo que coincide con el periodo de vibración de las estructuras. Esta amplificación es controlada por las propiedades dinámicas del suelo, tales como el contraste de impedancia y profundidad a la que se encuentra el suelo rocoso. Cuando la onda pasa de basamento a suelos blandos se amplifica y se prolonga el tiempo de sacudida sísmica, modificando su contenido frecuencial (Tsige y García Flórez, 2006).

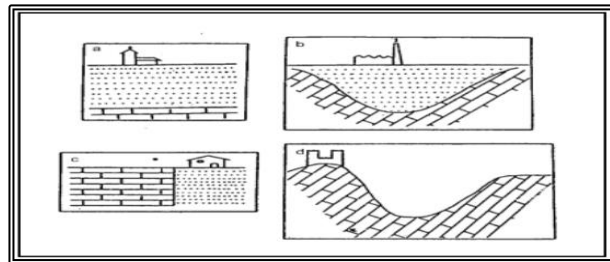


Figura 3.2. Estructuras que pueden dar lugar a efectos de sitio. a) Capas sedimentarias horizontales sobre un substrato rocoso; b) relleno sedimentario de un valle; c) discontinuidades laterales bruscas; d) relieves (Moncayo & Edmundo, 2003).

### **3.7 Interferometría sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales**

La interferometría sísmica puede ser aplicada mediante dos pasos simples (Curtis et al., 2006): Los registros de cada fuente son correlacionados y los correlogramas resultantes son sumados (apilados). Se obtiene, para tiempos positivos, el sismograma que habría sido obtenido en cada receptor si en la posición del otro se ubicara una fuente, mientras que para tiempos negativos se obtiene el reverso del anterior sismograma. Se ha construido una traza sísmica a partir de una fuente virtual, la cual está ubicada en la posición de uno de los receptores. Para los efectos de este manuscrito se referirá al método como IMASW (Interferometric Multichannel Analysis of Surface Waves).

### **3.8 Velocidad de onda de corte en los primeros 30 m ( $V_{s30}$ )**

La influencia de las propiedades físicas de los materiales geológicos superficiales en la amplificación del movimiento del suelo debido a un terremoto es un hecho bien conocido y que ha de tenerse en consideración para la evaluación de la peligrosidad sísmica en una región (Aki, 1993). En particular, la función de la velocidad de las ondas de cizalla es esencial para estimar y entender los efectos de sitio ya que se ha comprobado la relación existente entre la variación espacial de este parámetro y la amplificación del suelo (Rogers, 1985). En el ámbito de la ingeniería sísmica, suele emplearse la velocidad media de las ondas S en los primeros 30 m ( $V_{s30}$ ) para clasificar el tipo de suelo relacionado con un determinado valor de amplificación.

La obtención de la función de la velocidad de ondas S con la profundidad puede realizarse empleando distintas técnicas. Podemos clasificarlas en: métodos pasivos (basados en el registro de microtemores) o métodos sísmicos convencionales con fuente activa y controlada (Hunter et al, 2002).

### 3.9 Curva de dispersión

Gráfico de la frecuencia contra la velocidad de fase. La forma de la curva de dispersión se denomina dispersión característica de la onda Rayleigh. Existen múltiples velocidades de fase para una misma frecuencia por lo cual una curva de dispersión puede ser multimodal. El modo fundamental es el modo con la menor velocidad de fase y existe para todas las frecuencias. Los modos de orden superior tienen velocidades de fase superiores y por lo tanto solo se presentan por encima de una frecuencia específica que depende del modo (Everett, 2013).

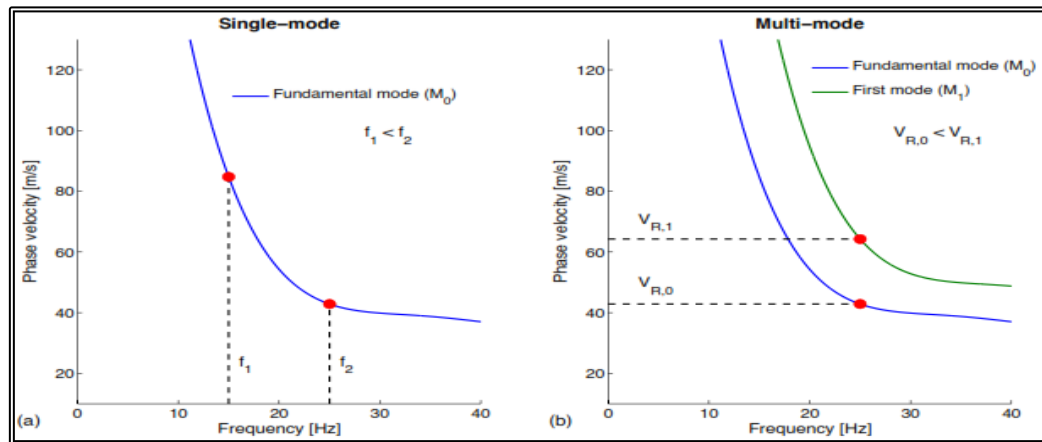


Figura 3.3 (a) Curva de dispersión del modo fundamental. (b) Curvas de dispersión para el modo fundamental y el modo de orden 1. Modificado de Everett (2013).

### 3.10 Análisis espectral de ondas superficiales

El método análisis espectral de ondas superficiales utiliza las características dispersivas de las ondas Rayleigh en un medio de múltiples capas para estimar la velocidad de onda de cizalla de los estratos más someros (Park et al., 1999). Se analiza la data en el dominio de la frecuencia y se extrae una curva de dispersión. Esta última se utiliza en la computación de un modelo que relaciona la velocidad de cizalla con la profundidad para la zona de estudio (Park et al., 1999).

### **3.11 Dispersión de ondas superficiales**

La dispersión de ondas superficiales es la variación de sus propiedades respecto a la profundidad. Las ondas Love siempre son dispersivas y su velocidad varía respecto a la frecuencia, mientras que en un estrato homogéneo las ondas Rayleigh no son dispersivas. Debido a que las características del suelo cambian con la profundidad, nos encontramos con que el medio es heterogéneo y, en este las ondas Rayleigh son dispersivas, lo que implica que posee una velocidad de fase para cada frecuencia (Kramer, 1996). Las ondas de menores frecuencias logran penetrar a mayor profundidad que las de mayores frecuencias, y, por lo general, exhiben mayores velocidades y son más sensitivas a las características del medio. Las mayores frecuencias son más sensitivas a las características de estratos más someros (Xia *et al.*, 1999).

El espesor de sedimentos influye en gran medida en la dispersión de las ondas Rayleigh y Love. Zhang *et al* (1996) estudió este efecto, demostrando que las velocidades, tanto la de fase como la de grupo, aumentan a medida que incrementa el espesor de la capa sedimentaria en el modelo.

### **3.12 Ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test, SPT)**

El ensayo de Penetración Estándar mide en forma sencilla el grado de compacidad del suelo en el sitio, al convertir el proceso de hincar la toma muestras en el terreno en un ensayo dinámico de penetración conocido como ensayo normal de penetración SPT, desarrollado a finales del año 1920. (Hidalgo J & Paredes L. 2015).

Los procedimientos para su ejecución y los equipos usados fueron normalizados como la prueba ASTM D-1586 en el año 1958, actualizada en 2008. La denominación ensayo normal de penetración corresponde a la traducción de Standard Penetration Test, SPT. Es una prueba in situ que se realiza en el fondo de una perforación, para ensayar terrenos en los que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico. (Hidalgo J & Paredes L. 2015).



### **3.13. Clasificación del suelo mediante el parámetro $V_{s30}$ .**

El procedimiento a seguir según COVENIN (1756-1:2019) es el siguiente:

a.) Los sitios de ubicación de las construcciones deben clasificarse de acuerdo con las características del terreno siguiendo las prescripciones. En función de la clasificación adoptada se deben emplear los factores de sitio a los fines de la construcción de los espectros de respuesta, para su empleo en el diseño o para los controles referidos. De presentarse varios perfiles geotécnicos para una construcción continua, se debe utilizar la envolvente de los espectros de respuesta asociados a ellos.

b) En caso de pendientes superiores al 40% en el sitio o en sus cercanías, debe evaluarse el peligro de deslizamientos. Se investigarán las condiciones del subsuelo para decidir la eventual necesidad de evaluar el potencial de licuación. Se revisará la posible ruptura de fallas cercanas.

c) En caso de existir una microzonificación sísmica debidamente aprobada que cubra el sitio del proyecto, se deben satisfacer los requisitos. Adicionalmente se deben seguir las adaptaciones.

d) Se deben efectuar los estudios especiales en los siguientes casos:

1. Para la clase de sitio F definida
2. Para definir los espectros en los diseños con aislamiento en la base.
3. Para obtener los espectros de estudios de microzonificación sísmica.

La clase de sitio se determina de la siguiente manera:

a) A cada perfil geotécnico se le asignará una clase de sitio según el grado de rigidez superficial. Como índice cuantitativo de la rigidez mecánica de las capas de terreno se utilizará la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ), estableciendo la velocidad promedio en los 30 metros superiores ( $V_{s30}$ ). Su valor debe determinarse mediante medición directa o aproximación.

b) Se seleccionará una clase de sitio de acuerdo con las descripciones cualitativas respectivas y el rango de  $V_{s30}$  asociado.

Tabla 3. Clasificación del suelo mediante el parámetro  $V_{s30}$  (COVENIN 1756-1, 2019).

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

| Clase      | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Vs30 (m/s) |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|            | espesor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |
| <b>DE*</b> | Propiedades intermedias entre las clases D y E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 170 a 200  |
| <b>E</b>   | 1) Arenas sueltas o arenas limosas, con suficientes proporción de finos, no susceptibles de licuación.<br>2) Arcillas blandas, plásticas (IP > 20) u orgánicas, no incluidas en la clase F.                                                                                                                                                                                                     | 120 a 170  |
| <b>F</b>   | 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 con índice de plasticidad IP > 75 y más de 7 metros de espesor, arcillas firmes o blandas con más de 30 metros de espesor, rellenos artificiales con o sin pendiente y sitios con Vs30 < 120 m/s | < 120      |

| Clase    | Descripción                                   | Vs30 (m/s) |
|----------|-----------------------------------------------|------------|
| <b>A</b> | Roca dura                                     | > 1500     |
| <b>B</b> | Roca                                          | 760-1500   |
| <b>C</b> | Suelo denso - Roca suave                      | 360-760    |
| <b>D</b> | Suelo suave                                   | 180-360    |
| <b>E</b> | Perfil del suelo                              | <180       |
| <b>F</b> | Suelos que requieren evaluaciones específicas |            |

Figura 3.4. Clasificación de suelos basada en Vs30 según las recomendaciones de NEHRP (2003).

Nota: Tabla tomada de La Norma COVENIN 1756-2001.

### 3.14 Propuesta de fórmulas para estimado de Espesor.

A. Partiendo de que la fórmula tradicional  $H = \frac{V_s T}{4}$  es inexacta para un perfil estratificado no-uniforme, donde H es su espesor total, T el periodo fundamental del perfil y  $v_s$  el promedio armónico de la velocidad de ondas de corte en el perfil:

Se plantea usar una aproximación del valor exacto basada en una estadística de su empleo

(Dobry et al., 1976). Según ésta, la fórmula inversa  $T = \frac{4H}{V_s}$  subestima el periodo en un 20%

en promedio, lo que conduce a un mejor estimado promedio como  $H \approx \frac{V_s T}{3.3}$ ; aunque en casos

de perfiles de prueba en Carora y Caracas (J.J.H., 2021, “suelo estratificado.xlsx”) se

consiguió una mejor aproximación con  $H \approx \frac{V_s T}{3.5}$ . En todo caso, se propone utilizar como

fórmula aproximada  $H \approx \frac{V_s T}{k}$ , donde  $k = 3.3$  a  $3.5$  (Ec. 3.5).

B. Para el caso típico en que no se conozca el  $v_s$  del perfil pero se conozcan  $V_{s,inf}$  = promedio

de la capa inferior del perfil, de espesor desconocido, y  $V_{s,sup}$  = promedio de la capa superior

del perfil de espesor h (la capa inferior es de espesor desconocido porque no se conoce H), la ecuación

$$V_s = H / \left( \frac{h}{V_{s,sup}} + \frac{H-h}{V_{s,inf}} \right) \text{ conduce a } H \approx \frac{V_{s,inf} T}{k} - h \left( \frac{V_{s,inf}}{V_{s,sup}} - 1 \right) \text{ (Ec. 3.6).}$$

Esta es la misma fórmula presentada en Rocabado et al. (2011) para  $h = 30$  m,  $V_{s,sup} = V_{s30}$  y

$k = 4$ ; simplemente es una re-adaptación.

$$H = \frac{T \cdot V_{s,inf}}{4} + 30 \cdot \left(1 - \frac{V_{s,inf}}{V_{s_{30}}}\right)$$

(Ecu. 3.7) (Rocabado et al., 2011)

Análogamente se deduce que  $V_s \approx V_{s,inf} - \frac{kh}{T} \left( \frac{V_{s,inf}}{V_{s,sup}} - 1 \right)$  (Ecu. 3.8).

A partir de estadística de periodos de perfiles con datos geofísicos, basada en el método simplificado de Rayleigh de Dobry et al., 1976

## CAPÍTULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1 Recopilación de datos.

##### 4.1.1 Información previa.

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre la información geológica, geofísica y geotécnica existente de la ciudad de Maracay, para luego, esta información ser introducida ordenadamente en una base de datos, con la finalidad de compararlos y correlacionarlos con dicho estudio.

##### 4.1.2 Integración de datos Geofísicos y Geotécnicos en el SIG.

1. Inicialmente se descargó el mapa satelital del área de estudio, el cual permitió identificar la zona de estudio para este proyecto.

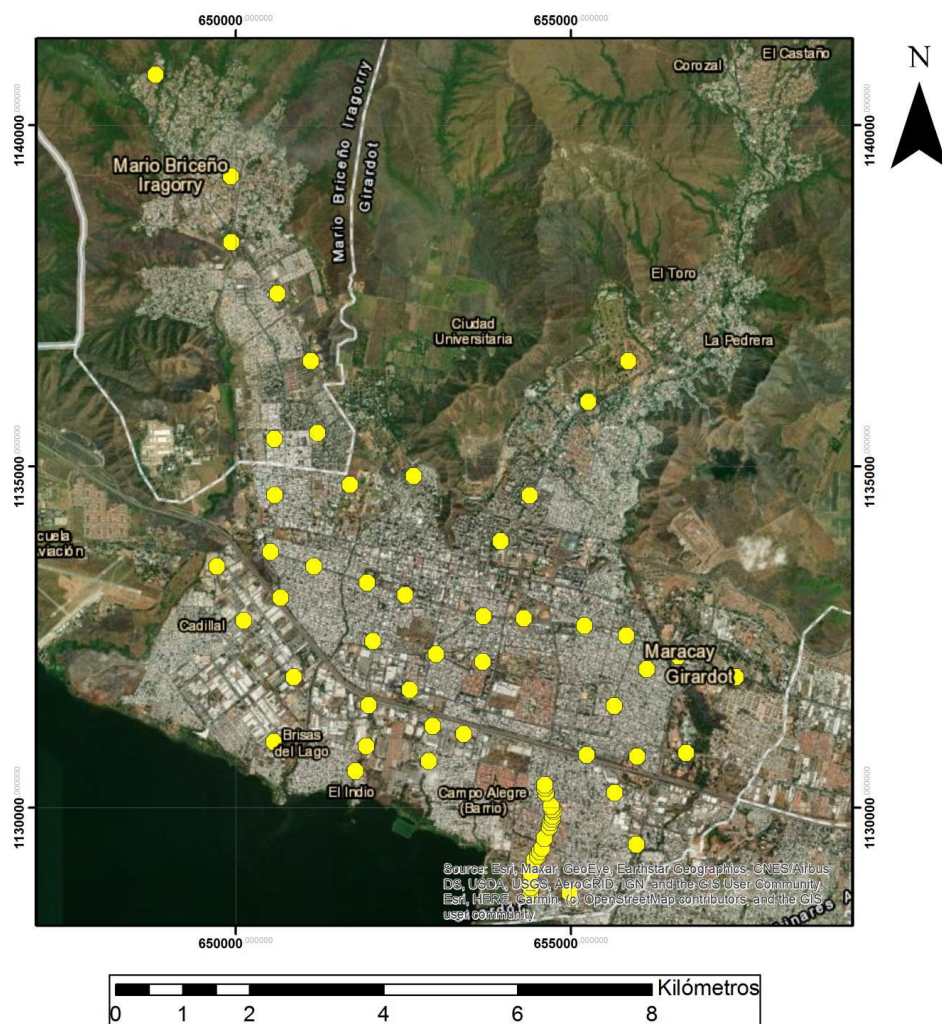
2. luego se descargaron los datos geofísicos de Vs30, espesor sedimentario y datos geotécnicos, en la base de datos SIG, permitiendo de esta forma determinar y seleccionar la ventana de estudio del proyecto.

3. Se ubicaron las zonas más importantes, observando en ellas las ubicaciones de las mediciones geofísicas y geotécnicas en dichas zonas.

#### 4.1.3 Datos geofísicos.

A continuación, se muestran las ubicaciones de las estaciones y tendidos utilizados para esta investigación.

##### 4.1.3.1 Datos de ReMi e IMASW



A partir de los datos de ruido antrópico mostrados en la figura 4.1, se generó mapas de Vs30, los cuales fueron adquiridos por (Casalena, 2011), y nuevamente procesados con dos

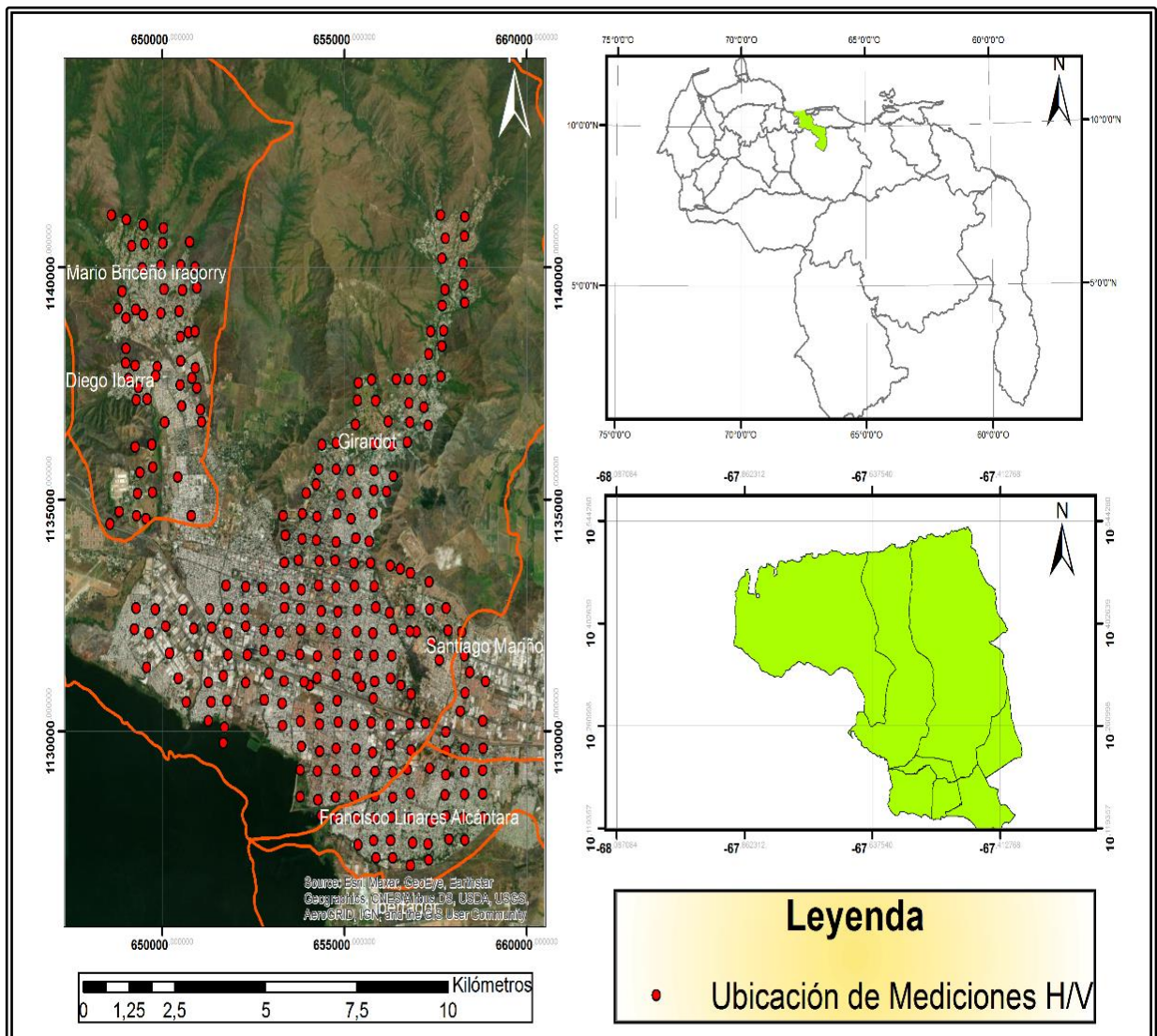
metodologías distintas por Escobar (2019), quien analizo registros de ruido sísmico de 70 tendidos dispuestos en toda el área de la ciudad de Maracay, aplicando para ellas ReMi e IMASW. Estos nuevos resultados se utilizaron como información para este trabajo.

Figura 4.1. Distribución de los tendidos de ruido sísmico. El punto amarillo representa el centro de cada tendido. (Tomada de Arcgis 10.4)

#### **4.1.3.2 Datos de relación espectral H/V.**

Se usaron los datos adquiridos por Rojas (2008), en total fueron 315 mediciones de ruido sísmico, con un espaciamiento de 500 m entre cada estación, con una longitud de grabación de los registros fue de 20 minutos en este caso, figura 4.2.

Figura 4.2 Distribución de las estaciones de ruido sísmico usadas en el método H/V. El punto verde representa la ubicación de cada estación. (Tomada de Arcgis 10.4).





#### 4.1.3.3 Mediciones geotécnicas (SPT)

Se usaron los datos de perforaciones geotécnicas suministradas por la empresa consultora (OT Heredia) del ingeniero José Heredia, con un total de 465 perforaciones en toda el área de Maracay, figura 4.3. Estos datos contenían información litológica, espesor de capas, número de capas, Vs30 promedio etc., así como se muestra más adelante en la tabla 4.1. Esta información fue sumamente de gran importancia para la generación de los perfiles realizados, donde se cálculos con mayor detalle el Vs30, así como fue de gran ayuda para ajustar el mapa de espesor sedimentario.

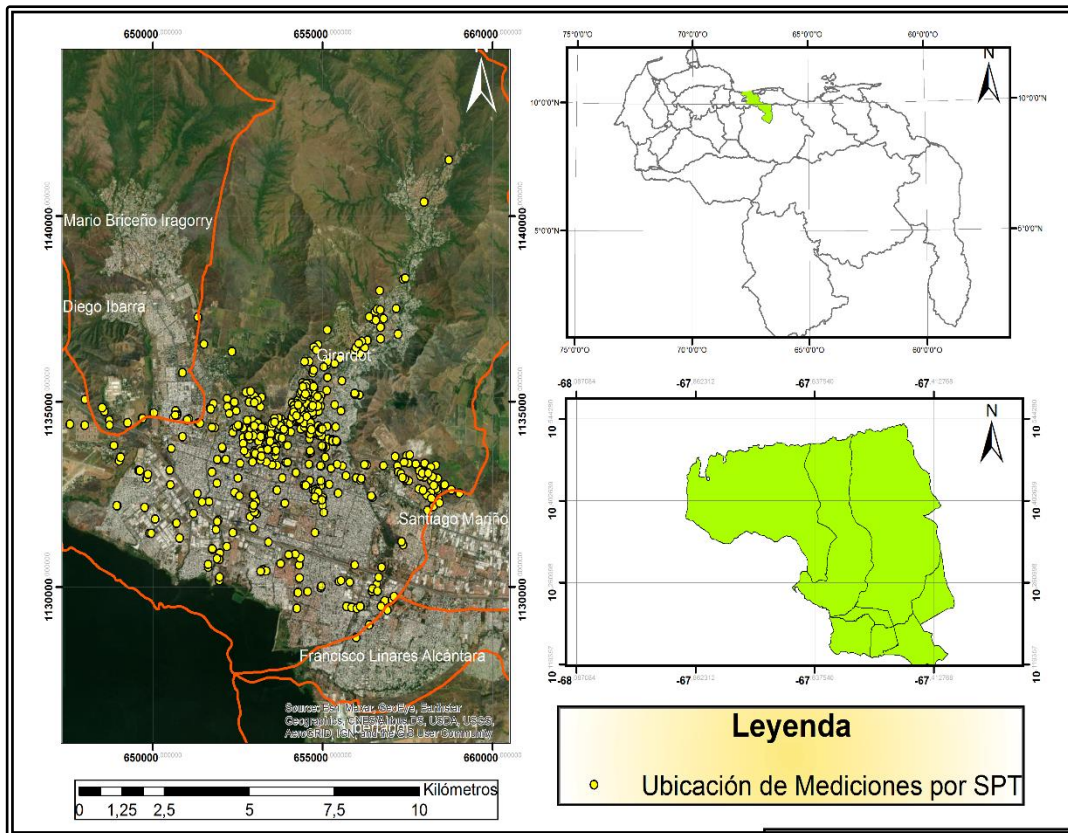


Figura 4.3. Distribución de las perforaciones geotécnicas otorgadas por la empresa OT Heredia.

(Tomado de Arcgis 10.4).

Tabla 4.1. Hoja de cálculo de Vs30 a partir de información geotécnica.

| AÑO  | ID                         | NORTE        | ESTE       | P. FREATICO (m) | NO_CAPAS | SPT_PROM | Vs (m/s) Campos | Vs(m/s) Imai & Yoshimura | Vs (m/s) Ohia & Goto | Vs (m/s) medio | ESPESOR h (m) | Vs30 (m/s) | TIPO DE SUELO          |
|------|----------------------------|--------------|------------|-----------------|----------|----------|-----------------|--------------------------|----------------------|----------------|---------------|------------|------------------------|
| 1984 | <a href="#">LES-117/84</a> | 1.133.791,70 | 653.567,00 | 8,00            | 11       | 5,000    | 185             | 155                      | 107                  | 149            | 1,0           | 336        | RELLENO INDISCRIMINADO |
| 1984 | <a href="#">LES-116/84</a> | 1.134.740,00 | 654.370,00 | 8,00            | 5        | 2,000    | 129             | 114                      | 78                   | 107            | 1,0           | 314        | RELLENO INDISCRIMINADO |
|      |                            |              |            |                 |          | 13,330   | 271             | 217                      | 221                  | 236            | 5,0           |            | ARENA LIMOSA           |
|      |                            |              |            |                 |          | 54,667   | 469             | 351                      | 391                  | 404            | 3,0           |            | ARENA CON GRAVA        |
|      |                            |              |            |                 |          | 39,000   | 411             | 313                      | 371                  | 365            | 3,0           |            | ARENA LIMOSA           |
|      |                            |              |            |                 |          | 37,000   | 403             | 308                      | 383                  | 364            | 3,0           |            | ARENA LIMOSA           |
| 1984 | <a href="#">LES-114/84</a> | 1.133.787,60 | 653.640,80 |                 | 5        | 4,000    | 189             | 144                      | 99                   | 137            | 1,0           | 280        | CAPA VEGETAL           |
|      |                            |              |            |                 |          | 5,330    | 190             | 159                      | 139                  | 162            | 2,0           |            | ARENA LIMOSA           |
|      |                            |              |            |                 |          | 20,500   | 320             | 252                      | 246                  | 273            | 2,0           |            | ARENA CON GRAVA        |
|      |                            |              |            |                 |          | 17,500   | 301             | 238                      | 251                  | 263            | 2,0           |            | ARCILLA LIMOSA         |
|      |                            |              |            |                 |          | 27,250   | 358             | 277                      | 316                  | 317            | 3,0           |            | ARENA LIMOSA           |
| 1984 | <a href="#">LES-106/84</a> | 1.132.205,00 | 654.995,00 | 10,50           | 6        | 15,000   | 283             | 226                      | 257                  | 256            | 10,0          | 250        | ARENA LIMOSA           |
|      |                            |              |            |                 |          | 14,750   | 282             | 225                      | 276                  | 261            | 4,0           |            | ARENA CON GRAVA        |
|      |                            |              |            |                 |          | 10,000   | 242             | 197                      | 249                  | 229            | 2,0           |            | ARENA LIMOSA           |
|      |                            |              |            |                 |          | 24,000   | 340             | 265                      | 340                  | 315            | 1,0           |            | ARENA CON GRAVA        |
|      |                            |              |            |                 |          | 35,000   | 394             | 302                      | 391                  | 362            | 1,0           |            | ARCILLA LIMOSA         |
|      |                            |              |            |                 |          | 10,330   | 245             | 199                      | 264                  | 236            | 2,0           |            | LIMO ARCILLOSO         |

## 4.2 Procesamiento

### 4.2.1 Imagen satelital

1. Buscar en el navegador *Earth Explorer* y dar click en la primera opción.
2. Colocar en el buscador la zona de interés.
3. Seleccionar el área de interés con la opción dibujar un polígono.
4. Seleccionar la fecha o el intervalo de tiempo que deseo buscar mi imagen.
5. Seleccionar la opción de *Landsat*.

6. Seleccionar resultados.
7. Escoger la imagen que corresponda a su área.
8. Descargar.

#### **4.2.2 Georreferenciación de imágenes**

1. Escoger la imagen que desea georreferenciar.
2. Identificar 4 puntos de coordenadas.
3. Crear un Excel con la latitud y longitud de los cuatro puntos.
4. Anadir data y seleccionar el documento Excel
5. Clic derecho a la hoja de cálculo en ArcMap y seleccionar *Display XY Data...*
6. En la ventana seleccionar la latitud y longitud en las casillas de X y Y.
7. Ok.
8. Se crea una carpeta con el nombre de la hoja, dar clic derecho y seleccionar *Data ->Export Data*.
9. Los puntos se van a exportar en ArcMap
10. Posteriormente añadir Data y seleccionar la imagen

11. En la herramienta de *Georeferencing* seleccionar la imagen y dar clic a *Fit To Display*.

12. Posteriormente dar clic en *Add Control Point*

13. En sentido de las agujas del reloj seleccionar el primero punto y seleccionar en la imagen donde corresponde, y así sucesivamente.

#### **4.2.3 Generación de mapas a partir de datos ya existente.**

1. Crear un Excel con la latitud, longitud, ID y el dato que se desea mapear.

2. Guardar el documento en la carpeta conectada al proyecto.

3. Anadir data y seleccionar el documento Excel.

5. Clic derecho a la hoja de cálculo en ArcMap y seleccionar *Display XY Data...*

6. En la ventana seleccionar la latitud y longitud en las casillas de X y Y. Clic- OK

7, Se crea una carpeta con el nombre de la hoja, dar clic derecho y seleccionar *Data ->Export Data*.

8. Los puntos se van a exportar en ArcMap.

9. Ir a ArcToolbox como se muestra en la figura 4.4.

10. Seleccionar Spatial Analyst Tools ->Interpolation ->IDW.

11. En la ventana emergente colocar en *input point features*-los puntos exportados (ejemplo, puntos de Escobar V). En *Z value field*-colocarel dato que se desea interpolar (profundidad, Vs30 por Remi, etc).

12. Colocar la ruta de dirección ->Ok

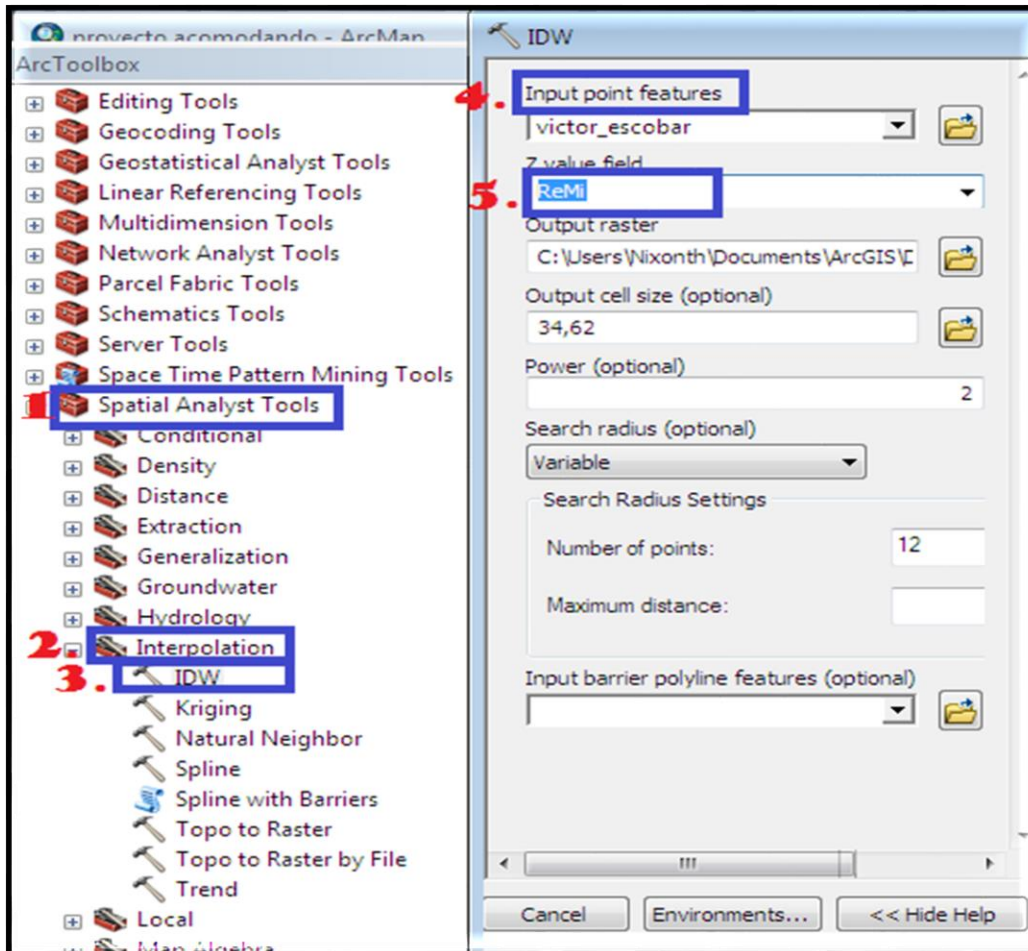


Figura 4.4. Generación de Mapas con datos existentes.

#### 4.2.4 Metodología para realizar mapa de Vs30 por topografía

El mapa de Vs30 por topografía se realizó de la siguiente manera:

Inicialmente se hizo una revisión de la bibliografía y se hicieron ajustes funcionales, es decir, a la relación entre el Vs30 y la pendiente topográfica (p) en regímenes activos, propuesta por Allen & Wald (2009) para 9” de arco, y definida en una tabla de valores numéricos (Tabla 4.2), se le realizó un ajuste racional-polinómico obteniéndose la siguiente expresión válida para  $p \leq 0,2$

$$V_{s30} = \frac{2046p^3 + 1612p^2 + 377.4p + 1.259}{p + 0.007324} \text{ (m/s)} \quad \text{(ecuación 4.1)}$$

Donde p es el valor de la pendiente en unidades naturales (m/m).

Se debe tomar en cuenta que el resultado crece indefinidamente con p y debe ser acotado. En la aplicación se limitó el valor máximo de Vs30 a 800 m/s (obtenido para  $p = 0,216 = 12,2^\circ$ ).

Tabla 4.2. Relación entre la pendiente topográfica y las categorías de Vs30 según NEHRP (BSSC, 2003). Se muestran los respectivos rangos de topografía (Allen & Wald, 2009).

| Clasificación de sitios NEHRP | Rango Vs30 (m/s) | Rango de gradiente (m/m) para 9 arcsec en regímenes activos |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------|
| <i>E</i>                      | < 180            | < $3 \times 10^{-4}$                                        |
|                               | 180 - 240        | $3,5 \times 10^{-4} - 3,5 \times 10^{-3}$                   |
|                               | 240 - 300        | $3,5 \times 10^{-3} - 0,010$                                |
| <i>D</i>                      | 300 - 360        | 0,010 - 0,024                                               |
|                               | 360 - 490        | 0,024 - 0,08                                                |
| <i>C</i>                      | 490 - 620        | 0,018 - 0,14                                                |
|                               | 620 - 760        | 0,14 - 0,20                                                 |
| <i>B</i>                      | > 760            | > 0,20                                                      |

#### 4.2.5 Extracción de los valores del mapa Vs30 por topografía

Para obtener los valores de Vs30 del mapa por topografía de debe realizar los siguientes pasos:

1. Clic en *ArcToolbox*
2. Clic en *Conversion Tools -> from Raster -> Raster to Point*.
3. En la ventana emergente colocar el *Raster* con el Vs30 por topografía. Clic en *Ok* como se muestra en la figura 4.6.
4. En la tabla de atributos de los puntos del Vs30 por topografía. Clic en *opción de tabla-add fiel*.
5. colocar el nombre de la variable “X” y en el tipo, seleccionar *Double*. Se repite el mismo procedimiento para la variable “Y”.
6. Calcular el valor en UTM de X y Y, presionando Clic derecho sobre la selección de “X”- *calculate Geometry –Yes*. Observar que en las propiedades este la variable correcta, el sistema de coordenadas y las unidades en metros. Clic en *OK* Figura 4.5.

7. Repetir el mismo procedimiento para la otra variable.

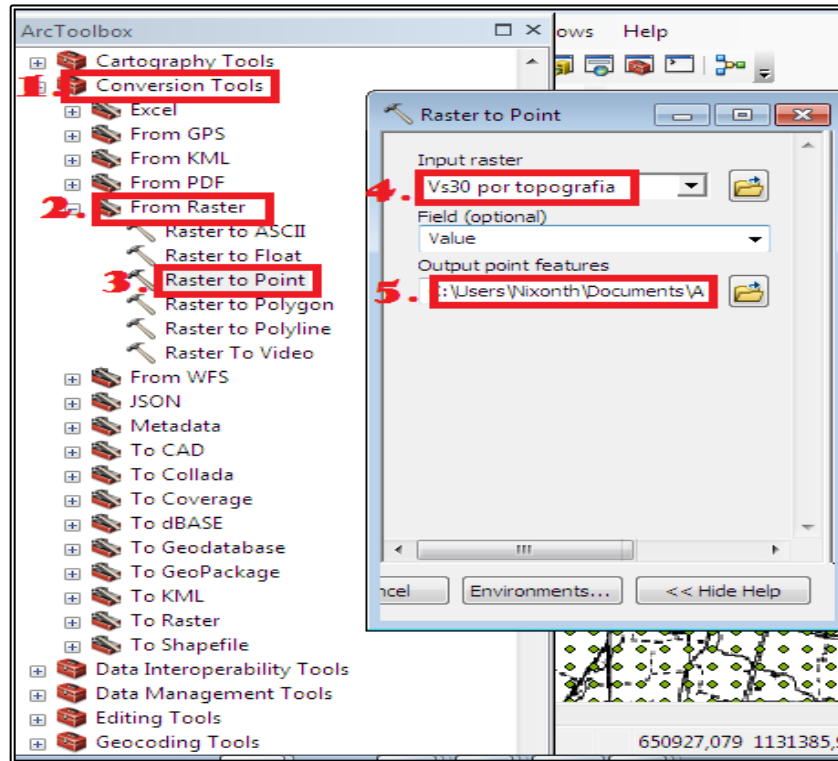


Figura 4.5. Generación de puntos del Vs30 por topografía.



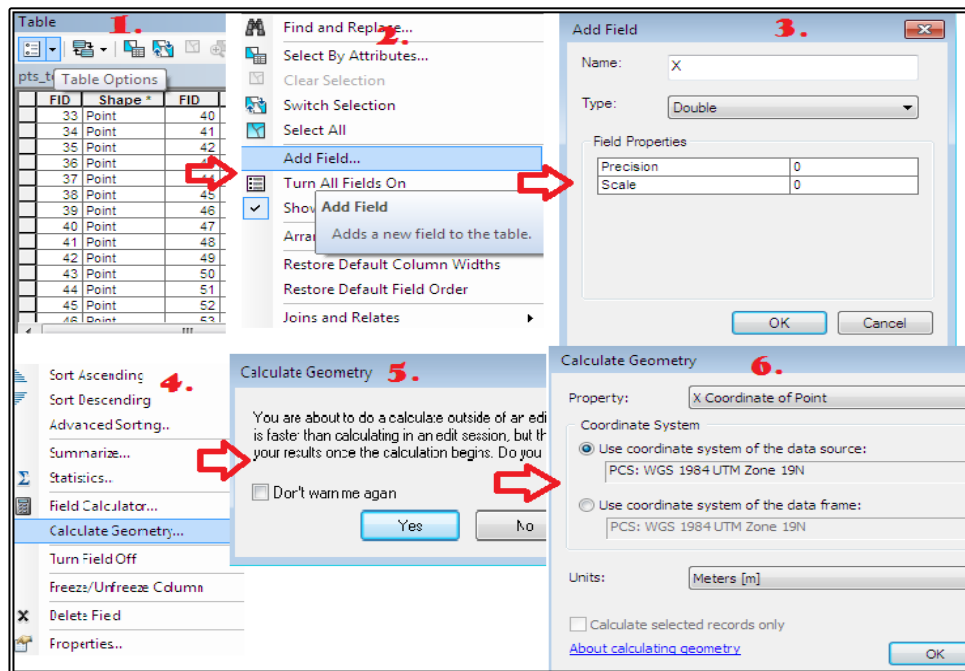


Figura 4.6. Generación de coordenadas del mapa de Vs30 por topografía.

### 4.3 Cálculo de Vs a partir de SPT.

En esta investigación se obtuvo un mapa de Vs30 a partir de los Vs obtenidos por el número de golpes del ensayo SPT. Los Vs30 que se presentan en dicho mapa provienen del valor promedio entre 3 relaciones Vs-NSPT. A continuación, se presentan a los autores de dichas relaciones, las ecuaciones y el contexto de las mismas.

Campos (2004) realizó mediciones “Downhole”, “Crosshole” y Tomografía Sísmica en las avenidas San Martín y Lecuna del municipio Libertador en pozos perforados para la construcción de la línea 4 del Metro de Caracas. Con datos del ensayo de Penetración Estándar realizados en pozos aledaños y las velocidades de corte obtenidas, logró establecer la primera curva de correlación entre las variables NSPT y VS para Caracas.

$$V_s = 98.808 * N^{0.3902} \text{ (Ec. 4.2)}$$

Otra relación entre el parámetro NSPT y las velocidades de ondas de corte es la encontrada por Imai y Yoshimura (1970).

$$V_s = 89.8 * N^{0.341} \text{ (Ec.4.3)}$$

Ohta y Goto (1978) realizaron análisis estadístico entre la relación velocidades de onda de corte y datos geológicos de más de 300 datos. Llegando a la siguiente ecuación:

$$V_s = 61.61 * N^{0.341} * H^{0.22} \text{ (Ec.4.4)}$$

Donde N es el promedio de golpes de SPT por capa.

H es la profundidad de la capa.

#### **4.4 Calculo del parámetro Vs30 (SPT)**

De acuerdo a la norma COVENIN 1756 (2001) la velocidad promedio hasta cierta profundidad se obtiene como el cociente de la altura total del perfil, entre la sumatoria de tiempos parciales de viaje por estrato:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} h_i / V_{si}} \text{ (Ec.4.5)}$$

El Vs30 será entonces el promedio de las velocidades de ondas de corte hasta los 30 metros de profundidad.

$h_i$  es el espesor de la i-esima capa.

$V_{si}$  la velocidad de onda de corte de la  $i$ -ésima capa.

El  $V_{si}$  se obtuvo del promedio de los  $V_s$  obtenidos por las tres metodologías explicadas y con este promedio se calculó el  $V_{s30}$  a partir de los datos geotécnicos tabla 4.3.

Tabla 4.3. Hoja de cálculo de  $V_{s30}$  a partir de información geotécnica.

| ID         | NORTE        | ESTE       | PROF LIM INF_CAPA (m) | SPT_PROM | $V_s$ (m/s) Campos | $V_s$ (m/s) Imai & Yoshimura | $V_s$ (m/s) Ohta & Goto | $V_s$ (m/s) medio | ESPESOR h (m) | ESPESOR PROY (30m) | hi/Vsi (s) | SUM (hi/Vsi) | $V_{s30}$ (m/s) |
|------------|--------------|------------|-----------------------|----------|--------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|--------------------|------------|--------------|-----------------|
| LES-116/84 | 1.134.740,00 | 654.370,00 | 1,0                   | 2,000    | 129                | 114                          | 78                      | 107               | 1,0           | 1,0                | 0,00934    | 0,095523     | 314             |
|            |              |            | 6,0                   | 13,330   | 271                | 217                          | 221                     | 236               | 5,0           | 5,0                | 0,0211568  |              |                 |
|            |              |            | 9,0                   | 54,667   | 469                | 351                          | 391                     | 404               | 3,0           | 3,0                | 0,0074294  |              |                 |
|            |              |            | 12,0                  | 39,000   | 411                | 313                          | 371                     | 365               | 3,0           | 3,0                | 0,0082142  |              |                 |
|            |              |            | 15,0                  | 37,000   | 403                | 308                          | 383                     | 364               | 3,0           | 18,0               | 0,049383   |              |                 |
| LES-114/84 | 1.133.787,60 | 653.640,80 | 1,0                   | 4,000    | 169                | 144                          | 99                      | 137               | 1,0           | 1,0                | 0,0072743  | 0,107119     | 280             |
|            |              |            | 3,0                   | 5,330    | 190                | 159                          | 139                     | 162               | 2,0           | 2,0                | 0,0123144  |              |                 |
|            |              |            | 5,0                   | 20,500   | 320                | 252                          | 246                     | 273               | 2,0           | 2,0                | 0,0073387  |              |                 |
|            |              |            | 7,0                   | 17,500   | 301                | 238                          | 251                     | 263               | 2,0           | 2,0                | 0,0075927  |              |                 |
|            |              |            | 10,0                  | 27,250   | 358                | 277                          | 316                     | 317               | 3,0           | 23,0               | 0,0725988  |              |                 |

#### 4.5 Estimado del espesor de Perfiles de Suelos.

1. Seleccionar los pozos geotécnicos cercanos a las mediciones geofísicas existentes, a fin de tener la mayor información posible en esos puntos.

2. En una hoja de *Microsoft Excel*, colocar información litológica y geofísica que se tenga.

3. Utilizar la información geofísica somera (valores de  $V_s$  a poca profundida) y correlacionarlos con la información litológica. Como se muestra en la tabla 4.4.

4. Completar los valores de  $V_s$  que correspondan a cada profundidad.

5. A partir del  $V_s$  y la profundidad de la cuenca, calcular el  $V_{s30}$ .

6. A partir del periodo fundamental y el  $V_s$ , calcular la profundidad de la cuenca.

Tabla 4.4 Ejemplo de un perfil de suelo utilizando los datos de la empresa OT Heredia, Rojas (2008), Ornelas (2018) y Escobar (2019).

|                                                                                                              |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------|-------|----|------|-----|
| <b>Con nuevo formato</b>                                                                                     |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| Se controla que el grupo superior de capas sume h = 30 m.                                                    |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| Para frecuencia natural se selecciona el sitio M-227 (Rojas, 2008)                                           |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| M277                                                                                                         | "F0" Frecuencia (Hz)                                           | Período (s)                                                                                                           |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | 1,5                                                            | 0,7                                                                                                                   |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              |                                                                | <table border="1"> <tr><td>Clase</td></tr> <tr><td>CD</td></tr> <tr><td>Vs30</td></tr> <tr><td>342</td></tr> </table> |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  | Clase | CD | Vs30 | 342 |
| Clase                                                                                                        |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| CD                                                                                                           |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| Vs30                                                                                                         |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| 342                                                                                                          |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| <b>ID</b>                                                                                                    | <b>Litología de la perforación de la consultora OT Heredia</b> |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | <b>Litología</b>                                               | <b>Clasificación geotécnica</b>                                                                                       | <b>Espesor (m)</b> | <b>H</b> | <b>Vs (m/s)</b> | <b><math>\Delta_{ii}</math> (s)</b> | <b>Vs30 (m/s)</b>                     | <b>Vs,inf (m/s)</b> | <b>Vsp (m/s)</b> |       |    |      |     |
| E-16124501                                                                                                   | Capa Vegetal y Arena Limosa                                    | SM                                                                                                                    | 2                  | 2        | 200             | 0,010000                            | 342                                   | 580                 | 481              |       |    |      |     |
|                                                                                                              | Arena con Grava                                                | GW                                                                                                                    | 4                  | 6        | 280             | 0,014286                            |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | Arena Gruesa con Grava                                         | SP                                                                                                                    | 12                 | 18       | 360             | 0,033333                            |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | por determinar                                                 |                                                                                                                       | 12                 | 30       | 400             | 0,030000                            |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | por determinar                                                 |                                                                                                                       | 10                 | 40       | 400             | 0,025000                            |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | por determinar                                                 |                                                                                                                       | 24                 | 64       | 500             | 0,048000                            |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | por determinar                                                 |                                                                                                                       | 37                 | 101      | 750             | 0,049333                            |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| Esquistos Las Mercedes                                                                                       | R                                                              | $\infty$                                                                                                              | --                 | 1250     |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| <b>(Ornelas 2019) Profundidad de la cuenca a partir del período HV con la fórmula <math>H = Vs/kf</math></b> |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     | <b>"Propuesta de Hernandez, 2021"</b> |                     |                  |       |    |      |     |
| Estacion                                                                                                     | Longitud                                                       | Latitud                                                                                                               | f0 (Hz)            | T (s)    | Vsp             | $H=Vs*T/k$                          | K                                     |                     |                  |       |    |      |     |
| M277                                                                                                         | 656286                                                         | 1136160                                                                                                               | 1,5                | 0,667    | 481             | 107                                 | 3                                     |                     |                  |       |    |      |     |
| <b>Perfil IMASW 98 (Escobar, 2019)</b>                                                                       |                                                                |                                                                                                                       |                    |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              | <b>Fuente (H; Vs)</b>                                          | <b>Espesor</b>                                                                                                        | <b>Vs</b>          |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| H1                                                                                                           | Heredia/Escobar                                                | 2                                                                                                                     | 200                |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| H2                                                                                                           | Heredia/Escobar                                                | 4                                                                                                                     | 280                |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| H3                                                                                                           | Ornelas/Escobar                                                | 12                                                                                                                    | 360                |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
| H4                                                                                                           | Ornelas/Escobar                                                | 12                                                                                                                    | 400                |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |
|                                                                                                              |                                                                | <b>Vs30</b>                                                                                                           | <b>342</b>         |          |                 |                                     |                                       |                     |                  |       |    |      |     |

A partir de esta hoja de cálculo, se planteó la propuesta del nuevo formato (J.J.H., 21/07/2021), a partir de la "Fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos". Esto con la finalidad de ajustar los valores de espesores con respecto a la profundidad para todos los perfiles, a partir de estadística de periodos de perfiles con datos geofísicos, basada en el método simplificado de Rayleigh de Dobry et al., 1976. Figura 4.7.

| T (s) ; según mét. simplificado de Rayleigh                  |                |                  |                |                |       |              |            |                      |
|--------------------------------------------------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-------|--------------|------------|----------------------|
| (el orden de las capas está invertido en Dobry et al., 1976) |                |                  |                |                |       |              |            |                      |
| h-z <sub>mi</sub> (m)                                        | X <sub>i</sub> | X <sub>i-1</sub> | a <sub>i</sub> | b <sub>i</sub> | T (s) | T (s) medido | k (perfil) | H* para T medido (m) |
| 1                                                            | 0,01572        | 0,01577          | 0,00005        | 0,00198        | 0,666 | 0,667        | 3,17       | 101                  |
| 4                                                            | 0,01552        | 0,01572          | 0,00082        | 0,00390        |       |              |            |                      |
| 12                                                           | 0,01441        | 0,01552          | 0,01333        | 0,01074        |       |              |            |                      |
| 24                                                           | 0,01261        | 0,01441          | 0,04320        | 0,00876        |       |              |            |                      |
| 35                                                           | 0,01042        | 0,01261          | 0,07656        | 0,00530        |       |              |            |                      |
| 52                                                           | 0,00543        | 0,01042          | 0,25958        | 0,00603        |       |              |            |                      |
| 82,5                                                         | 0,00000        | 0,00543          | 0,44770        | 0,00109        |       |              |            |                      |
|                                                              |                |                  |                |                |       |              |            |                      |
|                                                              |                |                  |                |                |       |              |            |                      |

Figura 4.7. perfiles con datos geofísicos, basada en el método simplificado de Rayleigh de Dobry et al., 1976).

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La zona de estudio comprende los municipios de Girardot, Mario Briceño Iragorry, Santiago Mariño, Francisco Linares Alcántara y Libertador de la ciudad de Maracay. El área de estudio fue definida de acuerdo a los datos existentes, estos fueron distribuidos de tal manera, que cubrieran la mayor área de la cuenca sedimentaria, donde se encuentra la mayor parte de la población de la ciudad de Maracay, por lo tanto, los municipios mencionados no son estudiados en su totalidad.

Inicialmente se recopiló y creó una base de datos con toda la información geofísica, geológica y geotécnica de la zona, siendo esta analizada y correlacionada. A partir de estos nuevos datos correlacionados, se crea una nueva información integrada, generando a partir de ella, el mapa final de microzonas de la ciudad de Maracay. A continuación, se presenta la información de esta misma manera:

#### **5.1 Mapa de Vs30 por topografía.**

Se presenta el mapa de Vs30 por topografía, el cual se generó a partir de un modelo de elevación, con una resolución de 9 arcsec y una malla de 276m por 276m, generado por el programa *ArcMap 10.4.0*, siendo esta configuración la mejor ajustada para la realización de este estudio. El mapa de Vs30 por topografía, se realizó en este trabajo con el objetivo de implementar una metodología que ayudase a estimar la velocidad, ajustándose al comportamiento del suelo de la ciudad de Maracay, pudiendo ser esta integrada con la información ya existente figura 5.1. En él se puede observar como los valores de bajas velocidades se ven reflejados en la mayoría hacia la zona Sur del mapa, indicando velocidades intermedias a bajas en los rangos de 171m/s a 320m/s, siendo estos valores atribuidos a los sedimentos lacustres blandos relacionados al lago de Valencia.

Por otro lado, se observa como los valores de velocidades de ondas de corte para los primeros 30 m ( $V_{s30}$ ), aumenta en el límite entre los depósitos sedimentarios y la montaña ubicados al norte de los municipios Girardot y Mario Briceño, hasta alcanzar velocidades de 400m/s. Para la creación de este mapa, los valores con velocidades mayores a 400m/s se les asignó dos capas, una de color azul con velocidades entre 400-650 m/s asociada a roca meteorizada y la segunda capa, color verde con velocidades mayores a >650 m/s, asociada a roca, como se observa en la parte norte del mapa.

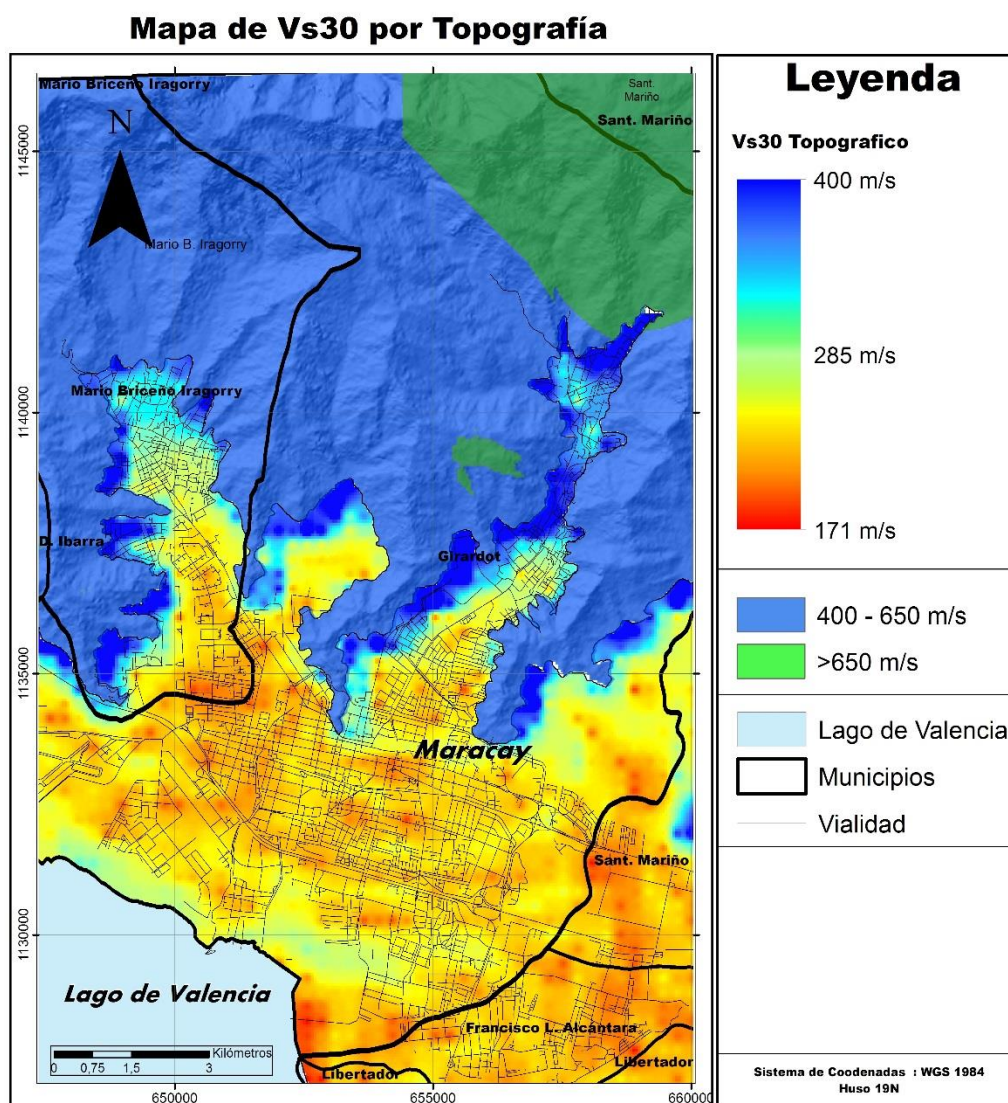


Figura 5.1. Mapa de  $V_{s30}$  por topografía. Obtenido mediante el Arcgis 10.4.

## 5.2 Mapa de Vs30 (ReMi e IMASW).

Se construyeron los mapas de Vs30 a partir de las metodologías ReMi e MASW, en función a los datos generados por (Escobar, 2019), dando como resultado el decrecimiento de las velocidades en dirección Norte-Sur, con velocidades promedios al norte entre 330m/s y 400m/s dependiendo de la metodología usada. Este comportamiento se asocia a la cercanía de los afloramientos de rocas metamórficas en la zona o sedimentos coluvionales, disminuyendo estas paulatinamente hacia el sur, aumentando con ello el espesor sedimentario de la cuenca. Estas velocidades bajas de 210m/s a 230m/s, están relacionadas a sedimentos lacustres, depositados como consecuencia de los periodos de expansión que ha sufrido el Lago de Valencia durante varios periodos de cambios.

Las mayores velocidades de ambas metodologías se ubican principalmente al noreste del sector El Limón, en los tendidos 54 y 56 con velocidades (ReMi-333m/s y 311m/s), (IMASW-396m/s y 368m/s). por otro lado, los valores más bajos de ambas metodologías se encuentran hacia el sur de la zona de estudio, en los tendidos(5 y 10) y sus cercanos con velocidades (ReMi- 215m/s y 209m/s), (IMASW-230m/s y 226m/s), y el tendido 85, ubicado un poco más al suroeste con velocidades (ReMi-206m/s), (IMASW-255m/s), ubicado al sur del sector Toronjal, cercano a la costa del lago.

En la planicie del valle se observa que los valores de Vs30 no presentan variaciones considerables, lo cual apunta a una menor influencia de los sedimentos lacustres del Lago de Valencia y delimita una zona que podría haber permanecido sin cubrir durante la expansión del lago de Valencia, como lo ha mencionado en su trabajo (Escobar, 2019).

Estos nuevos mapas realizados en base a los datos de (Escobar, 2019), tienen como complemento información en las zonas más al norte, donde se observa velocidades de 400m/s -650m/s y mayores >650m/s, el cual refleja información del afloramiento rocoso.



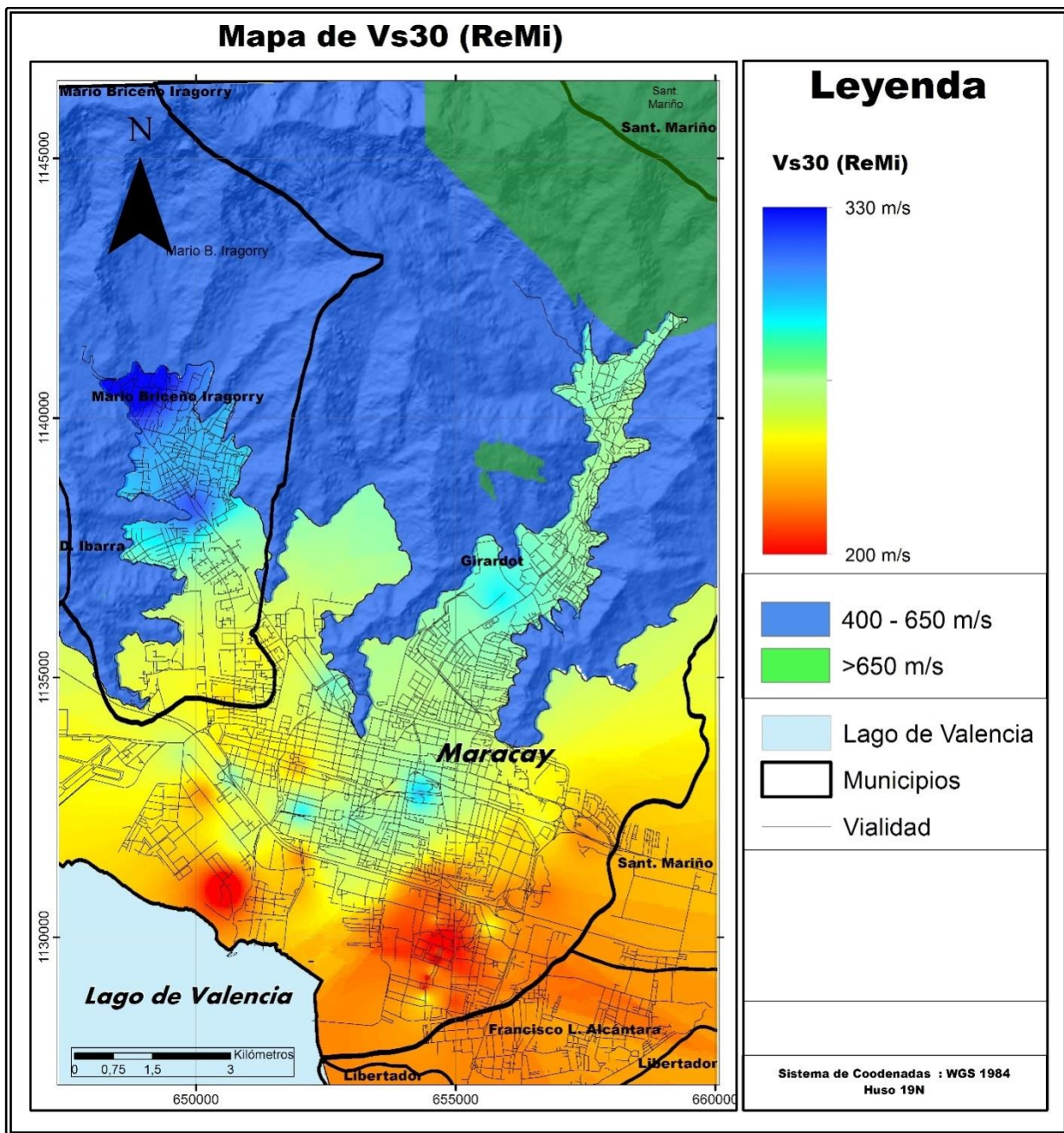


Figura 5.2. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenidos mediante datos ReMi de Escobar 2019.

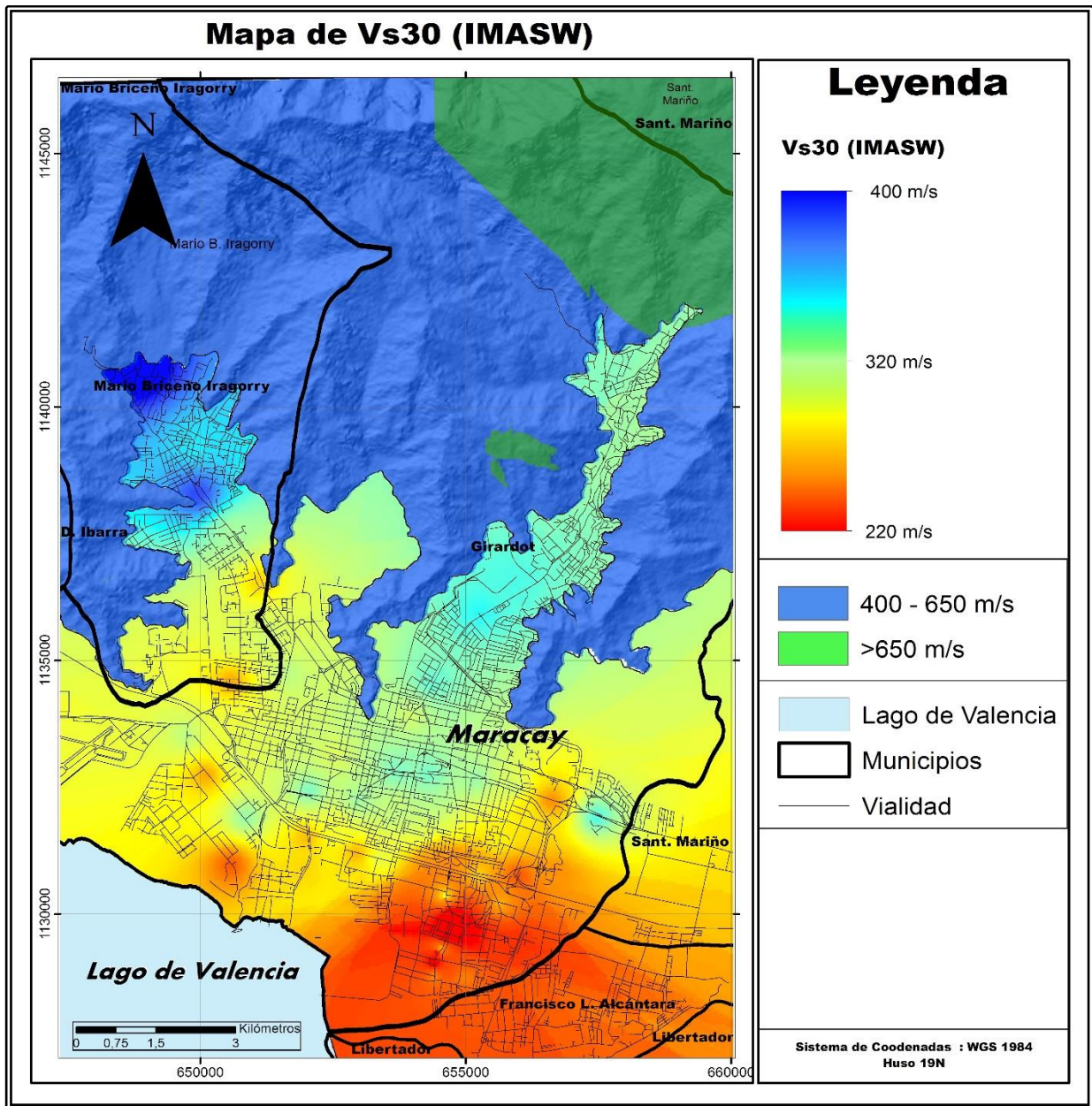


Figura 5.3. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenidos mediante datos IMASW de Escobar 2019.

### 5.3 Mapa de Vs30 a partir de datos geotécnicos (SPT).

Los mapas de Vs30 generado a partir de los datos geotécnicos, son similares a los realizados por los datos geofísicos, sin embargo, los mayores valores de Vs30 por esta metodología, se encuentran ubicados hacia la zona del sector El Castaño, en las peroraciones (E-1177296 y E-

1287997), con rangos de Vs30 entre 425m/s y 430m/s, siendo estas las perforaciones más al noreste de la ciudad.

Al igual que los datos geofísicos, los valores mínimos de Vs30 se ubican al sur, sin embargo, los valores medidos a través de esta metodología son menores, encontrándose los valores más bajos en las perforaciones (E-17137102-1 y E-17137102) con Vs30 entre 158m/s y 180m/s

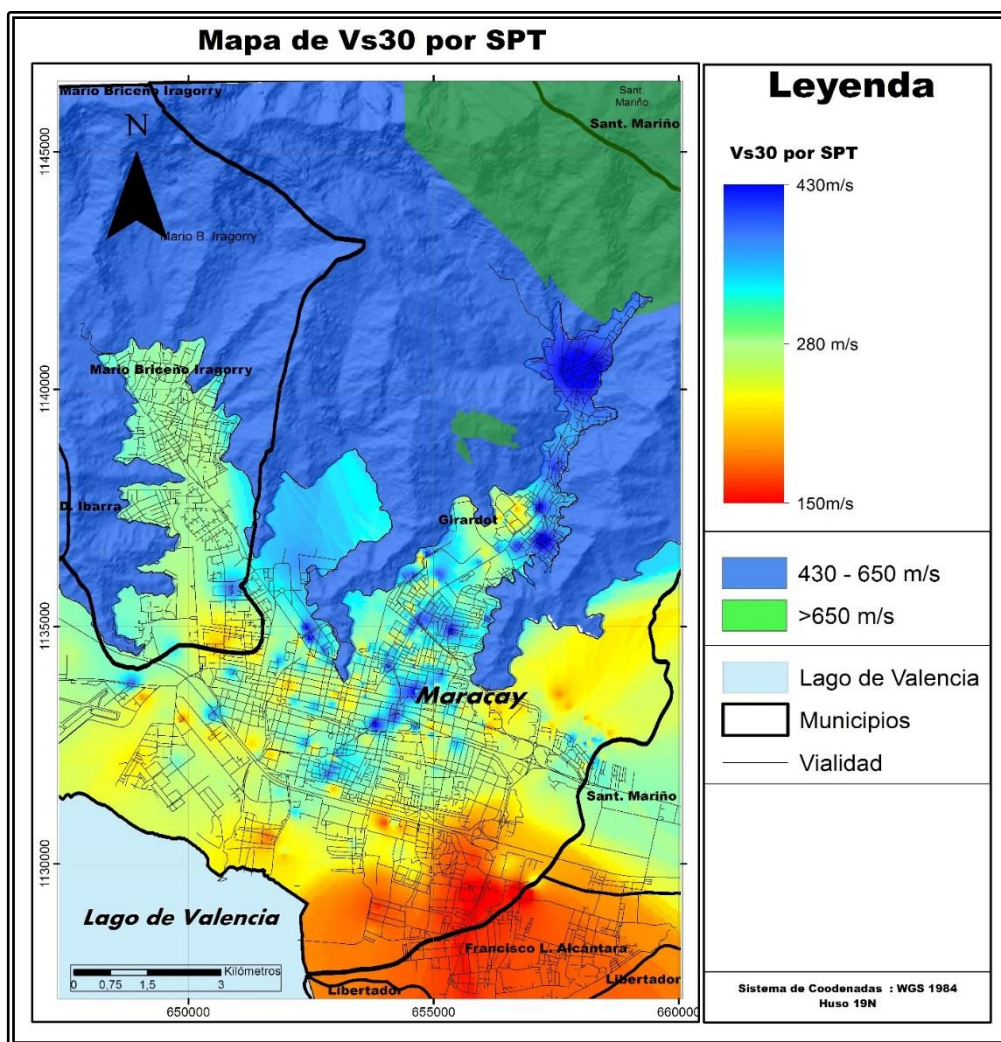


Figura 5.4. Mapa de Vs30 de Maracay. Obtenidos mediante el promedio de tres metodologías N-SPT-Vs, datos otorgados por la empresa OT Heredia.

#### **5.4 Mapa de Vs30 integrado.**

Se realizó el mapa de Vs30 final de la ciudad de Maracay, a partir de la integración de los mapas de Vs30 con las diferentes metodologías de ReMi, IMASW, SPT y Topográfico, mencionados anteriormente.

Se utilizó la información generada por la metodología IMASW, como base para la realización de dicho mapa, complementándose con la información geotécnica y topográfica.

Para establecer los valores de Vs30 obtenidos mediante IMASW, se realizó la separación de las velocidades por intervalos, según la Norma COVENIN 1756-1 (2019), arrojando dos zonas.

La primera zona se observa con un color naranja, el cual abarca parte de la zona central y el sur de la ciudad de Maracay, con valores de velocidades comprendidas en los rangos de 200m/s y 300m/s. La segunda zona se observa de color amarilla, abarcando parte del centro y norte de la ciudad, principalmente en el municipio Girardot, con velocidades entre 300m/s y 400m/s. Este incremento de velocidades hacia el norte de la ciudad de Maracay, está relacionado a la disminución del espesor de sedimentos. Una vez establecidas estas dos zonas, se procedió a complementarlas a través de los datos geotécnicos y topográficos.

A partir de la integración de los datos geotécnicos, se pudo complementar e introducir una zona de menor velocidad, marcada en color rojo, como se muestra en la figura 5.5, ubicada en los municipios Francisco L. Alcántara y Girardot al sur de la ciudad, con valores de Vs30 menores <200m/s, estas velocidades bajas están relacionadas a sedimentos del tipo lacustrino, depositados como consecuencia de uno de los períodos de expansión de la superficie del Lago de Valencia.

Se obtuvieron dos zonas adicionales, ubicadas al norte de la ciudad de Maracay, basadas principalmente en los resultados obtenidos mediante el Vs30 topográfico, en las que se

observa velocidades de 400-650m/s, marcadas en color azul, asociándose a la roca meteorizada. La otra zona se observa con un color verde con velocidades mayores >650m/s, lo que se asocia a la presencia del afloramiento rocoso (Roca dura).

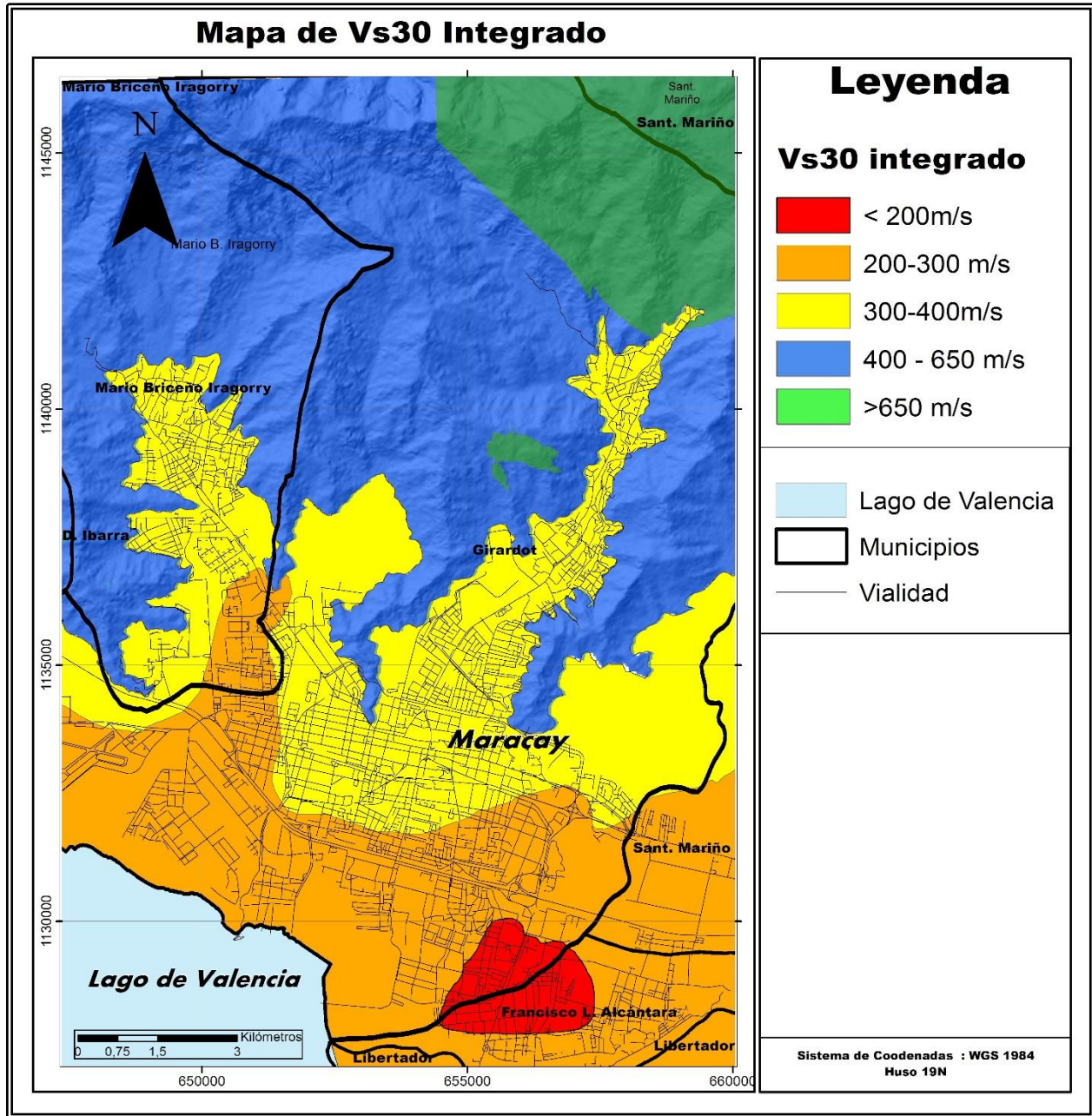


Figura 5.5. Mapa de Vs30 integrado. Obtenido mediante los datos geofísicos, geotécnicos y topográficos.

## **5.5 Mapa de espesor sedimentario integrado.**

Para la realización del mapa de espesor sedimentario integrado, se utilizaron los datos de 315 estaciones de ruido ambiental de la ciudad de Maracay, analizadas a partir del método de Nakamura o relación espectral H/V para obtener los periodos fundamentales de la cuenca, extraídos del trabajo de Rojas (2008), también se utilizó para la elaboración de este mapa, los datos de Ornelas (2018), el cual realizó una inversión 1D de la onda Rayleigh a los datos de ruido adquiridos por Rojas (2008) con el objetivo de determinar el espesor de sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia. Adicionalmente se utilizaron datos realizados a partir de la Fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos, propuestos por Hernández (2021), y los datos gravimétricos terrestres con una separación entre estaciones de 500 m aproximadamente, obtenidos por Romero (2017).

Inicialmente se tomaron los datos realizados a partir de la propuesta de Hernández (2021), en la cual se hizo un ajuste de las profundidades de acuerdo al periodo medido, esta información se integró con datos existentes de perforaciones geotécnica y Vs, para la parte somera. Para la parte con mayores profundidades se tomó información de los modelos de inversión 1D de la onda de Rayleigh, realizada por Ornelas (2018), comparándose de igual forma con la información geotécnica y geológica de la zona. Esta información se integró con los datos de profundidades mencionados anteriormente, complementándose con la información de Romero (2017).

El mapa de espesor sedimentario integrado se realizó por intervalos, obteniendo finalmente 4 zonas de profundidad de espesor. La primera se observa de color rojo, con las profundidades más bajas de la zona de estudio, ubicándose principalmente hacia el norte del sector Castaño y El Limón, con espesores menores a 80m, disminuyendo a medida que se acerca a los bordes de la montaña, como se muestra en la figura 5.6. En este intervalo se localiza la estación M-264, del perfil 2 (NO-SE), con un espesor de 72m, y cercana a esta estación, más al sur se ubica la perforación V-452 realizada por Tahal (1970), el cual llega a roca, con una

profundidad de 60m. De acuerdo con la perforación y el perfil realizado, los datos coinciden con los mostrados por el mapa de espesor sedimentario integrado.

En dirección al sur se encuentra el segundo intervalo, color amarillo, el cual muestra profundidades en los rangos de 80 a 150m, observando así, que la profundidad del basamento aumenta hacia el sur de la ciudad. En esta zona se sitúa la estación M-234 al norte del perfil 1 (NS), con una profundidad de 1137m, y muy cercana a este punto se ubica la perforación de V-895 de Tahal (1970), con una profundidad de 60m, sin embargo, esta perforación no llega al basamento rocoso. También se ubica un poco más al sur la estación M-228, con una profundidad de 147m, y cerca de ella se ubica la perforación V-946 con una profundidad de 100m, sin llegar al basamento rocoso.

El tercer intervalo se observa de azul claro, emplazada en la franja central y sur de la cuenca, con profundidades entre 150-250m. En él se ubican diferentes estaciones de los perfiles de suelos, como los son la M-083 y M-201 con (238m y 248m) del perfil 2 (NO-SE). También se localizan las estaciones M-203 y M-289 con profundidades de (245m y 249m). Es importante mencionar la estación M-206 con una profundidad de 236m, ya que un poco más al sur de ella, se encuentra la perforación V-947 de Tahal (1970), la cual alcanza una profundidad de 230m, sin llegar a el basamento rocoso.

Por último, se observa el 4<sup>to</sup> intervalo de color azul oscuro, el cual presenta profundidades mayores a 250m, ubicándose en dos zonas principalmente; una ubicada al sur de Maracay, sector Palo Negro, el cual alcanza profundidades de 341m, y la otra zona ubicada al suroeste bordeando el lago, llegando a la costa del lago. En este intervalo se encuentran algunas estaciones realizadas a partir de los perfiles de suelos, en las que se encuentran la estación M-116 y M-144 del perfil 1 (NS), con profundidades de (325m y 328m). también se encuentran algunas estaciones del perfil 2 (NO-SE) como lo son la M-179, M118, M127 y M-137, con profundidades de (268m, 341m, 302m y 262m), cercanas a estas se ubican al norte 3 perforaciones realizadas por Tahal (1970), con profundidades que alcanzan los 50m, estas sin

llegar al basamento. Hacia en borde del lago se encuentran diferentes estaciones, en las que se menciona la estación M-292, con una profundidad de 296m, muy cercana a la costa del lago.

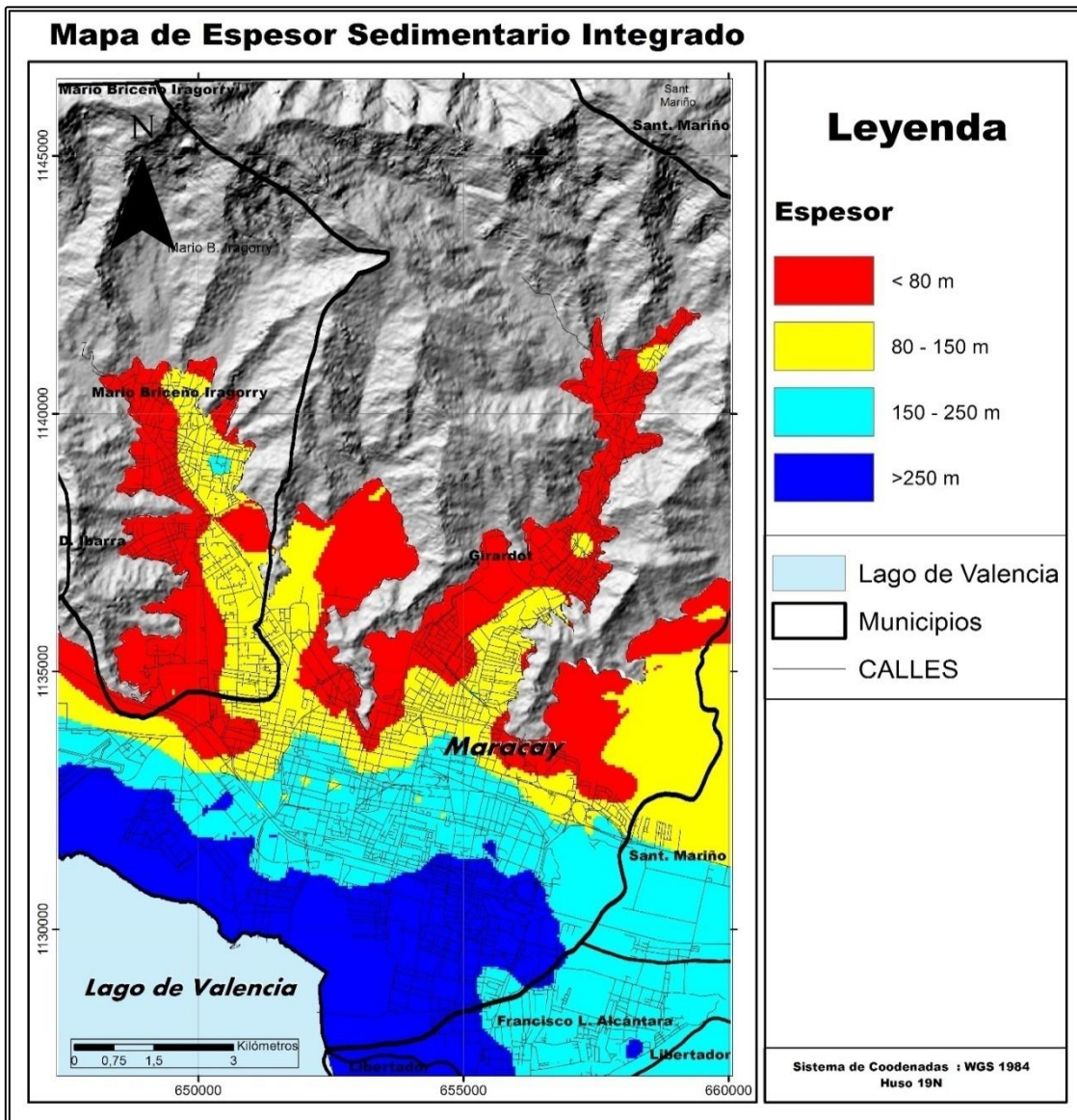


Figura 5.6. Mapa de espesor sedimentario integrado. Obtenido mediante los datos geofísicos geotécnicos y topográficos.



## 5.6 Mapa de Microzonas

El mapa de microzonas se realizó en base a toda la información adquirida, en trabajos anteriores. Una vez obtenido el mapa final integrado de Vs30 y mapa final de espesor sedimentario, se procedió a la realización de este mapa de microzonas. El mapa fue generado solapando un mapa con otro, seleccionando el rango de Vs30 y profundidad de sedimento asociado para esa área. Luego, según la norma de edificaciones sismoresistentes COVENIN 1756-1 (2019), se seleccionó la clasificación a la cual correspondían.

Se describe el mapa de norte a sur, según el orden obtenido por las microzonas. Inicialmente se encuentra la microzona MS-1, con velocidades de Vs30 mayores a  $>650$  m/s, la cual corresponde a la clasificación “BC”, según la norma de edificaciones sismorresistente COVENIN 1756-1 (2019), con propiedades intermedias entre las clases B y C, identificándose con un color verde. Este grupo se encuentra fuera de la parte sedimentaria, como se observa en la figura 5.7, relacionándose de tal manera con lo establecido por la norma, con roca dura. De acuerdo con dichas velocidades, esta microzona se relaciona principalmente al afloramiento rocoso de la asociación Ávila y complejo San Julián.

Luego se ubica la microzona MS-2, con velocidades entre 400-650 m/s, correspondiendo a la clasificación “C”, identificándose con un color azul. Al igual que la microzona antes mencionada, esta se encuentra fuera de la parte sedimentaria, relacionando las velocidades con roca dura de espesor meteorizado superior a 5 metros, asociado a los esquistos Las Mercedes, esquistos Las Brisas y el complejo San Julián. Estas microzonas delimitan muy bien el contacto roca-sedimento, en el norte de zona de estudio.

Hacia el sur, se encuentra la cuenca, donde predomina el material sedimentario, localizando los valores intermedios en las cercanías del afloramiento rocoso y los valores mínimos en las zonas asociadas a depósitos lacustres y aluviales, figura 5.7. En esta zona se obtuvo que las microzonas MS-3, visualizada con un degradado de color amarillo, presentan propiedades intermedias entre la clase C y D, con Vs30 entre los rangos de 300-400m/s, obteniendo 3

zonas, pertenecientes a este mismo grupo, diferenciándose de acuerdo al espesor. La primera representada de color amarillo, con profundidades menores <80m, localizada en las cercanías a los límites de la montaña, descrita como MS (3-1), compuestas por arenas o gravas densas a medio – densas, como se observa en la información geológica de la perforación V-586, de Tahal (1970), ubicada en esta microzona. Luego se observa la microzona MS (3-2), con profundidades en los rangos de 80-150m, con un color más suave, naranja claro, con litologías como la presentada en la estación M-228 y la perforación V-946 de Tahal (1970), donde se observa arenas finas a gruesa y arenas con capas de arcillas. finalmente se presenta de color naranja la MS(3-3), con profundidades en los rangos de 150-250m, con una variedad litológica como la que se muestra en la información de la perforación V-947 de Tahal (1970), ubicada en esta microzona.

De igual manera se encuentra el grupo de las microzonas MS-4, la cual pertenecen a una clasificación D, con rangos de velocidades de Vs30 entre 200 a 300 m/s, compuesta por 4 zonas que difieren por el espesor, pertenecientes a este mismo grupo, con un color degradado de color rojo. La primera se observa de un color rojizo claro, MS (4-1), al noroeste de la cuenca, con un espesor sedimentario menor a <80m, compuesta principalmente por arenas, gravas densas, arcilla dura o arcilla firme de menos de 30 m de espesor, como se observa en la litología de la perforación V-452 de Tahal (1970), la cual se encuentra situada en esta microzona. Después se observa la MS (4-2), de color rojo, con un espesor entre los rangos de 80-150m, ubicada al noreste de la cuenca, al lado de la microzona mencionada anteriormente. Posteriormente se ubica la microzona MS (4-3), localizada principalmente en la franja central de la cuenca, con un espesor sedimentario entre 150-250m. Por último, se observa de color marrón, la MS (4-4), con un espesor sedimentario mayor >250m, ubicada al sur del municipio Girardot y al suroeste de la ciudad, bordeando los límites del lago de valencia, compuesta por arenas y arcillas, como se muestra en la información litológica de la estación M-118 y M-179, del perfil 2 (NO-SE), al igual que se observa en las perforaciones V-985,983 y 982 de Tahal (1970). Al sur de la cuenca, se encuentra el grupo de microzonas MS-5, ubicándose en la clasificación “DE\*”, con velocidades menores a <200 m/s, compuesta por 2 zonas que difieren por el espesor, pertenecientes a este mismo grupo, localizada en parte del sector palo negro,

con un degradado de color morado, caracterizada por arenas sueltas o arenas limosas. La primera microzona MS (5-1), de color fucsia, posee un espesor entre 150-250m, en ella se ubica la estación M-127 y M-137 del perfil 2 (NO-SE), en estas se observa para las primera capas; relleno, arenas limosas, turbas y caracolillo, coincidiendo con la clasificación antes mencionada. Luego se ubica la microzona MS (5-2), ubicada hacia el municipio Francisco Linares Alcántara, con profundidad de sedimento >250 m, caracterizada por arenas sueltas o arenas con proporción y no susceptibles de licuación.

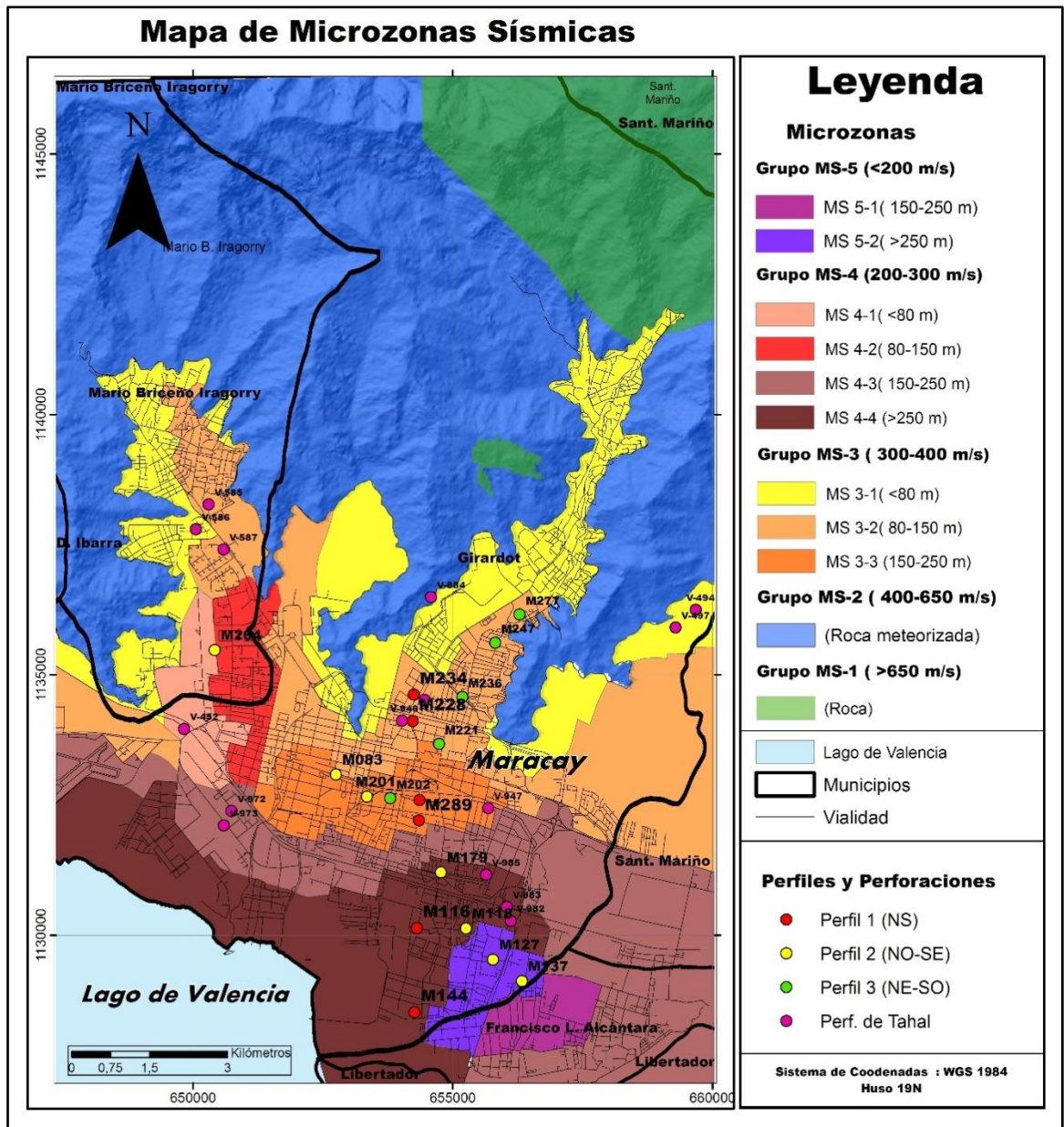


Figura 5.7. Mapa de Microzonas sísmicas, a partir del mapa Vs30 integrado y el mapa de espesor sedimentario integrado.

## 5. 7. Mapa de microzonas sísmicas con el sistema de fallas de la ciudad.

Se encuentran tres fallas de gran importancia ubicadas en la ciudad de Maracay; la falla El Limón, falla El Horno y falla La Cabrera. Los conocimientos de estas fallas son importantes para este estudio de microzonificación sísmica, ya que permite poder mitigar los daños posibles que puedan afectar a las construcciones cercanas a ellas si ocurriera un evento sísmico, empeorando en sitios donde además existan microzonas con suelos precarios.

En la figura 5.8, se puede observar la falla activa de rumbo NO-SE, falla El Limón. Esta falla tiene una longitud de unos 35 Km, la cual corta oblicuamente a la serranía del litoral y la falla de las trincheras al norte de Maracay en el limón, donde presenta evidencia geomorfológica de movimiento lateral dextral. La velocidad estimada de esta falla es de 0.2 mm/año y el sismo máximo alcanzaría una magnitud Ms de 6.4 (Singer, 1984; Paolini et al 2012).

Esta falla atraviesa de Noroeste a Sureste, la zona de estudio, pasando por las microzonas MS (3-1), con espesores menores a <80m y velocidades entre 300-400m/s, avanzando hacia la microzona MS (3-2), aumentando el espesor en dirección sureste, para luego cruzar la MS 4-2, disminuyendo en esta microzona la velocidad de Vs30 entre 200 a 300 m/s, culminando en la microzona MS 3-3, con un espesor sedimentario entre 150-250m y una velocidad de 300 a 400 m/s. Esta falla fue mapeada recientemente en detalle por Singer et al., 2014, por lo cual permite definir una franja de seguridad de 100 m a ambos lados de la falla.

Hacia el sur de la cuenca se encuentra ubicada la falla El Horno, atravesando la zona de estudio de noreste a suroeste, pasando en esta misma dirección por las microzonas MS 4-3 y MS 4-4, con velocidades de Vs30 entre 200-300 m/s, y espesores de sedimentos entre (150-250m y >250m). Esta falla se encuentra por debajo de la superficie del Lago de Valencia y está enteramente dentro de la cuenca del Cuaternario, con una longitud de 34 km de extremo a extremo con un rumbo de N72°E y una tasa de movimiento de 0.5 mm/año (Audemard *et al.*, 2000). La falla El Horno fue mapeada por Audemard et al. (2000), por lo cual tiene mayor incertidumbre lo que sugiere una franja de 500 m a ambos lados de la falla.

Por último, se observa la falla La Cabrera, ubicada en la zona de estudio al noroeste del lago de Valencia, en un extremo de la microzona MS 4-4, la cual tiene velocidades de Vs30 entre 200-300m/s con profundidades de sedimentos mayores a >250m. Esta falla posee una longitud de 26 km de extremo a extremo con un rumbo de N72°E y una tasa de movimiento de 0.6 mm/año (Audemard *et al.*, 2000). La falla La Cabrera fue mapeada por Audemard et al. (2000), por lo cual tiene mayor incertidumbre al igual que la falla El Horno lo que sugiere una franja de 500 m a ambos lados de la falla.

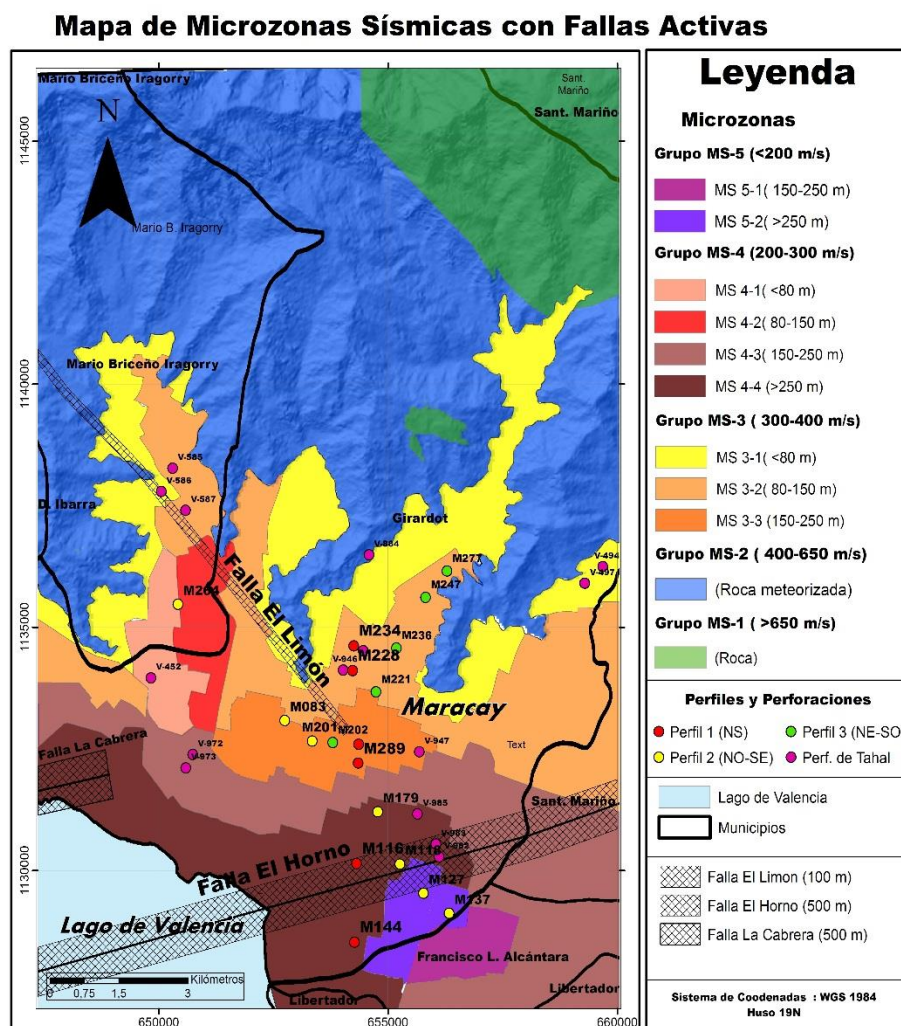


Figura 5.8. Mapa de Microzonas sísmicas con las fallas activas de la ciudad de Maracay.

## 5.8 Perfiles de suelos

De acuerdo con lo establecido por la norma COVENIN 1751-1 (2019), deben ser considerados las características de uno o varios perfiles geotécnicos representativos y la amenaza sísmica existente en el lugar geográfico, para conocer la respuesta en superficie. Para la realización de estos perfiles se contó con la información de las perforaciones otorgadas por la empresa OT Heredia, la cual contenía información geológica y Vs30 por SPT y las perforaciones realizadas por Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), al igual que la información de los periodos fundamentales suministrados por Rojas (2008), y los espesores de sedimentos de la cuenca, realizados por Ornelas (2018), más los resultados de sondeos realizados por Escobar.

En base a los perfiles realizados por Ornelas, se le aplicó la “Fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos” propuestos por Hernández (2021), integrando los datos de los estudios antes mencionados, ajustando el valor de H (espesor total), de tal manera que coincida con T (periodo fundamental del perfil). Estos resultados fueron comparados en las estaciones que estuvieran cercanas a las perforaciones realizadas por Tahal (1970), y finalmente correlacionadas con las microzonas, con la finalidad de compararlos con los datos obtenidos. Se puede observar en las planillas realizadas a cada estación de los perfiles, ubicadas en el apartado de anexo, como la litología, los Vs30 y las profundidades de sedimentos, coinciden con la clasificación establecida por la norma, estando estos resultados dentro del rango mostrado por las microzonas. A continuación, se describe cada perfil según lo obtenido.

### **Perfil 1 NS.**

El primer perfil está ubicado en el centro de la ciudad, con dirección Norte-Sur (1NS). Al norte se ubican las estaciones M-234 y M-228, obteniéndose a partir de la fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos propuestos por Hernández, J.J. (2021), velocidades de ondas de corte para los primeros 30 m (Vs30) de 362m/s y 359m/s, y espesores sedimentarios de 137m y 147m, ubicándolas en la clasificación “CD” según las normas

COVENIN 1756-1 (2019). De acuerdo al resultado obtenido de las microzonas, estas dos estaciones se ubican en la microzona MS (3-2), coincidiendo con los resultados antes mencionados.

En dirección hacia el sur, se encuentran las estaciones M-203 y M-289, obteniendo velocidades de Vs30 de 394m/s y 338m/s, con espesores de 238m y 249m, perteneciendo igualmente a la clasificación “CD” de la norma, ubicándolas en la microzona MS (3-3).

Al sur del perfil se localiza las estaciones M-116 y M-144, obteniendo espesores de sedimentos mayores a >250m y velocidades Vs30 bajas de 200 a 300m/s, relacionándolas con la cercanía del lago, donde el espesor aumenta. Se muestra en la tabla 5.13 el perfil de suelo obtenido de la estación M-116.

| Para frecuencia natural se selecciona el sitio M-116 (Rojas, 2008)                          |                                                         |                          |             | Clase      |                                |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|------------|--------------------------------|-----|
| Frecuencia (Hz)                                                                             |                                                         | Periodo (s)              |             | Vs30 (m/s) |                                |     |
| M-116                                                                                       |                                                         | 0,4                      |             | 2,5        |                                |     |
|                                                                                             |                                                         |                          |             | 290        |                                |     |
| ID                                                                                          | Litología de la perforación de la consultora OT Heredia |                          |             |            |                                |     |
| E-630591                                                                                    | Litología                                               | Clasificación geotécnica | Espesor (m) | H (m)      | Vs (m/s)                       |     |
|                                                                                             | ARENA LIMOSA                                            | SM                       | 4           | 4          | 220                            |     |
|                                                                                             | TURBA CON CARACULLILLO                                  | SP                       | 3           | 7          | 240                            |     |
|                                                                                             | ARCILLA LIMOSA                                          | CL                       | 13          | 20         | 280                            |     |
|                                                                                             | POR DETERMINAR                                          |                          | 10          | 30         | 380                            |     |
|                                                                                             | POR DETERMINAR                                          |                          | 85          | 115        | 420                            |     |
|                                                                                             | POR DETERMINAR                                          |                          | 95          | 210        | 440                            |     |
|                                                                                             | POR DETERMINAR                                          |                          | 61          | 271        | 520                            |     |
|                                                                                             |                                                         | 60                       | 331         | 680        |                                |     |
| R                                                                                           |                                                         |                          |             |            |                                |     |
| (Ornelas 2019) Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = Vs/kf$ |                                                         |                          |             |            | "Propuesta de Hernández, 2021" |     |
| Estacion                                                                                    | F (Hz)                                                  | T (s)                    | Vs30(m/s)   | Vs(m/s)    | H=Vs*T/k                       | K   |
| M-116                                                                                       | 0,4                                                     | 2,5                      | 290         | 455        | 325                            | 3,5 |
| Perfil IMASW 18 (Escobar, 2019)                                                             |                                                         |                          |             |            |                                |     |
|                                                                                             | Fuente (H; Vs)                                          | Espesor                  | Vs          |            |                                |     |
| H1                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 4                        | 220         |            |                                |     |
| H2                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 3                        | 240         |            |                                |     |
| H3                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 13                       | 280         |            |                                |     |
| H4                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 10                       | 380         |            |                                |     |
| H5                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 85                       | 420         |            |                                |     |
| H6                                                                                          | Ornelas                                                 | 95                       | 440         |            |                                |     |
| H7                                                                                          | Ornelas                                                 | 61                       | 520         |            |                                |     |
| H8                                                                                          | Ornelas                                                 | 60                       | 680         |            |                                |     |
| Basamento                                                                                   |                                                         |                          |             |            |                                |     |
|                                                                                             |                                                         |                          | Vs30        | 290        |                                |     |

Tabla 5.1. Perfil de suelo de la estación M-116, a partir de la propuesta de Hernández 2021.



## Perfil 2 NO-SE

Se observa en este perfil el aumento de velocidad al noroeste, en donde el espesor de sedimentos de la primera estación M-264 es de 72m asociado a la cercanía de la cadena montañosa, ubicada al norte de la ciudad. Hacia el sureste del perfil el espesor de sedimentos va aumentando, hasta alcanzar 262 m de espesor en la última estación M-137. En los modelos 1D obtenidos por Ornelas (2018) de las estaciones M-118 y M127 y M-116 mostradas en el apartado de apéndices, se observa una disminución de las velocidades del basamento, y a partir de la fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos se observa para estas, un aumento del espesor de sedimentos, asociando estas variaciones a la falla ubicada entre estas estaciones (falla El Horno). En la tabla 5.2, se observa la estación M-118 con los datos que se utilizaron para la realización de dichos perfiles.

| Para frecuencia natural se selecciona el sitio M-118 (Rojas, 2008)                          |                                                         |                          |             | Clase   |          |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|---------|----------|--------------------------------|
| M-118                                                                                       | Frecuencia (Hz)                                         | Periodo (s)              | Vs30 (m/s)  | D       |          |                                |
|                                                                                             | 0,4                                                     | 2,5                      | 297         |         |          |                                |
| ID                                                                                          | Litología de la perforación de la consultora OT Heredia |                          |             |         |          |                                |
| E-15121100                                                                                  | Litología                                               | Clasificación geotécnica | Espesor (m) | H (m)   | Vs (m/s) |                                |
|                                                                                             | RELLENO Y LIMO ARENOSO                                  | SM                       | 6           | 6       | 220      |                                |
|                                                                                             | ARENA MEDIA A GUESA                                     | SP                       | 3           | 9       | 240      |                                |
|                                                                                             | LIMO ARCILLOSO                                          | CL                       | 5           | 14      | 280      |                                |
|                                                                                             | LIMO ARENOSO                                            | SC                       | 4           | 18      | 340      |                                |
|                                                                                             | ARENA MEDIA GRUESA                                      | SP                       | 12          | 30      | 380      |                                |
|                                                                                             | POR DETERMINAR                                          |                          | 130         | 160     | 480      |                                |
|                                                                                             | POR DETERMINAR                                          |                          | 156         | 316     | 520      |                                |
| POR DETERMINAR                                                                              |                                                         | 25                       | 341         | 620     |          |                                |
| (Ornelas 2019) Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = Vs/kt$ |                                                         |                          |             |         |          |                                |
| Estacion                                                                                    | F (Hz)                                                  | T (s)                    | Vs30(m/s)   | Vs(m/s) | H=Vs*T/k | "Propuesta de Hernandez, 2021" |
| M-118                                                                                       | 0,4                                                     | 2,5                      | 297         | 479     | 342      | 3,5                            |
| Perfil IMASW 56 (Escobar, 2019)                                                             |                                                         |                          |             |         |          |                                |
|                                                                                             | Fuente (H; Vs)                                          | Espesor                  | Vs          |         |          |                                |
| H1                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 6                        | 220         |         |          |                                |
| H2                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 3                        | 250         |         |          |                                |
| H3                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 5                        | 280         |         |          |                                |
| H4                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 4                        | 320         |         |          |                                |
| H5                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 12                       | 380         |         |          |                                |
| H6                                                                                          | Ornelas                                                 | 105                      | 480         |         |          |                                |
| H7                                                                                          | Ornelas                                                 | 110                      | 520         |         |          |                                |
| H8                                                                                          | Ornelas                                                 | 120                      | 620         |         |          |                                |
| Basamento                                                                                   |                                                         |                          | Vs30        | 297     |          |                                |

Tabla 5.2. Perfil de suelo de la estación M-118, a partir de la propuesta de Hernández 2021.

### Perfil 3 NE-SO

El perfil 3, se ubica hacia el sector El Castaño con dirección noreste-sureste. La primera estación M-277, ubicada al norte del perfil presenta valores de Vs30 de 342m/s y profundidad de 92m, ubicándola en la clasificación “CD\*” con espesores entre 80 a 150 m y velocidades entre 300-400m/s, coincidiendo con la microzona M (3-2), realizada para esa zona. En dirección al sur del perfil se ubican las estaciones M-247 y M-236, localizadas en la misma clase antes mencionadas, sin embargo, se observa que a medida que se va al sur del perfil, los espesores van aumentando. Luego se observan las estaciones M-221 y M-202, ubicadas en la misma clase que las estaciones antes mencionadas, difiriendo del espesor encontrándose estas en las microzonas M (3-3), con espesor de sedimento de 1173m y 232m, y velocidades de Vs30 de 324m/s y 354m/s, como se observa tabla 5.3 y 5.4, siendo estas estaciones las más

| Para frecuencia natural se selecciona el sitio M-221 (Rojas, 2008)                          |                                                         |                          |             | Clase   |                                |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|---------|--------------------------------|-----|
| M-221                                                                                       | Frecuencia (Hz)                                         | Periodo (s)              | CD          |         |                                |     |
|                                                                                             | 0,8                                                     | 1,3                      | Vs30<br>324 |         |                                |     |
| ID<br>E-740392                                                                              | Litología de la perforación de la consultora OT Heredia |                          |             |         |                                |     |
|                                                                                             | Litología                                               | Clasificación geotécnica | Espesor (m) | H (m)   | Vs (m/s)                       |     |
|                                                                                             | LIMO ARENOSO                                            | ML                       | 4           | 4       | 260                            |     |
|                                                                                             | ena Limosa y Limo Arenos                                | SM y ML                  | 5           | 9       | 280                            |     |
|                                                                                             | Arena Media                                             | SM                       | 6           | 15      | 340                            |     |
|                                                                                             | Arena                                                   | SP                       | 15          | 30      | 360                            |     |
|                                                                                             | por determinar                                          |                          | 20          | 50      | 360                            |     |
|                                                                                             | por determinar                                          |                          | 40          | 90      | 400                            |     |
| por determinar                                                                              |                                                         | 90                       | 180         | 650     |                                |     |
|                                                                                             |                                                         |                          |             |         | R                              |     |
| (Ornelas 2019) Profundidad de la cuenca a partir del período H/V con la fórmula $H = Vs/kf$ |                                                         |                          |             |         | "Propuesta de Hernández, 2021" |     |
| Estación                                                                                    | F (Hz)                                                  | T (s)                    | Vs30(m/s)   | Vs(m/s) | H=Vs*T/k                       | K   |
| M-221                                                                                       | 0,8                                                     | 1,3                      | 324         | 522     | 194                            | 3,5 |
| Perfil IMASW 93 (Escobar, 2019)                                                             |                                                         |                          |             |         |                                |     |
|                                                                                             | Fuente (H; Vs)                                          | Espesor                  | Vs          |         |                                |     |
| H1                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 4                        | 260         |         |                                |     |
| H2                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 5                        | 280         |         |                                |     |
| H3                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 6                        | 340         |         |                                |     |
| H4                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 15                       | 360         |         |                                |     |
| H5                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 20                       | 360         |         |                                |     |
| H6                                                                                          | Ornelas                                                 | 40                       | 400         |         |                                |     |
| H7                                                                                          | Ornelas                                                 | 90                       | 650         |         |                                |     |
|                                                                                             |                                                         | Vs30                     | 324         |         |                                |     |

profundas del perfil.

Tabla 5.3. Perfil de suelo de la estación M-221, a partir de la propuesta de Hernández 2021.

| Para frecuencia natural se selecciona el sitio M-202 (Rojas, 2008)                          |                                                         |                          | Clase       |         |          |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|-------------|---------|----------|--------------------------------|
|                                                                                             |                                                         |                          | CD          |         |          |                                |
| M-202                                                                                       | Frecuencia (Hz)                                         | Periodo (s)              | Vs30        |         |          |                                |
|                                                                                             | 0,6                                                     | 1,8                      | 354         |         |          |                                |
| ID                                                                                          | Litología de la perforación de la consultora OT Heredia |                          |             |         |          |                                |
| E-1073995                                                                                   | Litología                                               | Clasificación geotécnica | Espesor (m) | H (m)   | Vs (m/s) |                                |
|                                                                                             | ARENA LIMOSA                                            | SM                       | 9           | 9       | 280      |                                |
|                                                                                             | ARCILLA INORGANICA                                      | CL                       | 21          | 30      | 400      |                                |
|                                                                                             | por determinar                                          |                          | 80          | 110     | 400      |                                |
|                                                                                             | por determinar                                          |                          | 86          | 196     | 580      |                                |
|                                                                                             | por determinar                                          |                          | 50          | 246     | 700      |                                |
|                                                                                             |                                                         | R                        |             |         |          |                                |
| (Ornelas 2019) Profundidad de la cuenca a partir del período H/V con la fórmula $H = Vs/kf$ |                                                         |                          |             |         |          | "Propuesta de Hernández, 2021" |
| Estacion                                                                                    | F (Hz)                                                  | T (s)                    | Vs30(m/s)   | Vs(m/s) | H=Vs*T/k | K                              |
| M-202                                                                                       | 0,6                                                     | 1,8                      | 354         | 488     | 246      | 3,5                            |
| Perfil IMASW 63 (Escobar, 2019)                                                             |                                                         |                          |             |         |          |                                |
|                                                                                             | Fuente (H; Vs)                                          | Espesor                  | Vs          |         |          |                                |
| H1                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 9                        | 280         |         |          |                                |
| H2                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 21                       | 400         |         |          |                                |
| H3                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 80                       | 400         |         |          |                                |
| H4                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 86                       | 580         |         |          |                                |
| H5                                                                                          | Heredia/Escobar                                         | 50                       | 700         |         |          |                                |
|                                                                                             |                                                         | Vs30                     | 354         |         |          |                                |

Tabla 5.4. Perfil de suelo de la estación M-202, a partir de la propuesta de Hernández 2021.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

La herramienta fundamental para la integración de los datos fue el sistema de información geográfica (SIG), siendo de gran importancia para la recaudación de información previa, creación y desarrollo del proyecto, dejando los resultados disponibles en esta base de datos, que servirán como base en investigaciones futuras.

En base al mapa de Vs30 por topografía, se complementó la zona norte del proyecto, obteniendo dos zonas ubicadas en los rangos de velocidades Vs30 de 400-650m/s y >650m/s, definidos por roca meteorizada y roca, según lo establecido en la norma COVENIN 1756-1 (2019). También sirvió como herramienta para delimitar el contacto roca-sedimento de la zona de estudio.

El mapa de Vs30 integrado fue elaborado principalmente por los resultados obtenidos de Vs30 por IMASW. De acuerdo a la comparación de los mapas de Vs30 realizados por las diferentes metodologías de ReMi, SPT y Topografía, se obtuvo una gran similitud en los resultados, el cual sirvió para complementar finalmente el mapa, concluyendo que las velocidades más altas de la zona de estudio se observan en la Cordillera de la Costa, al norte de la ciudad y disminuyen hacia el sur, donde se encuentra el lago de Valencia.

El mapa de Vs30 integrado, dio como resultado 5 intervalos de velocidad, obteniendo así;

Los valores de velocidades mayores, en la cordillera de la Costa, encontrándose en ellas dos zonas con velocidades entre 400-650 m/s y >650 m/s.

Ubicados en la cuenca sedimentaria, principalmente hacia el sector El Castaño y norte de El Limón, se ubica la franja con velocidades de Vs30 entre 300-400 m/s, asociados a material

fluvial, propio de arcillas y limos con presencia de material grueso tales como grava y arena como los mostrados en las perforaciones al norte de la ciudad Maracay.

Hacia el sur de la cuenca se ubica la franja de  $V_{s30}$  entre 200-300 m/s, estas velocidades bajas están relacionadas a sedimentos aluviales de edad Cuaternario.

Por último, se ubican hacia el sur de la ciudad, las velocidades  $<200$  m/s, siendo estas las menores del estudio, relacionadas a sedimentos del tipo lacustres, depositados como consecuencia de uno de los períodos de expansión de la superficie del Lago de Valencia.

En el mapa de espesor sedimentario integrado, se obtuvieron rangos de profundidades donde los menores espesores se ubican al sur y suroeste, bordeando el lago, con espesores  $>250$ m, alcanzando su máximo valor de 341 m, disminuyendo hacia el norte de la cuenca hasta llegar a valores menores a  $<80$ m, en los límites de la montaña.

De acuerdo al mapa de microzonas sísmicas realizado para la ciudad de Maracay, se obtuvo que el grupo MS-5, corresponde a la clasificación “DE\*”, con velocidades  $<200$ m/s, siendo las más bajas del estudio, con espesores entre 150-250m para la MS (5-1) y los máximos espesores  $>250$ m ubicadas en la MS (5-2), encontrándose además en esta microzona, la estación M-127 del perfil 2 (NO-SE), presentando variaciones de velocidades del basamento y espesor, lo cual dichas variaciones pueden estar asociadas a la falla ubicada en las cercanías de la estación (falla El Horno).

La microzona sísmica MS-4, se encuentra en la clasificación “D”, con velocidades entre 200-300m/s, en ella se ubica la microzona MS (4-4), ubicada al sur y suroeste de la cuenca, en los límites del lago de Valencia, con espesores mayores a  $>250$ m. En esta microzona se ubican las estaciones M-116 y M-118 de los perfiles realizados, presentando variaciones de velocidades del basamento y espesor, lo cual dichas variaciones pueden estar asociadas a la falla ubicada en las cercanías (falla El Horno).

Las zonas ubicadas en la cuenca que presentan menor amenaza sísmica, son las que presentan velocidades de  $V_{s30}$  altas y espesores bajos, ubicadas hacia el norte de la ciudad, donde se encuentra el sector el Limón y sector El Castaño, debido a la cercanía con los altos topográfico de la ciudad de Maracay, donde afloran los Esquistos Las Mercedes y Esquistos Las Brisas. Sin embargo, en esta zona se encuentra la falla el Limón ubicada al norte de la ciudad, la cual fue mapeada recientemente por Singer *et al.* (2014), por lo que se recomienda identificar una franja de seguridad de 100m a ambos lados de la falla, según lo establecido por la norma de COVENIN 1756-1 (2019).

La falla El Horno y La Cabrera, fue mapeada por Audemard et al. (2000), por lo cual tiene mayor incertidumbre y se recomienda identificar una franja de seguridad de 500 m, a ambos lados de la falla.

## **RECOMENDACIONES**

Las microzonas con los mayores espesores y velocidades más bajas, deben ser consideradas para la evaluación de construcciones existentes y futuras.

Realizar un estudio de las posibles estructuras que deben ser reforzadas, como escuelas, hospitales y edificaciones altas, ubicadas en las microzonas de alta amenaza sísmica que presenta la ciudad de Maracay.

Hacer una evaluación de la actividad sísmológica, tomando en cuenta los reportes sísmológicos, tanto de registros recientes como intensidades históricas, de cada una de las fallas de la zona de estudio.

Concretar la implementación de dichos resultados de microzonificación sísmica en la ciudad de Maracay en decretos u ordenanzas municipales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguerrevere, S., Zuloaga, G., (1937). Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1 (2-4): 3 -22.

Aguerrevere, S., Zuloaga, G., (1938). Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2 (2- 4): 281 -284.

Aki, K. (1993). Local site effects on weak and strong ground motion. Tectonophysics, 218, 93- 111.

Audemard, F.; De Santis, F.; Lugo, M., (1988). Estudio de Amenaza Sísmica para las Urbanizaciones La Punta y Mata Redonda al sur de Maracay, Vol. I, FUNVISIS.

Audemard, F.; F. d. Santis y A. Singer. (1990). Evidences of lateral spread in the lacustrine delta os Guigue, South margin of the Valencia Lake, during the 07-29-1967 Caracas Earthquake. Bulletin in INQUEA Neotectonics Commission 13.

Audemard, F.A., M. Machette, M., Cox, J., Dart, R., Haller, K. (2000). Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions. US Geological Survey Open-File Report 00-0018. Include map at scale 1:2,000,000 and 78-page report.

Bard, P. (1999). "Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation", The effects of Surface Geology on Seismic Motion, Irikura, Kudo, Okada & Sasatani (eds), Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp.1251-1279.

Campos, A. (2004) *Definición de las relaciones entre parámetros geofísicos en pozos disponibles a lo largo de la Línea 4 del Metro de Caracas*. (Trabajo Especial de Grado), Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

- Casalena, M. (2011). Caracterización geofísica del suelo somero mediante la aplicación del método de refracción por microtremores (ReMi) en la ciudad de Maracay – estado Aragua. (Trabajo Especial de Grado). UCV, Venezuela. 142 pp.
- COVENIN 1756-1 (2001). *Edificaciones sismorresistentes*. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), FONDONORMA, MCT, MINFRA, FUNVISIS, Caracas.
- COVENIN 1756-1 (2019). *Norma venezolana construcciones sismorresistentes*. Parte 1: Requisitos (Segunda revisión). FODENORCA - *Fondo de Desarrollo para la Normalización, Calidad, Certificación y Metrología*, Caracas.
- Cuadra, P. (2007). Aplicación de Técnicas de Vibraciones Ambientales: Análisis de Microtremores y Vibraciones Naturales, Para la Caracterización de Sitio. Trabajo especial de Grado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- Curtis, A., Gerstoft, P., Sato, H., Snieder, R., y Wapenaar, K. "Seismic interferometry - turning noise into signal". *The Leading Edge*, 25(9), 1082-1092. (2006).
- Dengo, G. (1951). Geología de la Región de Caracas. *Bol. Geol.*, Caracas, 1 (1): 39-115.
- Dengo, G. (1953). Geology of the Caracas región, Venezuela. *Geol. Soc. Americana. Bull.*, 64 (1): 7 – 40.
- Dobrin, M. (1960). *Introducción a la Prospección Geofísica*. McGraw Hill, New York, 446pp.
- Dobrin, M. (1961). *Introducción a la Prospección Geofísica*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 483 p.



- Dobry R., Oweis I. & Urzua A. (1976). *Simplified procedures for estimating the fundamental period of a soil profile*. Bulletin of the Seismological Society of America 66(4).
- Escobar, V. (2019). Estudio de la velocidad de ondas de corte mediante análisis multicanal de ondas superficiales en la ciudad de Maracay. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela. 114 pp.
- Everett, M. E. "Near-Surface Applied Geophysics". Cambridge University Press, New York, pp. 182-197. (2013).
- Flores-Estrella, H., Lomnitz-Aronsfrau, C. y Yussim-Guarneros, S. (2004). Estimación de velocidades de fase a partir del análisis de microtemores con el método *SPAC*. Geos, 24(3), 438-445.
- Gil, N. y G. Pérez. (2007). Elaboración de un mapa de zonificación geotécnica según la norma 1756-2001 (Edificaciones sismorresistentes) del Municipio Girardot en Maracay, Estado Aragua, mediante análisis de información geotécnica, velocidad de ondas de corte y mapas geotécnicos existentes. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional.
- González de Juana C., J. Iturralde de A. Y X. Picard. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos. 1021.
- Hernández M. (2006). *Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, Estado Aragua*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 149 pp.
- Hernández, J. (2021). *Fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos*. Comunicación personal.

- Hidalgo, F. y Paredes L. 2015. Elaboración de mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andres Eloy Blanco, Jose Casanova Godoy y Pedro Jose Ovalles, Maracay. Universidad Catolica Andres Bello. 147pp.
- Hunter, J.A., Benjumea, B., Harris, J.B., Miller, R.D., Pullan, S.E., Burns, R.A. y Good, R.L. (2002). Surface and downhole shear wave seismic methods for thick soil site investigations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22, 931-941.
- Imai, T. y Yoshimura, M. (1970). Elastic wave velocity and dynamics characteristics of the soft ground. *Soil and Foundation. Journal of soil mechanics and foundation division. ASCE*, 97 SM9 (1249- 1273)
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Mendoza, V. 2005. *Geología de Venezuela*. Universidad de Oriente.
- Meza, J. (2010). *Modelado Bidimensional en las ciudades de Maracay, edo. Aragua y Valencia, edo. Carabobo, a través de datos de sísmica de refracción somera*. (Trabajo Especial de Grado). UCV, Venezuela. 140 pp.
- Moncayo, C., & Edmundo, H. (2003). *Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra*. (Tesis Doctoral), E.T.S. Ingenieros de camino C. y P.
- Ohta, Y. y Gota, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 6. (167-187).

- Ornelas A. (2018). *Inversión 1D de la onda Rayleigh de datos de ruido ambiental en la ciudad de Maracay*. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela. 123 pp.
- Paolini M., Rodríguez L. & Olbrich F. (2012). *Actualización de las fallas activas de Venezuela como aportes a la evaluación de la amenaza sísmica*. Informe FUNVISIS FUN-077.
- Park, C., Miller, R. y Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3). 800-808.
- Peeters, L. (1968) *Origen y evolución de la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela*. Caracas. Instituto para la conservación del Lago de Valencia. Venezuela.
- Rocabado, V., (2000). Períodos Fundamentales de la ciudad de Caracas a partir de mediciones de ruido ambiental. Trabajo especial de grado. Publicado en CD, GEOS 35, 2002, UCV.
- Rocabado, V; J. Aray; C. Morales; K. García; M. Schmitz; C. Sánchez; J. Meza y C. Rojas (2010). Determinación de los períodos fundamentales de vibración del suelo y espesores de sedimentos de las ciudades de Maracay y Valencia - a través de mediciones H/V y refracción sísmica - como aporte a la Microzonificación Sísmica, Caracas, Venezuela, UCV. pp. 2.
- Rogers, A.M., Tinsley, J.C. y Borchardt, R.D. (1985). Predicting ground response, in Ziang, J.F. (editor) *Evaluating earthquake science perspective*. U.S. Geological Survey Professional paper BG.O. pp 221-248.
- Rojas, C. (2008). *Determinación de Los Periodos Fundamentales del subsuelo de la Ciudad de Maracay, Edo. Aragua*. (Tesis Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 132 pp.

- Romero E. (2017). *Elaboración de un modelo gravimétrico en 3D del basamento en la ciudad de Maracay* (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela. 68 p.
- Sánchez-Sesma, F. J.; J. A. Pérez-Ruiz; F. Luzón; M. Campillo y A. Rodríguez-Castellanos. 2008b. Diffuse fields in dynamic elasticity. *Science Direct* 45.
- Schmitz, M., Cano, V., López, O.A., Klarica, S., Pombo, A., Díaz, J.F., Heredia, J., Avendaño, J., Morales, C. y el grupo de riesgo sísmico del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos, (2015). Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica. *Boletín de Geología*, 37 (1), pp. 17-26
- Schmitz, M., Manchego, M., Salcedo, A., Flores, H., Leal, V., Rodríguez, I., Pombo, A., Capriles, M. D., Guzmán, J., Paolini, M., Reinoza, C., Rocabado, V. y grupo de trabajo Gestión de Riesgo. 2009. Proyecto de investigación aplicada a la gestión integral de riesgo en espacios urbanos: Conformación de redes de actores. V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 19 al 22 de mayo de 2009, 3 p.
- Schmitz, M., y Hernández, J.J. (2011). La microzonificación sísmica para la reducción del riesgo sísmico (Editorial). *Rev. Fac. Ing. UCV* [online]. 2011, vol.26, n.2, pp. 3-6. ISSN 0798-4065.
- Schmitz, M.; V. Cano; O. A. López; S. Klarica; A. Pombo; J. F. Díaz; J. Heredia; J. Avendaño y C. Morales. (2015). Estudios Geofísicos en Cuencas Urbanas en Venezuela con Fines de Microzonificación Sísmica. *Boletín de Geología*, 37 (1), 17-26.
- Schuck, A. y G. Lange. (s.f.). *Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies*. Geophysics, Chapter 4.6: Seismic Methods. Berlin. 66 p.
- Seiders, V., (1965). Geología de Miranda central. Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 6 (12): 289 – 416.

- Seo, K. (1995). A joint work for measurements of microtremors in the Ashigara valley. Int. Symp. Effects of Surf. Geol. Seismic Motion, ESG. Odawara Japan. 2. 43-52.
- Smith, R., (1952). Geología de la región de los Teques – Cúa. Bol. Geol., Caracas, 2 (6): 333 – 406.
- Tahal (1970) Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A.: *Estudio para el desarrollo de los recursos de aguas subterráneas en las regiones de Valencia, Barquisimeto, Coro, Pedregal, Maracaibo*. Volumen V, Región de Maracaibo, Informe. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.
- Telford, W., L. Geldart y R. Sheriff. (1990). *Applied Geophysics*. Second Edition. Cambridge University Press.
- Tsige, M. y I. García Flórez. 2006. Propuesta de clasificación geotécnica del "Efecto Sitio" (Amplificación Sísmica) de las formaciones geológicas de la Región de Murcia. Geogaceta 40.
- UNESCO. (1980). Terremotos: evaluación y mitigación de su peligrosidad. Editorial Blume. Barcelona, España.
- Urbani, F. (2002). El Río Miguelena de Camurí Grande, Estado Vargas: Una ventana a la geología de la Cordillera de la Costa. Guía de excursión. Caracas: Guía de Excursiones Geológicas No. 02-1. Ediciones Sociedad Venezolana de Geólogos.
- Urbani, F., Ostos, M. (1989-a). El Complejo Ávila, Cordillera de la Costa. Jornadas 50° Aniversario Escuela de Geología, Minas y Geofísica. GEOS 29: 205 – 217.
- Vivas, L. (1992). El Cuaternario. Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

Wald, D. & Allen, T., (2007). Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site-Conditions ( $V_s30$ ) and Amplification Around the globe. Open-File Report 2007–1357. U.S. Geological Survey.

Wehrmann, M. (1972). Geología de la región de Guatire – Colonia Tovar. Cong. Geol. Venezuela. IV, noviembre de 1969. Caracas, Mem. Bol. Geol. Caracas. Publ. Esp. 5, IV: 2093- 2119.

Xia, J., Miller, R. y Park, C. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64(3). 691-700.

Zhang, B.; M. Yu; C. Q. Lan y W. Xiong. 1996. Elastic wave and excitation mechanism of surface waves in multilayered media. *The Journal of the Acoustical Society of America*.

## APÉNDICE

Correlación de la información de los estudios para la creación de los perfiles de suelos:

### Perfil 1, Norte-Sur.

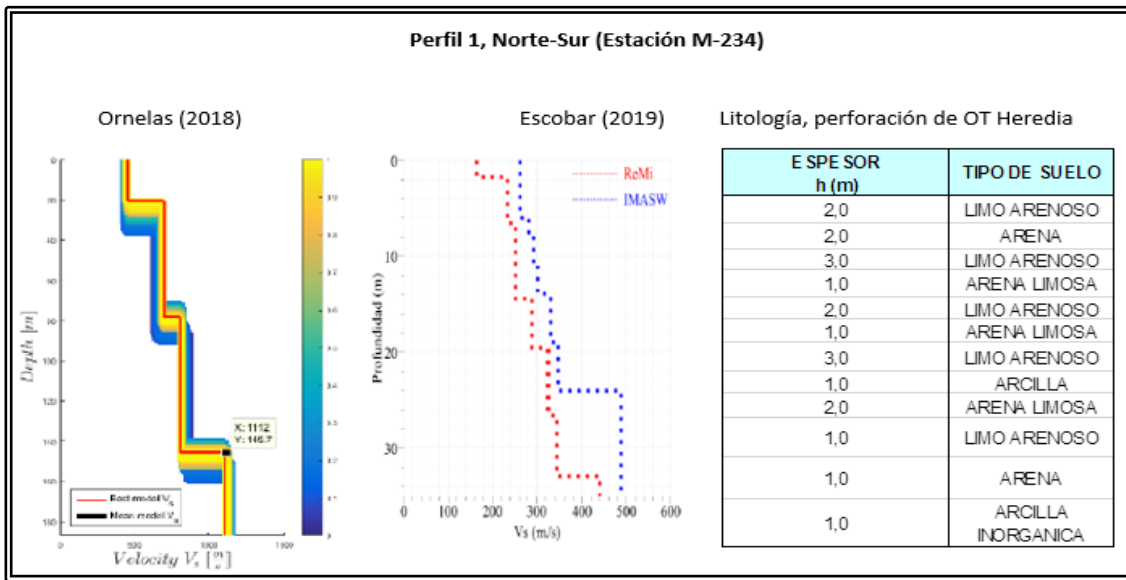


Figura A.5.1. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-234.

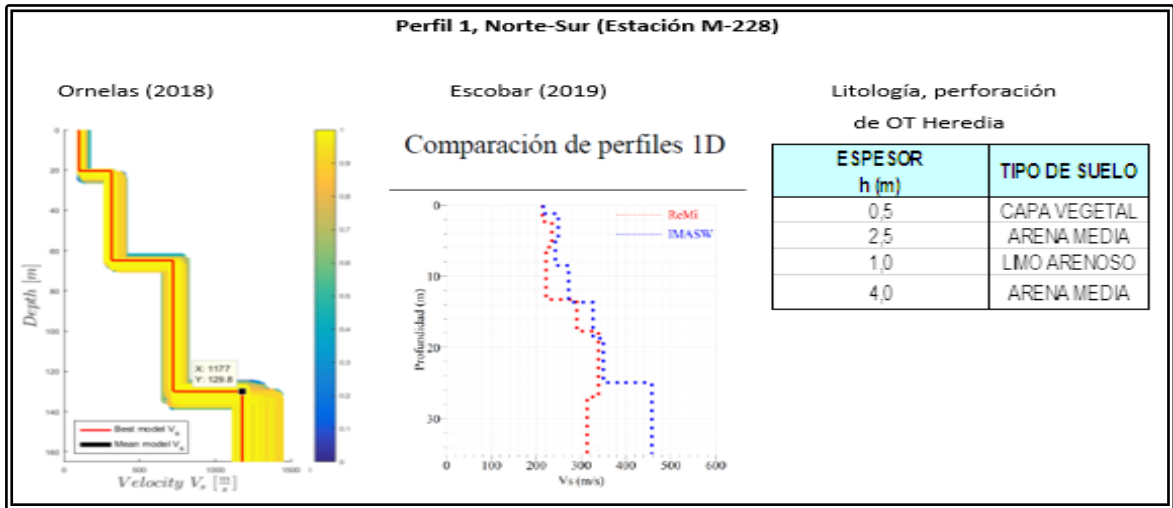


Figura A.5.2. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-228.

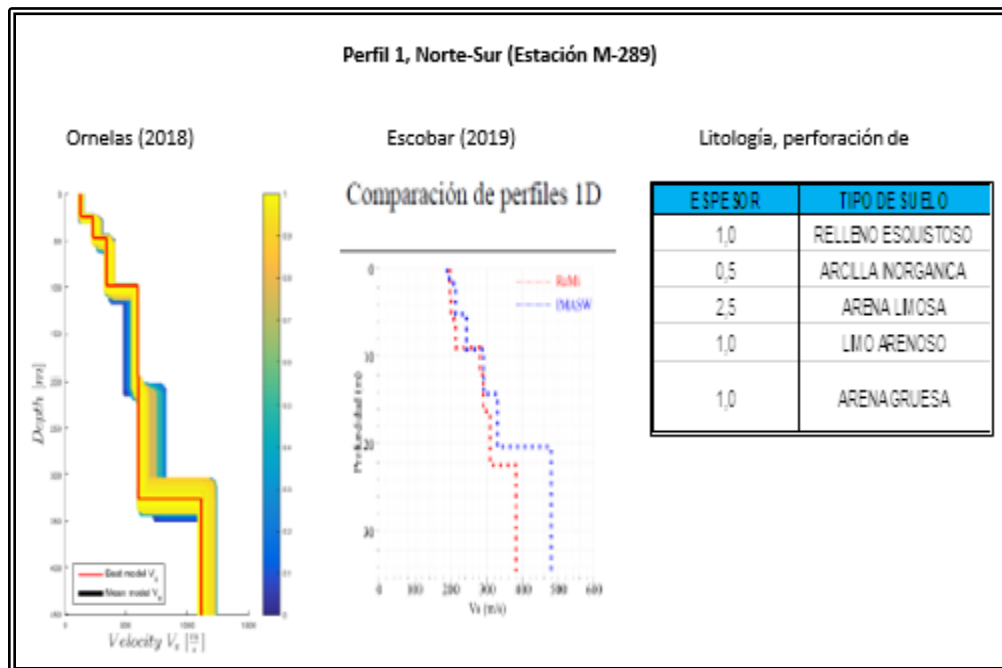


Figura A.5.3. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-289.



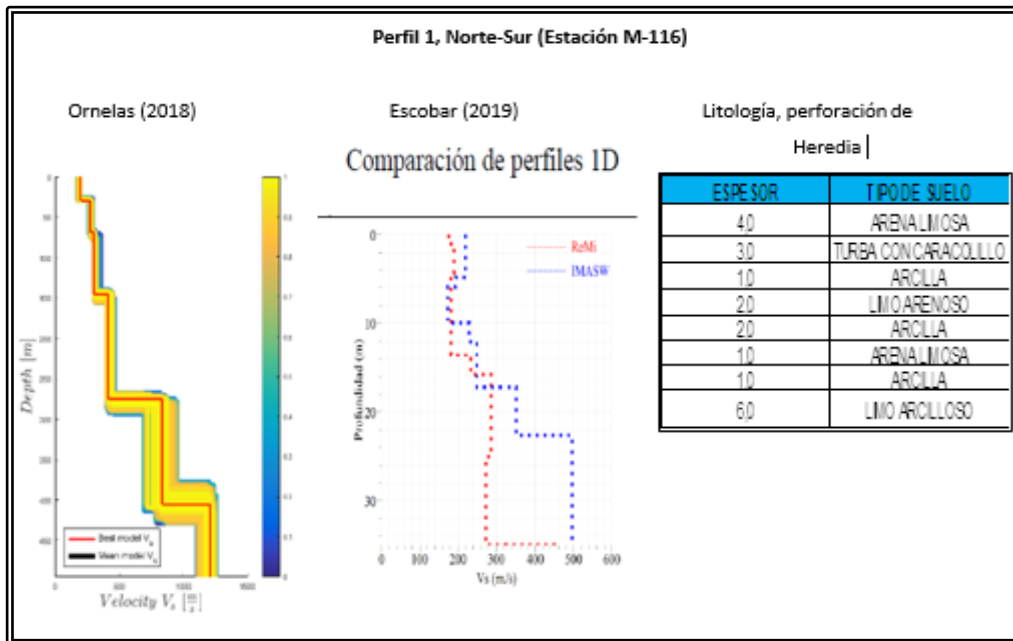


Figura A.5.4. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-116.

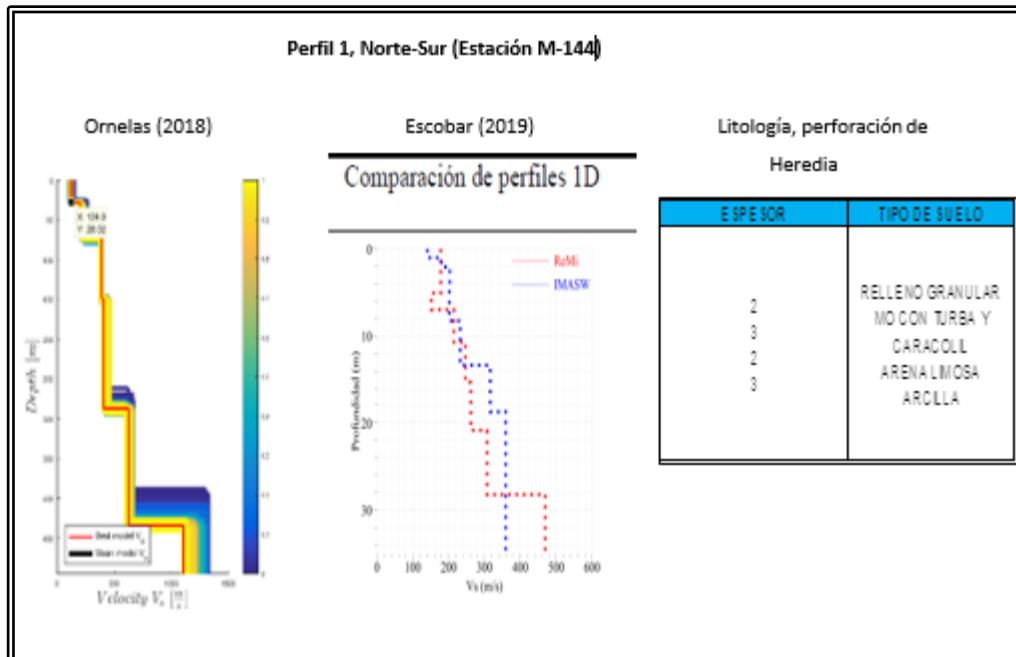


Figura A.5.5. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-144.

## Perfil 2, Noroeste-Sureste

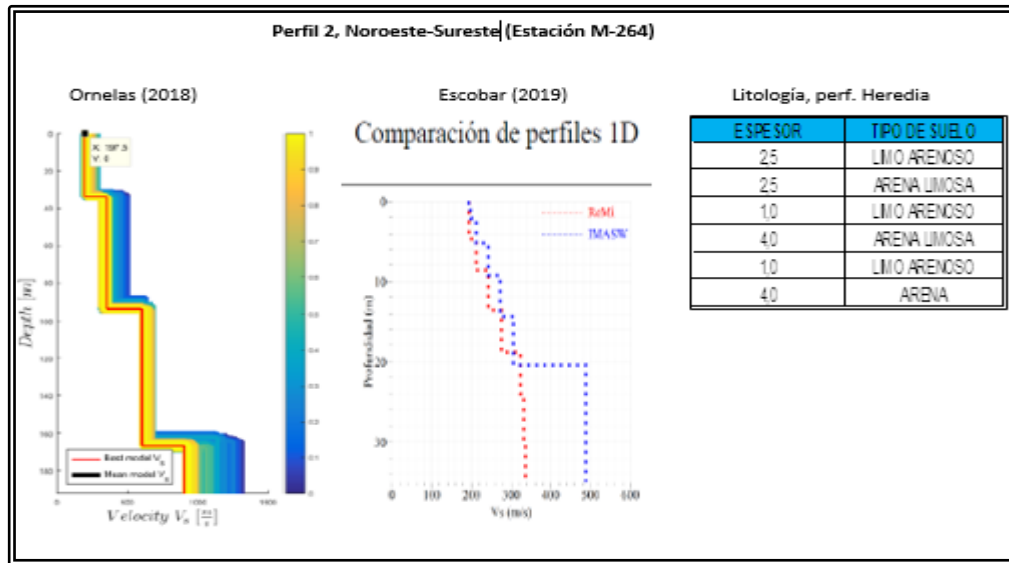


Figura A.5.6. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-264.

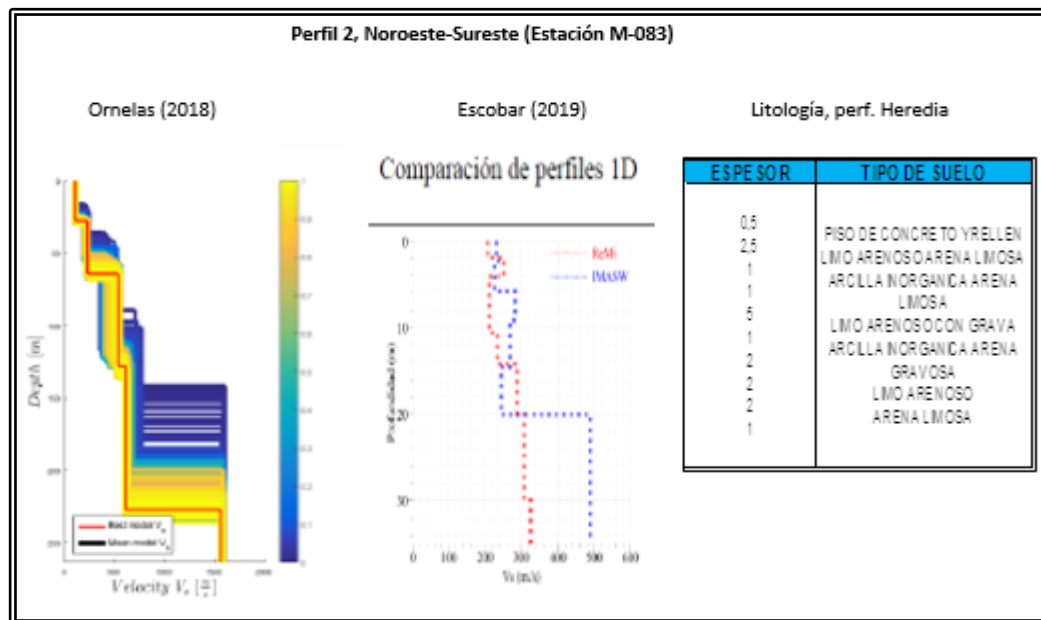


Figura A.5.7. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-083.

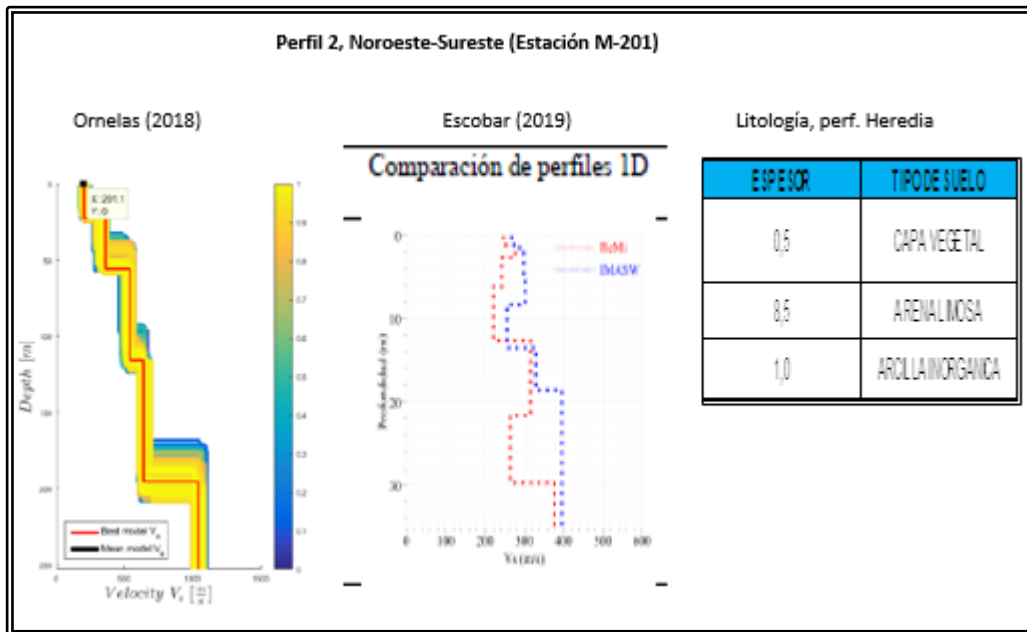


Figura A.5.8. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-201.

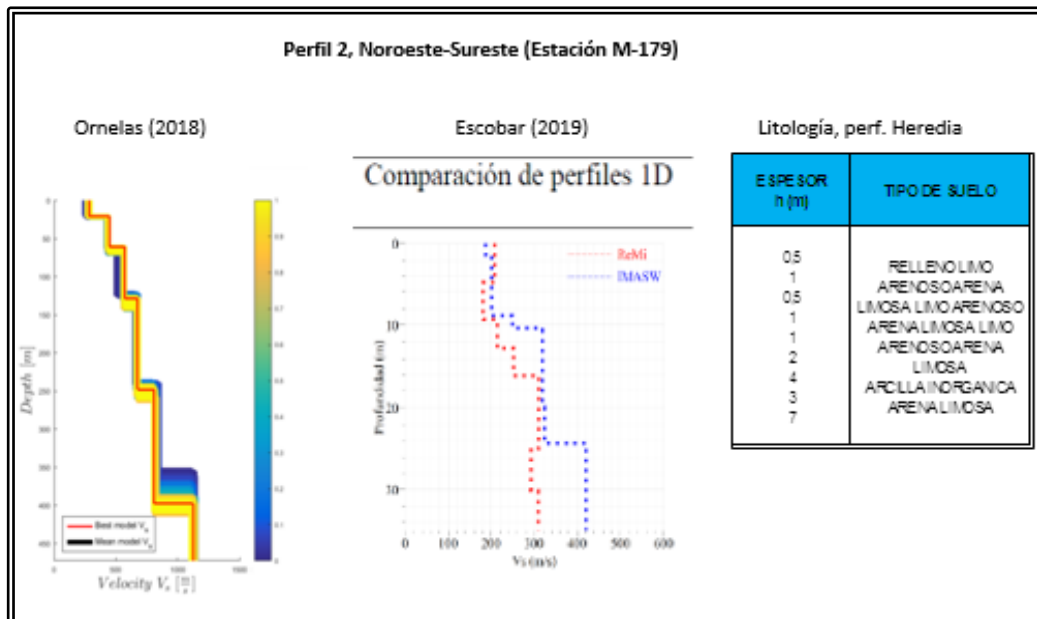


Figura A.5.9. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-179.

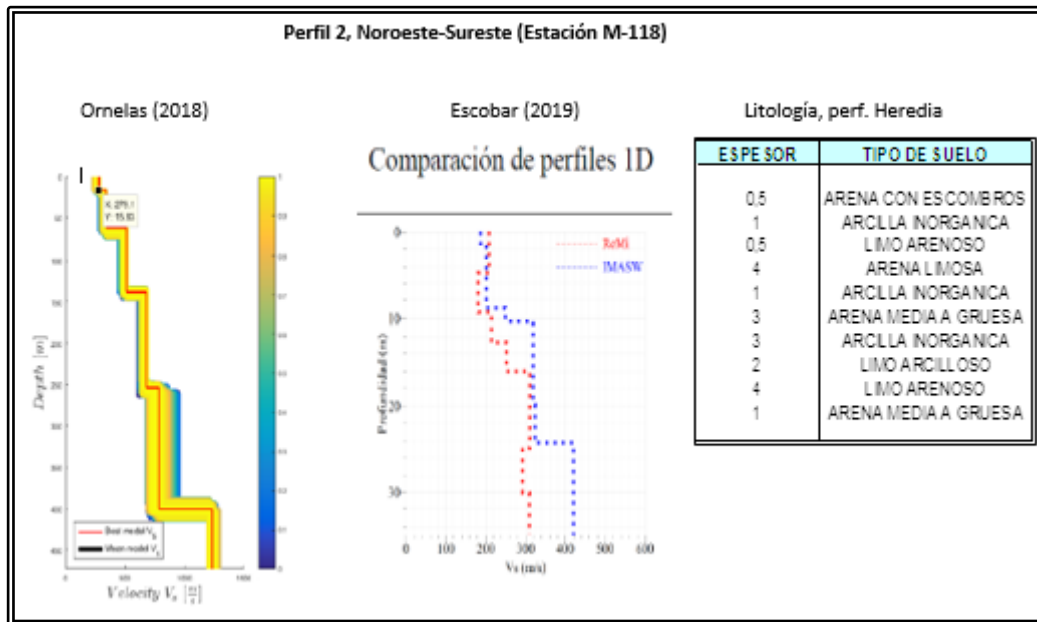
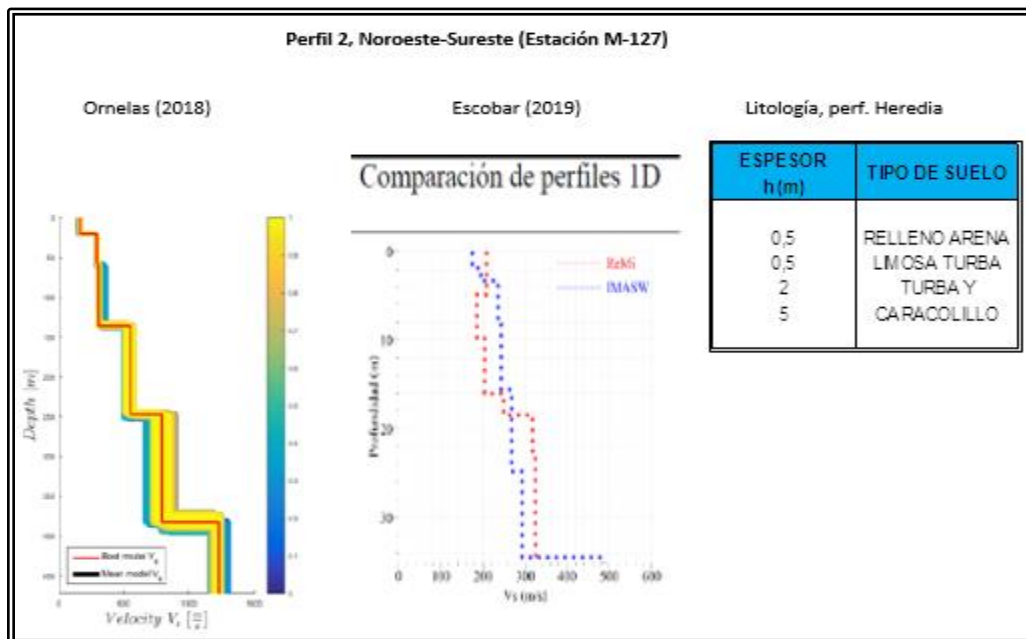


Figura A.5.10. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-118.



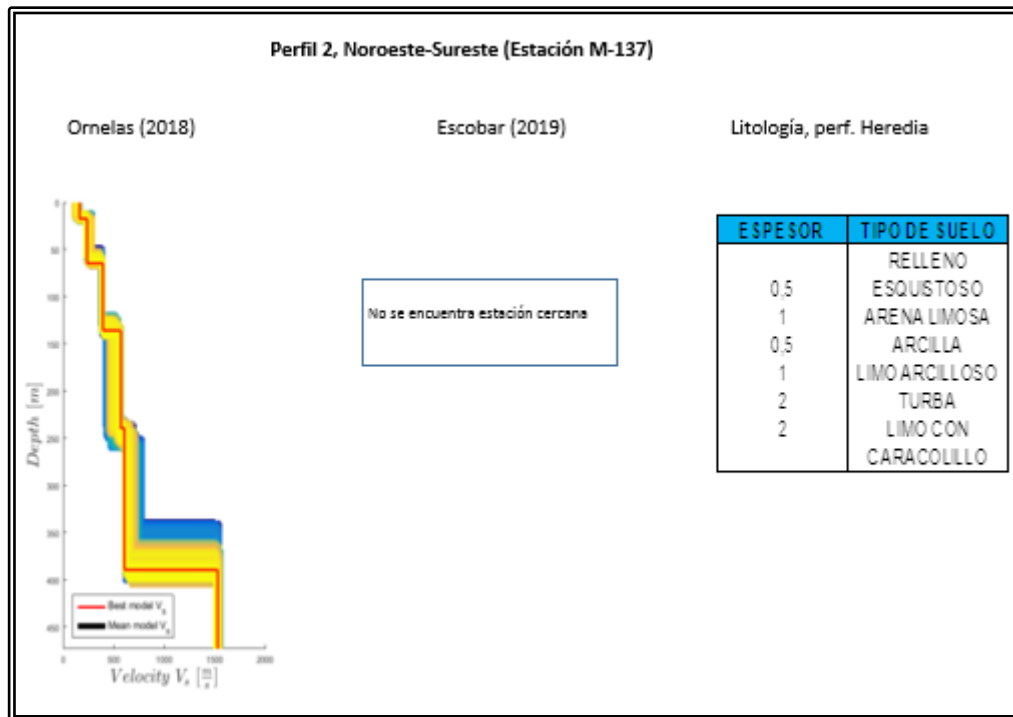
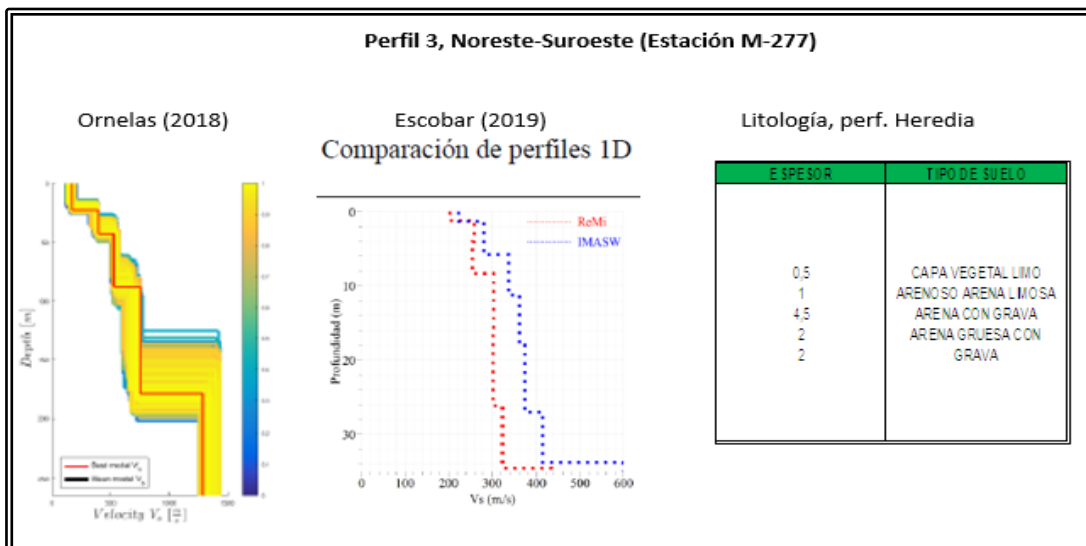


Figura A.5.11. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-127.

Figura A.5.12. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-137.

### Perfil 3, Noreste-Sureste.



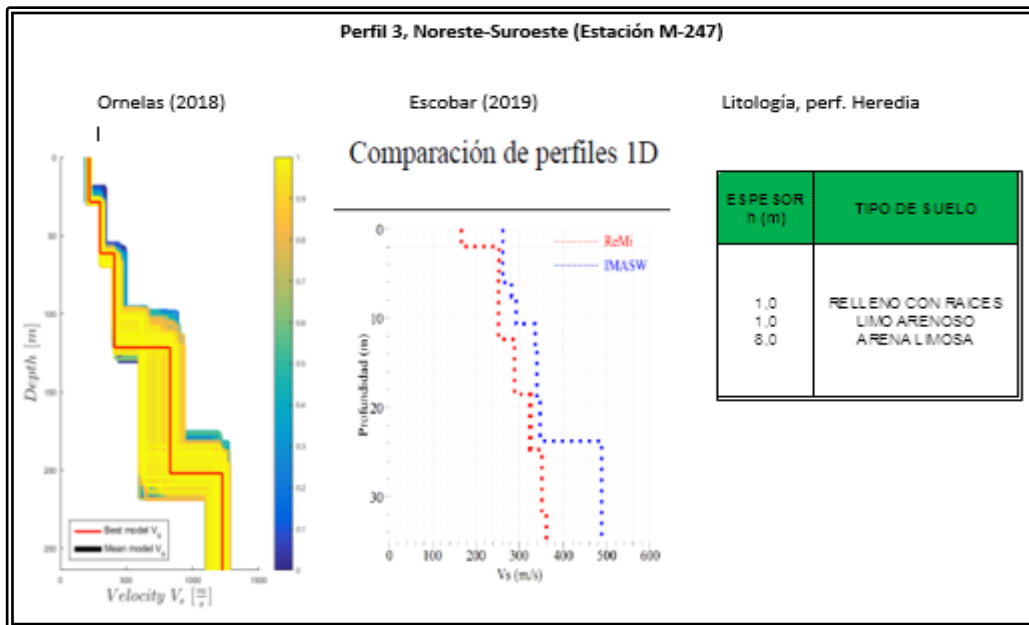


Figura A.5.13. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-277.

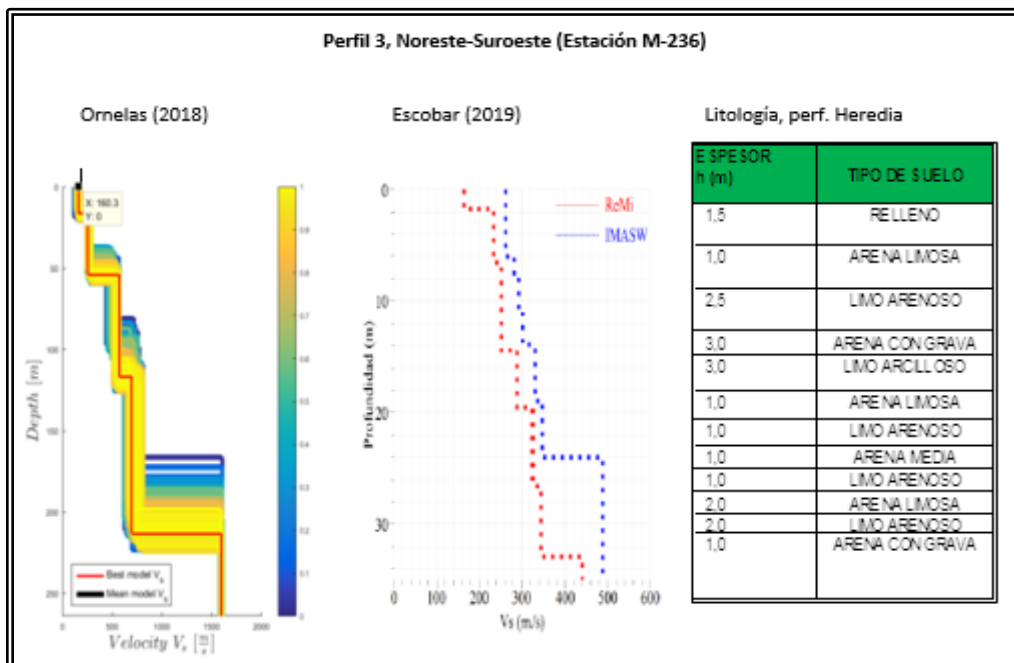


Figura A.5.14. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-247.

Figura A.5.15. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-236.

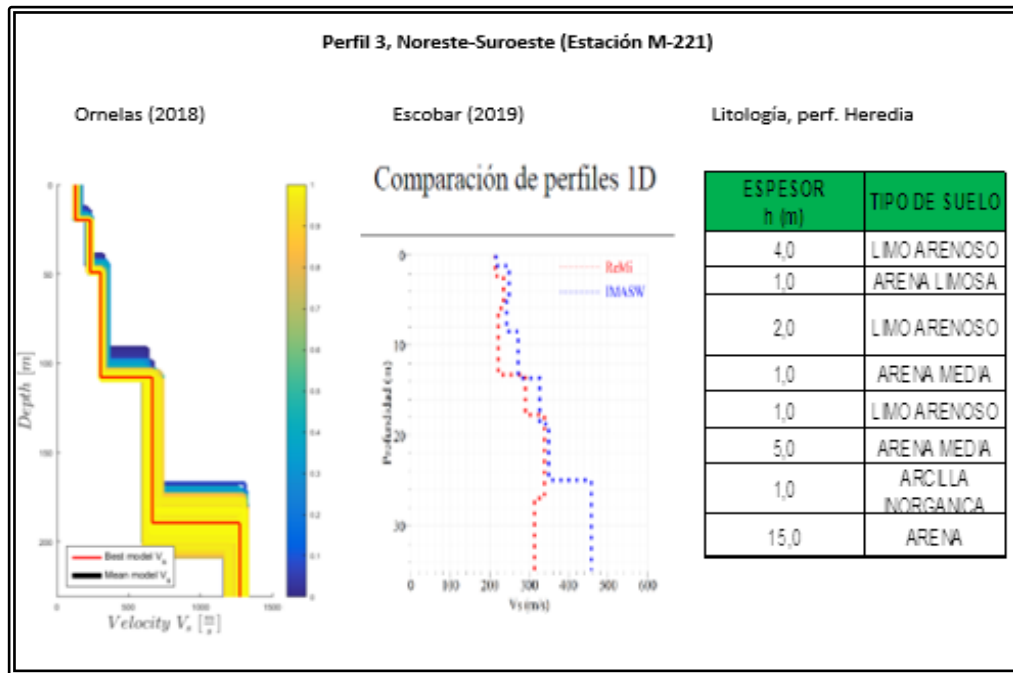


Figura A.5.16. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-221.

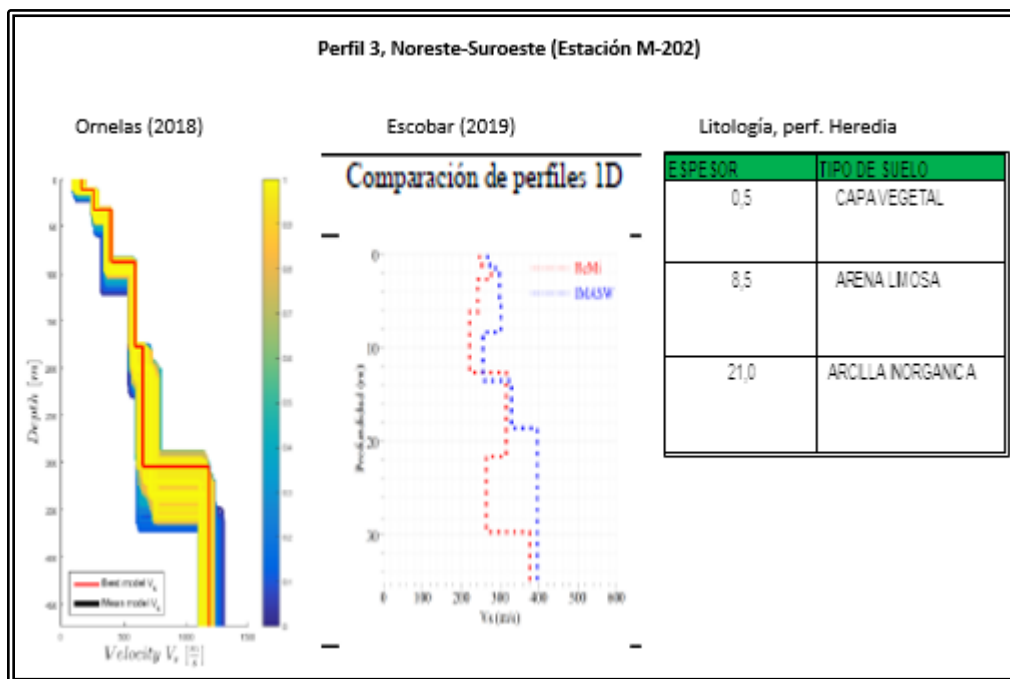


Figura A.5.17. Correlación, para la generación de Perfiles de suelos de la estación M-202.



Tabla A.5.8. Información de tendidos de ruido antrópico procesados por Escobar (2019).

| Tendido | Coordenadas (UTM 19N) |         | Vs30 (m/s) |       |
|---------|-----------------------|---------|------------|-------|
|         | X                     | Y       | ReMi       | IMASW |
| 1       | 654401                | 1128745 | 245,1      | 263,1 |
| 2       | 654406                | 1128827 | 267,1      | 261,5 |
| 3       | 654404                | 1128903 | 248,4      | 253,2 |
| 4       | 654402                | 1128972 | 235,6      | 243   |
| 5       | 654403                | 1129039 | 215,8      | 230,2 |
| 6       | 654459                | 1129236 | 214,6      | 240,3 |
| 7       | 654508                | 1129289 | 241,1      | 268,5 |
| 8       | 654537                | 1129353 | 240,4      | 271,1 |
| 9       | 654570                | 1129409 | 237,9      | 252,8 |
| 10      | 654606                | 1129551 | 209,7      | 226,6 |
| 11      | 654684                | 1129718 | 227        | 231,7 |
| 12      | 654702                | 1129784 | 204        | 222,5 |
| 13      | 654721                | 1129834 | 213,7      | 221,6 |
| 14      | 654728                | 1129884 | 211,3      | 228,1 |
| 15      | 654748                | 1129951 | 216,6      | 240   |
| 16      | 654724                | 1129976 | 212        | 232   |
| 17      | 654706                | 1130021 | 212,1      | 235,8 |
| 18      | 654629                | 1130221 | 224        | 262,6 |
| 19      | 654615                | 1130288 | 234,7      | 258,9 |
| 20      | 654612                | 1130334 | 240,9      | 301,4 |
| 49      | 653402                | 1131082 | 260,7      | 296   |
| 50      | 652940                | 1131196 | 263,2      | 274,6 |
| 51      | 651986                | 1131503 | 237,9      | 276   |
| 52      | 651948                | 1130899 | 242,4      | 280,6 |
| 53      | 651788                | 1130535 | 228,7      | 243,9 |
| 54      | 652882                | 1130682 | 225,2      | 242,5 |

| Tendido | Coordenadas (UTM 19N) |         | Vs30 (m/s) |       |
|---------|-----------------------|---------|------------|-------|
|         | X                     | Y       | ReMi       | IMASW |
| 55      | 652600                | 1131728 | 268,4      | 292,5 |
| 56      | 655236                | 1130773 | 244,2      | 279,3 |
| 57      | 655993                | 1130748 | 235        | 254,8 |
| 58      | 656718                | 1130801 | 232,9      | 266   |
| 59      | 650518                | 1133747 | 251,2      | 295,3 |
| 60      | 651171                | 1133538 | 250,4      | 298,9 |
| 61      | 651959                | 1133301 | 244,4      | 303,7 |
| 62      | 652530                | 1133117 | 257,6      | 300,3 |
| 63      | 653699                | 1132808 | 265        | 323,2 |
| 64      | 654301                | 1132778 | 294,2      | 323,4 |
| 65      | 655203                | 1132665 | 268,7      | 316,9 |
| 66      | 655829                | 1132525 | 259,8      | 302,8 |
| 67      | 657459                | 1131916 | 237,4      | 328,7 |
| 68      | 656603                | 1132221 | 257,1      | 266,1 |
| 69      | 656137                | 1132031 | 248        | 284,3 |
| 70      | 655647                | 1131492 | 248,6      | 287   |
| 71      | 653688                | 1132139 | 274,5      | 307   |
| 72      | 652992                | 1132251 | 277,8      | 316,3 |
| 73      | 652048                | 1132439 | 286,7      | 321,9 |
| 74      | 651218                | 1135490 | 253,8      | 303,9 |
| 75      | 650577                | 1135404 | 258,1      | 299,3 |
| 76      | 650583                | 1134583 | 249,7      | 271,7 |
| 77      | 650672                | 1133076 | 277,8      | 298,6 |
| 78      | 655654                | 1130220 | 254,5      | 271,1 |
| 80      | 654981                | 1128747 | 224,8      | 262,3 |
| 81      | 655982                | 1129462 | 238        | 247,7 |
| 82      | 649720                | 1133534 | 267,5      | 307,6 |
| 83      | 650119                | 1132745 | 238        | 271,4 |
| 84      | 650869                | 1131912 | 264,8      | 317,6 |
| 85      | 650571                | 1130964 | 206,9      | 255,5 |
| 86      | 651707                | 1134734 | 261,6      | 308,7 |
| 87      | 652655                | 1134862 | 280,5      | 303,9 |
| 88      | 648804                | 1140742 | 333        | 396,9 |
| 89      | 649927                | 1139254 | 297        | 337,6 |
| 90      | 649933                | 1138288 | 311,2      | 368,4 |
| 91      | 651123                | 1136548 | 264,9      | 281   |
| 92      | 650622                | 1137534 | 274,4      | 314,5 |
| 93      | 653956                | 1133904 | 268,6      | 304,2 |

| Tendido | Coordenadas (UTM 19N) |         | Vs30 (m/s) |       |
|---------|-----------------------|---------|------------|-------|
|         | X                     | Y       | ReMi       | IMASW |
| 95      | 654386                | 1134578 | 268,8      | 326,4 |
| 97      | 655260                | 1135949 | 277        | 332,6 |
| 98      | 655858                | 1136547 | 287,7      | 330   |

Tabla A.5.9.Ubicación de perforaciones geotécnicas, realizadas por la Empresa OT Heredia en la ciudad de Maracay.

| ID          | NORTE     | ESTE     | ID         | NORTE     | ESTE     |
|-------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| LES-117/84  | 1133791,7 | 653567   | E-1398298  | 1133001,8 | 655684,1 |
| LES-116/84  | 1134740   | 654370   | E-13100098 | 1133925,3 | 653452,1 |
| LES-114/84  | 1133787,6 | 653640,8 | E-13100298 | 1134304,4 | 653205,5 |
| LES-106/84  | 1132205   | 654995   | E-13100798 | 1132363,1 | 658405,2 |
| LSU-105/84  | 1134520   | 653770   | E-13100898 | 1132930,5 | 652501,3 |
| INGEO-11385 | 1133755,4 | 653198,6 | E-13100998 | 1135206   | 654341,5 |
| INGEO-1128  | 1134960   | 654100   | E-14101099 | 1134320,9 | 652454,7 |
| INGEO-10785 | 1134179,5 | 653109,6 | E-14102199 | 1132741,6 | 654454,9 |
| INGEO-10585 | 1134606,2 | 654109,7 | E-14102499 | 1133499,9 | 655064,4 |
| INGEO-12185 | 1133081,5 | 654212,1 | E-14102899 | 1134342,6 | 653750,7 |
| INGEO-11485 | 1134331,1 | 653812,3 | E-14103199 | 1134016,6 | 653807,6 |
| ES-12586    | 1134750   | 654860   | E-14103299 | 1134819,2 | 654343,6 |
| ES-13386    | 1134419,2 | 653908,1 | E-14103399 | 1133535,6 | 657474,1 |
| ES-14686    | 1135186,6 | 654444,3 | E-14103399 | 1133310,7 | 657743,8 |
| ES-14386    | 1135080   | 652180   | E-14103399 | 1132927,8 | 658378   |
| ES-25387    | 1134536,4 | 654456,4 | E-14103399 | 1132748,6 | 658585,8 |
| ES-25287    | 1132792,5 | 651888,9 | E-14103399 | 1132622,7 | 658778,6 |
| ES-24887    | 1135363,7 | 654739,6 | E-14103399 | 1133327,6 | 657524,4 |
| ES-14786    | 1134786,1 | 654797,1 | E-14103399 | 1133564,5 | 657558,2 |
| ES-27187    | 1134279,3 | 652651,1 | E-14104099 | 1135406,6 | 654566,3 |
| ES-27087    | 1134392,3 | 653767,1 | E-14104299 | 1135054,6 | 654409   |
| ES-26987    | 1134032,3 | 653210,6 | E-14104999 | 1134741,8 | 654232,7 |
| ES-26587    | 1134265,2 | 652378,4 | E-14105099 | 1138300,3 | 657367,7 |
| ES-27587    | 1134947,2 | 654772,4 | E-14105099 | 1138327,6 | 657423,8 |
| ES-28687    | 1133995,6 | 654610,8 | E-14105499 | 1133769,9 | 655083,4 |
| ES-28587    | 1133867,8 | 655096,5 | E-14105499 | 1133775,7 | 655024,8 |
| ES-29687    | 1135229,2 | 654664,6 | E-14105799 | 1132548,1 | 658174,3 |
| ES-28987    | 1133363,7 | 652932,6 | E-14105999 | 1133861,3 | 652662,5 |
| E-210787    | 1133520   | 657130   | E-14106299 | 1135428,2 | 654424,4 |
| E-210687    | 1133666,4 | 652992,4 | E-14106399 | 1134678,9 | 652253,9 |
| E-210487    | 1132146,9 | 649762,5 | E-14106499 | 1134246,2 | 653853,7 |
| E-210887    | 1135264,9 | 654481,4 | E-14106699 | 1135282,2 | 654370,8 |
| E-312088    | 1136924,3 | 655130,2 | E-15107800 | 1137486,6 | 656598,3 |
| E-311988    | 1135274,8 | 654419,3 | E-15107900 | 1134701   | 654690   |
| E-312588    | 1136649,7 | 656313,4 | E-15109000 | 1134058,4 | 653168   |

| ID       | NORTE     | ESTE     | ID         | NORTE     | ESTE     |
|----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| E-313188 | 1134592,5 | 654260,3 | E-15109700 | 1132855,5 | 654942,5 |
| E-314388 | 1131826   | 650059,6 | E-15110200 | 1135311,1 | 654602,6 |
| E-314188 | 1134525,9 | 654139,3 | E-15111000 | 1132447,3 | 652544,1 |
| E-315488 | 1130073,2 | 656589   | E-15114900 | 1132297,4 | 651655,1 |
| E-315288 | 1135346,6 | 654716,1 | E-15115000 | 1133973,8 | 655286,2 |
| E-316288 | 1133923,5 | 653107,6 | E-15115000 | 1133931,8 | 655293,7 |
| E-317288 | 1131970   | 653060   | E-15115500 | 1134546,6 | 653685,5 |
| E-316788 | 1134690   | 650030   | E-15120000 | 1135781,9 | 654704,8 |
| E-419989 | 1131890   | 652860   | E-15120000 | 1135846,3 | 654732   |
| E-421289 | 1133990,7 | 652856,5 | E-15120100 | 1130121,5 | 655800,4 |
| E-421489 | 1132010   | 652990   | E-15120100 | 1130142,9 | 655482,1 |
| E-421389 | 1135061,1 | 654565,1 | E-15120100 | 1130173,9 | 655541,5 |
| E-422489 | 1132970   | 657980   | E-15121100 | 1134545,5 | 653570,9 |
| E-422689 | 1134546,4 | 649686,4 | E-15121200 | 1133726,2 | 653147   |
| E-422689 | 1134544,1 | 649696,7 | E-15121200 | 1133656,9 | 653180   |
| E-423189 | 1132250,3 | 653883,9 | E-16122601 | 1134618,3 | 654461,2 |
| E-524290 | 1132370   | 653020   | E-16122801 | 1134387   | 647557,9 |
| E-525190 | 1131460   | 652350   | E-16124101 | 1132641,4 | 654801,5 |
| E-526690 | 1132069   | 658087,3 | E-16124301 | 1134125,9 | 654664   |
| E-527890 | 1134094,9 | 653543,5 | E-16125001 | 1134348,5 | 654860,3 |
| E-528690 | 1135049   | 654284,6 | E-16124501 | 1136449,5 | 656232,4 |
| E-528390 | 1130170   | 651950   | E-16124501 | 1136284,3 | 656080,2 |
| E-528390 | 1130270   | 651960   | E-16124501 | 1136359,6 | 655931,5 |
| E-629491 | 1132920   | 649820   | E-16124501 | 1136625   | 656154,6 |
| E-630591 | 1130240   | 654310   | E-16125401 | 1136447,5 | 655974,3 |
| E-631691 | 1134159,9 | 652350,3 | E-16125601 | 1134500   | 648720   |
| E-631491 | 1135183,5 | 652857,6 | E-16125601 | 1134360   | 648730   |
| E-632091 | 1134044,5 | 653710,2 | E-16125801 | 1131456,6 | 654777,7 |
| E-632791 | 1133075,5 | 658010,7 | E-16126401 | 1132977,9 | 658225,7 |
| E-632691 | 1134750   | 655540   | E-16126401 | 1133069,5 | 658109   |
| E-632491 | 1133693   | 653279,1 | E-16131101 | 1132879,1 | 656111,3 |
| E-633491 | 1134864,9 | 652190   | E-16131101 | 1132917,6 | 656136,4 |
| E-633491 | 1134985,5 | 652398,3 | E-16131601 | 1135192,3 | 655963,1 |
| E-633991 | 1134174,6 | 654060,1 | E-16131601 | 1135194,9 | 655938,8 |
| E-634891 | 1133601   | 652784,9 | E-16131601 | 1135214,8 | 655940,6 |
| E-634491 | 1132990   | 657880   | E-16132701 | 1132192,8 | 648964,1 |
| E-635591 | 1136080,9 | 654603,3 | E-16132701 | 1132194,6 | 648946,4 |
| E-635591 | 1136070,1 | 654465,1 | E-16126301 | 1134421,7 | 654649,5 |
| E-636291 | 1134500   | 652770   | E-16135301 | 1134787,4 | 654153,2 |
| E-637091 | 1134304,3 | 653496   | E-16135701 | 1133622,8 | 652969,2 |
| E-637091 | 1134416,5 | 653507,3 | E-16135701 | 1133596,8 | 653009,8 |
| E-638091 | 1136700,7 | 656699   | E-17143102 | 1134572,3 | 650605,8 |
| E-637591 | 1134054,4 | 650877,9 | E-17137302 | 1137196,3 | 656561,6 |
| E-638691 | 1134259,8 | 654359,5 | E-17137002 | 1134425,5 | 651338,5 |
| E-318388 | 1134545,5 | 654164,9 | E-17137002 | 1134415,1 | 651380,5 |
| E-318788 | 1135067,8 | 654549,5 | E-17137102 | 1129476,7 | 655703,7 |

| ID         | NORTE     | ESTE     | ID         | NORTE     | ESTE     |
|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| E-318588   | 1134350   | 653040   | E-17137102 | 1129449,6 | 655854,1 |
| E-419589   | 1137990   | 656670   | E-17137102 | 1129419,6 | 656005,4 |
| E-420489   | 1136160   | 655500   | E-17137102 | 1129474,1 | 656104,9 |
| E-420389   | 1134919,2 | 654848,5 | E-17137102 | 1129409,3 | 656219   |
| E-420289   | 1134494,9 | 652935,4 | E-17137102 | 1129471,5 | 656712,7 |
| E-420189   | 1134852,8 | 654416,8 | E-17137102 | 1129376,4 | 656898,8 |
| E-420089   | 1135266,8 | 654734,4 | E-17140202 | 1134446   | 653578,5 |
| E-638591   | 1135113,4 | 653203,4 | E-17140602 | 1135931,2 | 655036,2 |
| E-740092   | 1133811,4 | 648849,4 | E-17142102 | 1134273   | 654937,6 |
| E-739992   | 1134163,7 | 654963   | E-17142102 | 1134296,6 | 654972,2 |
| E-739992   | 1134087,4 | 654895,3 | E-17142102 | 1134255,1 | 654985,2 |
| E-739992   | 1134129,1 | 654911,8 | E-849393 1 | 1135125,4 | 654845,1 |
| E-739992   | 1134077,8 | 654970,8 | E-1290297  | 1132008,3 | 655036   |
| E-739492   | 1134101,5 | 653486   | E-636691   | 1133301,5 | 655423   |
| E-739492   | 1134097,2 | 653426,6 | E-17142002 | 1132749   | 650516,6 |
| E-740392   | 1133608,8 | 654610,7 | E-17142302 | 1129631   | 657043,7 |
| E-740392   | 1133626,1 | 654649,8 | E-17142302 | 1129875,1 | 654554,2 |
| E-740392   | 1133666,9 | 654628,1 | E-17135902 | 1130522   | 651631,6 |
| E-741092   | 1135300   | 655110   | E-17135902 | 1130607,3 | 651631,6 |
| E-740892   | 1135147,2 | 652971,9 | E-17138902 | 1134586,5 | 654190,6 |
| E-741692   | 1134840   | 651690   | E-14105402 | 1133778,8 | 654990,9 |
| E-742792   | 1133773,2 | 653538,5 | E-14105402 | 1133804,5 | 654979,6 |
| E-742592   | 1135980   | 655110   | E-17142602 | 1134730   | 648580   |
| E-743492   | 1133760,2 | 653584,5 | E-17142602 | 1134838,2 | 648507,5 |
| E-744392   | 1134242,4 | 652876,4 | E-17139402 | 1134880,2 | 654854,3 |
| E-744192   | 1135040   | 654760   | E-17138002 | 1133734,5 | 652052,4 |
| E-744092   | 1134866,8 | 654932,2 | E-17138002 | 1133763,5 | 652040,5 |
| E-744792   | 1135776,6 | 650874,4 | E-17137802 | 1133289,7 | 656286,7 |
| E-744592   | 1134150   | 654590   | E-17137802 | 1133295,3 | 656228,3 |
| E-744992   | 1132626,1 | 658279,3 | E-17139602 | 1131140   | 657370   |
| E-745692   | 1134420   | 654040   | E-17139602 | 1131220   | 657320   |
| E-746092   | 1134640   | 654710   | E-18148203 | 1134845   | 654654,4 |
| E-747092   | 1133197,6 | 655244,6 | E-18151303 | 1134167,7 | 654635,4 |
| E-747392   | 1136120   | 655100   | E-18151303 | 1134122,9 | 654631,2 |
| E-747392   | 1136070   | 655150   | E-18151203 | 1133701,3 | 653376,9 |
| E-747992   | 1132530   | 655450   | E-18147203 | 1132858,7 | 657448,3 |
| E-848693   | 1134307,5 | 652927,6 | E-18147203 | 1132862,2 | 657533,6 |
| E-849393   | 1135070   | 654820   | E-18147503 | 1135474,6 | 654514,8 |
| E-849393   | 1135190   | 654780   | E-18147703 | 1132908   | 657411,4 |
| E-849393   | 1135155   | 654946,5 | E-18149203 | 1132463   | 658056,5 |
| E-849393 2 | 1135060   | 654900   | E-18144803 | 1132412   | 656459,1 |
| E-849893   | 1132403,3 | 655005,5 | E-18144803 | 1132450,7 | 656419,6 |
| E-849883   | 1132337,8 | 654978,6 | E-18150103 | 1135125,2 | 654451,6 |
| E-850493   | 1134120   | 654730   | E-18149903 | 1133652,3 | 653591,4 |
| E-850393   | 1133260   | 657200   | E-18149903 | 1133677,6 | 653621,7 |
| E-852093   | 1135230   | 654720   | E-18150503 | 1133359,3 | 657394,5 |

| ID         | NORTE     | ESTE     | ID           | NORTE     | ESTE     |
|------------|-----------|----------|--------------|-----------|----------|
| E-851993   | 1134465,2 | 654211,7 | E-18147903   | 1134339,2 | 652533,5 |
| E-852593   | 1135646,7 | 655135,3 | E-18147903   | 1134366,7 | 652508,1 |
| E-853093   | 1130259,4 | 656644,4 | E-20171705   | 1133401,3 | 649002,6 |
| E-853493   | 1134560,9 | 654441,9 | E-20171705   | 1133503,5 | 649049,8 |
| E-854093   | 1134023,7 | 652656,9 | E-20166705   | 1134696,9 | 650710,5 |
| E-856493   | 1134640   | 654620   | E-20166705   | 1134747,1 | 650665,4 |
| E-857793   | 1133433,2 | 652151,8 | E-20166705   | 1134632,8 | 650713   |
| E-958394   | 1134492,1 | 654245,8 | E-20166705   | 1134627,7 | 650661,6 |
| E-957994   | 1135096,9 | 654599   | E-20167205   | 1132386,3 | 658195   |
| E-958894   | 1132550   | 652410   | E-20173405   | 1134597,7 | 654528,6 |
| E-958794   | 1135019,7 | 654771,7 | E-20172505   | 1134578,3 | 654086,6 |
| E-958494   | 1133100   | 657220   | E-20172405   | 1135392,6 | 654494,4 |
| E-959594   | 1133542,3 | 653608,8 | E-20169205 1 | 1135401,9 | 654733,8 |
| E-960994   | 1132133,6 | 652943,7 | E-20163105   | 1132732,5 | 654494,6 |
| E-960794   | 1133698,3 | 653400,1 | E-20162605   | 1132611,1 | 657953,3 |
| E-962394 2 | 1134939,9 | 654536,9 | E-20162705   | 1133271,3 | 656787,8 |
| E-1286697  | 1133094,9 | 651740   | E-20165505   | 1134915,8 | 654276,8 |
| E-963094   | 1133057   | 657303,9 | E-20165305   | 1134289,3 | 654630,3 |
| E-964094   | 1134220   | 653200   | E-20164105   | 1135237,7 | 654561,4 |
| E-964494   | 1132245,2 | 658272,8 | E-20170105   | 1132211,7 | 652965,6 |
| E-964494   | 1132221,7 | 658279,6 | E-20169405   | 1136461,9 | 654737,9 |
| E-964494   | 1132170   | 658260   | E-20167505   | 1134056,9 | 652800,1 |
| E-964394   | 1133150   | 650500   | E-20167505   | 1134078,5 | 652826,8 |
| E-964794   | 1134122,7 | 0        | E-20167605   | 1134302,9 | 651741,7 |
| E-966094   | 1134205,6 | 652958,4 | E-20172905   | 1133436,4 | 651894,1 |
| E-966594   | 1135499,1 | 654409,4 | E-20168305   | 1135021,7 | 653051,1 |
| E-1067395  | 1134462,3 | 654598,1 | E-20168305 1 | 1135019,9 | 653081,9 |
| E-1067195  | 1132610   | 658380   | E-20167705   | 1134530,3 | 651063,6 |
| E-1068495  | 1134244,9 | 652895,5 | E-20167705   | 1134504,6 | 651005,2 |
| E-1068695  | 1133330   | 652570   | E-21178706   | 1130743   | 651938,9 |
| E-1069195  | 1132939,3 | 653811   | E-21178706   | 1130762,6 | 651887,4 |
| E-1069395  | 1134170   | 654900   | E-21177306   | 1130590,7 | 655936,8 |
| E-1070195  | 1132730   | 654950   | E-21178606   | 1130462,5 | 653251,7 |
| E-1070895  | 1137509,6 | 657159   | E-21178606   | 1130432,1 | 653329,8 |
| E-1071195  | 1132521,7 | 658105,3 | E-21178606   | 1130414,9 | 653175,5 |
| E-1071395  | 1133304,8 | 654596,8 | E-21179106   | 1132947,1 | 657344,5 |
| E-1071895  | 1134750   | 652460   | E-21183006   | 1137472,9 | 656686,9 |
| E-1072495  | 1131090   | 652170   | E-21174806   | 1135395,1 | 654418,1 |
| E-1072795  | 1134719,8 | 654844,1 | E-21175806   | 1135252,8 | 652744,2 |
| E-1073995  | 1132610   | 653650   | E-21182606   | 1134509,4 | 654296,8 |
| E-1176096  | 1132865,3 | 654619,4 | E-21180106   | 1132264,4 | 658434   |
| E-1175496  | 1132644,3 | 657831,1 | E-21180906   | 1133432,2 | 653159,8 |
| E-1177096  | 1134123,3 | 653006,6 | E-21180906   | 1133528   | 653190,9 |
| E-1177296  | 1136820   | 657210   | E-21181406   | 1134885,7 | 654705   |
| E-1177796  | 1136350   | 652330   | E-21181606   | 1137281,7 | 656365,8 |
| E-1177996  | 1133246,1 | 654943,5 | E-21179006   | 1130783,5 | 654338,6 |

| ID        | NORTE     | ESTE      | ID              | NORTE      | ESTE      |
|-----------|-----------|-----------|-----------------|------------|-----------|
| E-1177996 | 1133263,9 | 654935,3  | E-21179006      | 1130880    | 654198,2  |
| E-1178996 | 1134860   | 653159,8  | E-21179006      | 1130864,4  | 654000,7  |
| E-1179996 | 1134984,6 | 652836,5  | E-21181706      | 1134707,9  | 654146,4  |
| E-1180296 | 1136022   | 655350,1  | E-21181906      | 1134525,5  | 654322,8  |
| E-1180496 | 1131004,2 | 651756,5  | E-317888        | 1131585,1  | 652959,6  |
| E-1180496 | 1131027,2 | 651748,7  | E-637291        | 1131795,7  | 651925,8  |
| E-1180996 | 1141510   | 658710    | E-637291        | 1131767,2  | 651900,5  |
| E-1181396 | 1132860,4 | 658192,5  | E-740192        | 1133732,4  | 650546,4  |
| E-1287897 | 1134081,2 | 652949,3  | E-421989        | 1134919,1  | 655352,5  |
| E-1287997 | 1140380   | 657980    | E-1290397       | 1131538,3  | 651862,6  |
| E-1282897 | 1132657,8 | 658341,8  | E-1394598       | 1132522,9  | 651306,6  |
| E-1283797 | 1131721   | 650699,1  | E-17144102      | 1133141,4  | 649587,6  |
| E-1283897 | 1134290   | 653270    | E-17144102      | 1133135,6  | 649619,3  |
| E-1283597 | 1134193,4 | 653870,9  | E-20164805      | 1137237,2  | 656798,8  |
| E-1284597 | 1129888,2 | 656446,1  | E-20170805      | 1132614,9  | 654715,8  |
| E-1284597 | 1129949   | 656465,2  | E-20170805      | 1132609,1  | 654768,2  |
| E-1285097 | 1130625,4 | 653762,06 | E-20170805      | 1132563,1  | 654790,9  |
| E-1285197 | 1135171,8 | 656077,2  | E-20170805      | 1132552,7  | 654867,9  |
| E-1286597 | 1133276,1 | 653660,4  | E-21174906      | 1132287    | 651449,7  |
| E-1289497 | 1135486   | 654640,1  | E-21180506      | 1132342,7  | 654755,3  |
| E-1188797 | 1132287,5 | 653041,2  | E-21180506      | 1132423,6  | 654773,4  |
| E-1288897 | 1137406,2 | 656534,5  | E-21181806      | 1131445,6  | 649903,4  |
| E-1287297 | 1134941,2 | 651769,4  | E-21181806      | 1131445,6  | 649954,5  |
| E-1288297 | 1135554,7 | 655566,9  | E-17138202      | 1131974,7  | 651197,9  |
| E-1289097 | 1133990   | 655170    | E-19157804      | 1135197,7  | 654491,8  |
| E-1390998 | 1134330   | 655120    | E-19159004      | 1134421,7  | 649257,4  |
| E-1391198 | 1135444,7 | 654694,3  | E-19158104      | 1135276,7  | 652878,1  |
| E-1391298 | 1133282   | 653508,1  | E-19158504      | 1132729,9  | 658261,6  |
| E-1290597 | 1132483,2 | 652960,1  | E-19152804      | 1133040,7  | 649853,8  |
| E-1290497 | 1133140,7 | 657834    | E-19157504      | 1134968,7  | 652989    |
| E-1289997 | 1134316,4 | 654465,2  | E-19154504      | 1133669,6  | 652690,8  |
| E-1391798 | 1134734,1 | 654874,4  | E-19154604      | 1134240,5  | 654666,8  |
| E-1393898 | 1134423,2 | 654452,9  | E-19154904      | 1133922    | 655425,4  |
| E-1393298 | 1134886,4 | 654143,5  | E-19154904      | 1133945,7  | 655400,8  |
| E-1393398 | 1133256,9 | 655583,6  | E-19160104      | 1134322,1  | 655376,2  |
| E-1393498 | 1133368,2 | 653341,2  | E-19160404      | 1136561,7  | 656056    |
| E-1392698 | 1132940   | 655990    | E-19160504      | 1136381,7  | 654808,1  |
| E-1392798 | 1134420   | 653087,6  | E-19160604      | 1134795,9  | 651700,2  |
| E-1392998 | 1137227,7 | 656469,6  | E-19156004 1    | 1134616,6  | 654231,2  |
| E-1394898 | 1133072,4 | 657928,7  | E-19156304      | 1132756,7  | 655194,4  |
| E-1395098 | 1136531,6 | 654857,6  | QUE LA PUN      | 1128609,8  | 653720,37 |
| E-1393298 | 1135166,3 | 654545    | QUE LA PUN<br>1 | 1128688,94 | 653734,88 |
| E-1395798 | 1134950,5 | 654226,7  | QUE LA PUN      | 1128784,98 | 653779,38 |
| E-1395998 | 1134810,5 | 654728,9  | QUE LA PUN      | 1128900    | 653806,27 |
| E-1396198 | 1134289,7 | 651818,6  | QUE LA PUN      | 1128978,53 | 653813,91 |
| E-1396898 | 1134348,6 | 652986,4  | QUE LA PUN      | 1129100    | 653853,11 |

| ID        | NORTE     | ESTE     |  | ID         | NORTE      | ESTE      |
|-----------|-----------|----------|--|------------|------------|-----------|
| E-1397898 | 1134888,2 | 654150,2 |  | QUE LA PUN | 1129338,08 | 653876,86 |
| E-1398098 | 1130905,1 | 651966,4 |  | QUE LA PUN | 1129567,2  | 653917,54 |



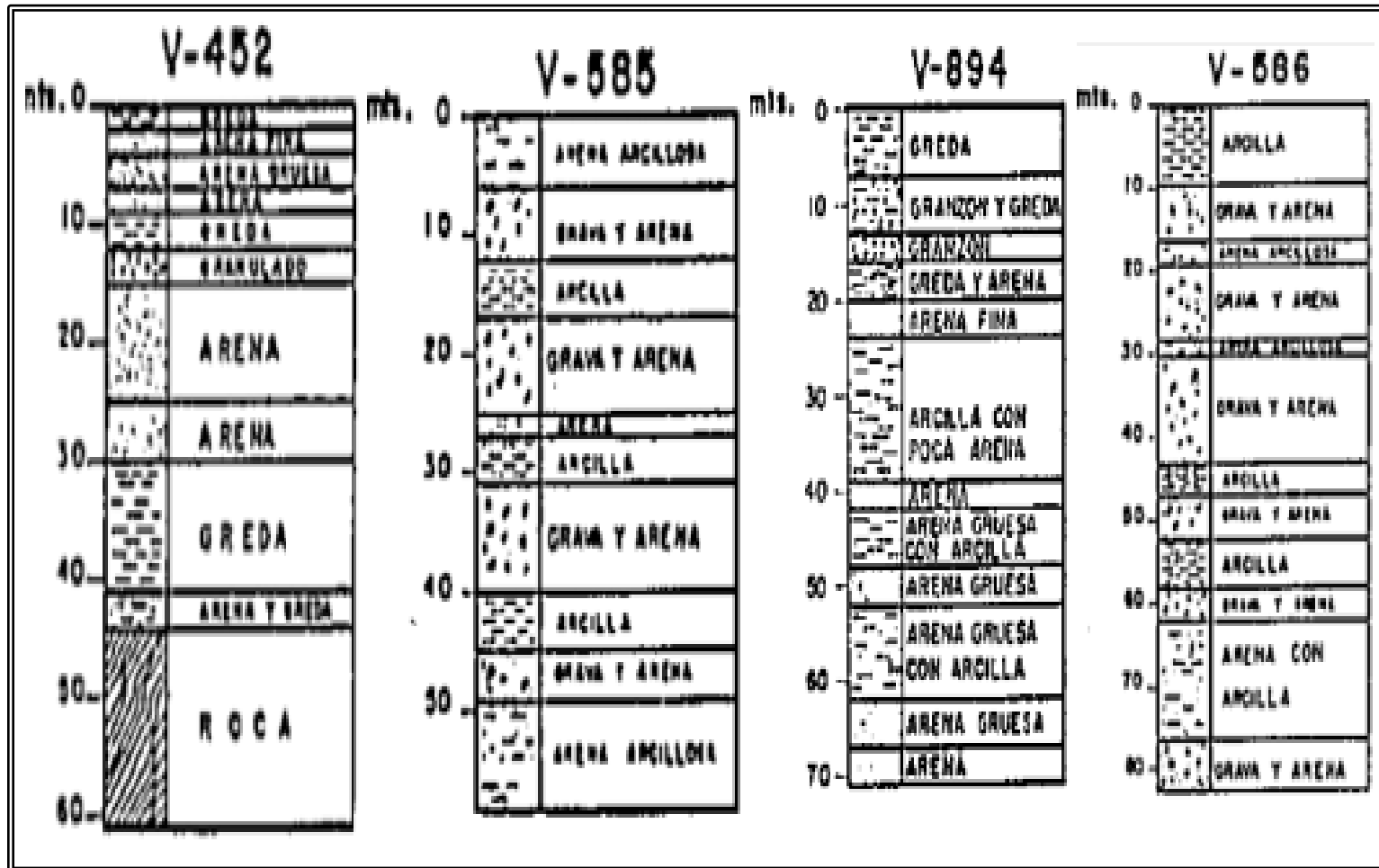


Figura A.5.18. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970).

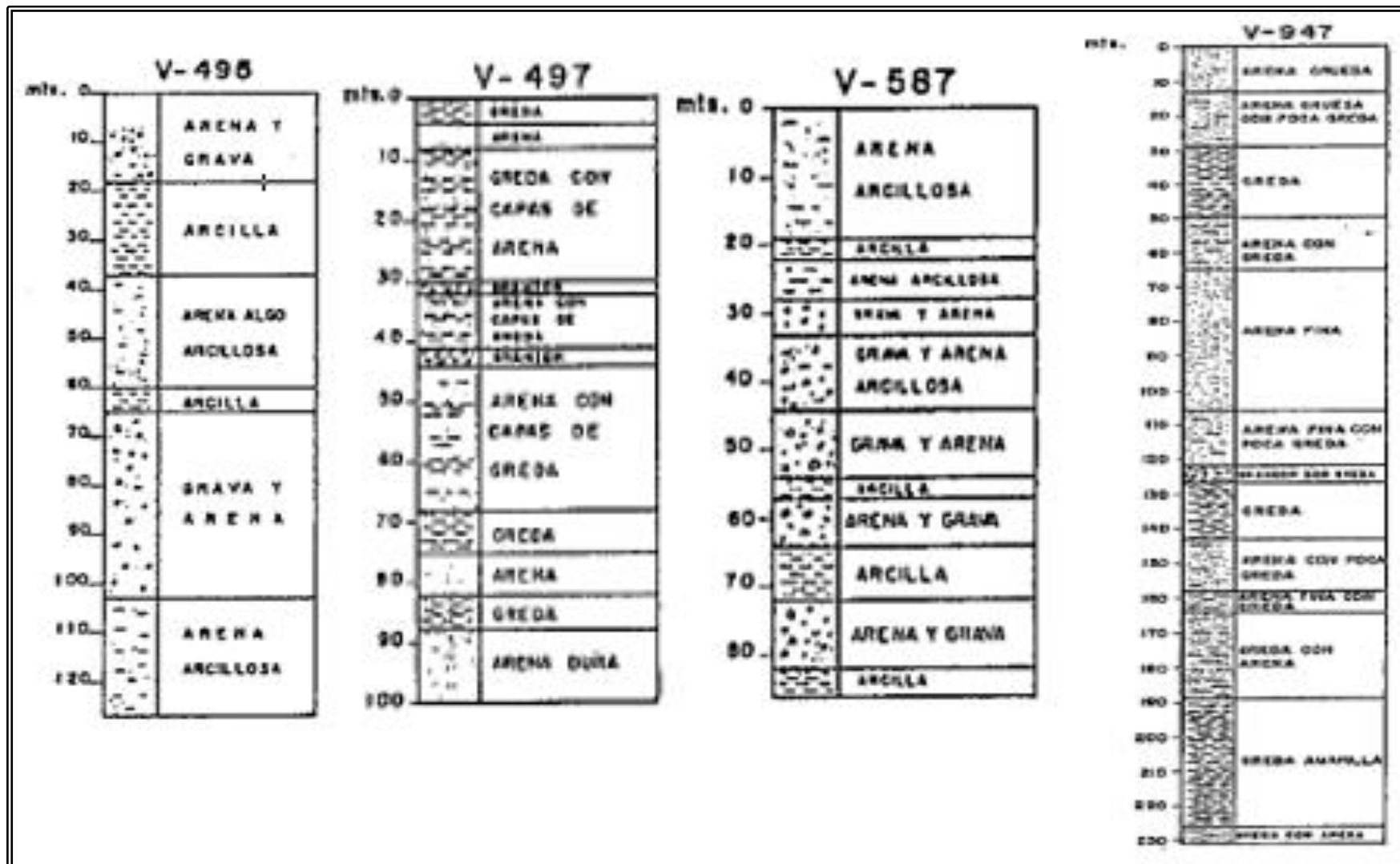


Figura A.5.19. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970).

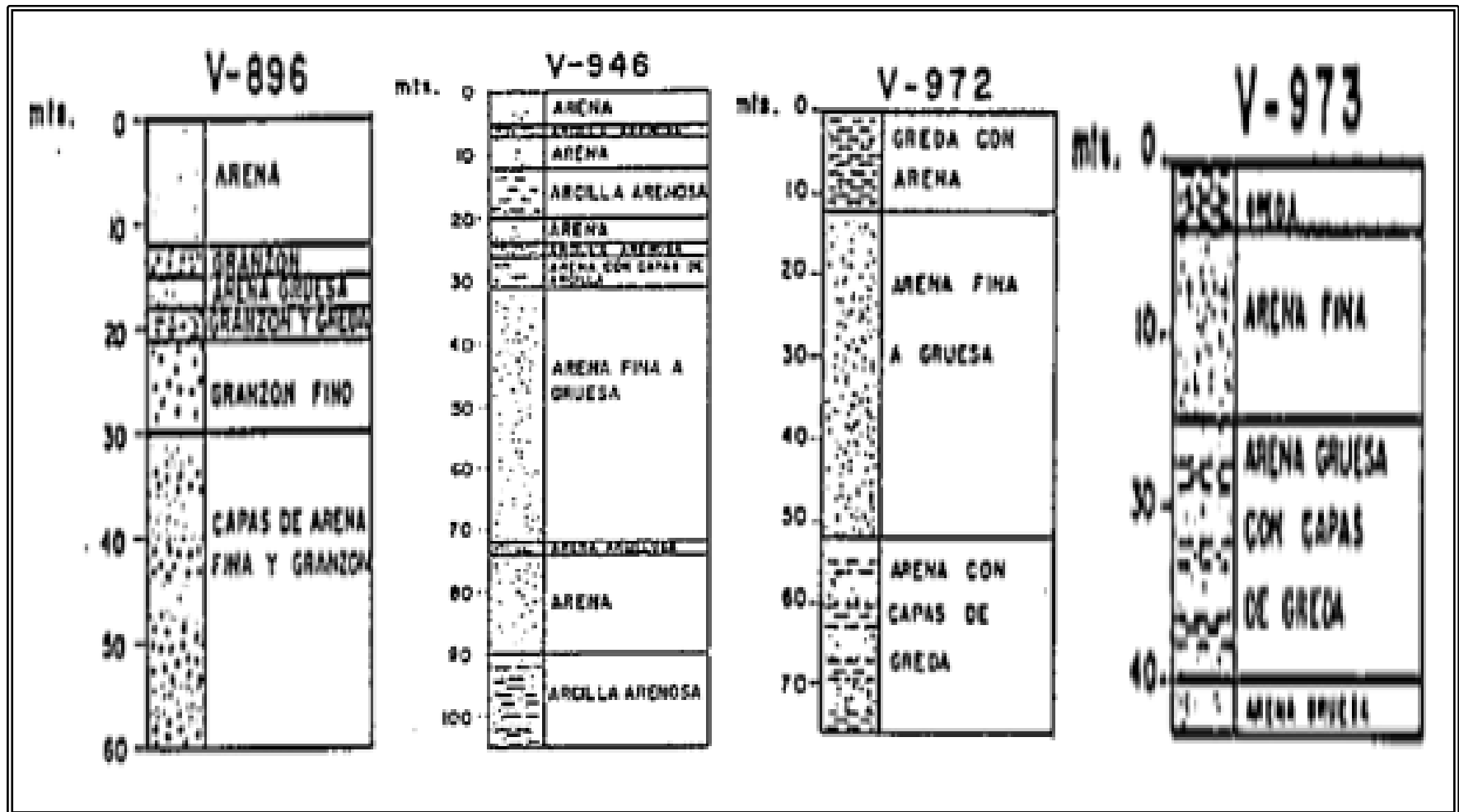


Figura A.5.20. Perfiles de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A (1970).



