

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**MAPA DE CLASIFICACIÓN DE MICROZONAS
SÍSMICAS, CON BASE EN LAS VELOCIDADES VS30, LOS
ESPESORES DE SEDIMENTOS Y EL POTENCIAL DE
LICUACIÓN EN LA CIUDAD DE VALENCIA, ESTADO
CARABOBO**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Gil L. Roddys M.
Para optar al Título de
Ingeniero Geofísico

Caracas, 2021

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MAPA DE CLASIFICACIÓN DE MICROZONAS SÍSMICAS, CON BASE EN LAS VELOCIDADES VS30, LOS ESPESORES DE SEDIMENTOS Y EL POTENCIAL DE LICUACIÓN EN LA CIUDAD DE VALENCIA, ESTADO CARABOBO

Tutor Académico: Dr. Michael Schmitz

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Gil L. Roddys M.
Para optar al Título de
Ingeniero Geofísico

Caracas, 2021

Caracas, 11 de agosto 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 la **Br. Roddys Gil**, titulado:

“MAPA DE CLASIFICACIÓN DE MICROZONAS SÍSMICAS, CON BASE EN LAS VELOCIDADES VS30, LOS ESPESORES DE SEDIMENTOS Y EL POTENCIAL DE LICUACIÓN EN LA CIUDAD DE VALENCIA, ESTADO CARABOBO”

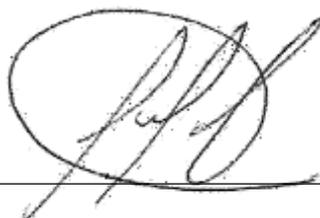
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducentes al título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas del autor, lo declaran **APROBADO**.



Prof. Michael Schmitz
Tutor Académico



Prof. Pietro De Marco
Jurado



Prof. Feliciano De Santis Jurado

DEDICATORIA

A mis padres María y Héctor, que sin sus enseñanzas, esfuerzos y cariño no habría podido cumplir con esta meta.

A mis hermanos mayores Héctor y Raynner, que siempre me han enseñado que la constancia, dedicación, responsabilidad y amor por lo que haces son claves para alcanzar cualquier objetivo.

A mi abuela Melanea, que me enseñó a afrontar cualquier dificultad que se me presente con la mejor energía.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al programa Samuel Robinson de la UCV y a la Universidad Central de Venezuela por haberme permitido tener la oportunidad de estudiar en la casa que vence las sombras y lograr mi meta. A la facultad de ingeniería por haberme permitido estudiar y conocer a personas maravillosas que me ayudaron en mi carrera universitaria y mi formación profesional.

Agradezco a la escuela de Geología, Minas y Geofísica por permitirme estudiar la carrera que escogí, donde tuve la oportunidad de pertenecer a diversas asociaciones y asistir a diferentes salidas de campo que aportaron mucho a mi crecimiento profesional y personal. A todos los profesores que a pesar de las adversidades siempre están dispuestos a ayudarnos y apuestan por el futuro, con sus conocimientos, apoyo y buenos consejos, en especial a los profesores Janckarlos Reyes, Enrique Toribio y José Cavada. Agradezco al profesor Ricardo Alezones, por sus consejos y apoyo incondicional, siempre motivándome a ser mejor y luchar por mis metas.

Agradezco a mi profesor y tutor Michael Schmitz por guiarme y apoyarme al realizar este trabajo, también a la MSc. Keyla Ramírez que fue parte fundamental en la realización del TEG, muy agradecida por su paciencia, motivación y constancia que me guiaron a alcanzar esta meta.

A toda mi familia, sin ellos no habría podido alcanzar esta meta, en especial a mis padres María y Héctor, a mis hermanos Héctor, Raynner, por siempre apoyarme en todas mis decisiones, dándome mucho ánimo y cariño. A mis amigos y compañeros de la facultad, en especial a Miguel, Fabian, Amaru, Jessica, Karen y Jesús.

Gil L. Roddys M

**MAPA DE CLASIFICACIÓN DE MICROZONAS SÍSMICAS,
CON BASE EN LAS VELOCIDADES VS30, LOS ESPESORES DE
SEDIMENTOS Y EL POTENCIAL DE LICUACIÓN EN LA
CIUDAD DE VALENCIA, ESTADO CARABOBO**

Tutor académico: Dr. Michael Schmitz.

**T.E.G. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Año 2021, 196 p.**

Palabras claves: Mapa de Microzonificación sísmica, perfiles de suelo, Vs30, espesor sedimentario, fallas activas y licuación.

Resumen. Gran parte de la población en Venezuela se distribuye a lo largo de los sistemas montañosos, siendo éstas las zonas con mayor sismicidad y representan a su vez, un gran riesgo para los habitantes de los sitios más vulnerables. Este estudio tiene como finalidad generar un mapa de microzonas sísmicas de la ciudad de Valencia, Edo. Carabobo, con base en velocidades Vs30, espesores sedimentarios y potencial de licuación. Para definir las microzonas, se utilizaron datos obtenidos por IMASW, datos de Vs30 obtenidos a partir de ensayos de penetración estándar (SPT) y topografía; espesores sedimentarios obtenidos mediante gravimetría y la relación H/V; perfiles sísmicos, e información geológica. Los resultados muestran que los municipios: Naguanagua, Valencia, Los Guayos y Carlos Arvelo (Güigüe), presentan mayor amenaza sísmica y potencial de licuación, cuya litología predominante corresponde a arenas limosas y arenas arcillosas con velocidades de Vs30 entre 200 y 300 m/s. Adicionalmente, el municipio Valencia se encuentra en contacto con las fallas Guacamayas este y oeste que poseen una magnitud máxima de 7.0, con una incertidumbre alta. El mapa de microzonas sísmicas es una herramienta importante para la creación de las ordenanzas municipales.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
CAPÍTULO I -----	1
INTRODUCCIÓN -----	1
1.1. Planteamiento del problema -----	2
1.2. Objetivo general -----	4
1.3. Objetivos específicos -----	4
1.4. Ubicación del área de estudio-----	5
1.5. Antecedentes -----	6
CAPÍTULO II -----	16
MARCO GEOLÓGICO -----	16
2.1. Evolución de la cordillera de la costa-----	16
2.2. Tectono – Estratigrafía -----	18
2.3. Geología regional-----	19
2.4. Lago de Valencia -----	22
2.5. Geomorfología-----	23
2.5.1. Planicie lacustrina -----	23
2.5.2. Planicie aluvial -----	23
2.5.3. Valles fluviales-----	24
2.5.4. Piedemonte -----	24
2.6. Sistemas de fallas-----	25
2.6.1. Falla de Guacamaya -----	26
2.6.2. Falla de La Cabrera-----	26
2.6.3. Falla El Horno-----	26
2.6.4. Sistema de fallas Las Trincheras -----	27
CAPÍTULO III -----	28
MARCO TEÓRICO -----	28
3.1. Ondas sísmicas-----	28
3.2. Prospección por refracción sísmica -----	32
3.3. Sísmica de Refracción de Microtremores (ReMi) -----	33

3.3.1.	Análisis espectral de velocidad -----	33
3.3.2.	Técnica de Mehan & Yedlin-----	34
3.3.3.	El método de refracción por microtemores -----	34
3.4.	Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) -----	35
3.5.	Análisis multicanal de ondas superficiales mediante interferometría	35
3.6.	Vs30-----	36
3.7.	Clasificación del suelo mediante el Vs30-----	37
3.8.	Ensayo de penetración estándar (SPT) -----	40
3.9.	Amenaza sísmica -----	41
3.10.	Vulnerabilidad sísmica -----	42
3.11.	Riesgo sísmico -----	42
3.12.	Mapa Vs30 por topografía -----	42
3.13.	Microzonificación sísmica -----	43
3.15.	Cálculo para estimar el espesor. -----	45
3.16.	Licuación -----	46
3.16.1.	Magnitud y duración del movimiento sísmico -----	48
3.16.2.	Densidad relativa (C_r) – relación de vacíos (e)-----	48
3.16.3.	Peso del recubrimiento y profundidad del suelo -----	48
3.16.4.	Origen del suelo-----	49
3.16.5.	Tipos de suelo -----	49
3.16.6.	Presencia de agua -----	49
3.16.7.	Edad del depósito -----	50
3.17.	Evaluación de riesgo de licuación-----	50
3.17.1.	Método para evaluar la susceptibilidad-----	50
3.17.2.	Criterios de susceptibilidad-----	51
3.17.3.	Suelos no cohesivos -----	51
3.17.4.	Suelos con presencia de finos-----	52
	CAPÍTULO IV -----	53
	METODOLOGÍA -----	53
4.1.	Recopilación de datos-----	53

4.2.	Base de datos geoespacial-----	54
4.2.1.	Modelo de elevación digital-----	55
4.2.2.	Generación de un mapa en <i>ArcMap</i> versión 10.4.1-----	57
4.2.3.	Mosaico-----	59
4.2.4.	Curvas de nivel-----	60
4.2.5.	Sombra y relieve-----	61
4.2.6.	Red de drenajes-----	62
4.2.7.	Imagen satelital-----	64
4.2.8.	Georreferenciar imágenes-----	65
4.2.9.	Digitalizar imágenes-----	66
4.3.	Mapa de Vs30 por topografía-----	68
4.3.1.	Modelo de pendiente-----	69
4.3.2.	Extracción de los valores del mapa Vs30 por topografía-----	71
4.4.	Identificar las zonas potenciales de licuación-----	72
4.4.1.	Identificar las fallas activas en el área de estudio-----	73
4.4.2.	Identificar los parámetros geotécnicos-----	74
4.4.3.	Generación de los perfiles de suelo-----	76
	CAPÍTULO V-----	79
	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS-----	79
5.1.	Mapa de Vs30 por topografía-----	79
5.2.	Histograma de los datos de Vs30 integrado-----	82
5.3.	Mapa de Vs30 integrado-----	84
5.4.	Histograma de los datos de espesor sedimentario integrado-----	89
5.5.	Mapa de espesor sedimentario integrado-----	90
5.6.	Mapa de microzonificación sísmica-----	93
5.7.	Mapa de microzonificación sísmica con las fallas activas-----	98
5.8.	Mapa de microzonificación sísmica en Naguanagua-----	101
5.9.	Mapa de microzonificación sísmica en San Diego-----	102
5.10.	Mapa de microzonificación sísmica en Guacara-----	104
5.11.	Mapa de microzonificación sísmica en San Joaquín-----	105

5.12. Mapa de microzonificación sísmica en Diego Ibarra -----	107
5.13. Mapa de microzonificación sísmica en Valencia -----	108
5.14. Mapa de microzonificación sísmica en Los Guayos -----	109
5.15. Mapa de microzonificación sísmica en Libertador -----	110
5.16. Mapa de microzonificación sísmica en Carlos Arvelo-----	111
5.17. Perfiles de suelo -----	112
5.18. Perfiles de suelo (clasificación D) -----	115
5.19. Perfiles de suelo (clasificación CD) -----	122
5.20. Perfiles de suelo (clasificación C)-----	130
5.21. Mapa de microzonas sísmicas con el potencial de licuación-----	135
CAPÍTULO VI-----	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	139
BIBLIOGRAFÍA -----	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio-----	5
Figura 1.2. Mapa de Vs30 para el municipio Guacara -----	7
Figura 1.3. Mapa de Vs30 para el municipio San Joaquín -----	8
Figura 1.4. Mapa de Vs30 para el municipio Diego Ibarra -----	9
Figura 1.5. Mapa de Vs30 en el municipio Los Guayos -----	10
Figura 1.6. Mapa de Vs30 en la región de Valencia -----	11
Figura 1.7. Mapa de espesores sedimentarios en el valle de Naguanagua----	12
Figura 1.8. Mapa de periodos de vibración del suelo y espesores -----	13
Figura 1.9. Mapa de espesor sedimentario en la región de Valencia -----	14
Figura 1.10. Mapa de clasificación de sitios en los valles de Valencia -----	15
Figura 2. Subdivisión geográfica de Venezuela norcentral -----	17
Figura 2.1. Mapa tectónico del centro norte de Venezuela.-----	18
Figura 2.2. Mapa geológico de la zona de estudio -----	20
Figura 2.3. Unidades geomorfológicas en la región de Valencia -----	25
Figura 3. Onda P -----	28
Figura 3.1. Onda S -----	30
Figura 3.2. Ondas Rayleigh-----	31
Figura 3.3. Ondas Love -----	31
Figura 3.4. Prospección sísmica de refracción-----	32
Figura 4. Esquema de trabajo para la creación de una base de datos. -----	53
Figura 4.1. Esquema de trabajo para la integración de los datos existentes. -	55
Figura 4.2. Seleccionar el área de estudio, -----	56
Figura 4.3. Selección del modelo de elevación digital.-----	57
Figura 4.4. Opción para añadir nueva data. -----	58
Figura 4.5. Selección del sistema de coordenadas.-----	58
Figura 4.6. Selección del DEM. -----	59
Figura 4.7. Creación de un único Raster. -----	60
Figura 4.8. Generación del contorno. -----	61

Figura 4.9. Creación de la sombra del relieve.-----	62
Figura 4.10. Drenajes del área de estudio.-----	63
Figura 4.11. Imagen satelital. -----	64
Figura 4.12. Georreferenciación de una imagen. -----	66
Figura 4.13. Imagen a digitalizar en blanco y negro. -----	67
Figura 4.14. Digitalización del mapa de Vs30-----	68
Figura 4.15. Esquema de trabajo para la generación del mapa de Vs30 -----	68
Figura 4.16. Cálculo del Vs30 por topografía.-----	69
Figura 4.17. Mapa Vs30 por topografía.-----	70
Figura 4.18. Mapa de Vs30 con la clasificación de COVENIN 1756-1 -----	71
Figura 4.19. Valores extraídos del Vs30 por topografía.-----	72
Figura 4.20. Esquema para identificar las zonas con potencial de licuación. 73	
Figura 4.21. Identificación de fallas activas-----	74
Figura 4.22. Digitalización del mapa de licuación Pombo-----	75
Figura 4.23. Mapa de licuación de Mw. 7.0 modificado de Pombo -----	76
Figura 5. Mapa de Vs30 por topografía con celda de 278 a 278 m-----	81
Figura 5.1. Histograma de frecuencia de los datos de Vs30 integrado. -----	83
Figura 5.2. Mapa de Vs30 integrado -----	88
Figura 5.3. Histograma de frecuencia de los valores de espesor -----	90
Figura 5.4. Mapa de espesor sedimentario integrado. -----	92
Figura 5.5. Mapa de Microzonas sísmicas -----	97
Figura 5.6. Mapa de Microzonas sísmicas con las fallas activas-----	100
Figura 5.7. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Naguanagua ----	102
Figura 5.8. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio San Diego -----	103
Figura 5.9. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Guacara -----	105
Figura 5.10. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio San Joaquín---	106
Figura 5.11. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Diego Ibarra --	107
Figura 5.12. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Valencia-----	109
Figura 5.13. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Los Guayos ---	110
Figura 5.14. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Libertador-----	111

Figura 5.15. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Carlos Arvelo	112
Figura 5.16. Microzonas del grupo MS-4, con perfiles de pozos -----	113
Figura 5.17. Microzonas del grupo MS-3, con perfiles de pozos -----	114
Figura 5.18. Microzonas del grupo MS-2, con perfiles de pozos -----	114
Figura 5.19. Gráfico de las litologías existentes en las zonas licuables -----	137
Figura 5.20. Mapa de microzonas con el potencial de licuación. -----	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. Geología regional de la zona de estudio -----	21
Tabla 3. Clasificación del suelo mediante el parámetro Vs30-----	39
Tabla 4. Ejemplo de un perfil de suelo -----	77
Tabla 4.1. Tabla de clasificación de suelos -----	78
Tabla 5. Tabla de las clases según la norma COVENIN -----	95
Tabla 5.1. Perfil de suelo del pozo V-185-----	116
Tabla 5.2. Perfil de suelo del pozo V-1609 -----	117
Tabla 5.3. Perfil de suelo del pozo V-1629 -----	118
Tabla 5.4. Perfil de suelo del pozo V-1536 -----	119
Tabla 5.5. Perfil de suelo del pozo V-1558 -----	120
Tabla 5.6. Perfil de suelo del pozo de la autopista de Naguanagua-----	121
Tabla 5.7. Perfil de suelo del pozo de Ferrocarril km 56 Guacara-----	123
Tabla 5.8. Perfil de suelo del pozo de la carretera nacional Los Guayos ----	124
Tabla 5.9. Perfil de suelo del pozo de la esc. La Taguara Libertador -----	125
Tabla 5.10. Perfil de suelo del pozo V-245 -----	126
Tabla 5.11. Perfil de suelo del pozo V-1550-----	127
Tabla 5.12. Perfil de suelo del pozo del rectorado -----	128
Tabla 5.13. Perfil de suelo del pozo V-1580-----	130
Tabla 5.14. Perfil de suelo del pozo V-362 -----	131
Tabla 5.15. Perfil de suelo del pozo V-385 -----	132
Tabla 5.16. Perfil de suelo del pozo V-303 -----	133
Tabla 5.17. Perfil de suelo del pozo V-307 -----	134

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Tierra es un cuerpo dinámico, subdividido en la litosfera, astenosfera, mesosfera, núcleo externo y núcleo interno, que interactúan dependiendo de la energía interna; dando origen a la actividad tectónica activa como volcanes, terremotos y el desplazamiento de placas. La teoría de la tectónica de placa, se define como el movimiento observado de la capa externa de la Tierra mediante los mecanismos de subducción y de expansión del fondo oceánico, como resultado este tipo de interacciones son el origen de importantes rasgos geológicos como las montañas, continentes y cuencas oceánicas (Tarbuck & Lutgens, 2005). Una de las implicaciones de la tectónica de placas son los terremotos, que se producen por el deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla liberando energía de manera rápida, provocando la vibración de la Tierra. Se estima que más de 300.000 terremotos con intensidad suficiente pueden producir daños en el mundo, como fue el caso entre los años 1980 y 2009, donde hubo más de 400 000 fallecidos, un millón de heridos y 61.5 millones; de igual manera mapa el año 2010 un terremoto de magnitud 7.0 afectó a Haití y República Dominicana, cuyos resultados fueron más de 220.000 fallecidos, miles de desaparecidos y una cantidad considerable de viviendas afectadas, que forzaron a una gran cantidad de personas a vivir en las calles, sin las más mínimas condiciones de higiene y saneamiento ambiental (Salazar, 2008). Por este motivo se debe trabajar en la mitigación de los daños producidos por los terremotos a través de una evaluación del riesgo sísmico de las ciudades más pobladas, y de esta manera conocer su amenaza sísmica y la vulnerabilidad que presenta la ciudad.

La ciudad de Valencia es una zona de alto riesgo sísmico, debido a su cercanía a las fallas la Guacamaya, Las Trincheras, la Cabrera y El horno, además de la alta posibilidad de generarse movimientos en masas como consecuencia del río Cabriales. Adicionalmente la ciudad de Valencia es uno de los principales centros poblados del estado Carabobo, donde se encuentran las principales industrias, comercios, hospitales y escuelas, siendo el eje económico de esta región.

Este trabajo está enfocado en la realización de un mapa de microzonas sísmicas con el objetivo de mitigar los daños a través del desarrollo de las ordenanzas y decretos municipales.

1.1. Planteamiento del problema

En Venezuela gran parte de la población se encuentra distribuida a lo largo de los principales sistema montañoso del país, en los que además se localizan las principales fallas sismogénicas como son: Boconó, San Sebastián y El Pilar. Esto constituye un gran riesgo para las personas que habitan en estos sitios, debido a que según Audemard (2002), estas poblaciones están asentadas en lugares donde se concentra la mayor actividad sísmica. Un ejemplo de esto fue el sismo ocurrido en Caracas en 1967, en donde colapsaron 4 edificios altos y más de 200 se vieron afectados por daños severos en su estructura, debido a que estas áreas poseen un mayor espesor sedimentario que trae como consecuencia la amplificación de las ondas sísmicas (Genatios *et al.*, 2017). Otro de los efectos ocasionados por el terremoto de Caracas fue el desplazamiento de tierra en la ribera sur del lago de Valencia, al noreste de Güigüe, a más de 85 km del epicentro del sismo, en donde se evidenció el movimiento de traslación de un bloque de 750 m de longitud y de unos 120 a 180 m de profundidad, cuyas características son representativas de la intervención de mecanismos de deformación y desplazamiento del suelo tipo “*lateral-spread*”, capaces de desestabilizar terreno e inducidos por la licuefacción, como mencionan De Santis *et al.* (1989).

En la actualidad, los efectos de sitio que pueden alterar el contenido frecuencial o el incremento de la duración del movimiento causado por un sismo, además de inducir fenómenos de licuación o deslizamientos gravitacionales, siguen siendo una gran amenaza para la población venezolana; 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 que, según Schmitz *et al.* (2015), que estaba pautado realizarse desde el 2005 hasta el 2020. 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 sismorresistentes (hasta la fecha en Venezuela hay ordenanzas aprobadas en las áreas metropolitanas de Barquisimeto y de Caracas), como es el caso de la ciudad de Valencia, que no cuenta con un estudio de microzonificación sísmica finalizado y presenta amenazas sísmicas e hidrometeorológicas que están dadas por la cercanía de la falla La Victoria y la cuenca del río Cabriales (Schmitz *et al.*, 2015), respectivamente.

En la norma COVENIN 1756-1 (2019) se menciona, que las ciudades con más de 100 mil habitantes deben tener un estudio de microzonificación sísmica. A pesar de ello, la ciudad de Valencia posee pocos estudios que complementen la información geológica, geofísica y geotécnica para una nueva ordenanza. Sin embargo, en esta ciudad continúan con las construcciones de nuevas edificaciones en las zonas industriales importantes, además de las construcciones informales, que podrían estar ubicadas en áreas en donde el espesor sedimentario es mayor, y en consecuencia donde la amenaza es mayor.

Debido a lo anterior, surge la necesidad de generar un mapa de clasificación de microzonas sísmicas, con base en las velocidades V_{s30} , los espesores de sedimentos, el potencial de licuación y la ubicación de las fallas activas con el objetivo de delimitar las zonas con los menores valores de velocidades y que podrían ser afectadas por la licuación, debido a la proximidad con el lago de Valencia. De igual manera, contribuir con la planificación del desarrollo de una nueva ordenanza de la región y con ello disminuir el riesgo sísmico en la población.

1.2. Objetivo general

- ❖ Generar un mapa de clasificación de microzonas sísmicas, con base en las velocidades Vs30, los espesores de sedimentos y el potencial de licuación en la ciudad de Valencia, estado Carabobo.

1.3. Objetivos específicos

- ❖ Crear una base de datos con información geológica, geotécnica y geofísica relevante de la zona a estudiar
- ❖ Integrar los datos geofísicos y geotécnicos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- ❖ Crear un mapa de los valores de Vs30 por topografía para Valencia.
- ❖ Identificar las zonas potenciales de licuación mediante el uso de datos geofísicos y geotécnicos existentes en Valencia.

1.4. Ubicación del área de estudio

El área de estudio está ubicada en el estado Carabobo (figura 1), específicamente en la región de Valencia, la cual está conformada por los municipios Libertador, Los Guayos, Naguanagua, San Diego, Valencia, Diego Ibarra, San Joaquín, Guacara y Carlos Arvelo, entre las coordenadas UTM-19N: 1114000 N y 114100 N y 605000 E y 645000 E, en el datum geodésico WGS 1984.

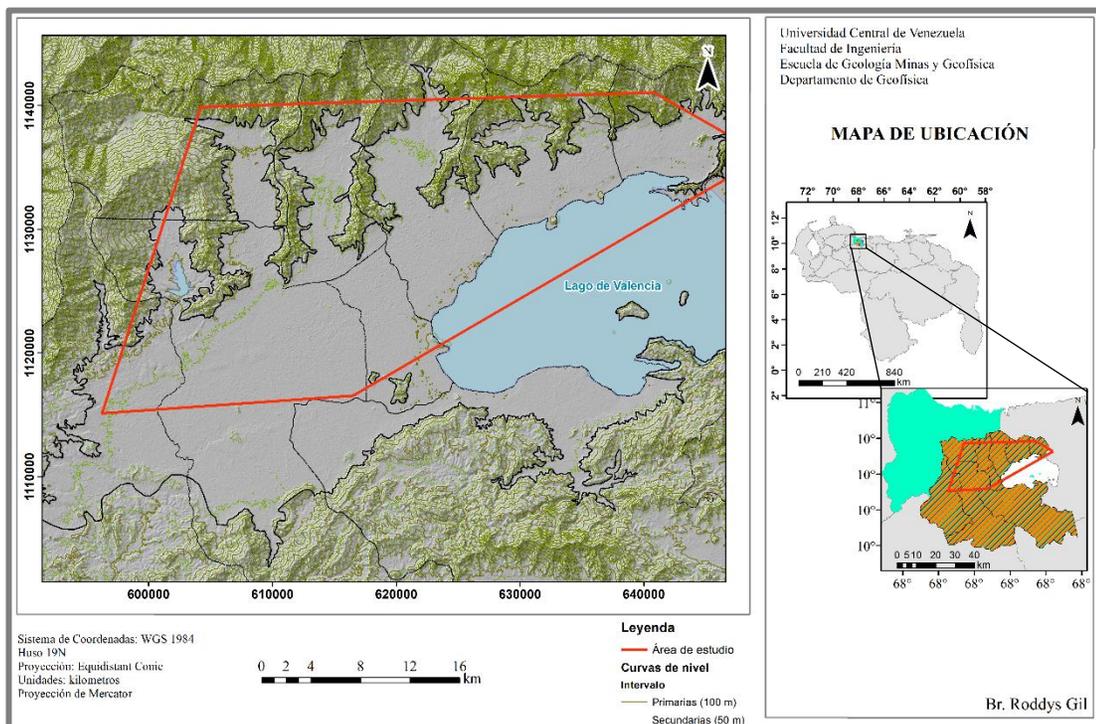


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. *DEM ALOS PALSAR*, resolución de 12.5 m. *ArcMap* versión 10.4.1.

1.5. Antecedentes

Con la finalidad de conocer las características de la zona de estudio se realizó una investigación acerca de los estudios previos de V_s30 , espesor sedimentario y licuación en la región de Valencia, logrando reunir un número significativo de trabajos muy útiles para complementar esta investigación; sin embargo, toda la información encontrada se encuentra distribuida en la región de Valencia sin ninguna correlación aparente entre ellas. Las investigaciones utilizadas fueron las siguientes:

- ❖ Loaiza L. & Marquéz D. (2008). “**Elaboración del mapa de velocidades de ondas de corte V_s30 , de los municipios Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra, estado Carabobo**”. El trabajo tuvo como objetivo elaborar un mapa de velocidades de ondas de corte V_s30 de los municipios Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra, mediante información geotécnica y sistemas de información geográfica. Para la realización del mapa se utilizaron los número de golpes N_{SPT} y con ellos se realizó una conversión empírica de Campos (2004), Imai & Yoshimura (1970), Ohta & Goto (1978) y NEHRP para determinar los valores de las velocidades de las ondas de corte, obteniendo como resultado las diferentes gráficas que comparan las cuatro conversiones para cada uno de los municipios estudiados y con ello poder determinar cuál se ajusta mejor a la norma y realizar el mapa V_s30 (figura 1.7, figura 1.8 y figura 1.9). Como resultado se obtuvo que la conversión NEHRP fue la que se adaptó de mejor manera a los parámetros expuestos por la Norma COVENIN 1756-1 (2001).

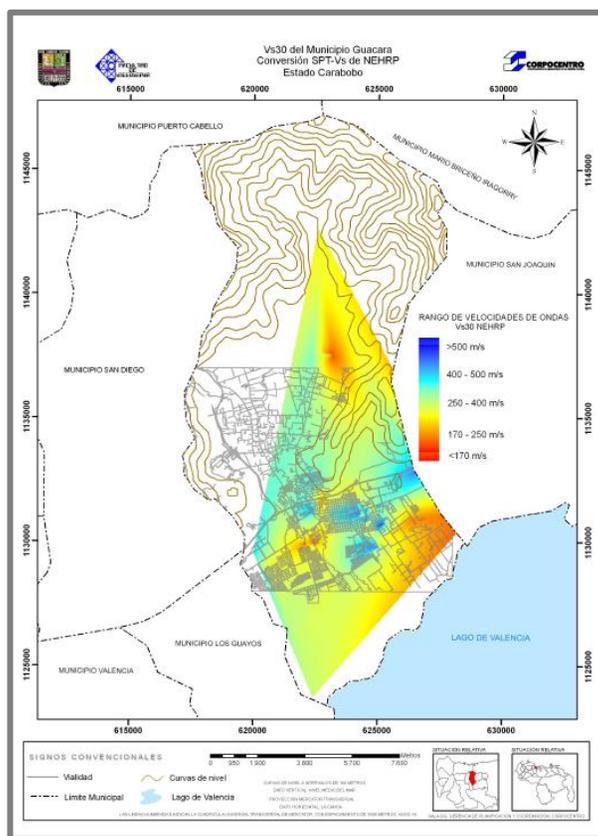


Figura 1.2. Mapa de Vs30 obtenido por Loaiza & Marquéz (2008), para el municipio Guacara usando la conversión NEHRP.

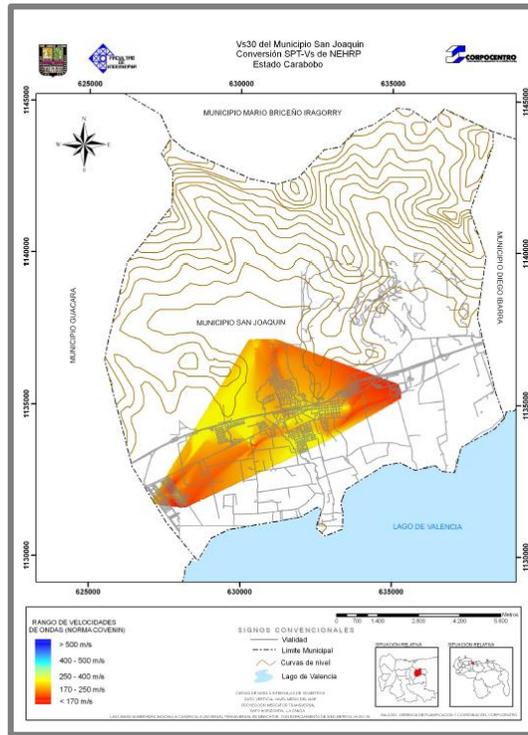


Figura 1.3. Mapa de Vs30 obtenido por Loaiza & Marquéz (2008), para el municipio San Joaquín usando la conversión NEHRP.

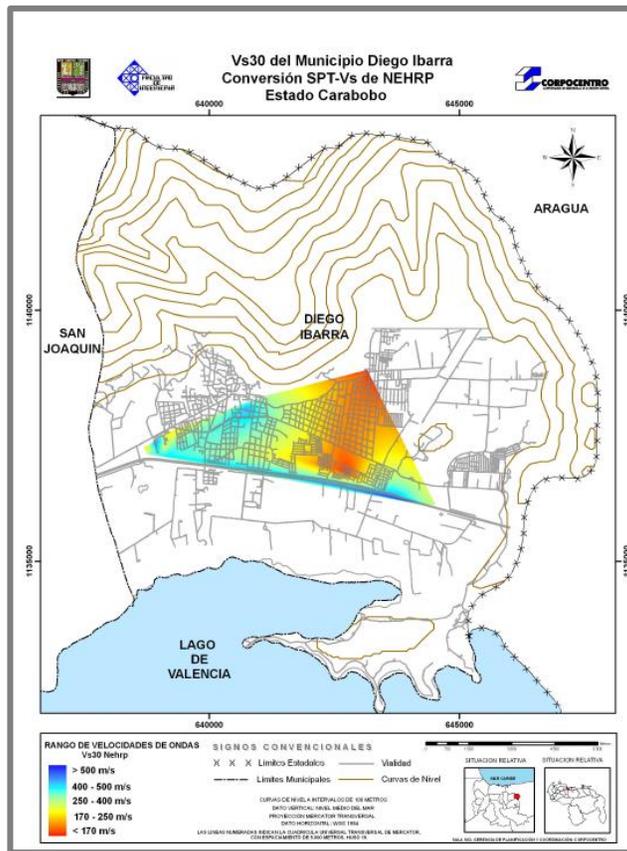


Figura 1.4. Mapa de Vs30 obtenido por Loaiza & Marquéz (2008), para el municipio Diego Ibarra usando la conversión NEHRP.

❖ Ghio L. & Valladares E. (2008). “Elaboración del mapa de velocidades de ondas de corte Vs-30 del municipio Los Guayos del estado Carabobo”. Este trabajo tuvo como objetivo elaborar un mapa de ondas de corte Vs30 del Municipio Los Guayos del estado Carabobo, mediante información geotécnica proveniente de los ensayos SPT, utilizando los números de golpes N_{SPT} para realizar la conversión a las velocidades de ondas de cortes mediante las conversiones empíricas de Campos (2004), Imai & Yoshimura (1970), Ohta & Goto (1978), NEHRP y la obtenida en La Norma COVENIN 1756-1 (2001). Como resultado se obtuvo un gráfico que compara todas las conversiones estudiadas y con ello el mapa de Vs30 obteniendo como resultado ondas de corte cercanas a 500 m/s, 250 a 400 m/s y velocidades cercanas a 170 m/s (figura 1.6).

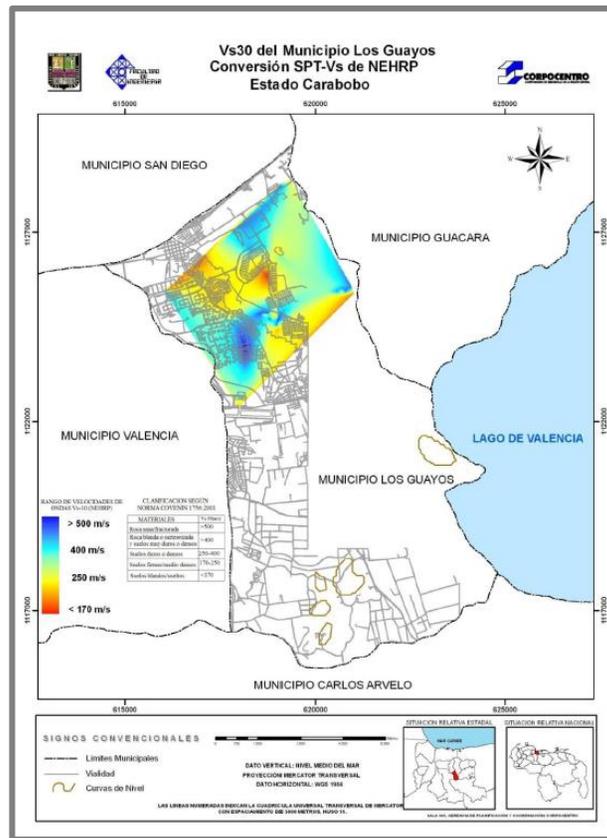


Figura 1.5. Mapa de Vs30 en el municipio Los Guayos obtenido por Ghio & Valladares (2008), a través de datos de SPT.

- ❖ Márquez J. & Morales M. (2009). “**Elaboración de un mapa de velocidad de ondas de corte Vs- 30 a partir de base de datos existente y nueva del área metropolitana de Valencia**”. Este trabajo tuvo como finalidad la realización de un mapa de Vs30 a través de las conversiones de Campos (2004), Imai & Yoshimura (1970), Ohta & Goto y NEHRP (1978) para los datos de ensayos de penetración estándar (SPT) en los municipios Valencia, San Diego, Naguanagua, Guacara y Los Guayos. Como resultado mediante la conversión NEHRP se generaron los valores de ondas de cortes que se presentan en un rango de 78 m/s hasta los 760 m/s y con ello se pudo generar el mapa Vs30 (figura 1.5).

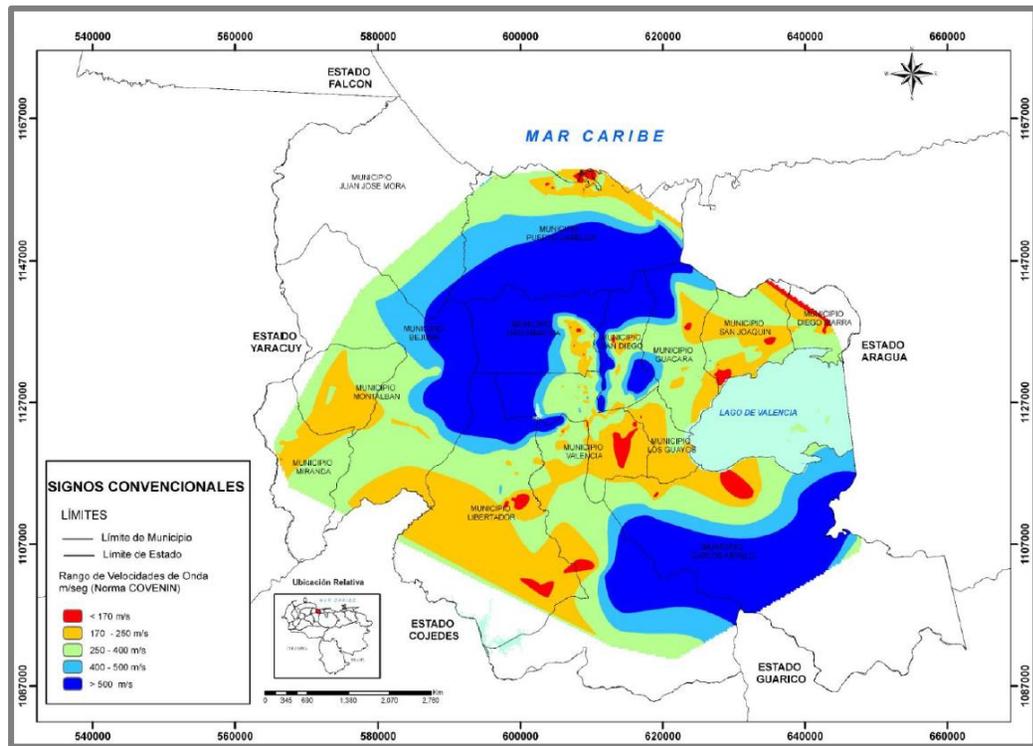


Figura 1.6. Mapa de Vs30 en la región de Valencia obtenido por Márquez & Morales (2009), a través de datos de SPT.

- ❖ Goitia M. (2012), realizó un trabajo titulado “**Modelado gravimétrico del basamento de la zona norte de la ciudad de Valencia, estado Carabobo**”, con el objetivo de estimar el espesor sedimentario de la ciudad de Valencia con sus diferentes estratos, a partir de un modelado gravimétrico. Ese trabajo se realizó con un mallado de puntos de 250 a 300 metros, con un total de 520 estaciones gravimétricas. Como resultado se obtuvieron los mapas de anomalía de Bouguer, aire libre y el mapa de espesores sedimentarios para el municipio Naguanagua (figura 1.4). Como conclusiones se identificaron las zonas que presentan los mayores espesores sedimentarios con 415 m al norte del municipio y 350 m al sur.

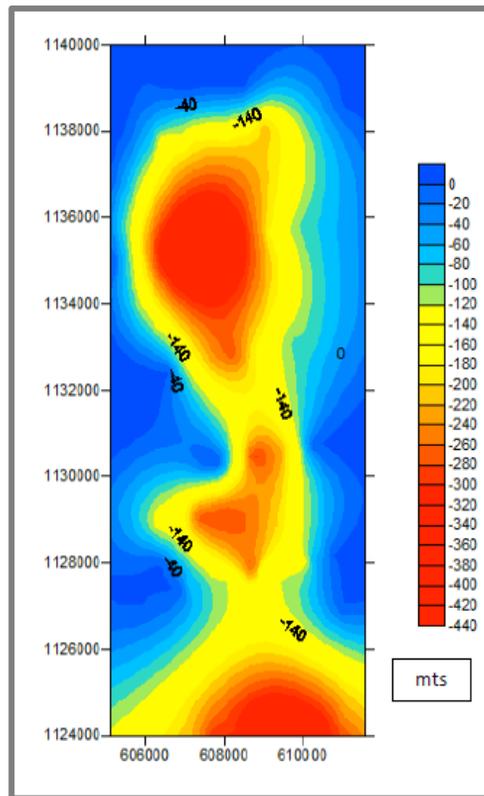


Figura 1.7. Mapa de espesores sedimentarios en el valle de Naguanagua obtenido por Goitia (2012), a través de datos gravimétricos.

- ❖ Schmitz *et al.* (2015), realizaron un trabajo titulado “**Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica**” en el marco del proyecto “Investigaciones aplicadas a la gestión integral del riesgo en espacios urbanos” que se está realizando desde el año 2008 y que tuvo como objetivo determinar la amenaza sísmica en las cuencas sedimentarias de Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona y Puerto La Cruz, así como en Valle de La Pascua. En la ciudad de Valencia se elaboró un mapa de microzonas sísmicas preliminares para el desarrollo de trabajo y la elaboración de un mapa de periodos de vibración y espesores sedimentarios (figura 1.3). Como resultado se obtuvo que en Valencia los espesores están por debajo de los 200 m en el centro de la ciudad y aumentando al suroeste con valores mayores a 300 m.

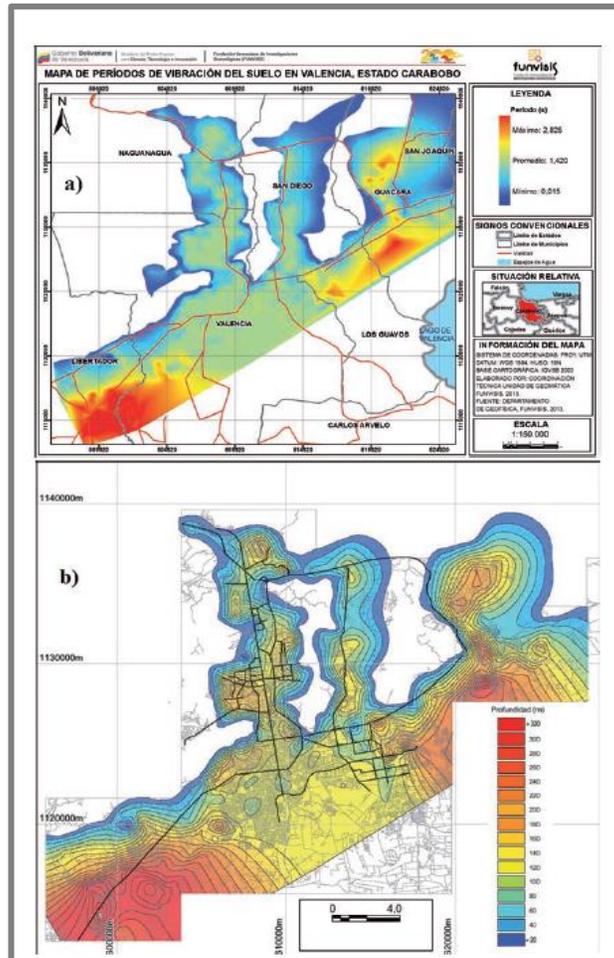


Figura 1.8. (a) Mapa de periodos de vibración del suelo, (b) espesores de sedimentos en Valencia. Tomado de Schmitz *et al.* (2015).

- ❖ Romero (2017), “**Elaboración de un modelo gravimétrico en 3D del basamento en la ciudad de Maracay**”, con el objetivo de estimar la profundidad del basamento y el espesor de los sedimentos en la zona de estudio. Para este estudio se procedió a realizar una recopilación de datos gravimétricos satelitales y terrestres con el fin de llevar a cabo el cálculo y la generación de los mapas de anomalía de Bouguer y aire libre. Como resultado se obtuvo un mapa de espesor de sedimentos para la ciudad de Valencia y Maracay (figura 1.2). Como conclusión se encontraron espesores máximos de 250 m de sedimentos en el centro de la cuenca.

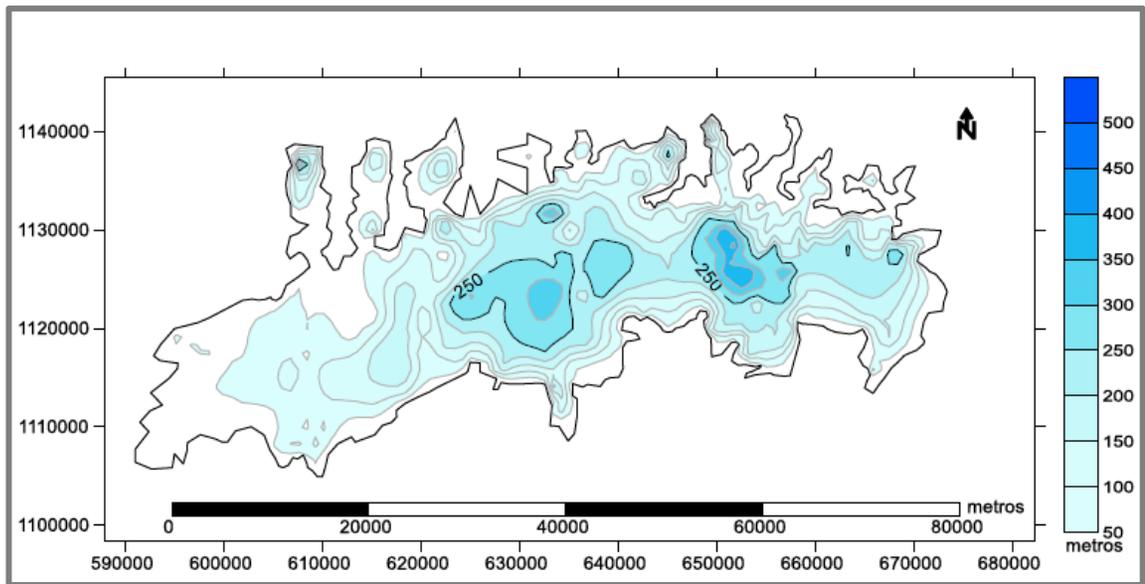


Figura 1.9. Mapa de espesor sedimentario en la región de Valencia obtenido por Romero (2017).

- ❖ **Pombo (2018), “Estudio del riesgo sísmico en el área metropolitana de Valencia”.** Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el riesgo sísmico en el Área Metropolitana de Valencia, mediante el cálculo de la amenaza sísmica y la vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes. Para realizar este estudio se procedió a investigar sobre los sismos precedentes que han afectado el área metropolitana de Valencia, los valores de ondas de corte (V_s) de 707 perforaciones y la evaluación del efecto inducido de licuación de los suelos de AMV y la determinación del riesgo. Como conclusiones se obtuvo que las zonas potencialmente licuables del AMV se encuentran principalmente en los municipios Naguanagua, Valencia y San Diego, debido a su cercanía a cursos de agua.

- ❖ **Mijares (2019), realizó el trabajo titulado “Estudio del parámetro V_{s30} mediante el análisis multicanal de ondas superficiales en la ciudad de Valencia”,** que tuvo como objetivo generar modelos unidimensionales (1D) de la velocidad de ondas de corte (V_s) en el subsuelo somero de la ciudad de Valencia, edo. Carabobo. Para la realización de esta investigación se utilizó la

inversión de curvas de dispersión estimadas del Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y la Interferometría Sísmica Pasiva. En su estudio se compararon los resultados de ReMi obtenidos por Parra (2012) y los datos reprocesados por el método de IMASW e integrando los datos de SPT de Márquez y Morales (2009). Dentro de los resultados más destacados se observó un mapa de clasificación de sitio (figura 1.1). Como conclusiones se menciona los resultados semejantes en el parámetro Vs30 calculado a partir de estos métodos, obteniendo que los resultados del ReMi de Parra (2012) están por debajo de los valores de Vs30 del IMASW en un 7% de diferencia promedio, lo que se considera un rango de error tolerable.

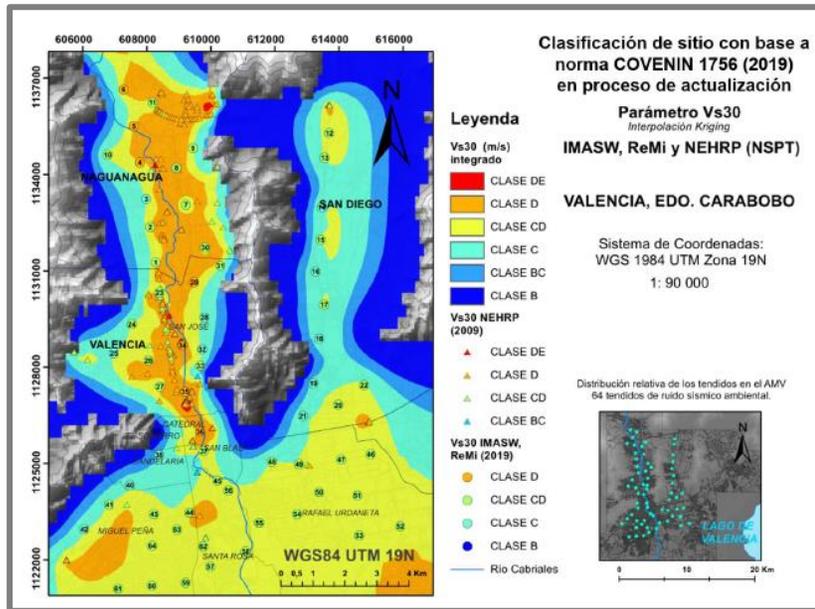


Figura 1.10. Mapa de clasificación de sitios en los valles de Naguanagua y San Diego en la región de Valencia realizado por Mijares (2019).

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

2.1. Evolución de la cordillera de la costa

Según Urbani (2012), en el tiempo Arqueano al Precámbrico se dio lugar a los terrenos que actualmente son el Escudo de Guayana, donde se han registrado al menos siete ciclos magmáticos. De igual manera, la unidad más antigua de la cordillera de la Costa es el Augengneis de Peña de Mora, de clara naturaleza metaígneas. Al final del Neoproterozoico ocurre la gran orogénesis del Grenvilliano y continúan los eventos magmáticos durante las orogénesis Panafricana-Brasiliana entre 600-550 Ma, (Urbani, 2012).

En el Paleozoico existieron cuencas donde se sedimentaron los protolitos de unidades como la Filita de Tucutunemo, el Esquisto de Tinapú y los componentes metasedimentarias del Complejo San Julián (Urbani, 2012).

Según Urbani (2012), en el Jurásico se inicia la ruptura del supercontinente Pangea y se generó una nueva corteza oceánica, que se denomina Proto-Caribe, además se dio inicio a los procesos sedimentarios del tipo margen pasivo. Entre el Jurásico tardío al Cretácico Temprano, la corteza oceánica del Proto-Caribe y su zona de expansión central se fueron consumiendo paulatinamente.

En el Aptiense continua la subducción en el gran arco del Caribe y se da la formación de algunas unidades que actualmente se encuentran en el terreno de Villa de Cura, posteriormente continuó la generación de las cuatro unidades de Villa de Cura (Urbani, 2012).

Según Urbani (2012), en el Oligoceno y Mioceno se acentúan los efectos de interacción de placas en la región de la actual Cordillera de la Costa; es por ello que las cuencas flysch se cierran y el arco, es decir las rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias asociadas, tanto aquellas que se mantuvieron en condiciones someras se emplazan definitivamente sobre el margen pasivo Suramericano. En el Mioceno la Cordillera de la Costa posee una configuración parecida a la actual, además que, durante ese periodo

se elevaron los Andes de Mérida y desde entonces los procesos más activos de interacción de placas, están ocurriendo en el oriente venezolano y en la isla de Trinidad (Urbani, 2012).

Del Mioceno al Holoceno según Urbani (2012), continúa el efecto compresivo oblicuo con dirección NO-SE, generando una importante partición de esfuerzos que permite el desarrollo de extensas fallas dextrales de ángulo alto como lo son las fallas de Oca-Ancón, San Sebastián, Macuto, El Pilar y La Victoria. La exhumación de las rocas del Terreno Nirgua pudo ocurrir en dos etapas. Para el Cretácico medio estas rocas estuvieron en el complejo de subducción a profundidades de 25 a 75 km (Sisson & Lallemand, 1997).

Según Urbani (2018), la cordillera de la Costa geográficamente está dividida en las serranías del Litoral y del Interior (figura 2). Esta separación es muy visible entre Barlovento y Valencia, debido a los valles intermontanos controlados mayormente por el sistema de fallas de La Victoria, de carácter subvertical dextral del Plioceno-Holoceno.

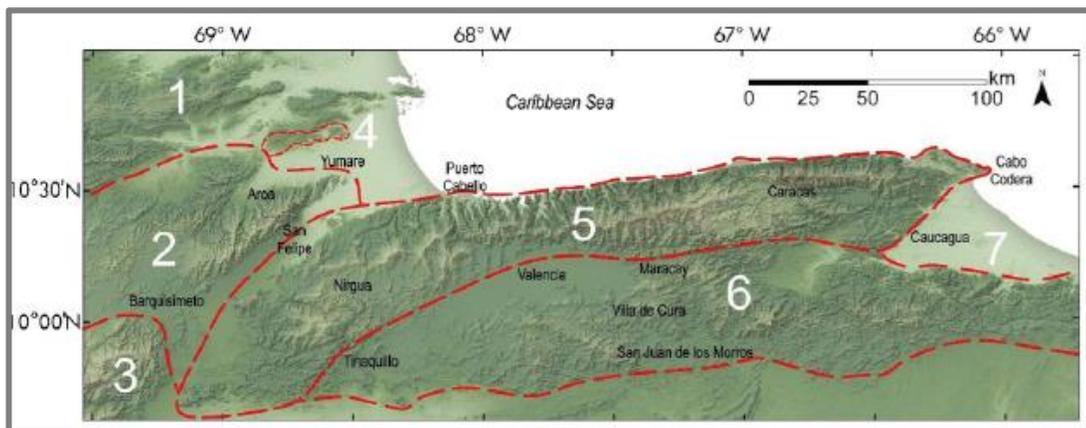


Figura 2. Subdivisión geográfica de Venezuela norcentral. 1: Falcón. 2: Serranías de Bobare y Aroa. 3: Estribaciones nororientales de los Andes de Mérida. 4: Cerro Yumare. 5: Serranía del Interior. 6: Barlovento. Tomado de Urbani. (2012).

2.2. Tectono – Estratigrafía

El Sistema Montañoso del Caribe (SMC), según Bellizia (1986) se describe como un orógeno tipo alpino, constituido por rocas sedimentarias y volcánicas metamorfizadas de Mesozoico, a su vez debido al metamorfismo esta zona que contiene diversas facies de N-S, así como también intrusiones ácidas y básicas, granitos y complejos ultrabásicos; todo esto está acompañado por fallamiento de tipo normal longitudinal hacia el norte, tectónica gravitacional al sur, corrimientos de estratificación en el centro-sur y fallamiento transversal *en-écheleon*.

Según Nuñez (2015), el SMC se subdivide en cinco fajas tectónicas: la faja Caucagua-El Tinaco, Loma de Hierro, Villa de Cura, faja Caracas y la faja Piemontina. En cuanto a su denominación (figura 2.1). Además según Bellizzia & Dengo (1990), mencionan que el SMC contienen un cinturón de estribaciones montañosas con una cuenca antepaís no metamorfizada en el sur, también mencionan que la complejidad del SMC radica en que es una serie de unidades tectónicas formadas por la superposición de varias napas, muchas de las cuales afloran discontinuamente y además se tiene la presencia de grandes fallas transcurrentes que generan el desplazamiento lateral de estas napas.

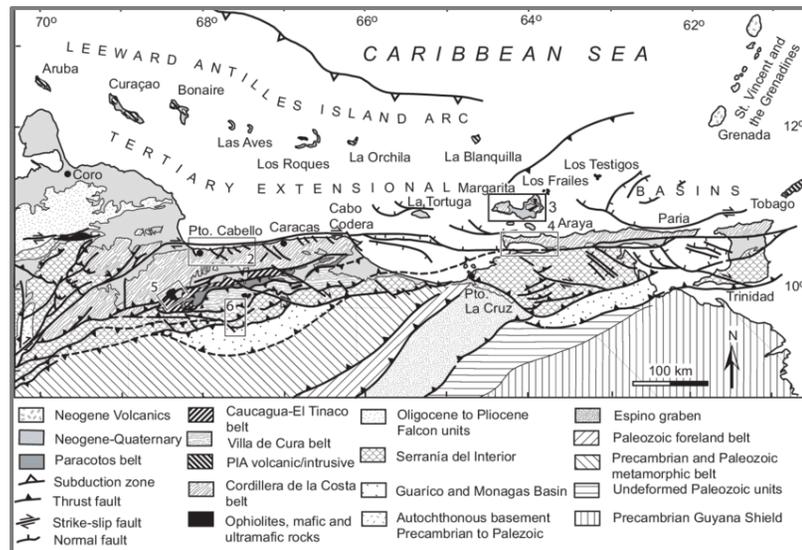


Figura 2.1. Mapa tectónico del centro norte de Venezuela (Avé-Lallemant & Sisson, 2005).

La faja de la Cordillera de la Costa está limitada al norte por la zona de fallas del Caribe y al sur por la falla de La Victoria, ambas longitudinales y con un desplazamiento vertical mayores a 1 km en algunas regiones (Avé Lallement & Sisson, 1993). La faja Caucagua –El Tinaco está limitado por la Falla de La Victoria al norte y por la falla de Santa Rosa al sur, con fallas normales y corrimientos de estratificación. Además, se puede observar afloramientos del antiguo Grupo Caracas.

Avé Lallement & Sisson (1993), señalan que la Serranía del Interior es un cinturón deformado y plegado que consiste en una asociación de rocas clásticas (autóctonas y parautóctonas) del Cretácico Superior-Terciario Superior.

Las rocas del terreno Cachinche según Mambie (2017), menciona que protolito del Complejo Cachinche fue depositado en el período Neoproterozoico – Paleozoico, y tendiendo como protolito sedimentario de origen continental. En cuanto al estudio del terreno Las Mercedes que según Aguerrevere & Zuloaga, (1937), mencionan que se considera como el equivalente metamorfizado de la Formación La Luna. Mencionan también que el origen puede estar relacionado al Proto-Caribe, en ambientes pobres en oxígeno y/o anóxicos, donde Las Mercedes, La Luna y Querecual se depositaron en el margen pasivo del norte de las placas Caribe y suramericana, proceso en que solo Las Mercedes sufrió metamorfismo.

El terreno Las Brisas según Urbani (2000), menciona que fueron depositados disconforme sobre el gneis de Sebastopol.

2.3. Geología regional

El Valle de Valencia posee una dirección aproximada N-S y está separado de los valles adyacentes debido a los estribos que se desprenden del macizo de la Cordillera de la Costa hasta el lago de Valencia, (López, 1942; Menéndez, 1966). Adicionalmente, mencionan que el valle está a una altura media de 475 m.s.n.m y está conformado geológicamente por rocas metamórficas, rocas ígneas y sedimentos no consolidados, que comprenden las diferentes unidades geológicas como lo son el

Esquisto Las Mercedes, el Esquisto Las Brisas, el complejo Tinaco y el Augengneis de Peña de Mora (figura 2.2).

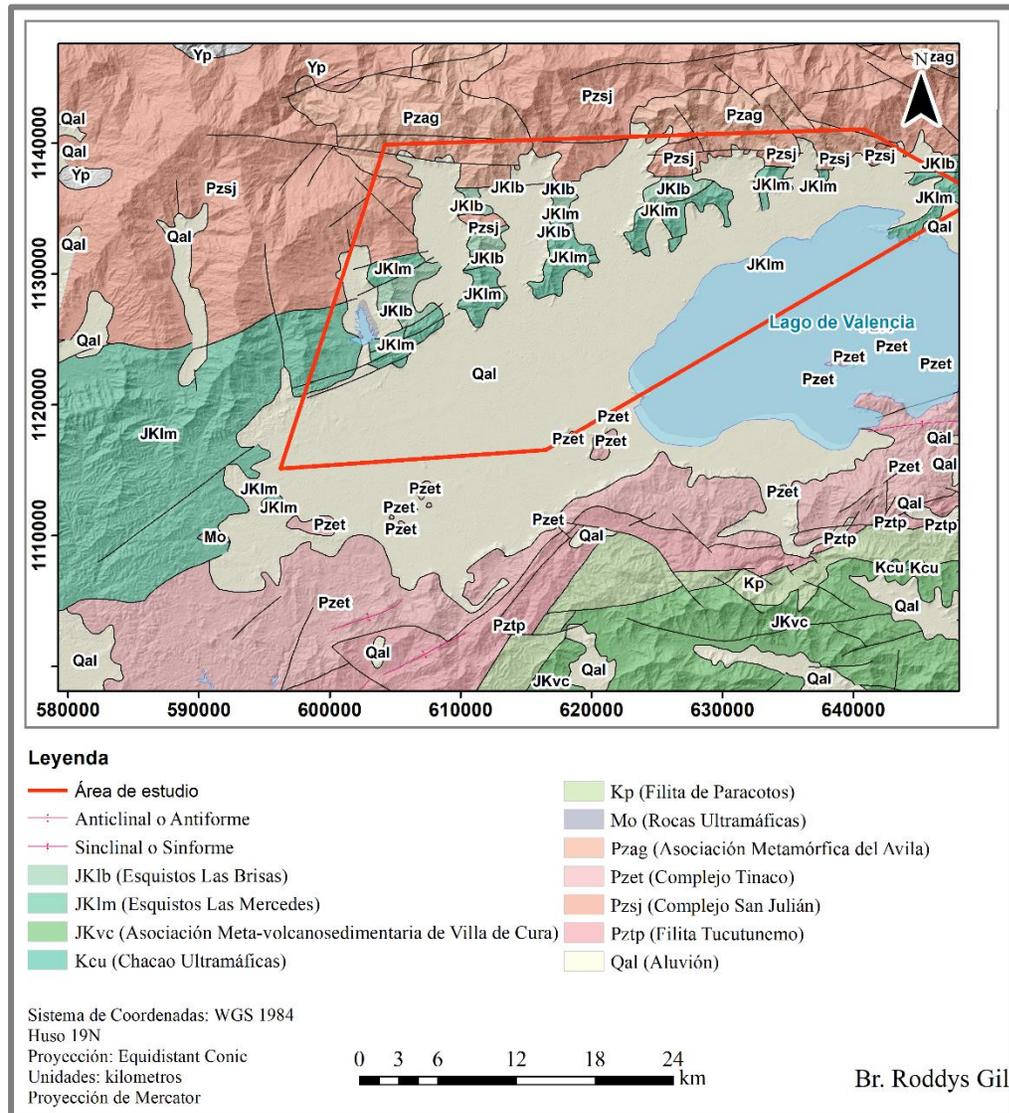


Figura 2.2. Mapa geol3gico de la zona de estudio. Modificado de Hackley et al., (2006). DEM ALOS PALSAR. ArcMap versi3n 10.4.1.

González (1972), menciona que la regi3n de Bejuma y Valencia consiste en rocas metasedimentarias de una asociaci3n metam3rfica de biotita-granate, específcamente, esquisto cuarzo-feldespático-micáceo, gneis esquistoso feldespático, micáceo y cuarzoso, esquisto cuarzo-moscovítico y clorítico y cuarcita conglomerática,

íntimamente relacionadas con abundantes rocas verdes, tipo anfibolita granatífera y feldespática. Además, destaca la presencia de rocas de mineralogía cuarzo-micácea ricas en cianita en el poblado Los Sitios y las cercanías de El Naipe (en la vía Tinaquillo-Valencia), clasificadas por Nuñez (2015) como esquisto cuarzo-moscovítico y esquisto moscovítico-cuarzo-granatífero, asociadas por este mismo autor a la facies de anfibolitas. De igual manera, Audemard (2000), señala que en la ciudad de Valencia las rocas predominantes son de tipo metamórficas que a su vez gran parte se encuentra cubierta por una capa de sedimentos aluviales, fluviales y lacustres (tabla 1).

Tabla 2. Geología regional de la zona de estudio.

Era Geológica	Edad	Complejos / Formación	Descripción litológica	Referencia
Cenozoico	Pleistoceno-Holoceno	Cuaternario	Sedimentos poco consolidados (Aluviones)	Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A., (1970)
Mesozoico	Jurásico-Cretácico	Las Mercedes	Esquisto cuarzo, moscovítico, calcítico, grafitoso. Presentando intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes	Wermann (1972)
	Jurásico Tardío - Cretácico	Las Brisas	Esquisto grafitoso cuarzo moscovítico carbonático, también esquisto carbonático que grada a mármol masivo.	Urbani F., (2018)

Era Geológica	Edad	Complejos / Formación	Descripción litológica	Referencia
			Esquisto cuarzo moscovítico, metarenisca y metaconglomerado y mármol dolomítico.	Urbani F., (2018)
	Cretácico	El Tinaco	Gneises hornabléndicos y biotíticos, gneises cuarzo-plagioclásico y en menor escala, anfibolitas y mármoles	Menéndez (1965)
Paleozoico-Precámbrico		Augengneis de Peña de Mora	Augeneis y gneis. Presenta esquistos micáceos y pequeñas intercalaciones de calizas.	Aguerreverre & Zuluaga, (1937)

2.4. Lago de Valencia

Según INOS (1981), menciona que la cuenca del Lago de Valencia está comprendida por sedimentos de tipos aluviales y fluviales, cuya fuente principal viene dado por la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior y en su parte central puede alcanzar un espesor de 400 m aproximadamente. Estos depósitos están constituidos principalmente por una alternancia irregular de capas de arcilla, limos, arenas y gravas de granulometría variable. De igual manera Mambie (2017), menciona que los sedimentos Cuaternarios de la cuenca del lago de Valencia se ubican alrededor de dicho lago generando una planicie y también parte de ellos se encuentran ubicados entre filas de las Serranías del Litoral y del Interior. La planicie del lago de Valencia es adyacente a la fosa tectónica del lago de Valencia, el cual se encuentra ubicado en la depresión axial este-oeste entre la Cordillera de la Costa al norte y la Serranía del Interior Central al sur (González de Juana *et al.*, 1980).

2.5. Geomorfología

El sistema geomorfológico en Valencia, está dado por un sistema morfodinámico de medios de ablación y acumulación, en donde las secuencias y las fases son consecuencias de los cambios geológicos ocurridos principalmente en el Cuaternario. La relación de procesos morfogenéticos están dados por la erosión fluvial de las vertientes, la sedimentación de los canales y las llanuras de los recursos hídricos y la formación de la terrazas son consecuencias de las dinámicas transgresivas y regresivas del depósito lacustre (Zinck, 1977).

2.5.1. Planicie lacustrina

Según Zinck (1977), se ubica en la parte baja del graben de Valencia, de conformidad con el origen tectónico de un lago intertropical, formado por una red de subcuencas que, progresivamente, convergieron en la formación de la actual cuenca, caracterizado por sus respectivas facies de degradación y a gradación geomorfológicas. Esta planicie está caracterizada por un proceso de regresión de tiempo reciente, interrumpido por la alteración antrópica del balance hidrológico de la cuenca en las últimas tres décadas. La cota es de 409 m.s.n.m y este valor permite precisar la extensión de la faja de sedimentos lacustrinos, penetrada por la planicie de sedimentación aluvial, con la que, conjuntamente, conforma la mayor extensión de las facies de acumulación depositadas en la depresión.

2.5.2. Planicie aluvial

Se trata de un sistema de ambientes sedimentarios de origen fluvial conformados principalmente por cuerpos arenosos. Esta planicie se extiende entre el borde externo de la depresión lacustrina y la faja de

valles periféricos, siendo está una de las áreas más estables con penetraciones locales que entren en contacto directo con el cuerpo del lago, haciéndose más ancho en las partes oriental y occidental de su línea de costa (Zinck, 1977).

2.5.3. Valles fluviales

Los valles fluviales son cuerpos abiertos en su zona proximal a la planicie aluvial de la depresión. Según Zinck (1977), el valle presentó un conjunto de procesos dinámicos, entre los que destacan la acumulación de material aluvial y una activación periódica de erosión hídrica diferencial que genera progresivos entalles fluviales. El cinturón de valles periféricos de la depresión presenta una importante continuidad en la direccionalidad del modelado fluvial NS, que se abre aguas abajo desde la vertiente meridional de la Serranía del Litoral hacia la planicie aluvial-Lacustrina (Zinck, 1977).

2.5.4. Piedemonte

Se encuentra ubicado entre la transición entre el relieve de montaña y la zona baja, la cual está conformada por la periferia valluna y la planicie aluvial-Lacustrina; esta zona transicional presenta una importante extensión, conforme la continua morfología valluna que se diferencia, accidentalmente, de las filas montañosas (Zinck, 1977). Al sur en el piedemonte están en contacto directo con la planicie aluvial, en donde presenta menores desniveles. Según Zinck (1977), las pendientes de la topografía varían entre el 3 y 20 %, en donde se depositaron diversas facies coluviales y aluviales cuyos detritos presentan una granulometría y morfométrica irregular (figura 2.3).

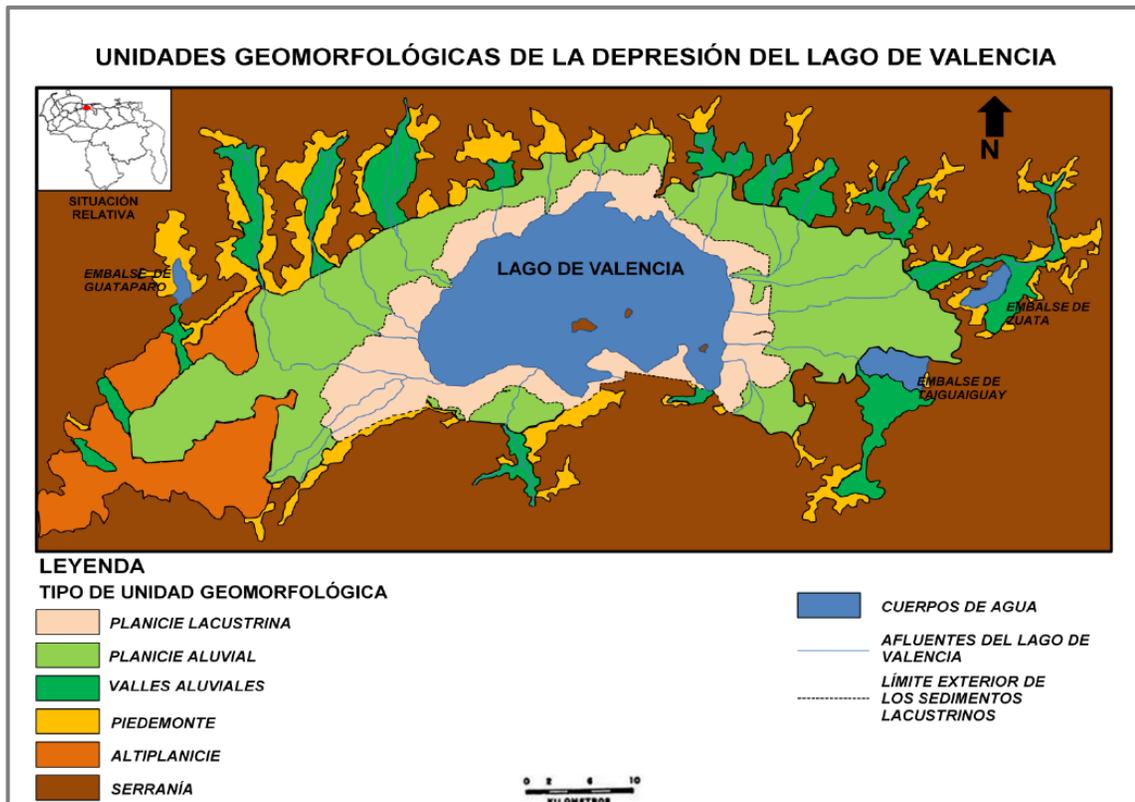


Figura 2.3. Unidades geomorfológicas en la región de Valencia. Zinck (1980a y 1980b).

2.6. Sistemas de fallas

En los estudios de la tectónica destaca el trabajo realizado por Audemard *et al.* (2000), donde se muestra la distribución de las principales fallas a lo largo de la cordillera, en el cual se destacan las fallas de Boconó, Morón, Oca y San Sebastián en la zona de Morón. También se encuentran citadas las zonas de falla de La Victoria y las zonas de corrimiento en la zona piemontina, donde separa la Serranía del Interior de la Serranía del Litoral Central (Urbani, 2012).

Audemard *et al.* (2000), mencionan que el sistema de fallas La Victoria se extiende hacia el este por 350 km desde el sur de Barquisimeto hasta Cabo Codera; además, este sistema de fallas limita la cuenca del río Tuy en el norte y atraviesa la cuenca del lago Valencia. El sistema de fallas se considera que es una cizalla "P" al límite principal de la placa de deslizamiento lateral derecho del Caribe y América del Sur (Audemard *et al.*, 2000.). En el estudio realizado por Audemard (1998), se observa

que la longitud de la falla es de 354 km de extremo a extremo (466 km acumulativos), además de que la falla posee un rumbo de N 78°E.

2.6.1. Falla de Guacamaya

La falla de Guacamaya, se extiende desde Gamelotal hasta el noroeste del lago de Valencia y posee una longitud de 146 km de extremo a extremo, con un rumbo promedio de N80°E y el sentido de movimiento es dextral (Audemard *et al.*, 2000). La falla de Guacamaya según Audemard *op cit.* forma varias características geomórficas en rocas metamórficas mesozoicas y depósitos tempranos del Pleistoceno de la cuenca del lago Valencia, suroeste de Valencia, tales como el desplazamiento lateral de drenajes, trincheras, *faceted spurs* y drenajes lineales, además menciona que puede ser el contacto metamórfico-sedimentario a lo largo del margen norte de la cuenca del lago Valencia. La tasa de movimiento es de 0.6 mm/año (Audemard *op cit.*).

2.6.2. Falla de La Cabrera

La falla La Cabrera, está ubicada debajo de la superficie del lago de Valencia y está localizada en la cuenca del Cuaternario, que altera el fondo del lago y sus depósitos lacustres del Holoceno, además posee una longitud es 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).

2.6.3. Falla El Horno

La falla El Horno, al igual que la falla La Cabrera se encuentra debajo de la superficie del lago Valencia y altera los depósitos lacustres en el fondo, 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 *op cit.*).

2.6.4. Sistema de fallas Las Trincheras

El sistema de fallas Las Trincheras según Singer *et al.* (2014), mencionan que esta falla se extiende al contacto del macizo rocoso con el piedemonte aluvial de la cuenca lacustre, al norte de la traza subparalela de la falla de Victoria, con una longitud de unos 85 km. La falla de Las Trincheras posee una actividad relativamente baja y es explicada por la complejidad del patrón, esta complejidad puede explicar los saltos laterales que se observan en la traza activa, debido al desdoblamiento de este accidente estructural entre San Diego y Mariara (Singer *et al.*, 2014).

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

Los métodos sísmicos estudian el comportamiento de las ondas a través de un medio y se clasifican en dos grandes campos que son la sísmica de reflexión y la sísmica de refracción; la primera analiza las señales que son reflejadas, mientras que el segundo, las ondas son refractadas (Dobrin, 1960).

El principio del método sísmico es iniciar en un punto fuente, y determinar en un cierto número de otros puntos el tiempo de llegada de la energía que ha sido refractada o reflejada por las discontinuidades entre diferentes formaciones rocosas. Esto permite deducir la posición de las discontinuidades (Parasnis, 1970).

3.1. Ondas sísmicas

Según Tarbuck & Lutgens (2005), la velocidad de las ondas sísmicas depende de la densidad y la elasticidad de los materiales que atraviesan. Las ondas compresivas (ondas P), son aquellas ondas que vibran hacia atrás y hacia delante en el mismo plano que su dirección de movimiento (figura 3), son capaces de propagarse a través de líquidos, así como de sólidos, porque, cuando están comprimidos, esos materiales se comportan elásticamente.

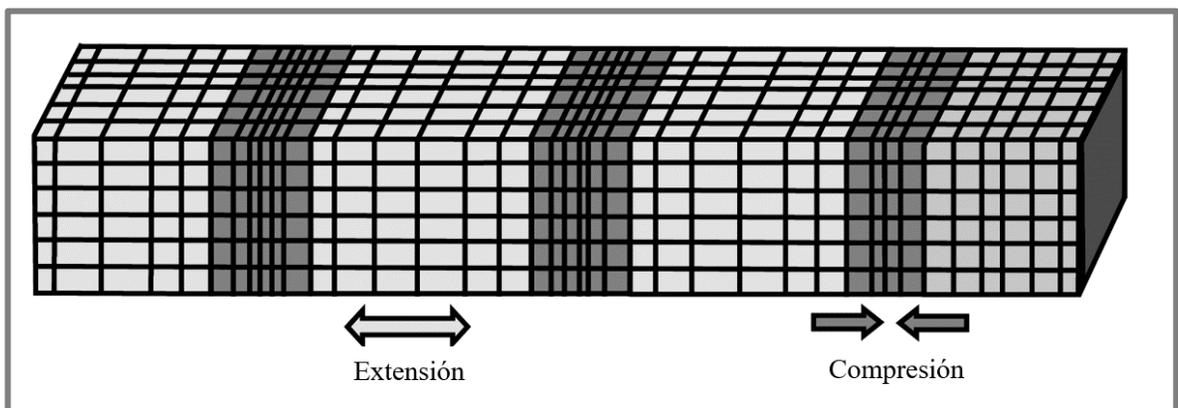


Figura 3. Onda P. Modificado de Ruiz & Leyton. (2016).

González (2011), menciona que la velocidad de las ondas P se puede calcular mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

K = módulo de incompresibilidad

μ = módulo de rigidez

ρ = densidad del medio

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

μ = constante de Lamé

λ = constante de Lamé

ρ = densidad del medio

Las ondas S, transversal o de cizalla tienen un movimiento de oscilación perpendicular a la dirección de propagación. Se pueden separar sus componentes Sh, cuyas partículas oscilan en el plano horizontal perpendicularmente a la dirección de propagación, y Sv cuyas partículas oscilan en el plano vertical perpendicularmente a la dirección de propagación (Telford *et al.*, 1976). Las ondas S no se pueden propagar a través de los líquidos, puesto que, a diferencia de los sólidos, los líquidos se oponen a la cizalla (figura 3.1), (Tarbuck & Lutgens, 2005).

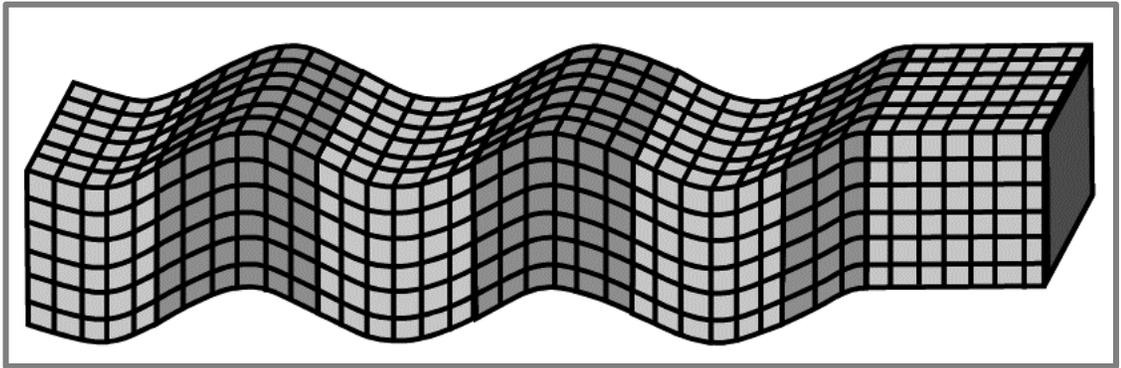


Figura 3.1. Onda S. Modificado de Ruiz & Leyton. (2016).

González (2011), menciona que la velocidad de las ondas S se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

μ = módulo de rigidez

ρ = densidad del medio

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

E = módulo de elasticidad

ρ = densidad del medio

σ = constante de Poisson

Las ondas Rayleigh tienen un movimiento llamado elíptico retrógrado, parecido a las olas del mar, sus partículas se mueven describiendo trayectorias elípticas en el plano vertical paralelo a la dirección de propagación. En superficie, el movimiento de las partículas es retrógrado con respecto a la dirección de las ondas y la velocidad de estas ondas es menor que la velocidad de las ondas transversales (Telford *et al.*, 1976). Kearey *et al.* (2002), mencionan que las ondas de Rayleigh (figura 3.2), se propagan a lo largo de una superficie libre, o a lo largo del límite entre dos medios sólidos diferentes.

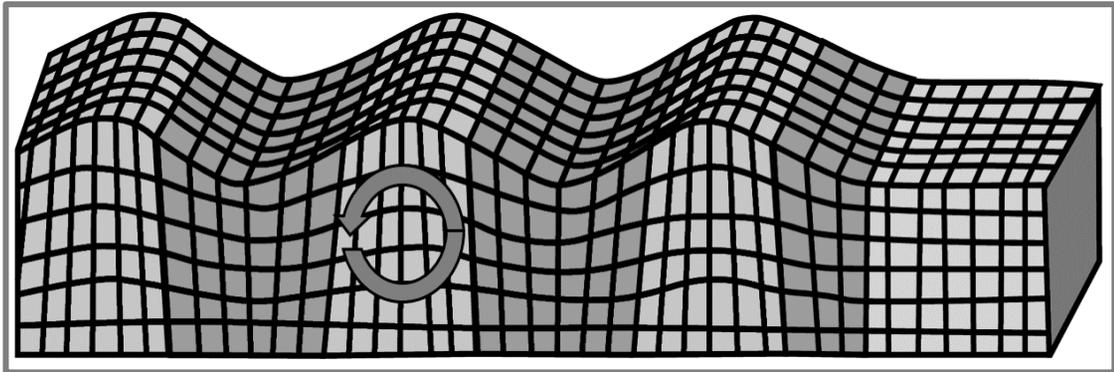


Figura 3.2. Ondas Rayleigh. Modificado de Ruiz & Leyton. (2016).

Las ondas love, son ondas transversales o de cizalla, que oscilan sólo en el plano horizontal de la superficie y son conocidas por ser las más destructivas en caso de terremotos, pero no son de utilidad en los estudios de sismica de refracción (Telford *et al*, 1976). Las ondas Love (figura 3.3), son ondas de cizalla horizontalmente polarizadas (Dobrin, 1960).

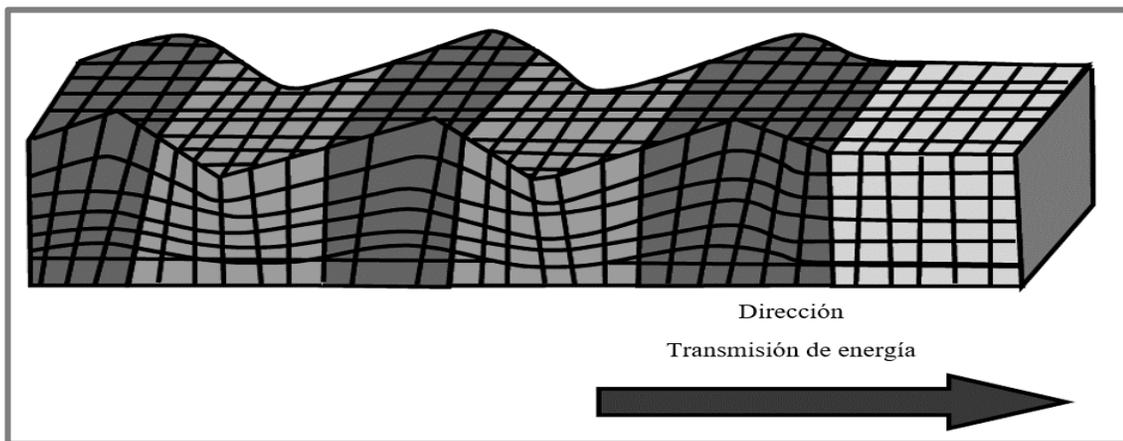


Figura 3.3. Ondas Love. Modificado de Ruiz & Leyton. (2016).

3.2. Prospección por refracción sísmica

Cavada (2000), lo describe como uno de los métodos utilizados para obtener datos para ser utilizados en la geotecnia. Se utiliza una fuente y detectores alineados en la superficie del terreno; con el objetivo de obtener las ondas que viajan desde la fuente hasta los detectores a través del subsuelo (figura 3.4). Este método proporciona información acerca de las velocidades y espesores de cada uno de los estratos del subsuelo, así como también no puede dar información estructural de la zona de estudio.

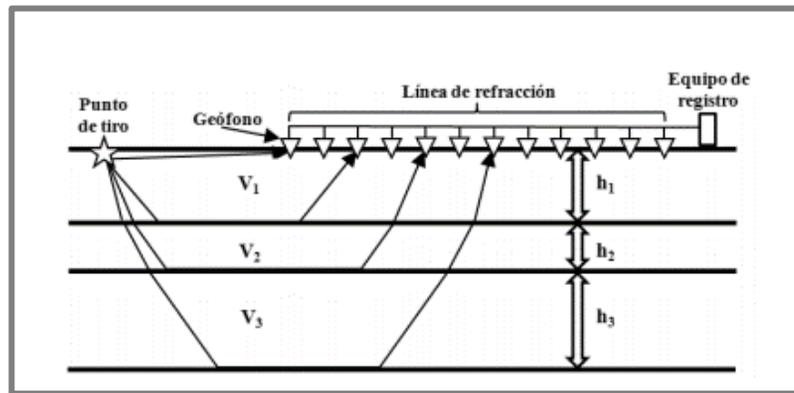


Figura 3.4. Ondas sísmicas al realizar la prospección sísmica de refracción (Herrera, 2013).

El método de refracción de ondas sísmicas también se utiliza en sismología para determinar la estructura interna de la Tierra, en estudios de la corteza terrestre (con fuentes sísmicas naturales o artificiales) y en las décadas de los años 1930 a 1950 se utilizó en prospección de hidrocarburos, principalmente para ubicar domos salinos a los cuales suelen estar asociadas trampas de petróleo. Actualmente prácticamente no se utiliza en prospección de hidrocarburos, excepto indirectamente para calcular la corrección estática de campo (Cavada, 2000).

La base del método de refracción es la extensión a las ondas sísmicas de la Ley de Snell de la óptica. La cual se puede aplicar a todo tipo de ondas atravesando una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación de la onda varía (Parasnis, 1970).

3.3. Sísmica de Refracción de Microtremores (ReMi)

La técnica de ReMi está fundamentado en dos ideas, la primera menciona que el equipo de registro de refracción sísmica puede grabar efectivamente frecuencias de 2 Hz en ondas superficiales y la segunda es que la transformada 2D de lentitud – frecuencia ($p - f$) de un registro de microtremores, se pueden diferenciar las ondas Rayleigh de otras ondas, y como consecuencia se puede distinguir las velocidades de ondas de fases aparentes y verdadera (Louie, 2001). Así mismo Louie (2001), menciona que la aplicación de esta técnica tiene muchas ventajas desde el punto de vista de la adquisición, debido a que solo se requiere de un equipo de refracción estándar, además no requiere de una fuente de energía activa, debido a que las principales fuentes sin el ruido sísmico ambiental.

El procesamiento de la técnica ReMi es el siguiente:

3.3.1. Análisis espectral de velocidad:

Esta transformación toma una sección de registro de múltiples sismogramas, con amplitudes relacionadas con la distancia y el tiempo ($x - t$), y las convierte en amplitudes relacionadas con el parámetro de rayo P y un intercepto en el tiempo τ . Clayton & Mechan (1981) y Fuis *et al.* (1984), usan la transformación p - τ como un paso inicial para el análisis de velocidad de refracción en ondas P (Louie, 2001).

La transformada p - τ es una integral lineal a lo largo de un registro sísmico $A(x,t)$ en una distancia x y un tiempo t :

$$A(p, \tau) = \int_x A(x, t = \tau + p x) dx$$

3.3.2. Técnica de Mechan & Yedlin (1981):

Para la normalización espectral de los registros de ruido (Louie, 2001). Ellos desarrollan un enfoque alternativo para el análisis de las ondas superficiales, que consiste en transformar los campos de ondas de los datos al dominio lentitud-frecuencia (p - f), en donde la curva de dispersión puede ser seleccionada directamente. El proceso involucra dos transformaciones lineales: un *slant stack* seguido por una transformada de Fourier en una dimensión (1D) como se discutió anteriormente.

3.3.3. El método de refracción por microtemores:

Este sigue modelos interactivos a partir de los datos de dispersión de modo fundamental, escogidos de las imágenes p - f , con un código adaptado por Yuehua Zeng (1993). El modelo itera sobre la velocidad de fase en cada periodo (o frecuencia), reporta cuándo una solución no ha sido encontrada dentro de los parámetros de iteración, y puede modelar inversiones de velocidad con la profundidad (Louie, 2001). Un intérprete puede interactivamente estimar, además, la máxima profundidad de la velocidad, y si los datos pueden excluir las transiciones de las grandes velocidades justo por debajo de esta profundidad. Debido a que el método de refracción por microtemores no depende de una inversión de las dispersiones escogidas para la estructura de la velocidad, el procedimiento de la realización del modelo, es el más dependiente de las habilidades y experiencias del intérprete (Louie, 2001), por lo que generalmente se emplea algún otro método que pueda guiar al intérprete sobre la veracidad de los resultados que se estén obteniendo.

3.4. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

El MASW según Stokoe *et al.* (1994), es un método de prospección sísmica no invasivo, con fines principalmente geotécnicos para conocer las condiciones elásticas del subsuelo y según Park *et al.* (1999), mencionan que se basa en el análisis de propagación de ondas superficiales de tipo Rayleigh generadas por una fuente activa o pasiva, con el objetivo de obtener un modelo de velocidad de onda de corte (V_s).

El análisis de las ondas Rayleigh con la técnica MASW se lleva a cabo mediante la relación de velocidad – frecuencia. Esta relación velocidad-frecuencia se conoce como espectro de dispersión cuyos máximos generalmente describen la curva de dispersión de velocidad de fase, asociada al modo fundamental de ondas de Rayleigh. (Park *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1999). La generación de dicha curva de dispersión es el paso más crítico para la obtención del perfil de velocidad de onda corte, debido a que en esta curva está contenida la mayor cantidad de energía, y una estimación errónea en la misma puede ocasionar resultados erróneos y por consiguiente una mala interpretación.

Dicho método, sin embargo, está limitado para caracterizar la estructura profunda debido a la dificultad para generar energía de baja frecuencia, y contar con sensores de baja frecuencia (Park *et al.*, 1999).

3.5. Análisis multicanal de ondas superficiales mediante interferometría (IMASW)

Este método está basado en combinar los registros de datos ReMi o MASW con el procesamiento de fuente activa de MASW, con el objetivo de mejorar la resolución en profundidad de la velocidad de ondas de corte (V_s), mediante las bajas frecuencias de ondas Rayleigh (O'Connell & Turner 2011). La interferometría sísmica o la correlación cruzada de ruido ambiental, para convertir el “ruido” en señales sísmicas útiles para inferir propiedades geológicas del subsuelo somero, a partir de las propiedades dispersivas de las ondas de Rayleigh (Cheng *et al.*, 2015).

Para reducir las ambigüedades en la interpretación de la lentitud de fases CGF en el IMASW se utiliza una fuente activa de suficiente amplitud desde varias distancias de ambos extremos de una matriz de geófonos lineales para de esta manera minimizar las respuestas de ondas corporales y garantizar que las contribuciones de fuentes de la fase no estacionaria integren a cero (Halliday *et al.*, 2008; Forghani & Snieder, 2010). La contribución oscilatoria a la integral de la fase estacionaria es dominante, eliminando eficazmente la iluminación incompleta artefactos de integración y generación de CGF con fase imparcial y lentitud grupal. Teniendo un amplio ancho de banda de frecuencia de ondas superficiales y proporciona una buena señal-ruido para direcciones de propagación directa e inversa (Bodet *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2007).

3.6. Vs30

Rojas, *et al.*, (2010), mencionan que para clasificar el tipo de suelo se utilizan las ondas S con el parámetro Vs30 que no es más que la velocidad promedio que se tiene desde la superficie hasta una profundidad de 30 m.

El parámetro de Vs30, corresponde al promedio de las velocidades de ondas de cizalla (Vs) en el subsuelo ubicado desde la superficie hasta 30 metros debajo de ella (Martin *et al.*, 2004). El hecho de definir el promedio de velocidades a los 30 metros de profundidad como un criterio para la clasificación de suelos, obedece a que el suelo dentro de esta profundidad es el que afecta en mayor medida el comportamiento de las estructuras que se edifican sobre él (Schmidt, 2012).

Según Schmidt (2012), menciona que el principal éxito de esta técnica, se justifica en que su aplicación práctica es relativamente sencilla, sobre todo porque utiliza fuentes pasivas que son las vibraciones ambientales, por lo que no es invasiva ni destructiva, además que con su aplicación es posible identificar algunas características de las capas sedimentarias a un costo bastante inferior respecto a otros métodos geofísicos invasivos como VSP, Downhole, etc.

El método supone primeramente que las vibraciones ambientales están compuestas en forma mayoritaria de ondas superficiales y que la estructura del

subsuelo está formada por estratos horizontales. En medios unidimensionales y heterogéneos, las ondas superficiales son dispersivas y muestran variaciones de velocidad aparente según la frecuencia (Wathelet, 2007). Para obtener el parámetro V_{s30} , deben seguirse cuatro pasos principales, según procedimientos sugeridos por el grupo SESAME (SESAME Group, 2005):

- ❖ La toma de datos en el sitio con el uso de los arreglos de sensores.
- ❖ La extracción y procesamiento de los datos.
- ❖ La obtención de la curva de dispersión del sitio (variación de la velocidad de las ondas superficiales en función de la frecuencia) por medio de las técnicas FK o SPAC.
- ❖ La inversión de la curva anterior, lo que permite obtener los perfiles de velocidad de onda cortante en función de la profundidad. A partir de este perfil es que se calcula V_{s30} .

3.7. Clasificación del suelo mediante el V_{s30}

El procedimiento a seguir según COVENIN (1756-1:2018) 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 Vs30 (COVENIN 1756-1, 2019).

Clase	Descripción	Vs30 (m/s)
A	Roca cristalina sana muy dura, sin fracturamiento ni motorización notable.	>1500
AB*	Propiedades intermedias entre las clases A y B.	1300 a 1500
B	Roca dura o formación similar (e.g. conglomerados), con eventual fracturación y un máximo de 5 metros de espesor de meteorización con $V_s \geq 350$ m/s.	850 a 1300
BC*	Propiedades intermedias entre las clases B y C.	650 a 850
C	<ol style="list-style-type: none"> 1) Roca dura con espesor meteorizado superior a 5 metros. 2) Roca blanda (e.g. margas). 3) Arenas o gravas muy densas. 4) Arcillas muy duras. 	400 a 650
CD*	Propiedades intermedias entre las clases C y D	300 a 400
D	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arenas o gravas densas a medio – densas. 2) Arcillas duras. 3) Arcillas firmes de menos de 30 metros de espesor. 	200 a 300
DE*	Propiedades intermedias entre las clases D y E	170 a 200
E	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arenas sueltas o arenas limosas, con suficiente proporción de finos, no susceptibles de licuación. 2) Arcillas blandas, plásticas ($IP > 20$) u orgánicas, no incluidas en la clase F. 	120 a 170
F	Arenas o arenas limosas susceptibles de licuación, arcillas	$V_{s30} < 120$

Clase	Descripción	Vs30 (m/s)
	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	

3.8. Ensayo de penetración estándar (SPT)

El SPT es una prueba que ha sido utilizada para determinar las características *in situ* del suelo, debido a que es una prueba sencilla, económica y posee un procedimiento confiable (Mussio, 2012).

Consiste en la introducción en el fondo de un sondeo geotécnico de una toma muestras normalizado unido a un tren de varillas, mediante el golpe en la cabeza de ellas con una maza de 63,5 kg de masa, cayendo desde una altura de 76 cm. El golpeo se contabiliza en tres o cuatro tramos de 15 cm de avance cada uno, denominándose valor N a la suma de los valores segundo y tercero. Este ensayo es uno de los más antiguos en geotecnia, y su uso universal y durante décadas, en todo tipo de terrenos, ha permitido establecer numerosas correlaciones con otros parámetros geotécnicos, así como la difusión de fórmulas empíricas para cálculos directos de capacidad portante y asentamientos, entre otros. (Fernández, 2015).

Fernández (2015), en su trabajo menciona que los elementos y las características relevantes del método propuesto por la ASTM son las siguientes:

- ❖ Masa de 63,5 kg.
- ❖ Altura de caída: 76 cm
- ❖ Saca muestras: de diámetro externo = (50 mm ó 2 pulgadas). Figura 3
- ❖ Saca muestras: de diámetro interno = (35 mm ó 1 3/8 pulgadas).

- ❖ Variante con diámetro interno 38 mm y tubo portamuestras (diámetro interno final 35 mm)
- ❖ Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
- ❖ Barras de sondeo.

3.9. Amenaza sísmica

La amenaza sísmica, consiste en la caracterización probabilística de la ocurrencia de eventos sísmicos que afectan a comunidades y estructuras, en un periodo y sitio específico; la forma de expresarla a través de espectros de aceleraciones horizontales para un amortiguamiento fijo de 5% y para un periodo de retorno de 475 años y una probabilidad de excedencia de 10%, en concordancia con la norma de edificaciones sismorresistentes (COVENIN 1759-1, 2001).

Según COVENIN 1756-1 (2019), el procedimiento de cálculo es el siguiente:

- a) Seleccionar los parámetros que caracterizan la amenaza sísmica incluyendo el factor de importancia.
- b) Seleccionar los parámetros del perfil geotécnico.
- c) Determinar el espectro de respuesta elástica.

Así mismo determinar los coeficientes adimensionales A_0 y A_1 de la aceleración del terreno y de la pseudo-aceleración espectral para el periodo de 1 s, respectivamente, para la componente sísmica horizontal (COVENIN 1756-1, 2019).

3.10. Vulnerabilidad sísmica

Grado de pérdida o deterioro de un elemento o estructura, como resultado de la ocurrencia de un sismo. Se suele representar como una probabilidad condicional (COVENIN 1756-1, 2019).

3.11. Riesgo sísmico

Consecuencias de la ocurrencia de los sismos. Se representa por el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad. Se suele describir en términos de la probabilidad de ocurrencia de los efectos de los sismos (COVENIN 1756-1, 2019).

3.12. Mapa Vs30 por topografía

Según Wald & Allen (2007), mencionan que obtener mapas a escala regional pueden ser raros y difíciles, debido a que se requiere de interpretación geológica, datos sísmicos y geotécnicos, y por lo general no todas las regiones que presentan una actividad sísmica activa posee este tipo de información. Por otro lado, los datos de elevación topográfica están disponibles en un muestreo uniforme para casi todo el espacio terrestre. Intuitivamente, las variaciones topográficas deberían ser un indicador de geomorfología y litología cercana a la superficie de primer orden, con montañas empinadas que indican roca, cuencas casi planas que indican suelo y una transición entre los miembros finales en pendientes intermedias. La pendiente de la topografía, puede usarse para proporcionar una evaluación de primer orden de las características en el área de estudio, debido a que es particularmente importante en regiones que no poseen mapas de geología superficial de alta calidad, o para áreas donde los mapas geológicos no se han correlacionado lo suficiente con las mediciones de Vs30 (Wald & Allen, 2007).

Wald & Allen (2007), mencionan que según su estudio la pendiente de la topografía, o gradiente, debe ser un diagnóstico de Vs30, ya que es más probable que los materiales más competentes (alta velocidad) mantengan una pendiente pronunciada, mientras que los sedimentos de la cuenca profunda se depositan principalmente en ambientes con gradientes muy bajos. La motivación para derivar una relación entre la topografía y la condición del sitio proviene de una necesidad práctica de caracterizar la amplificación aproximada del sitio como parte de un esfuerzo para predecir el impacto de un terremoto en las diferentes regiones. La predicción fiable de movimientos del suelo es un objetivo clave para el programa de Evaluación Rápida de Terremotos Globales para Respuesta (PAGER) del Centro Nacional de Información de Terremotos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Wald *et al.*, 2007). Para realizar el mapa de Vs30 por topografía se utiliza la siguiente ecuación de Allen & Wald (2009).

$$V_{s30} = \frac{2046p^3 + 1612p^2 + 377.4p + 1259}{p + 0.007324} (m/s) \text{ (ecuación 1)}$$

3.13. Microzonificación sísmica

Según Martínez (2006), la microzonificación sísmica comprende un conjunto de estudios que permiten estimar las aceleraciones máximas probables ocasionadas por un sismo en la superficie del terreno, considerando condiciones particulares de la geología y geomorfología de este sitio. Estas aceleraciones del movimiento del terreno, que también puede ser cuantificadas como una fracción de la aceleración de la gravedad, constituyen parámetros indispensables para el diseño de estructuras sismorresistentes y normalmente son expresadas mediante mapas que muestran zonas de igual aceleración isoaceleraciones máximas probables. Este estudio tiene como objetivo evaluar los posibles efectos como resultado de un terremoto, en donde se evalúa el comportamiento esperado de los suelos durante un terremoto, todo esto con

el fin de prevenir y reducir el riesgo sísmico particularmente en el proceso de la planificación (Di Stefano *et al.*, 2013).

Según COVENIN 1756-1 (2019), la microzonificación es la identificación detallada, en una ciudad o un desarrollo regional, de las zonas de suelos con comportamiento vibratorio y efectos secundarios (deslizamientos, licuación del suelo u otros) similares durante un sismo. Permite definir parámetros precisos para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes y la mitigación del riesgo sísmico existente. El estudio asociado integra la evaluación de la amenaza sísmica, las características topográficas y el análisis de información geofísica, geológica y geotécnica del subsuelo (COVENIN 1756-1, 2019).

3.14. Efectos geotécnicos

COVENIN 1756-1 (2019), menciona que si para el sitio existe una microzonificación sísmica debidamente avalada, se deberá cumplir con lo siguiente:

- a) La profundidad H que se utilizará será la establecida en la microzonificación sísmica.
- b) Se obtendrá el valor local de V_{s30} en el sitio, y se comparará con el rango indicado para la microzona prescrita en la microzonificación sísmica para la ubicación dada.
- c) En caso de que el valor local obtenido de V_{s30} quede fuera del rango previsto en la microzona prescrita, para el diseño se tomarán como mínimo las acciones más desfavorables entre las derivadas del espectro de dicha microzona y las correspondientes al espectro de las microzonas de igual H con el valor local obtenido de V_{s30} .

- d) El espectro elástico obtenido no será menor para ningún periodo estructural que el 85%, con la profundidad H dada en la microzonificación sísmica y el Vs30 local obtenido.
- e) Deben tomarse en cuenta los lineamientos sobre deslizamientos de laderas eventualmente incluidos en la microzonificación sísmica.
- f) Deben tomarse en cuenta los lineamientos sobre potencial de licuación eventualmente incluidos en la microzonificación sísmica.
- g) Deben tomarse en cuenta los lineamientos sobre cercanía de fallas eventualmente incluidos en la microzonificación sísmica.

3.15. Cálculo para estimar el espesor.

Según Hernández (2021), el cálculo de espesor la fórmula $H = \frac{V_s \cdot T}{4}$, es inexacto para un perfil estratificado no-uniforme, donde H es su espesor total, T el periodo fundamental del perfil y Vs el promedio armónico de la velocidad de ondas de corte en el perfil. En consecuencia, se propone utilizar una aproximación del valor exacto basado en la estadística del periodo de los perfiles con datos geofísicos, basada en el método simplificado de Rayleigh (Dobry *et al.*, 1976). Según la fórmula del periodo inversa $T = \frac{4H}{V_s}$, esta tiende a subestimar el periodo en 20% en promedio, lo que conduce a un mejor estimado promedio como $H \approx \frac{V_s \cdot T}{3.3}$. Hernández (2021), propone utilizar como fórmula aproximada la siguiente:

$$H \approx \frac{V_s \cdot T}{K} \text{ (ecuación 2)}$$

Donde K = 3.3 a 3.5.

3.16. Licuación

Sladen *et al.* (1985), en su estudio mencionan que la licuación es un fenómeno, en el cual una masa de suelo pierde un gran porcentaje de su resistencia al corte, cuando se somete a carga monótona, cíclica o impacto y la manera en que fluye es semejante a un líquido e incluso los esfuerzo de corte que actúan en área son bajos como la resistencia al corte reducida de la misma. Según Henríquez, (2007), cuando se le aplica un carga cíclica a una muestra de arena da como resultado el cambio progresivo de su volumen, y estas se comportan como dilatantes bajo carga unidireccional o monotónica. Además, la amplitud de la deformación, la compacidad relativa y el número de ciclos de carga son los principales factores que gobiernan la densificación de suelos granulares secos o saturados bajo condiciones drenadas.

Youd *et al.* (2001), mencionan que la licuación en un área depende de la magnitud del sismo, intensidad y duración del movimiento, además de la distancia de la fuente del sismo, las condiciones específicas del sitio, la aceleración del suelo, el tipo de suelo y el grosor del depósito.

Para el cálculo del potencial de licuación se utiliza por lo general la metodología de Seed *et al.* (1985), que se define de la siguiente manera:

$$MS = CRR - CSR$$

CRR: relación de resistencia cíclica que presenta el suelo.

CSR: relación de esfuerzos cíclicos impuestos por un sismo.

Esta evaluación tiene como objetivo analizar las relaciones de esfuerzo cíclicos que resisten los suelos y se comparan con la relación de esfuerzos cíclicos que generan los sismos. La relación CSR se define como el esfuerzo máximo generado por el sismo entre el esfuerzo efectivo vertical de una columna de suelo.

$$CSR = \frac{\tau}{\sigma_v} = 0.65 = \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} \frac{r_d}{MFS}$$

σ_v = esfuerzo vertical total del suelo.

σ'_v = esfuerzo vertical efectivo del suelo.

a_{max} = aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno generada por un sismo.

g = es la aceleración de la gravedad

$r_d = 1 - 0.01z$ (factor de corrección de profundidad, el cual decrece de 1 hasta 0.9 para 10 m de profundidad (Seed *et al.*, 1971), donde z es la profundidad de análisis en metros.

El factor de escala MFS se calcula en función del sismo M según Youd *et al.* (2001). Este factor se calcula de la siguiente manera:

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

La relación CRR se puede calcular mediante los números de golpes N del SPT, sin embargo para N menores a 30 golpes/pie, se calcula de la siguiente manera:

$$CRR = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

N_{160cs} = es un factor de corrección por contenido de finos.

Este factor viene dado por:

$$(N_1)_{60cs} = e^{\left(1.76 - \frac{190}{FC^2}\right)} + \left(0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000}\right) (N_1)_{60}$$

A continuación algunos factores importantes para la determinación de suelos potencialmente licuables:

3.16.1. Magnitud y duración del movimiento sísmico

Según Pardon & Porcelet (1994), mencionan que la intensidad del sismo a pesar de su duración puede dar origen a una condición denominada no drenada, que consiste en la disipación de la presión de poros que se verá restringida, por otro lado se evidenciará el aumento de la presión produciendo en algún momento condiciones de esfuerzos, y como consecuencia será un área licuable. También mencionan que la licuación puede ser el resultado de ciertas condiciones a las cuales están sometidos los suelos, como lo son las tensiones debido a terremotos, y esta licuación puede presentarse cerca del epicentro durante pequeños o moderados terremotos, o a cierta distancia.

3.16.2. Densidad relativa (C_r) – relación de vacíos (e)

La licuación puede ocurrir en suelos sueltos, saturados y no cohesivos y puede variar su volumen cuando están sometida a una carga cíclica, como consecuencia se presenta un incremento de la presión intersticial si los poros intergranulares se llenan de agua y el suelo puede llegar a perder su resistencia y se licua (Pardon & Porcelet, 1994). En el estudio de los sismos se ha determinado que la licuación de los suelos está relacionado a una densidad relativa en el orden de los 50 o menos, por otro lado, las arenas con una densidad relativa superior al 70 no se produjo este fenómeno (Henríquez, 2007).

3.16.3. Peso del recubrimiento y profundidad del suelo

La licuación suele ocurrir en profundidades menores a 9 metros y esto se debe a que las tensiones entre las partículas aumentan a medida que se incrementa la presión de recubrimiento (Pardon & Porcelet, 1994).

3.16.4. Origen del suelo

Los suelos más propensos a sufrir licuación son aquellos que fueron depositados en un ambiente fluvial y sus granos poseen poca probabilidad de compactarse, de igual manera los rellenos artificiales no compactados, pueden tener deficiencias similares por debajo del nivel de agua (Pardon & Porcelet, 1994).

3.16.5. Tipos de suelo

Los suelos que pueden sufrir licuación son aquellos que poseen una granulometría uniforme, por lo general, las arenas finas uniformes son las más propensas a la licuación (Pardon & Porcelet, 1994). Los sedimentos finos hacen más difícil la liberación de las partículas de arena para moverse unas con respecto a otras, buscando un arreglo más denso en consecuencia el contenido de sedimentos finos es un elemento importante en la ocurrencia o no de la licuación y este ha sido tomado en cuenta en los método de predicción “In Situ” (National Research Council, 1985).

3.16.6. Presencia de agua

Según (Pardon & Porcelet, 1994), mencionan que la presión producida del agua en los poros en el nivel freático, puede incrementar el efecto de la vibración producida por un sismo, como consecuencia puede ser potencialmente licuable. Es por ello que la ubicación del nivel freático es importante porque influirá en el esfuerzo efectivo.

3.16.7. Edad del depósito

Los suelos que por lo general suelen ser más propensos son los jóvenes, debido a que son suelos débiles y no cohesivos (Pardon & Porcelet, 1994).

3.17. Evaluación de riesgo de licuación

3.17.1. Método para evaluar la susceptibilidad

Según Henríquez (2007), los métodos de licuación pueden dividirse en tres grupos que son los siguientes:

- a) Métodos que se basan en el comportamiento observado en terremotos anteriores. Kramer (1996), menciona que se basa en las correlaciones empíricas de algunas características de los suelos, obtenidas mediante pruebas de campo. Pombo (2018), menciona que la resistencia a la licuación y ciertas propiedades determinadas mediante ensayos in situ, varían de acuerdo a las características principales de los suelos.
- b) Métodos que están basados en la comparación de la resistencia obtenida en ensayos cíclicos de laboratorio con los esfuerzos que provocará el sismo, calculado en forma simplificada. Dentro de estos métodos se encuentra el método que está basado en el estudio de los registros de Ensayo de Penetración Estándar (SPT) (Pombo, 2018).
- c) Métodos basados en modelos matemáticos que comprenden a un número creciente de modelos acoplados o desacoplados, para el análisis de la respuesta dinámica y la generación de la presión de poro, de suelos granulares sujetos a fuerzas sísmicas.

3.17.2. Criterios de susceptibilidad

Kramer & Stewart (2004), menciona que existen cuatro criterios para evaluar la susceptibilidad que son los siguientes:

- a) Criterios históricos: la licuación puede ocurrir en una misma área si esta mantiene todas sus condiciones constantes.
- b) Criterios geológicos: por lo general la licuación siempre se caracteriza por estar un ambiente fluvial y eólico esto se debe a que sus sedimentos no están compactados y se encuentran saturados. Sin embargo, también se puede observar en ambientes transicionales como abanicos aluviales, playas y estuarios.
- c) Criterios basados en la composición del suelo: las arenas uniformemente gradadas y limpias, compuestas principalmente de partículas redondeadas son intrínsecamente más susceptibles. La presencia de finos, particularmente finos plásticos ($IP > 10$), tiende a disminuir la susceptibilidad de licuación.
- d) Criterios basados en el estado del suelo: el estado del suelo como las tensiones efectivas a las que está sometido y su densidad in situ influyen en el potencial de licuación.

3.17.3. Suelos no cohesivos

Pombo (2018), menciona que la licuación está asociada a suelos no cohesivos o granulares y ocurre más comúnmente en suelos sueltos, saturados, granular, uniformemente gradados y con bajo contenido de

finos; sin embargo, a pesar de que la arenas son especialmente susceptibles también puede estar presente este fenómeno en algunos limos y gravas.

3.17.4. Suelos con presencia de finos

Kramer & Stewart (2004), mencionan que los suelos con presencia de finos también pueden tener un comportamiento similar a la licuación de arenas, cuando son sometidos a cargas sísmicas, el cual puede producir fallas que tienen la mayoría de las características de las fallas por licuación. Estos son algunos de los criterios de susceptibilidad presentados en finos

2. Fracción de arcilla (finos menores de 0,005 mm) $\leq 15\%$
3. Límite líquido, LL $\leq 35\%$
4. Contenido de humedad natural, $w \geq 0,9 LL$
5. Índice de liquidez, LI $\leq 0,75$

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Recopilación de datos

Inicialmente, se recabó toda la información geológica, geotécnica y geofísica disponible de la zona de estudio (figura 4), con la finalidad de hacer un control de calidad y posteriormente, esta información fue incluida en una base de datos (tabla A.5.1, apéndices)



Figura 4. Esquema de trabajo para la creación de una base de datos.

Los datos geofísicos recopilados fueron los obtenidos por Mijares (2019), a través del método IMASW a partir de 64 mediciones de ruido ambiental.

La información geotécnica recopilada fueron los datos de pozos de Ghio & Valladares (2008) con 90 perforaciones, Loaiza & Márquez (2008) con 223 perforaciones y Márquez & Morales (2009) con 276 perforaciones, que fueron utilizadas para realizar el mapa de Vs30 en la región de Valencia a través de la conversión NEHRP.

Los datos geológicos recopilados fueron los datos de espesor sedimentario obtenidos por Goitia (2012) y Romero (2017), a través de información gravimétrica y Schmitz *et al.*, (2015) obtenidos a partir del ruido ambiental.

4.2. Base de datos geoespacial

Para realizar la base de datos geoespacial e integrar toda la información recopilada (figura 4.1), se utilizó un sistema de información geográfica (SIG), a través del programa *ArcMap* versión 10.4.1.

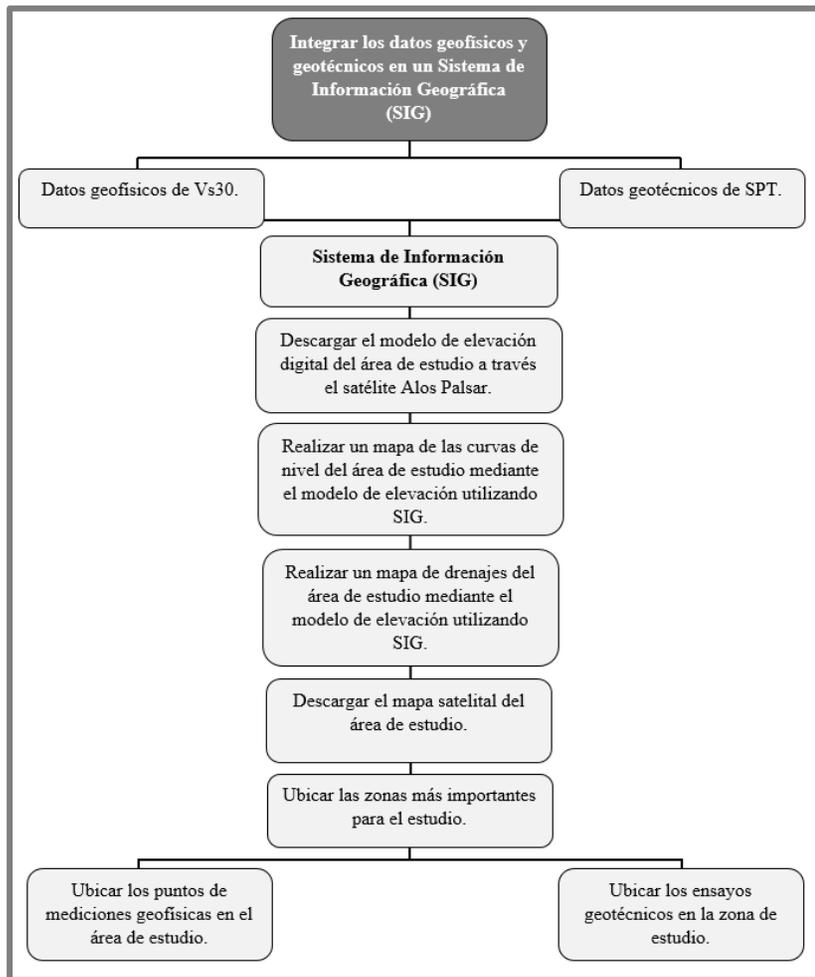


Figura 4.1. Esquema de trabajo para la integración de los datos existentes.

4.2.1. Modelo de elevación digital

Antes de descargar modelo de elevación digital (DEM), se determinó el área de estudio dentro de la ciudad de Valencia, a través de *Google Earth Pro*, donde se determinó que el área de estudio está compuesto por los municipio Libertador, Los Guayos, Naguanagua, San Diego, Valencia, Diego Ibarra, San Joaquín, Guacara y Carlos Arvelo. Luego de determinar el área de estudio se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Escribir en el buscador *ALOS PALSAR* y seleccionar la primera opción que aparece en el buscar de *Alaska Satellite Facility*.
- 2) Registrarse en la página e ir a *Vertex*
- 3) Ubicar el área de estudio en el mapa que se muestra en la página. Valencia se encuentra ubicado en las coordenadas UTM-19N: 1114000 N y 114100 N y 605000 E y 645000 E (figura 4.2)

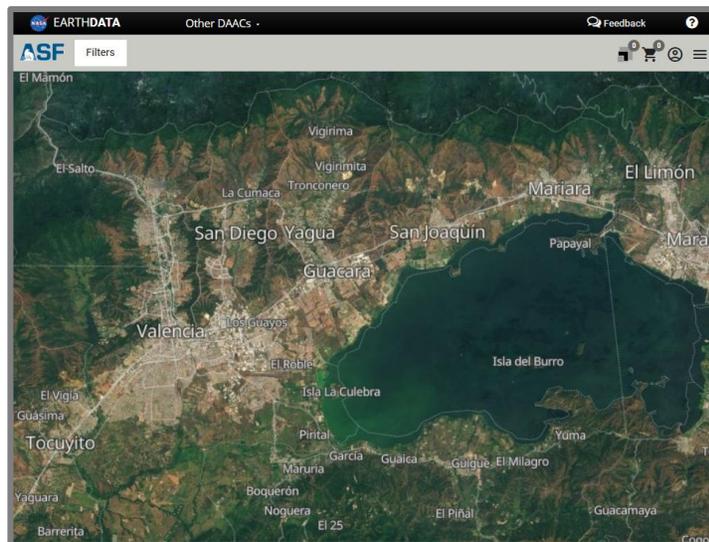


Figura 4.2. Seleccionar el área de estudio, satélite ALOS PALSAR. Obtenido a través de la página <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>

- 4) Seleccionar en plataforma *ALOS PALSAR*.
- 5) Seleccionar en *Find: FBD*.
- 6) Seleccionar los modelos de elevación que cubran la zona de estudio.
- 7) Seleccionar *Hi- Res terrain Corrected (377.45 MB)* (figura 4.3).
- 8) Descargar.

Figura 4.3. Selección del modelo de elevación digital.

4.2.2. Generación de un mapa en *ArcMap* versión 10.4.1

Para generar un mapa en *ArcMap* en la versión 10.4.1 se debe seguir los siguientes pasos:

- 1) Abrir *ArcMap*
- 2) Nuevo documento.
- 3) Clic derecho en *layers* (figura 4.4).

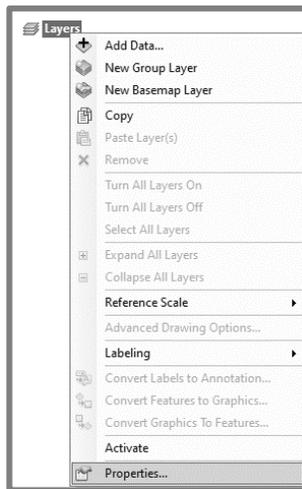


Figura 4.4. Opción para añadir nueva data.

- 4) Seleccionar propiedades e ir a la opción de sistema de coordenadas
- 5) Escoger el sistema de coordenadas apropiado para la zona de estudio, en la región de Valencia es WGS 1984 UTM Zone 19N (figura 4.5).

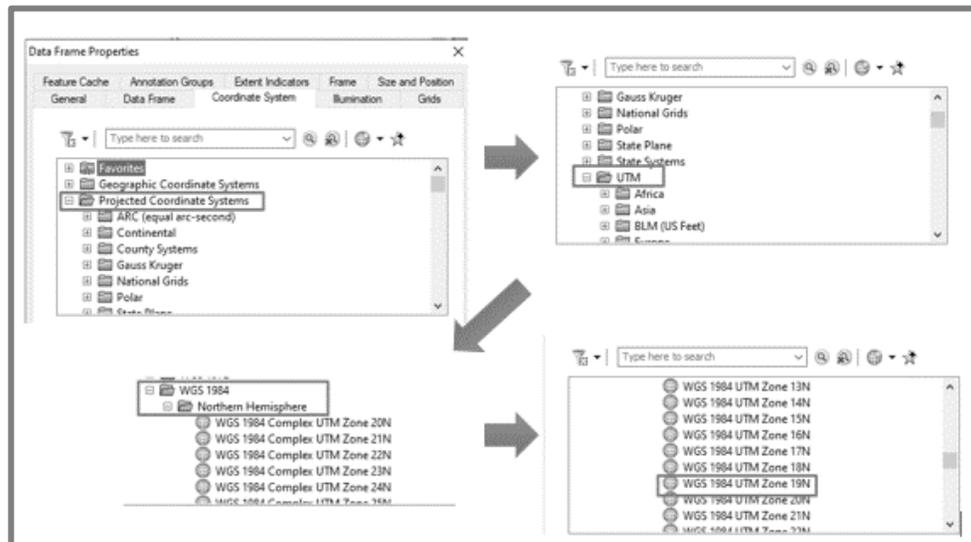


Figura 4.5. Selección del sistema de coordenadas.

- 6) Añadir data e insertar los DEM descargados en *ArcMap* versión 10.4.1, para la región de Valencia se descargaron 4 DEM (figura 4.6).

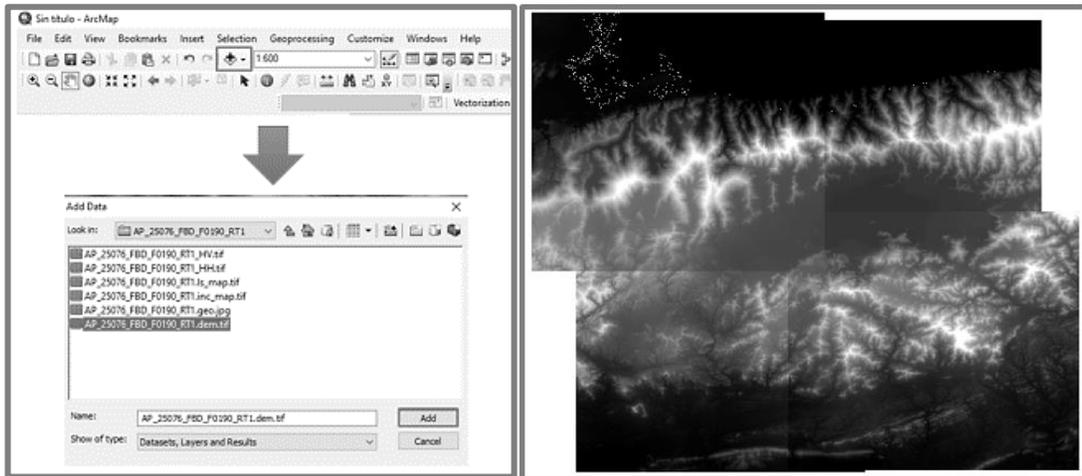


Figura 4.6. Selección del *DEM* satélite *ALOS PALSAR*.

4.2.3. Mosaico

Para unir las cuatros *DEM* (figura 4.7), obtenidos para la ciudad de Valencia se debe realizar los siguientes pasos:

- 1) Georreferenciar la imágenes.
- 2) Ir a *ArcToolbox*.
- 3) Seleccionar *Data Management tools*.
- 4) Ir a *Raster*.
- 5) Seleccionar *Raster Dataset*.
- 6) *Seleccionar Mosaic to New Raster*.
- 7) Seleccionar los dos *DEM*.
- 8) Añadir la ruta donde se encuentran los *Raster*.
- 9) Identificar el mosaico con un nombre.img.
- 10) Añadir el sistema de coordenadas.
- 11) Indicar el número de banda.

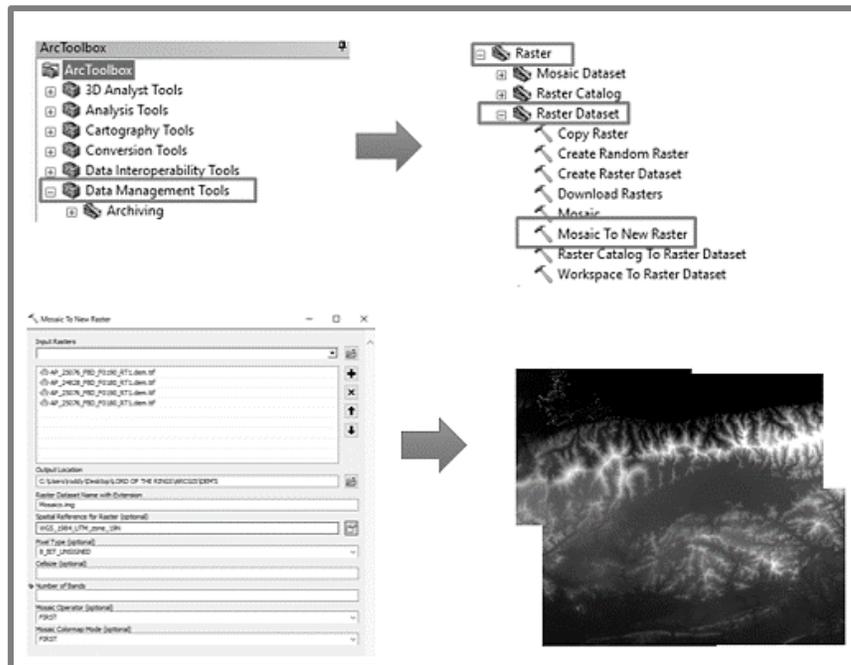


Figura 4.7. Creación de un único *Raster*.

4.2.4. Curvas de nivel

Para generar las curvas de nivel (figura 4.8), del área de estudio se debe realizar lo siguiente:

- 1) Abrir *ArcToolbox*.
- 2) Seleccionar *Spatial Analyst tools*.
- 3) Ir a *Surface*.
- 4) Seleccionar *Contour*.
- 5) Agregar el *Raster*.
- 6) Agregar la ruta donde se guardará la curva.
- 7) Indicar el intervalo entre una curva y otra.
- 8) Seleccionar Ok.

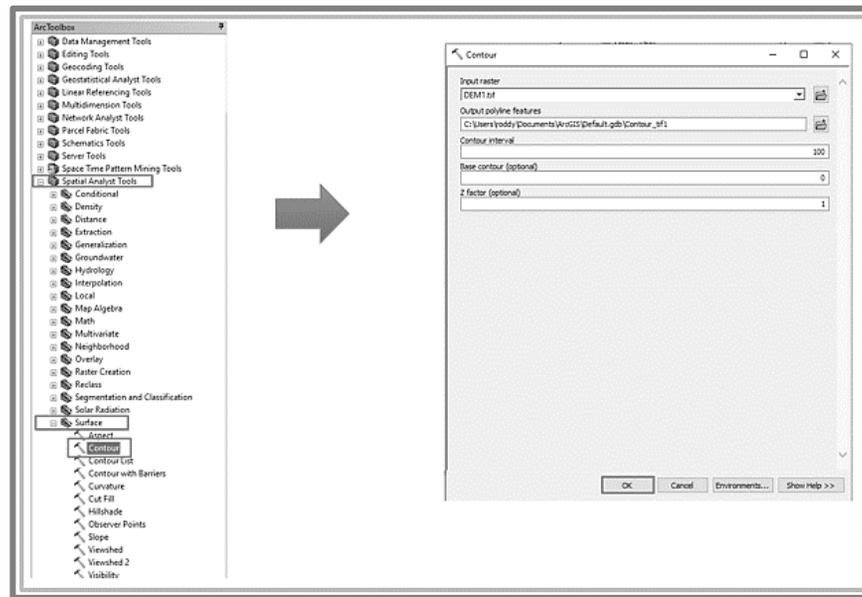


Figura 4.8. Generación del contorno.

4.2.5. Sombra y relieve

Para crear el mapa de sombra en la región de Valencia (figura 4.9) se debe realizar los siguientes pasos:

- 1) Añadir el *Raster* con el modelo de elevación digital.
- 2) Ir a *ArcToolbox*.
- 3) Seleccionar *Surface*.
- 4) Seleccionar *Hillshade*.
- 5) Añadir el *Raster* en el *Input Raster*.
- 6) Renombrar y anexar la ruta de guardado.
- 7) Ok.

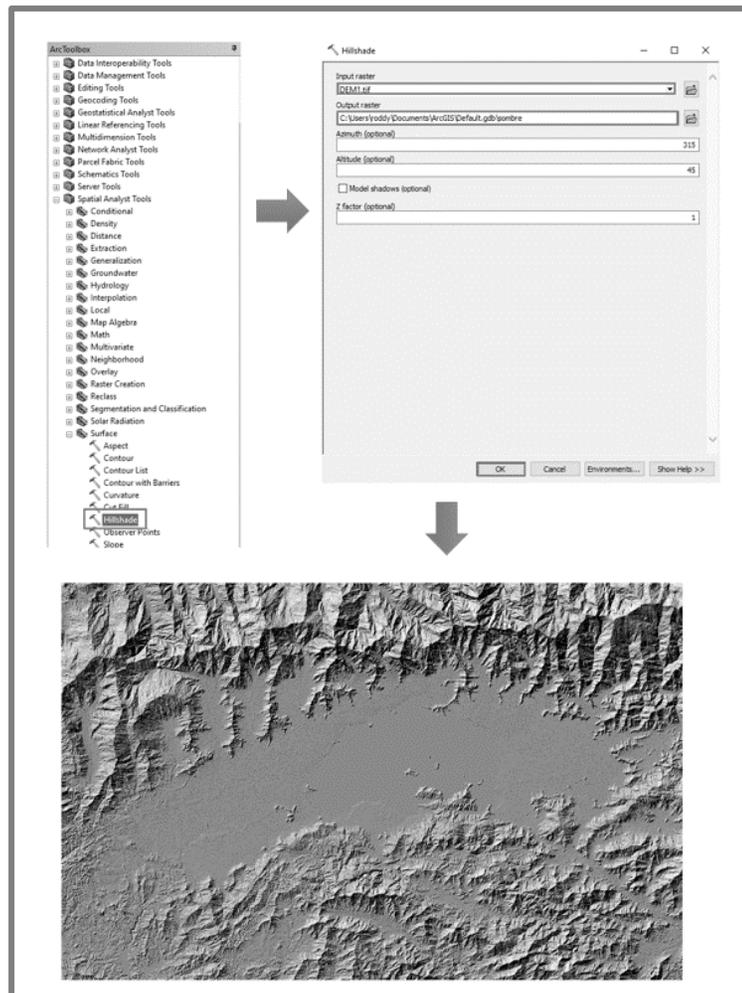


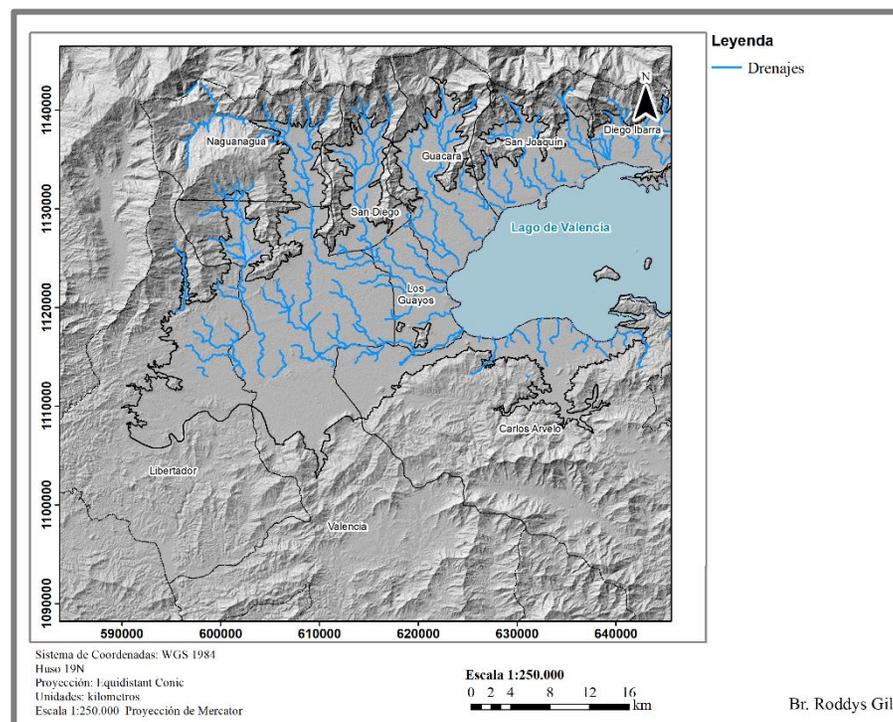
Figura 4.9. Creación de la sombra del relieve.

4.2.6. Red de drenajes

Para generar la red de drenajes en la región de Valencia en *ArcMap* (figura 4.10) se debe hacer lo siguiente:

- 1) Abrir *ArcToolbox*.
- 2) Para rellenar el *Raster* seleccionar *Spatial Analyst tools*.
- 3) Seleccionar *Hydrology*.
- 4) Seleccionar *Fill* y añadir el *Raster*.

- 5) Volver a *Hydrology*.
- 6) Seleccionar *Flow Direction*.
- 7) Volver a *Hydrology*.
- 8) Seleccionar *Flow Accumulation*.
- 9) Ir a *Spatial Analyst Tools*.
- 10) Seleccionar *Map Algebra*.
- 11) Ir a *Raster Calculator*.
- 12) Colocar acumulación mayor a 12345.
- 13) Ok.
- 14) Volver a *Hydrology*.
- 15) Seleccionar *Stream Order*.
- 16) Ok.



4.2.7. Imagen satelital

Para descargar la imagen satelital (figura 4.11), en google Earth Pro se deben seguir los siguientes pasos:

- 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.

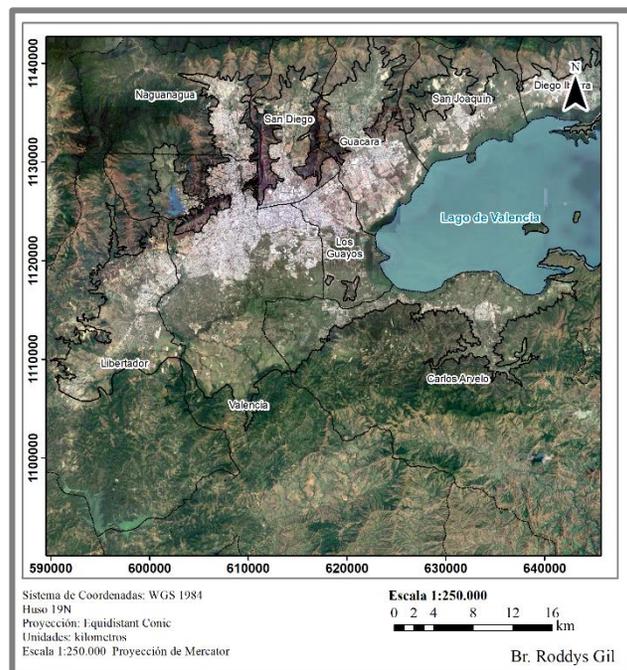


Figura 4.11. Imagen satelital.

4.2.8. Georreferenciar imágenes

Para el estudio de microzonificación sísmica, debido a la falta de información se tomaron en consideración los mapas obtenidos en los diferentes trabajos y se digitalizaron para luego extraer los valores obtenidos mediante la interpolación que realizó el autor, los mapas digitalizados fueron el de Pombo (2018), Ghio & Valladares (2008), Loaiza & Márquez (2008). Para realizar la georreferenciación de los mapas (figura 4.12) se debe seguir los siguientes pasos:

- 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) Añadir data y seleccionar el documento en *Microsoft Excel*
- 5) Clic derecho a la hoja de cálculo en *ArcMap* versión 10.4.1 y seleccione *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 Points*
- 13) En sentido de las agujas del reloj seleccionar el primer punto y seleccionar en la imagen donde corresponde, y así sucesivamente.

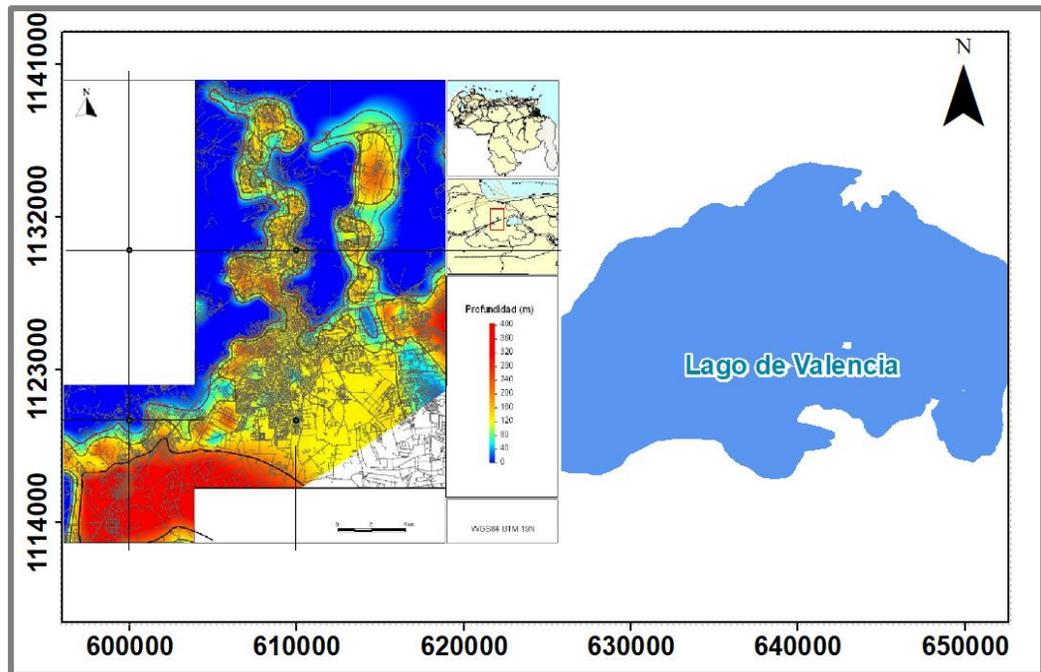


Figura 4.12. Georreferenciación de una imagen.

4.2.9. Digitalizar imágenes

Para digitalizar imágenes en *ArcMap* (figura 4.13) se debe realizar lo siguiente:

- 1) Escoger la imagen que desea digitalizar.
- 2) Subir la foto a Photoshop
- 3) Seleccionar la opción de imagen -> ajustes -> niveles automáticos
- 4) Seleccionar filtro -> bordes añadidos
- 5) Ajustar el borde y dar ok
- 6) Seleccionar la opción imagen -> ajustes -> Umbral

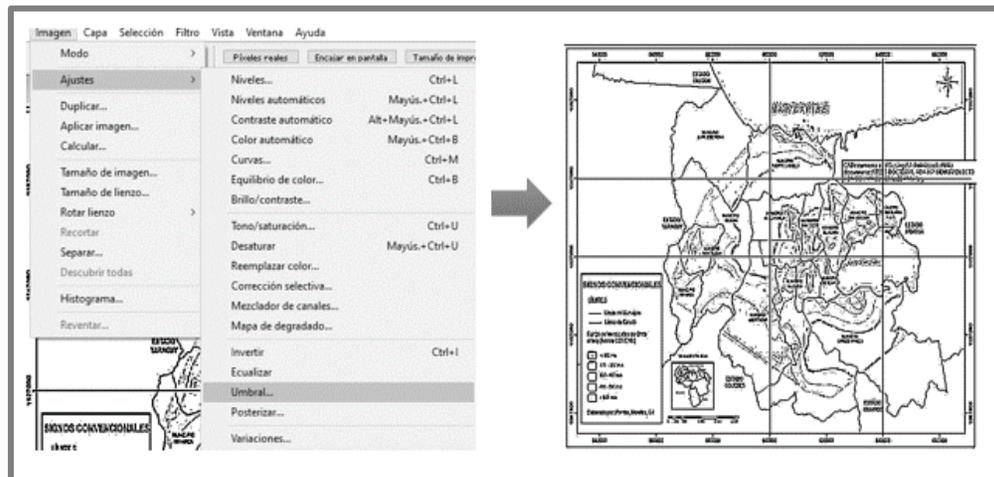


Figura 4.13. Imagen a digitalizar en blanco y negro.

- 7) Guardar imagen como .bmp.
- 8) Abrir ArcMap.
- 9) Añadir las imágenes en ArcMap y georreferenciar.
- 10) Crear *shapefile* de polígono -> añadir sistema de referencia.
- 11) Posteriormente editar el *shapefile* -> clic derecho en el *shapefile* -> Edit features -> *Start editing*.
- 12) Seleccionar la herramienta con Arcscan.
- 13) Seleccionar en *Create features* -> clic polígono (figura 4.14).

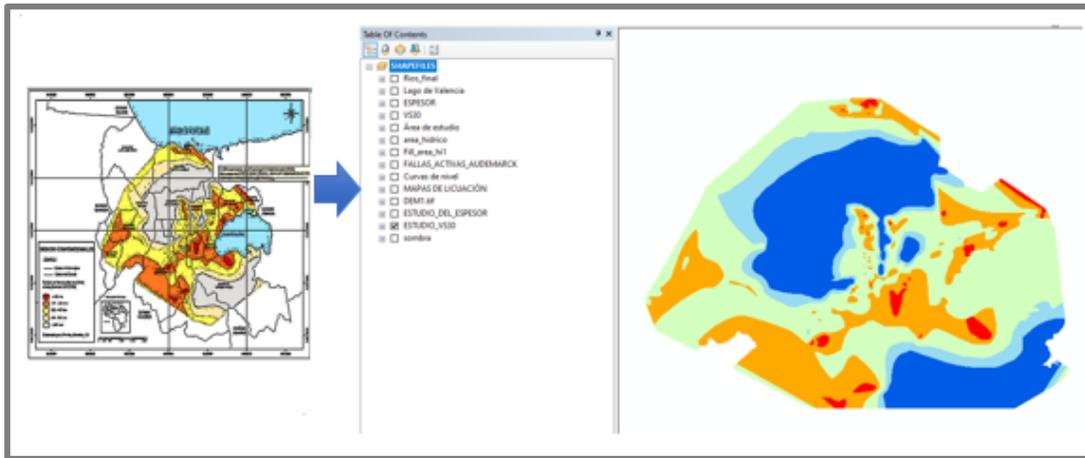


Figura 4.14. Digitalización del mapa de Vs30 (Pombo, 2016), mediante el programa ArcMap versión 10.4.1.

4.3. Mapa de Vs30 por topografía

Al unificar la información en un sistema de información geográfica (figura 4.15), se va a realizar un mapa de Vs30 estimado por la pendiente topográfica mediante la ecuación de Allen & Wald (2009), para ello se debe tener un DEM con un tamaño de celda de 92 y 278. Para realizar el mapa Vs30 por topografía se debe realizar lo siguiente:

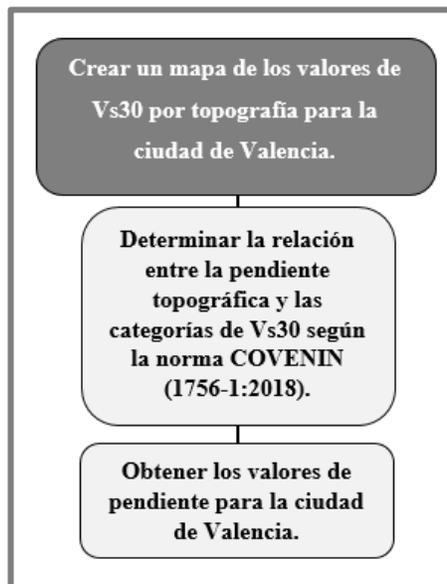


Figura 4.15. Esquema de trabajo para la generación de un mapa de los valores de Vs30.

4.3.1. Modelo de pendiente

El primer paso es crear un modelo de pendiente; para ello, realizamos lo siguiente:

- 1) Ir a *ArcToolbox*.
- 2) Seleccionar *Spatial Analyst tool*.
- 3) Ir a *Surface*.
- 4) Seleccionar *Slope*.

Con el producto generado se vuelve a recalcular para llevarlos a números decimales; para ello, se realiza lo siguiente:

- 1) Ir a *ArcToolbox*.
- 2) Seleccionar *Analyst tool*.
- 3) Ir a *Map Algebra*.
- 4) Seleccionar *Raster Calculator*.
- 5) En la ventana de *Raster Calculator* (figura 4.16) escribir la siguiente ecuación:

$$Vs30 = \text{Con}(\text{"slope}/100" \leq 0.2, ((2046 * (\text{"slope}/100)) ** 3) + (1612 * (\text{"slope}/100)) + 1.259) / ((\text{"slope}/100) + 0.007324))$$
, obtenida mediante la ecuación 1 descrita anteriormente.

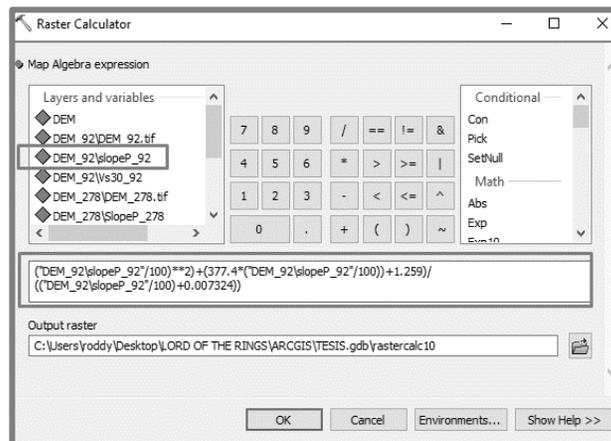


Figura 4.16. Cálculo del Vs30 por topografía.

- 6) Agregar la ruta y Ok.
- 7) El nuevo producto se renombrará como Vs30 (figura 4.17).

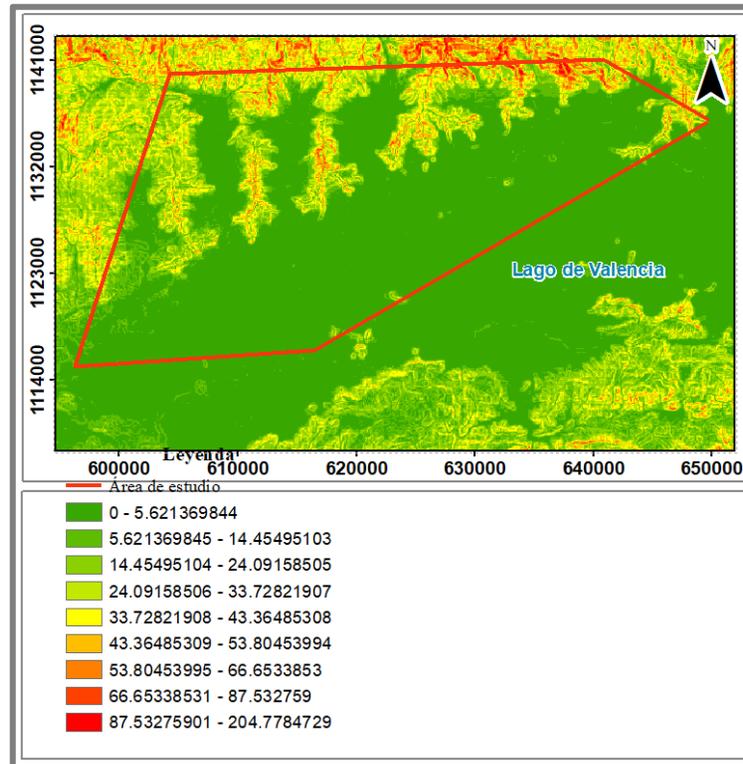


Figura 4.17. Mapa Vs30 por topografía.

- 8) Clasificar el mapa en propiedades.
- 9) Colocar los rangos de velocidades correspondientes a COVENIN 1756-1 (2019), (figura 4.18).

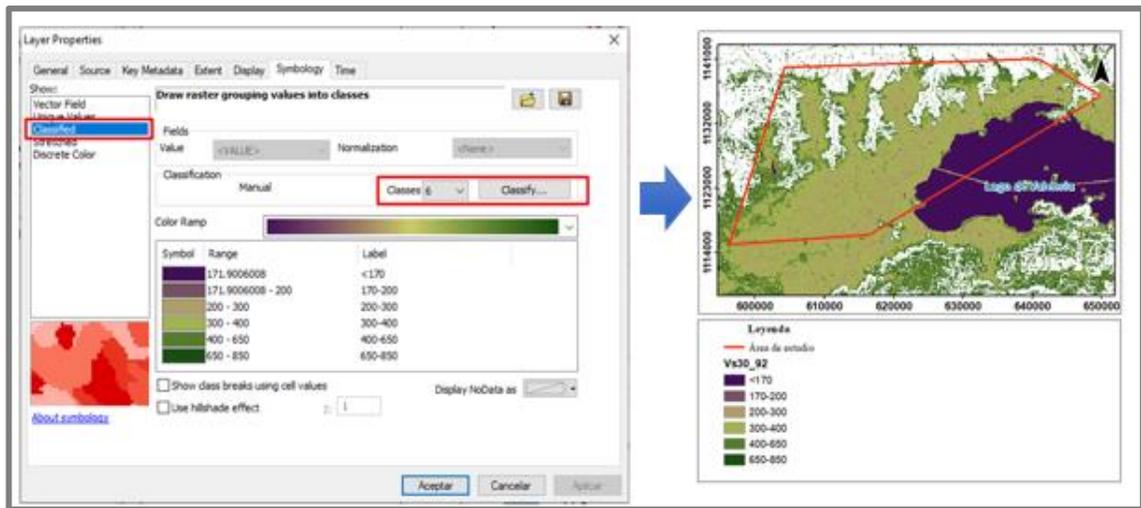


Figura 4.18. Mapa de Vs30 con la clasificación de COVENIN 1756-1 (2019).

4.3.2. Extracción de los valores del mapa Vs30 por topografía

Se extrajo 57759 valores del mapa de Vs30 por topografía (figura 4.19) realizado por topografía en ArcMap se debe realizar lo siguiente:

- 1) Ir a *ArcToolbox*.
- 2) Seleccionar *Conversion Tools -> from Raster -> Raster to Point*.
- 3) En la ventana emergente colocar el *Raster* con el Vs30 por topografía.
- 4) Colocar la ruta de dirección y seleccionar Ok.
- 5) En la tabla de atributos de los puntos del Vs30 por topografía.
- 6) Calcular el valor en UTM de X y Y.

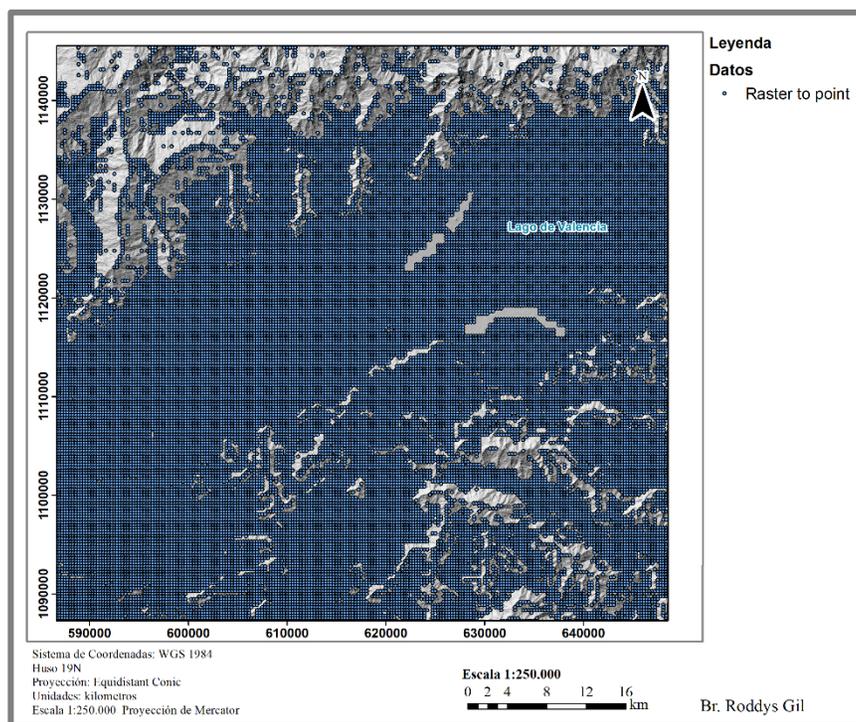


Figura 4.19. Valores extraídos del Vs30 por topografía.

4.4. Identificar las zonas potenciales de licuación

Se muestra el esquema para la identificación de las zonas potenciales de licuación mediante el uso de datos geofísicos y geotécnicos mediante la utilización de parámetros de Vs30 y SPT más relevantes en la región de Valencia (figura 4.20).

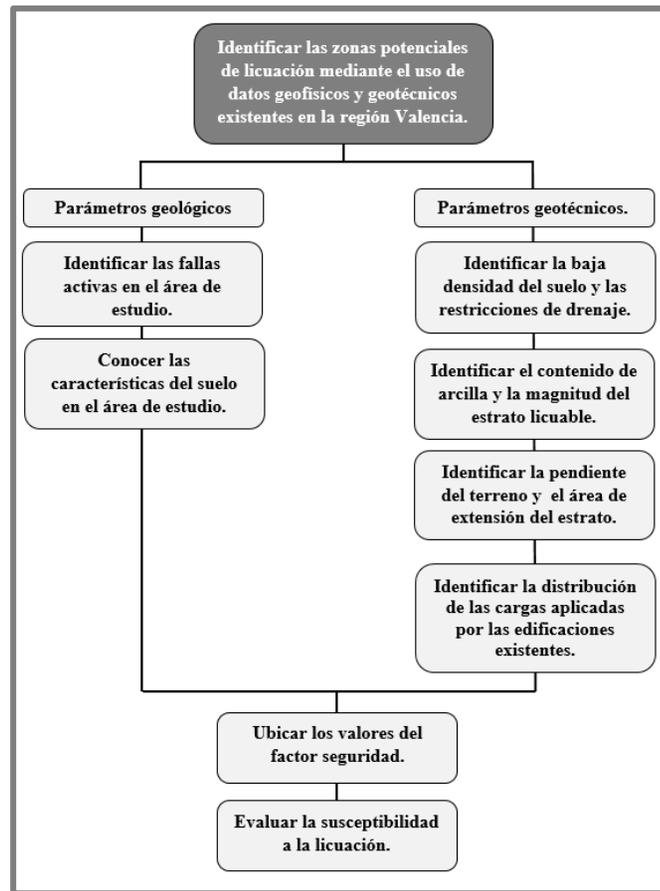


Figura 4.20. Esquema de trabajo para identificar las zonas con potencial de licuación.

4.4.1. Identificar las fallas activas en el área de estudio

- 1) Búsqueda bibliografía de la fallas en la zona de estudio.
- 2) Identificar la magnitud máxima, la velocidad de desplazamiento (mm/años) y el periodo de retorno del sismo en años.
- 3) Identificar la incertidumbre de la falla.
- 4) Digitalizar las fallas.
- 5) Trazar las franjas de 25 m, 100 m, o 500 m de cada lado dependiendo de su incertidumbre (figura 4.21).

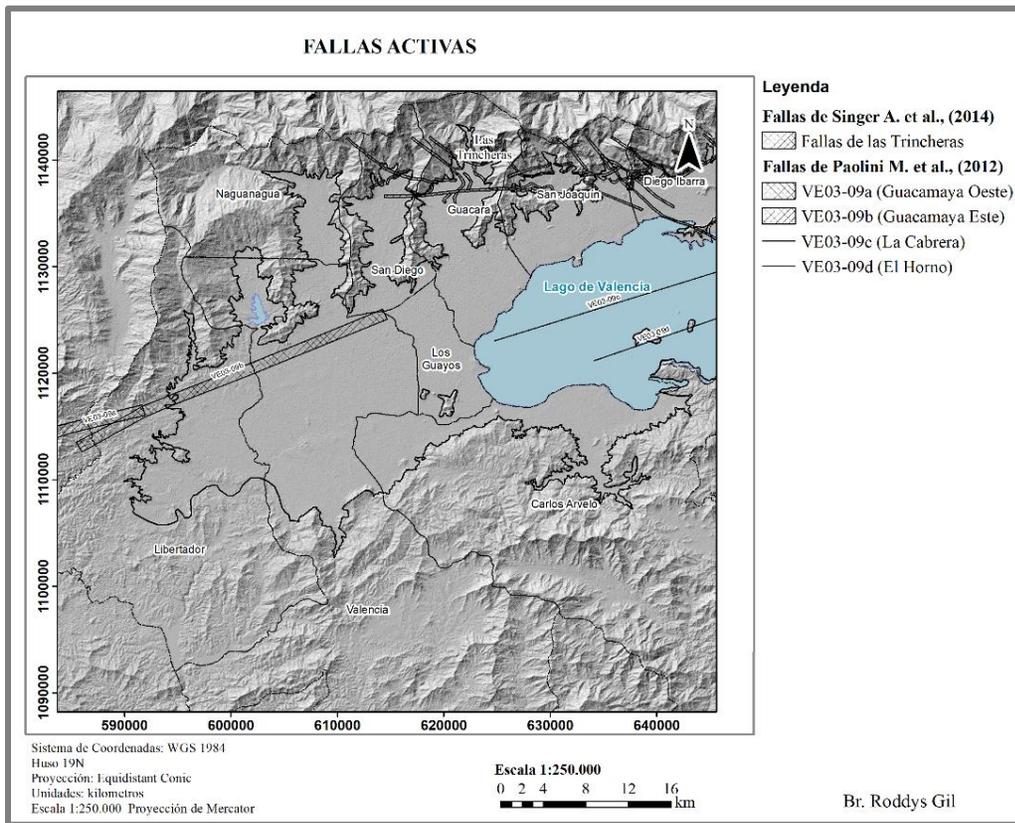


Figura 4.21. Identificación de fallas activas Paolini *et al.* (2012).

4.4.2. Identificar los parámetros geotécnicos

Debido a la escasa información de los pozos ubicados en la ciudad de Valencia se procedió a realizar la digitalización (figura 4.22) de diversos mapas de licuación por Pombo (2018), donde se muestran los mapas de 60 MW, 65 MW, 70 MW y 75 MW y posee 707 datos obtenidos por INGEROCA y HEREDIA, con una profundidad hasta 10 m. Para identificar la zonas de potencial de licuación se realizó la digitalización de

los mapas de potencial de licuación se determinó que el mejor mapa es el de 7.0. MW procedió a realizar lo siguiente:

- 1) Recortar las imágenes a digitalizar.
- 2) Ubicar las coordenadas en el mapa.
- 3) Cambiar el umbral de la imagen y formato a blanco y negro.
- 4) Crear una tabla de Excel con las coordenadas del mapa.
- 5) Insertar el mapa y la tabla de *Microsoft Excel* en *ArcMap*.
- 6) Georreferenciar la imagen.
- 7) Crear un *Shapefile* de tipo polígonos.
- 8) Seleccionar Crear *features* y comenzar a crear los polígonos con los diferentes valores mostrados en el mapa (4.23).

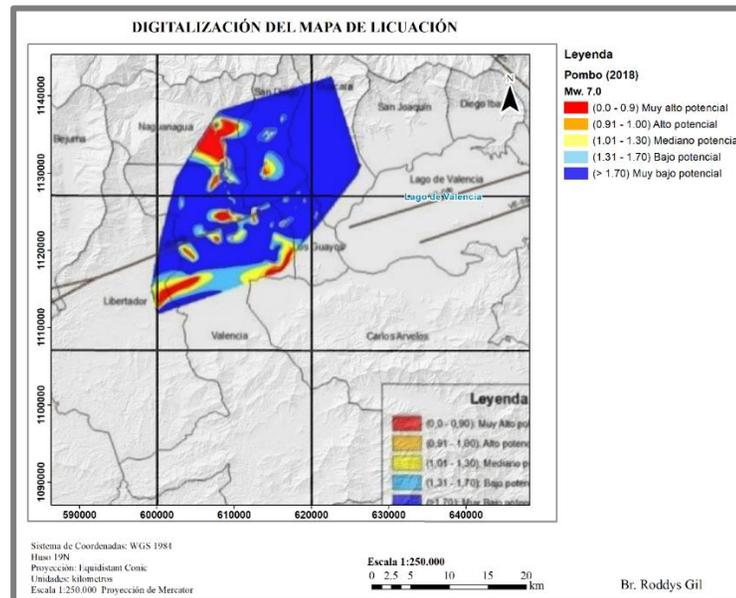


Figura 4.22. Digitalización del mapa de licuación Pomo (2018).

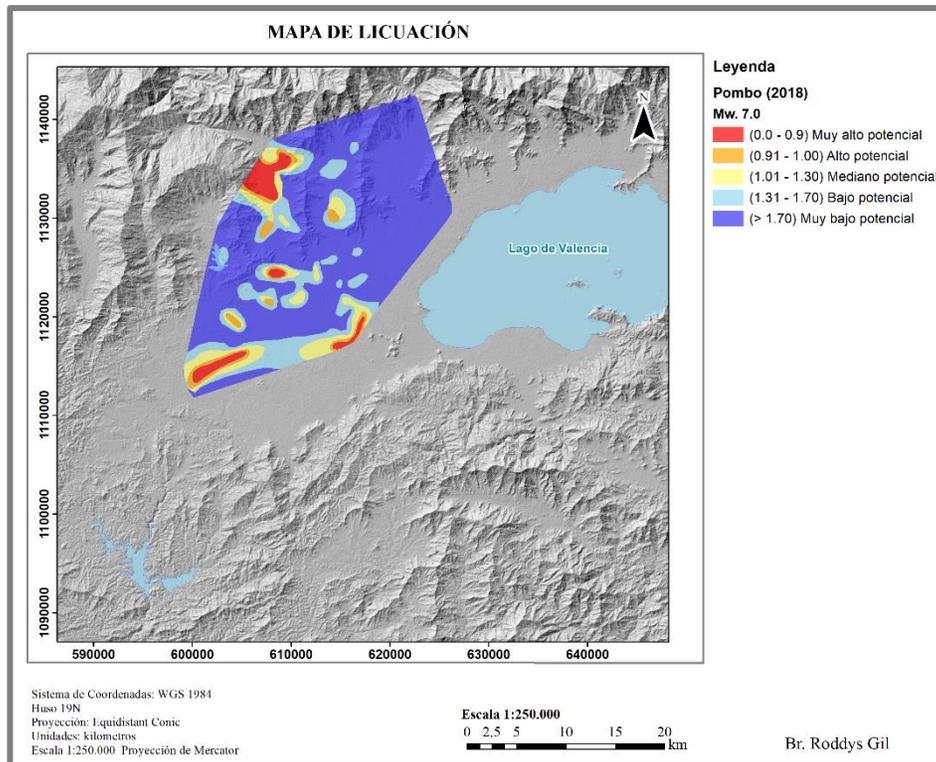


Figura 4.23. Mapa de licuación de Mw. 7.0 modificado de Pombo (2018).

4.4.3. Generación de los perfiles de suelo para el cálculo de la respuesta en superficie

Para la elaboración de los perfiles de suelo (tabla 4), se deben realizar los siguientes pasos:

- 1) Identificar los pozos o estudios geotécnicos realizados en la zona de estudio.
- 2) Ubicar los pozos en un SIG.
- 3) En una hoja de *Microsoft Excel*, escribir la litología que comprende el pozo y su nomenclatura.

- 4) Identificar en la tabla la clasificación de suelos (tabla 4.1).
- 5) Identificar los estudios de sismica de ruido cercanos a los pozos.
- 6) Completar los valores de Vs que correspondan a cada profundidad.
- 7) A partir del Vs y la profundidad de la cuenca se debe calcular el Vs30.
- 8) A partir del periodo fundamental y el Vs se debe calcular la profundidad de la cuenca.

Tabla 4. Ejemplo de un perfil de suelo utilizando los datos de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz et al., (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.7 s		CLASE			
				D			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				289		289	
V-185							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arena limosa	SM	20	20	280	1.80		
Arena arcillosa	SC	30	50	310	1.85		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-185		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		1.4	0.70	289.3	297.3	59.5	0-80
Vs a partir de perfil MM35 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
	H	1	20	280	50	30	
	H	2	30	310			
	Roca						
			Vs30	289.3			

Tabla 4.1. Tabla de clasificación de suelos SUCS (1985).

Divisiones principales		Símbolo del grupo	Nombre clásico	Método de identificación en campo excluyendo partículas mayores de 75 mm	Clasificación de laboratorio			
1	2	3	4	5	6			
Suelos de arena gruesa Más de la mitad del material es mayor que el 1. r7200	ARENAS Más de la mitad de los gruesos es > 5mm Para clasificación visual el límite r74 separa a 5 mm	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} < 3$ <p>Los límites de Atterberg bajo la línea A ó IP < 4</p> <p>Los límites de Atterberg sobre la línea A ó IP > 7</p> <p>Los límites que caen en la zona rayada, con IP entre 4 y 7, son casos límite que requieren doble símbolo</p>			
		GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios				
	ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Finos no plásticos ó con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)				
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)				
	ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos				
		SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios				
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Finos no plásticos ó con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)				
		SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)				
	Suelos de arcilla fina Más de la mitad del material es menor que el 1. r7200	Limos y arcillas Límite líquido < 50	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad		Ninguna a ligera	Rápida a lenta	Ninguna
			CL	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas		Media a alta	Ninguna a muy lenta	Media
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad	Ligera a media	Lenta	Ligera		
MH			Limos inorgánicos de alta compresibilidad	Ligera a media	Lenta a ninguna	Ligera a media		
Limos y arcillas Límite líquido > 50		CH	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad	Alta a muy alta	Ninguna	Alta		
		OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Ligera a media		
		Método de identificación en la fracción menor de tamiz n°40 (0.4 mm)			Resistencia a la rotura			
					Dilatancia			
			Plasticidad					
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificable por el color, olor, tacto esponjoso y a menudo textura fibrosa				

Usar la curva granulométrica para identificar las fracciones

Determinar los % de grava y arena, después de la curva granulométrica y después el % de limos (fracción menor que el tamiz n°200)

CARTA DE PLASTICIDAD

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La ciudad de Valencia está compuesta por nueve municipios: Naguanagua, San Diego, San Joaquín, Guacara, Diego Ibarra, Libertador, Los Guayos, Valencia y Carlos Arvelo. A pesar de haber definido un área de estudio, se procedió a abarcar los nueve municipios casi en toda su totalidad, con la finalidad de crear un mapa de microzonas sísmicas más completo que permita establecer las ordenanzas municipales en la región de Valencia. Es por ello que los mapas presentados en este capítulo están compuestos por los municipios en casi toda su totalidad.

5.1. Mapa de Vs30 por topografía

Mediante el procedimiento de creación del mapa Vs30 por topografía, se generó el mapa con una malla de 278 m por 278 m, siendo esta configuración el mejor ajuste de acuerdo los parámetros geológicos y geofísicos que se encontraban en la región de Valencia (figura 5). En correspondencia a las normas COVENIN 1756-1 (2019), se establecieron los diferentes intervalos de velocidades de Vs30 en la región de Valencia, agrupado en 6 rangos representativos de < 170 m/s, 170 a 200 m/s, 200 a 300 m/s, 300 – 400 m/s, 400 – 650 m/s y por último 650 a 850 m/s.

La franja verde de velocidad entre 200 - 300 observada en el lago de Valencia es un artificio generado por el programa *ArcMap* versión 10.4.1, al momento de realizar el cálculo a través de la herramienta *Raster calculator*, es por ello que se interpreta como una zona con velocidades de < 170 m/s dentro del lago de Valencia a excepción de las islas La Culebra, Otama y El Burro dentro del lago de Valencia. Sin embargo, estas islas no son de interés para el estudio, debido a que no se encuentran pobladas.

Las velocidades más altas se encuentran en un rango entre 400 – 600 m/s y > 650 m/s, y se atribuye a los altos topográficos de la región de Valencia donde afloran

las rocas Jurásico – Cretácico de los Esquistos Las Mercedes, Los Esquistos Las Brisas y la Asociación Metamórfica del Ávila, ubicados al norte y sur del mapa.

El *Raster calculator*, realizó el cálculo de Vs30 a través de las pendientes obtenidas mediante el programa *ArcMap* versión 10.4.1, donde las zonas que presentan pendientes más abruptas poseen velocidades de ondas de corte mayores, por el contrario, aquellas zonas con un relieve suave sus velocidades de Vs30 eran menores. Sin embargo, para el estudio de microzonas sísmicas en la ciudad de Valencia, las zonas de mayores valores de Vs30 no representan una gran amenaza, además que por lo general son zonas que no se encuentran urbanizadas.

Las cuencas de Valencia, Naguanagua y San Diego, presentan valores de velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m en un rango entre 200 – 300 m/s, ubicados en la zona central; por otro lado, también cuenta con un rango de valores de Vs30 y 300 – 400 m/s, que delimita el contacto entre la roca y los sedimentos Cuaternarios. A los extremos de las cuencas se tiene un rango de valores de Vs30 entre 400 – 650 m/s, que pertenece al alto topográfico (figura 5).

La cuenca de la región de Valencia, está caracterizada principalmente por una litología compuesta por sedimentos del Cuaternario como arenas y arcillas, debido a la geomorfológica presentada en el área de estudio, que se compone por la planicie lacustrina y la planicie aluvial (Zinck 1980a & Zinck 1980b). Estos sedimentos son el resultado de la erosión hídrica generada por los entalles fluviales en la región de Valencia. Dentro del mapa (figura 5), donde se puede observar los diferentes drenajes en el área de Valencia. Este sistema de drenajes fue obtenido a través del DEM de 12.5 m de resolución (*ALOS PALSAR*), donde se muestra que la región de Valencia presenta algunos sistemas hídricos relevantes para el estudio, como el río Cabriales.

El municipio Libertador (figura 5), presenta velocidades de ondas de corte para los primeros 30 m dentro de un rango de 300 – 400 m/s ubicado a este y también valores de Vs30 entre 400 – 650 m/s a lo largo del municipio. Las bajas velocidades son la consecuencia de los sedimentos aluviales, debido a los drenajes observados en este municipio. El municipio Libertador, presenta una litología compuesta mayormente por los Esquistos Las Mercedes.

En los municipios Diego Ibarra y San Joaquín, posee valores de velocidades en su mayoría dentro de un rango de 300 – 400 m/s, debido a que estos municipios se ubican dentro del límite roca-sedimentos.

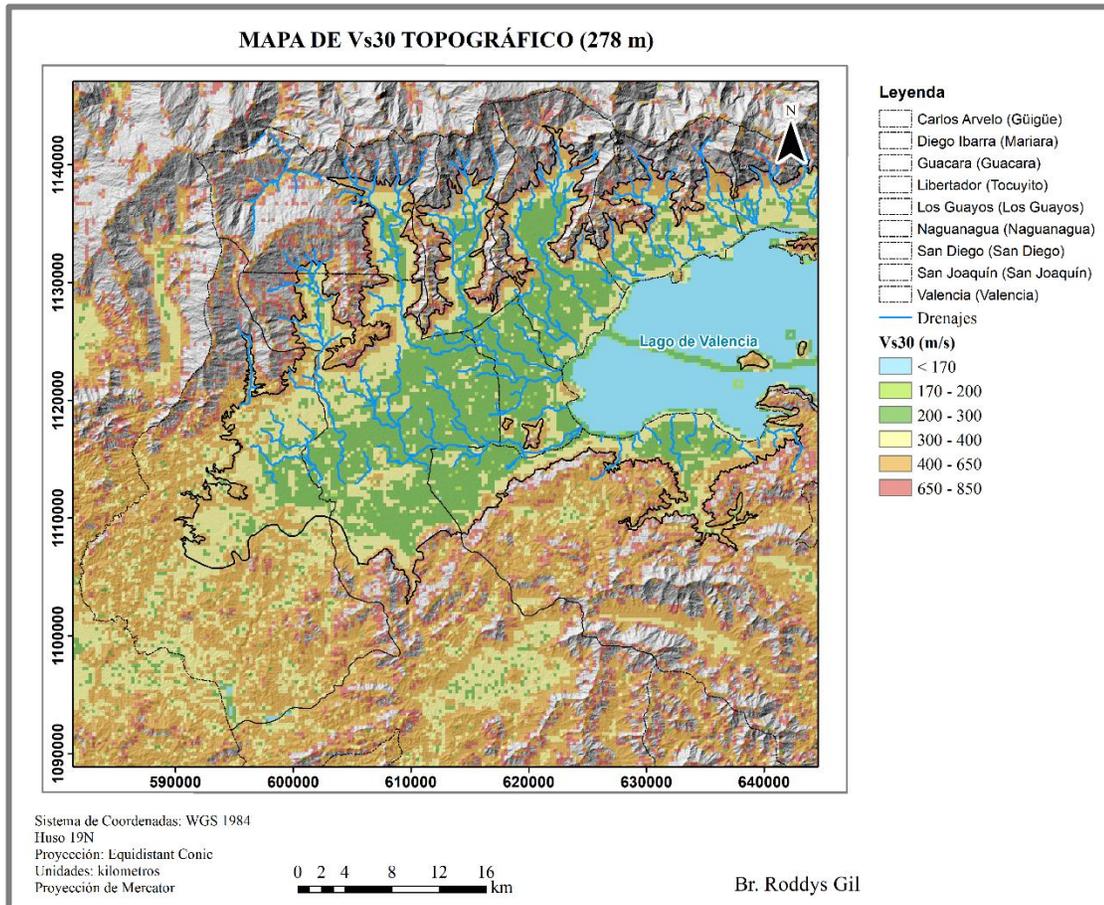


Figura 5. Mapa de Vs30 por topografía con celda de 278 a 278 m. Obtenido mediante el DEM de *ALOS PALSAR*.

5.2. Histograma de los datos de Vs30 integrado

Para la elaboración del mapa Vs30 integrado, se utilizaron 64 valores de IMASW obtenidos por Mijares (2019), ubicados en las cuencas de Naguanagua y San Diego, 1356 valores del estudio de Márquez & Morales (2009) obtenidos mediante SPT, ubicados en la cuenca de Naguanagua, San Diego y Valencia, 639 valores de Ghio & Valladares (2008) obtenidos mediante SPT y ubicados en el municipio de Los Guayos, 5315 valores de SPT de Loaiza & Márquez (2008), ubicados en los municipios Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra y por último 57759 valores de Vs30 obtenidos a través de la herramienta *Raster to point* de *ArcMap* versión 10.4.1, a través del mapa de Vs30 por topografía (figura A.5.1, apéndices). El mapa de Vs30 por topografía representa un 88% de los datos utilizados para realizar el mapa de Vs30 integrado, puesto que la zona sur de la ciudad de Valencia no cuenta con estudios geofísicos y geotécnicos (tabla A.5.1, apéndices). Los municipios que contienen en su mayoría valores extraídos mediante el mapa de Vs30 por topografía son: Carlos Arvelo, Diego Ibarra, Libertador, Los Guayos, San Diego, San Joaquín y Valencia.

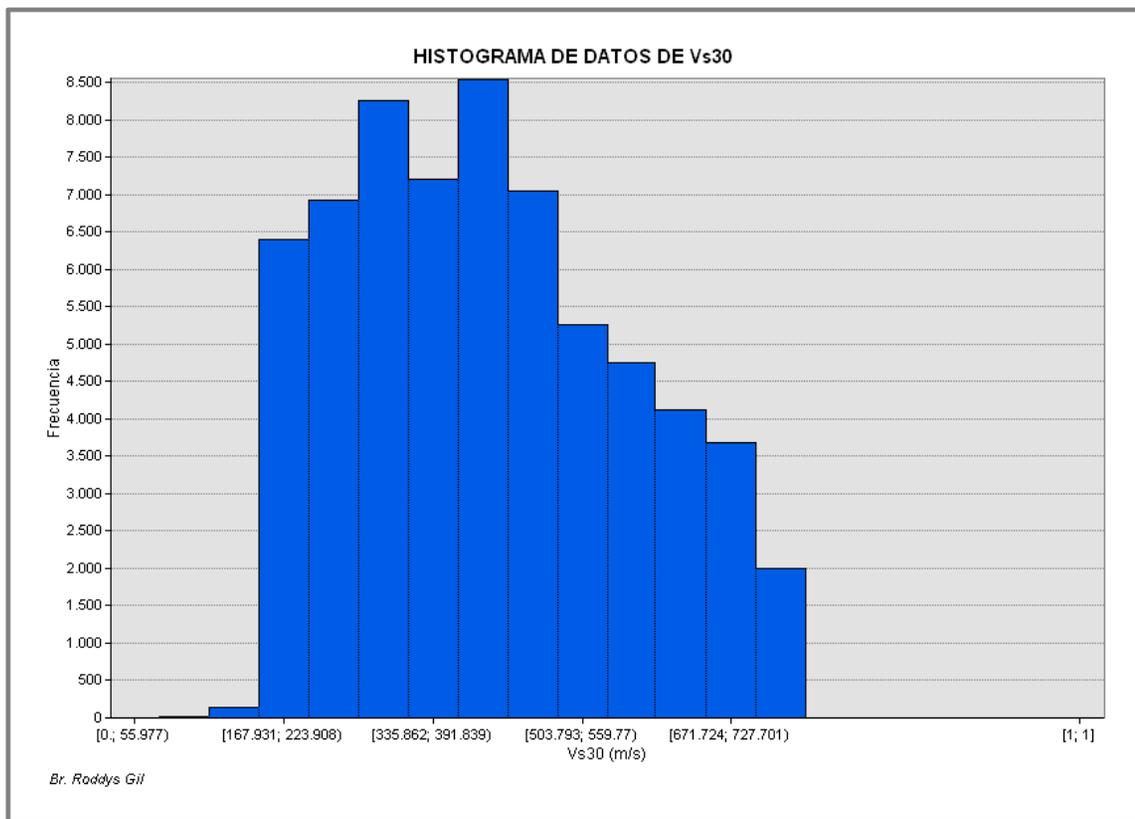
Inicialmente se llevó a cabo un control de calidad de los datos de Vs30 antes de realizar la integración, este control de calidad se realizó a través de programa *ArcMap* versión 10.4.1, con el cual se determinó de manera minuciosa cuales serían los valores de Vs30 utilizados para la construcción del mapa de Vs30 integrado.

Con los valores de Vs30 seleccionados se realizó un histograma de frecuencia, para conocer la distribución que presentan los valores seleccionados. El histograma (figura 5.1), exhibe una distribución de sesgo a la derecha positivo, dado que las mayores frecuencias están atribuidas a los menores valores de velocidades de Vs30.

La mayor frecuencia se encuentra dentro del rango de valores de 200 a 400 m/s, debido a que gran parte de los valores para la realización del mapa Vs30 se encuentran ubicados en el interior de la cuenca sedimentaria de la región de Valencia (figura A.5.1, apéndices). Adicionalmente, los valores obtenidos gracias al mapa por topografía disponen de un gran número de valores dentro de la cuenca sedimentaria; mientras que, los valores de Vs30 mayores a 400 m/s son en menor medida, porque los

valores que se observan en los altos topográficos son los obtenidos únicamente por el mapa de Vs30 por topografía.

Las velocidades de ondas de cortes en los primeros 30 m, que muestran un rango de valores entre 200 a 400 m/s según la norma COVENIN 1756-1 (2019), representan suelos de tipo arena o grava densas arcillas duras o roca blanda, dado que estos valores son los que poseen la mayor frecuencia se espera que la litología corresponda a los sedimentos del Cuaternario.



5.3. Mapa de Vs30 integrado

Para establecer los valores de Vs30 obtenidos mediante los ensayos de penetración estándar (SPT) se utilizó la conversión NEHRP, donde Márquez & Morales (2009) en su estudio mencionan que el comportamiento mediante este método es similar a la Norma COVENIN 1756-1 (2001). El mapa de Vs30 obtenido mediante este método es más preciso para la elaboración de los mapas de microzonificación sísmica.

Los datos de Márquez & Morales (2009) se encuentran dentro su estudio realizado al Área Metropolitana de Valencia (AMV); en este se hallaban los datos de profundidad del pozo, el número de golpes y los valores de velocidades de las ondas de corte. Por el contrario, para obtener los valores de Vs30 de los estudios realizados por Loaiza & Márquez (2008) y Ghio & Valladares (2008), puesto que no se encontraban registrado en su estudio fueron extraídos a través del programa de *ArcMap* versión 10.4.1, mediante los mapas de Vs30 digitalizados, por consecuencia se realizó un control de calidad de los datos mostrados en el mapa, y de esta manera se determinaron los valores que tenían un mejor ajuste en cuanto a los parámetros geológicos y geofísicos. Los valores extraídos corresponden al municipio Guacara, Los Guayos, San Joaquín y Diego Ibarra (figura A.5.1, anexo).

En cuanto a los valores de Vs30 obtenidos mediante *Raster calculator*, se tiene que en el municipio Libertador abarca el 98% de los datos, Valencia un 70% y Carlos Arvelo un 100% de los datos utilizados.

El municipio Carlos Arvelo a pesar de no poseer valores de medición, es importante realizar el estudio de microzonificación debido a que según Rodríguez *et al.* (2006), mencionaron que debido al terremoto ocurrido en Caracas en 1967 se presentó un movimiento transnacional de tipo “*lateral spread*” para la ciudad de Güigüe al sur del lago de Valencia, ubicado en el municipio Carlos Arvelo.

En el municipio Libertador (figura 5.2), los valores obtenidos para algunas zonas del alto topográfico donde aflora el basamento fueron valores mayores a 650 m/s ubicados al norte; este contiene en su mayoría por los valores de Vs30 dentro del rango

de 400 a 650 m/s ubicados en casi todo el municipio, y se debe a que su litología se basa en los Esquistos de Las Mercedes. Al centro de la cuenca, se tienen valores de Vs30 entre un rango de 300 a 400 m/s, ya que la litología que se presenta en esta zona es menos consolidada por la meteorización.

El municipio de Valencia (figura 5.2), cuenta con una cuenca sedimentaria que dispone de valores de Vs30 entre el rango de 200 – 300 m/s, atribuido a los sedimentos Cuaternarios compuesto principalmente de arenas arcillas y arcillas limosa, debido a que esta cuenca se ubica en el centro del municipio que corresponde a una planicie aluvial compuesta por sucesivas secuencias depositacionales, que se extiende entre la depresión lacustrina y la faja de valles periférico (Valencia, 2009). Al igual que el municipio Libertador el límite roca – sedimentos se encuentra muy bien definido por el rango de valores de Vs30 entre 300 a 400 m/s y 400 a 650 m/s ubicados en los límites norte y sur de la cuenca. Los valores máximos de velocidades entre un rango de 400 a 650 m/s, ubicados en el alto topográfico al norte y al sur del municipio.

El municipio de Naguanagua (figura 5.2), específicamente en la cuenca, dispone de valores que están representados dentro de un rango de Vs30 entre 200 a 300 m/s, ubicado en la zona central de la cuenca. El límite de la cuenca está delimitado por los valores de velocidades de ondas de corte para los primeros 30 m de 300 a 400 m/s, ubicados al norte y al oeste del municipio. Para la integración del mapa de Vs30 se utilizaron los valores obtenidos a través de IMASW por Mijares (2019) y Márquez & Morales (2009), además de los valores de Vs30 obtenidos por topografía.

Para la Cuenca de San Diego (figura 5.2), al igual que para la Cuenca de Naguanagua, los valores utilizados son los valores de Vs30 de Mijares (2019), los valores obtenidos por Márquez & Morales (2009) y las velocidad de ondas de corte obtenidos a partir de los rangos de valores de la tabla de clasificación de suelos y sitios. En el mapa se observa (figura 5.2) que el límite entre los sedimentos y la roca se encuentra muy bien definido por el rango de valores de Vs30 entre 400 a 650 m/s ubicado a los lados de la cuenca. También se obtuvieron valores en el rango de 300 a 400 m/s en los extremos del centro de la cuenca. Los valores extraídos mediante el

mapa topográfico abarcan un 50% de los valores para la integración del municipio San Diego, utilizando un SIG.

El municipio de Los Guayos (figura 5.2), se ubica al oeste del lago de Valencia en el centro de la cuenca de la región de Valencia. Los valores Vs30 en este municipio están principalmente dentro de un rango de Vs30 de 200 a 300 m/s, debido a que en esa zona predominan los sedimentos de tipo Cuaternario. Los valores utilizados en esta área de estudio son los ensayos por SPT de Ghio & Valladares (2008), extraídos mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG), en vista de que la información disponibles eran los mapas realizados en su estudio; además se utilizaron los valores de Vs30 obtenidos mediante el mapa topográfico. Los valores obtenidos por Ghio & Valladares (2008), están ubicados al norte del municipio Los Guayos, y en el sur están ubicados los puntos de Vs30 por topografía. Debido a la cercanía con el lago de Valencia, sus sedimentos son de origen aluvial con una litología compuesta por arenas y arcillas. Al sur del municipio Los Guayos se tienen dos altos topográficos que corresponden al complejo Tinaco con velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m dentro de un rango entre 400 a 650 m/s.

El municipio Guacara (figura 5.2), al igual que en las cuencas de San Diego y Naguanagua los valores de Vs30 se encuentran dentro de un rango de Vs30 de 200 a 300 m/s, ubicado en el centro de la cuenca. Guacara se encuentra delimitado por los rangos de valores de Vs30 entre 300 a 650 m/s. Los valores utilizados en el municipio Guacara fueron extraídos del estudio realizado por Loaiza & Márquez (2008) mediante ensayos SPT. Para este municipio los valores Vs30 obtenido por el mapa topográfico ocupan sólo un 10% del área, sin embargo, se realizaron algunos estudios para identificar las velocidades propias de la zona de estudio.

Para los municipios San Joaquín y Diego Ibarra (figura 5.2), se disponen de los valores obtenidos por Loaiza & Márquez (2008), a través del método de NEHRP, sin embargo, gran parte de los datos utilizados fueron extraídos del mapa de Vs30 por topografía. Estos municipios presentan zonas de muy bajas velocidades registradas por Loaiza & Márquez (2008) al oeste y el este en el caso de municipio San Joaquín y para Diego Ibarra al norte; está velocidades son menores a 200 m/s, que indica que la

litología que se encuentra en esa área es menos consolidada que en las otras cuencas, y esto se debe a la cercanía que se tiene con el lago de Valencia.

El municipio Carlos Arvelo (figura 5.2), posee un rango de velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m de 200 a 300 m/s en la zona norte.

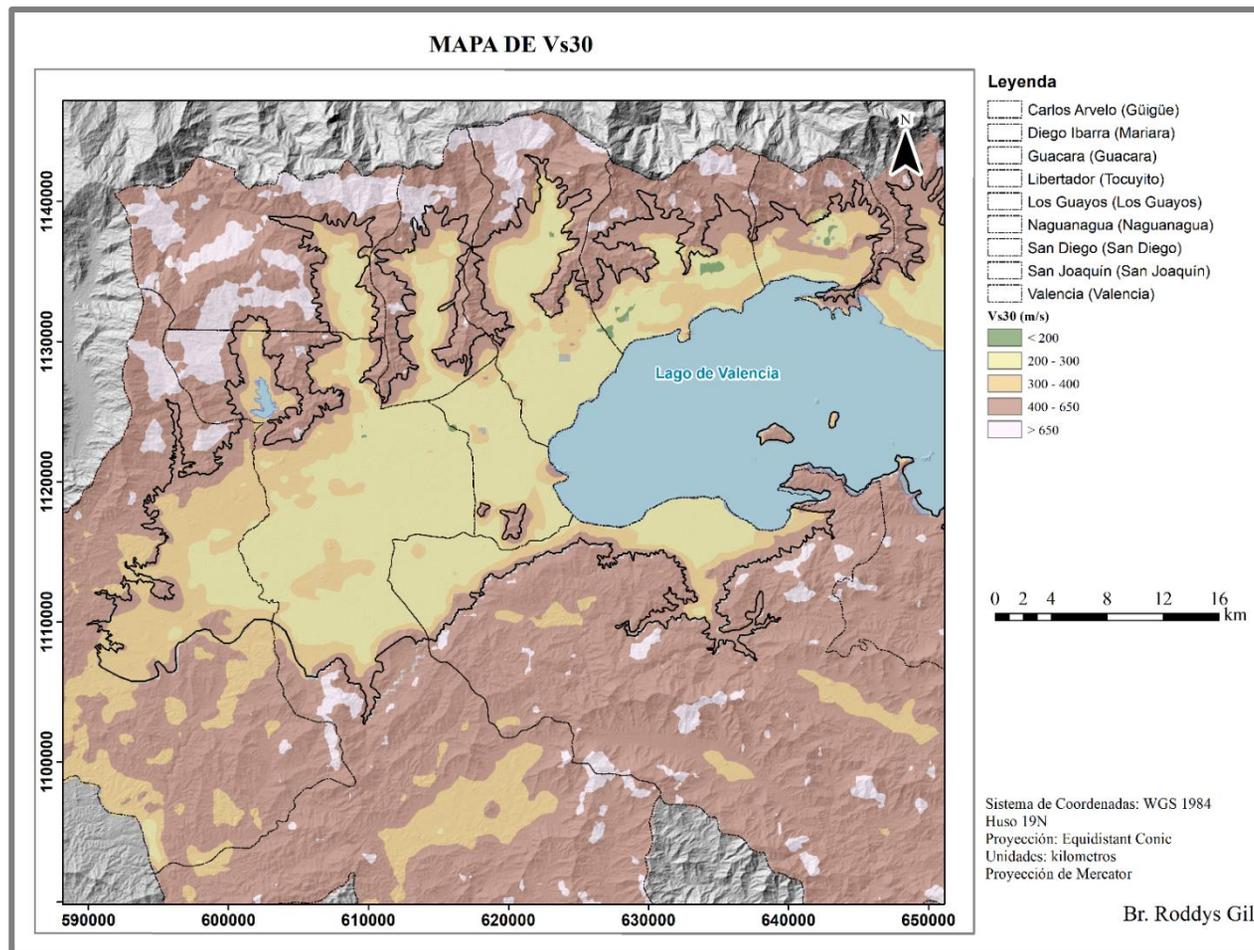


Figura 5.2. Mapa de Vs30 integrado. Obtenido mediante los datos de Mijares. M (2019), Ghio & Valladares (2008), Márquez & Morales (2009), Loiza & Márquez (2008).

5.4. Histograma de los datos de espesor sedimentario integrado

Para la realización del mapa de espesor sedimentario integrado, se utilizaron datos 520 datos gravimétricos terrestres con una separación en cada estación de 250 a 300 m aproximadamente, con una resolución de lectura de 0.005 mGal y una deriva de 0.02 mGal, esta, extraídos del trabajo de Goitia (2012), también para la elaboración del mapa se usaron los datos de Romero (2017), que comprendía 490 datos gravimétricos terrestres con una separación entre estaciones de 500 m aproximadamente, datos gravimétricos satelitales con una resolución de 0.0099° y 6 perfiles sísmicos realizados por Schubert (1980). Adicionalmente se utilizaron 530 datos de espesor sedimentario de Schmitz *et al.* (2015), que combina los valores de periodo, Vs30 y la velocidad de los sedimentos profundos utilizando el método de Nakamura o la relación espectral H/V. A través del mapa generado por de Romero (2017), se extrajeron algunos valores que no se encontraban registrados en el estudio mediante el programa *ArcMap* versión 10.4.1 (figura A.5.2, anexo).

El histograma de frecuencia con los valores de espesores sedimentarios (figura 5.3), refleja 5683 valores obtenidos por los autores antes mencionados (tabla A.5.2, apéndices).

A partir del histograma (figura 5.3), se observa que la mayor frecuencia de valores de espesor se encuentran dentro del rango entre 30 a 50 m, sin embargo, la mayor parte de estos valores fueron interpretados con el mapa de Romero (2017), es por ello que se indica que los valores que poseen un mayor frecuencia están dentro del intervalo 0 a 80 m. La menor frecuencia corresponde a valores de espesor mayor o igual a 200 m.

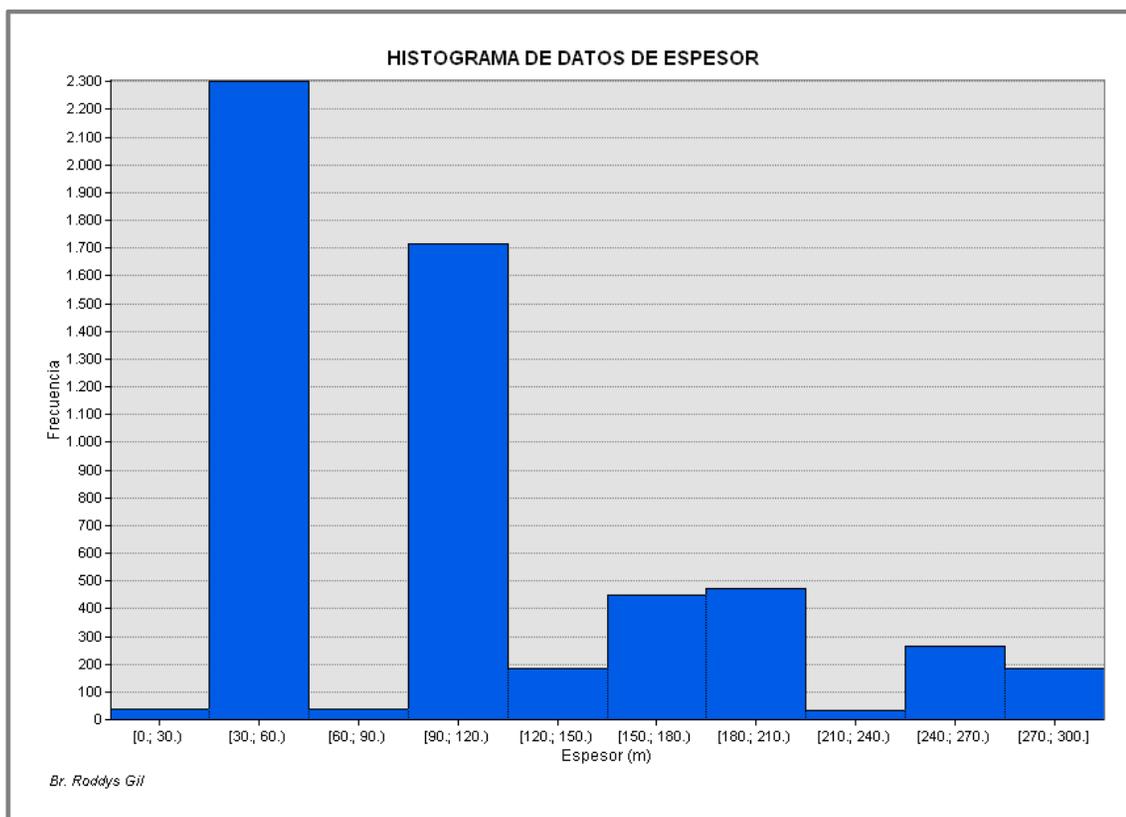


Figura 5.3. Histograma de frecuencia de los valores de espesor de Romero (2017), Goitia (2012) y Schmitz *et al.*, (2015).

5.5. Mapa de espesor sedimentario integrado

El mapa de espesor sedimentario integrado (figura 5.4), se realizó con la base de datos que se mencionó anteriormente; inicialmente, se hizo una base de datos en *Microsoft Excel*, que contenía los valores de espesor sedimentarios, las coordenadas y la referencia del trabajo utilizado para extraer los datos, con los datos se llevó a cabo una interpolación con el programa *ArcMap* versión 10.4.1, utilizando la interpolación Kriging, puesto que esta interpolación es la que mejor se ajusta a los datos geológicos en el área de estudio; se obtuvo como resultado 5 rangos de espesores sedimentarios (tabla A.5.2). Al momento de realizar la interpretación se utilizó una máscara para evitar valores de espesor interpolados dentro del lago de Valencia, con excepción de

las islas dentro del lago. Esta misma metodología se utilizó para delimitar el límite roca-sedimentos.

Los datos utilizados en el municipio Naguanagua y Valencia fueron principalmente los valores obtenidos por Goitia (2012), además de algunos valores de Schmitz *et al.* (2015); con esta información se procedió a realizar un control de calidad para seleccionar los valores que poseían el mejor ajuste con respecto a la geología de la zona.

Los valores más altos en la cuenca del municipio Naguanagua, están dentro de un rango de valores entre 200 a 300 m ubicados en el centro de la cuenca. Estos valores podrían indicar un mayor riesgo para la población que se encuentra en esta zona, puesto que ya los valores de velocidad en esta zona son bajos, por consecuencia al aporte de sedimentos encontrado la cuenca. También se tienen valores dentro del orden de 150 a 200 m que corresponden a la cuenca de Naguanagua, el municipio Valencia, el municipio Los Guayos y cerca del lago de Valencia, así como también en algunas áreas dentro de Guacara.

La mayor parte de la del municipio Valencia posee un espesor dentro de un rango de 80 a 150 m, al igual que en la cuenca de San Diego, Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra.

El municipio Libertador (figura 5.4), está cubierto prácticamente por espesores de 0 a 80 m y esto se ve reflejado en el estudio que realizó Romero (2017).

En los altos topográficos a pesar de no tener información gravimétrica o información del espesor mediante la inversión del ruido, se interpreta que los valores son de 0 metros ya que en esta zona por ser un alto topográfico afloran los Esquistos Las Mercedes, Las Brisas y el Augengneis de Peña de Mora.

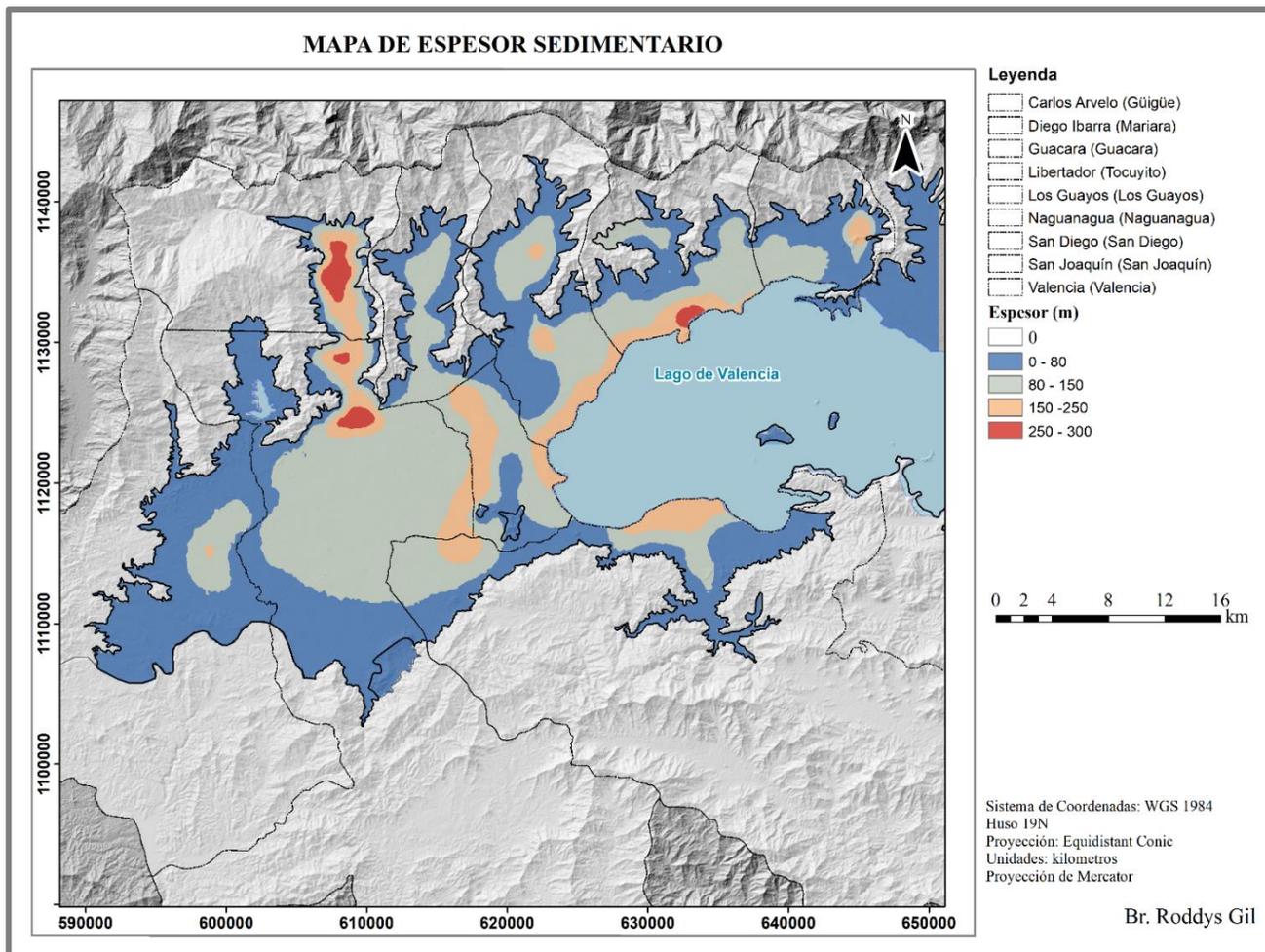


Figura 5.4. Mapa de espesor sedimentario integrado.

5.6. Mapa de microzonificación sísmica

Antes de realizar del mapa de microzonas sísmicas en la ciudad de Valencia, se procedió a identificar el A0 y A1 que son la aceleración del terreno y la aceleración espectral del periodo de 1 segundo definidos por Hernández (2021). Para el coeficiente A0 los municipios presentan los siguientes valores, Valencia ~0.15 g, Güigüe 0.13 g, Naguanagua ~0.145 g, Diego Ibarra y San Joaquín ~0.165 g. Adicionalmente, se identificó que para los municipios los de valores A1 son los siguientes: Diego Ibarra ~0.14 g, San Joaquín ~0.135 g, Valencia ~0.13 g y Güigüe ~0.11 g (tabla 5).

La amenaza sísmica en la ciudad Valencia tiene un valor máximo es 0,16 g para un periodo de retorno de 475 años según la norma de edificaciones sismorresistente (COVENIN 1756-1, 2019), donde estos valores corresponden a la clase de sitio BC con profundidad H menor o igual a 30 m. También se tiene que respuesta espectral a de 1 segundo (A1) posee un valor máximo 0,14 g para el municipio Diego Ibarra (Mariara). Sin embargo, a pesar de los diferentes valores de los coeficientes de A0 y A1 para los municipios, se definió que para el estudio se utilizará una aceleración del terreno de 0,15 g y una aceleración espectral de 0.13 g, con la finalidad de hacer un estudio que divide el territorio en poblaciones y en ella se subdivide por Vs30 y H; como consecuencia de la selección de trabajar con un coeficiente A0 y A1, los municipios nuevos municipios tienen un único criterio de colores para la identificación de las microzonas (tabla 5), propuesto por Schmitz & Hernández (2021)

Los datos de Vs30 y espesor utilizados para la realización de la microzona (tabla 5), muestran que los colores utilizados dependen de la microzona en la cual se está trabajando. Los colores están representados de manera visual y a través del código de colores RGB, que pueden ser utilizados en futuras investigaciones en el área de Valencia, porque estos colores están propuestos únicamente para la elaboración del mapa de microzonificación sísmica en la región de Valencia. La escala de colores iniciales propuesta por Schmitz & Hernández (2021), tuvieron una modificación, dado que la tabla no describe la clasificación CD con valores de Vs30 entre un rango de 300 a 400 m/s, y para la investigación de microzonas sísmicas en el área de Valencia esta

clasificación intermedia es importante, ya que considera las propiedades de la rocas compuesta por una roca dura con espesor meteorizado de la clase C y arenas o gravas densas a medio densas de la clase D.

Las microzonas según la norma de edificaciones sismorresistentes COVENIN, 1756-1 (2019) se tiene que las microzonas MS-1, corresponde a una clasificación BC que se define como roca dura, es decir, en esta parte es donde las velocidades son mayores porque aflora los Esquistos Las Mercedes, los Esquistos Las Brisas y el Augengneis de Peña de Mora, diferenciado con un color verde. La clasificación C, está representada por las velocidades de Vs30 entre un rango de 400 a 650 m/s, que corresponden a roca dura con espesor meteorizado superior a 5 metros, arenas o gravas muy densas de la microzona MS-2 representado por un degradado de color azul dependiendo del espesor. La microzona MS-3 es la clase CD, que corresponde a los valores de Vs30 dentro de un rango de 300 a 400 m/s, esta microzona se diferencia por un degradado de color naranja con propiedades intermedias entre la clase C y la D. Las microzona MS-2 corresponden a una clasificación D, posee un rango de valores de Vs30 entre 200 a 300 m/s, diferenciado por un degradado en color rojo, y compuesto principalmente por arenas, gravas densas, arcilla dura o arcilla firme de menos de 30 m de espesor; por último se tiene la microzona que tienen valores de Vs30 menores a 200 m/s y son clasificadas como E, que se caracteriza por ser arenas sueltas o arenas limosas con suficiente proporción y no susceptibles de licuación.

Tabla 5. Tabla de las clases según la norma COVENIN 1756-1 (2019).

Coeficiente	Clase	Vs30 (m/s)	H (m)	Microzonas	Color			
					visión	Modelo RGB		
						Rojo	Verde	Azul
A ₀ ~ 0.15 g A ₁ ~ 0.13 g	B	> 650	Roca	MS-1		0	255	0
	C	400-650	0-80	MS- 2		0	153	204
			> 150			0	102	204
	CD	300-400	0-80	MS-3		255	255	0
			80-150			255	153	51
			> 150			255	102	0
	D	200-300	0-80	MS-4		255	127	127
			80-150			255	0	0
			> 150			168	102	0
	E	< 200	0-80	MS-5		168	0	132
80-150					102	0	255	

Para la realización del mapa de microzona (figura 5.5), se utilizó el mapa de espesor integrado y el mapa de Vs30 integrado, es decir, que los dos mapas ya antes mencionados fueron de suma importancia y es por ello que se debía realizar con mucha precisión y de esta manera evitar que el mapa que se genere posea incongruencia en relación a la geología, geofísica y geotecnia del área de estudio. Para la realización del mapa de microzonas sísmica se hizo de manera manual, creando polígonos en las zonas de intersección de los mapas de espesor y Vs30 integrados, debido a que se desconoce de algún programa que puedan hacerlo de manera automatizado, es por ello que este mapa se trabajó de manera minuciosa y constante.

Se puede observar en el mapa de microzonas sísmicas (figura 5.5), que los valores de velocidades más baja entre un rango de 200 a 300 m/s, ubicados en el centro de la cuenca de Valencia y alrededor del lago de Valencia, debido a que la litología que predomina en esta área es de sedimentos no consolidados aluviales, a causa de los drenajes, que genera la acumulación de sedimentos en los municipios Los Guayos, Valencia, Carlos Arvelo, Naguanagua, Güigüe, Guacara y San Joaquín, estas velocidades bajas indican que el riesgo sísmico en esa zona es mayor, por el contrario de las zonas donde aflora el basamento ubicado al norte y sur en la región de Valencia.

Los espesores más altos dentro de la clasificación D identificado como MS-4, se encuentran dentro de la cuenca de Naguanagua, además esta clasificación también se encuentra en los municipios Los Guayos y a lo largo del lago de Valencia, en lo general en los municipios de Guacara y Carlos Arvelo (Güigüe).

Alrededor de la cuenca de Naguanagua (figura 5.5), se observa que los valores dentro del grupo MS-3 y MS-2 aumentan mientras el riesgo sísmico disminuye, al igual que en las zonas de alto topográfico donde la amenaza es mucho menor, es por ello que los valores que predomina en esta área son del grupo MS-1 y MS-2.

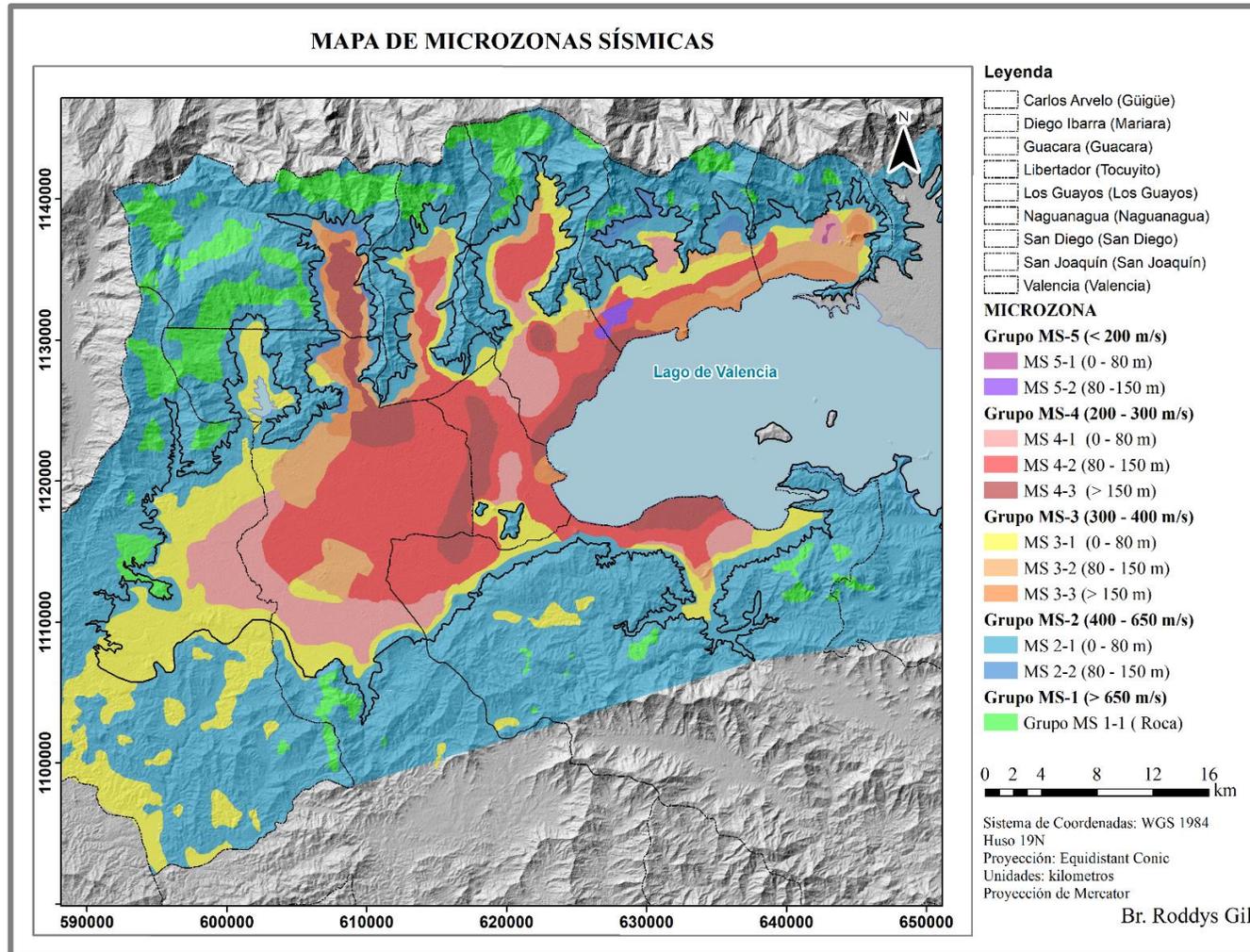


Figura 5.5. Mapa de Microzonas sísmicas a partir de los datos de Vs30 integrado y el mapa de espesor sedimentario integrado.

5.7. Mapa de microzonificación sísmica con las fallas activas de la región de Valencia

Las fallas activas son importantes en el estudio de microzonas sísmicas, puesto a da una mejor entendimiento de los posibles eventos sísmicos que pueden ocurrir en la ciudad de Valencia, y de esta manera poder mitigar los daños posibles que puedan afectar a las construcciones cercanas al área de estudio, a consecuencia de las deformaciones superficiales permanentes del terreno que son ocasionadas por los sismos COVENIN 1756-1 (2019). Entre las fallas presente en la ciudad de Valencia se encuentra la falla Las Trincheras mapeadas por Singer *et al.* (2014), y las fallas de Guacamaya oeste y este, La Cabrera y el Horno actualizadas por Paolini *et al.* (2012).

La falla Las Trincheras (figura 5.6), se ubica a lo largo del contacto del macizo rocoso con el pie de monte aluvional de la cuenca lacustre con una longitud de unos 85 km. Las Trincheras presentan un movimiento transcurrente dextral con una complejidad debido a su carácter discontinuo (Singer *et al.*, 2014). También se menciona que los parámetros sismotectónicos evaluados destacan que el potencial sismogénico, sin embargo, según estudios recientes realizados por Ramírez (2021), menciona que las fallas de Las Trincheras a pesar los estudio de sismicidad, no se puede determinar la profundidad de la falla, sin embargo, menciona que al norte podría estar ubicada a 25 m y al sur en 10 m, concluyendo que la falla se profundiza hacia el norte.

En cuanto a los estudios realizados por Paolini *et al.* (2012), mencionan que las fallas activas más importantes el estudio de microzonificación son las fallas de Guacamaya oeste con una longitud de ruptura de 98 km con movimiento dextral, Guacamaya este con una longitud de ruptura de 80 km y un tipo de movimiento de igual manera de extraer, la falla del Horno y la Cabrera que poseen una longitud de ruptura de 34 km y 26 km con movimiento dextral. Sin embargo, las fallas El Horno y La Cabrera se encuentran en el lago de Valencia siendo estas de menor importancia para el estudio de microzonificación.

La falla de Guacamaya oeste, posee una magnitud máxima (M_u) de 7.0, con una velocidad de desplazamiento de 0.60 mm/año y un periodo de retorno de 1700

años. La falla de Guacamaya este, posee una magnitud máxima de 6.9, una velocidad de desplazamiento de 0.60 mm/año y un periodo de retorno de 1417 años. La falla de Las Trincheras posee una magnitud máxima de 6.8, con una velocidad desplazamiento de 0.10 mm/año y un periodo de retorno 5800 años, la falla del Horno con una magnitud máxima de 6.6 y una velocidad de desplazamiento de 0.50 mm/año y la falla de La Cabrera con una magnitud máxima de 6.4 y una velocidad de desplazamiento de 1.10 mm/año (Paolini *et al.*, 2012). La utilización de estos parámetros como la magnitud máxima es importante para definir el potencial de licuación en área de estudio, debido a que conociendo su magnitud se puede construir un mapa de potencial de licuación en base a esta magnitud y de esta manera lograr mitigar los daños que pudieran ser ocasionados por los sismos.

En cuanto a las áreas que están próximas o cercanas a las fallas según COVENIN 1756-1 (2019), se menciona que para las trazas que posea incertidumbre moderada se tomará una franja con 100 m a cada lado, como se puede observar en el mapa (figura 5.6) con la falla de Las Trincheras que posee una traza de 100 m a cada lado. Por otro lado, para la falla de Guacamayas este y oeste, se trazó una franja de 500 m a cada lado, debido a que posee una incertidumbre mayor.

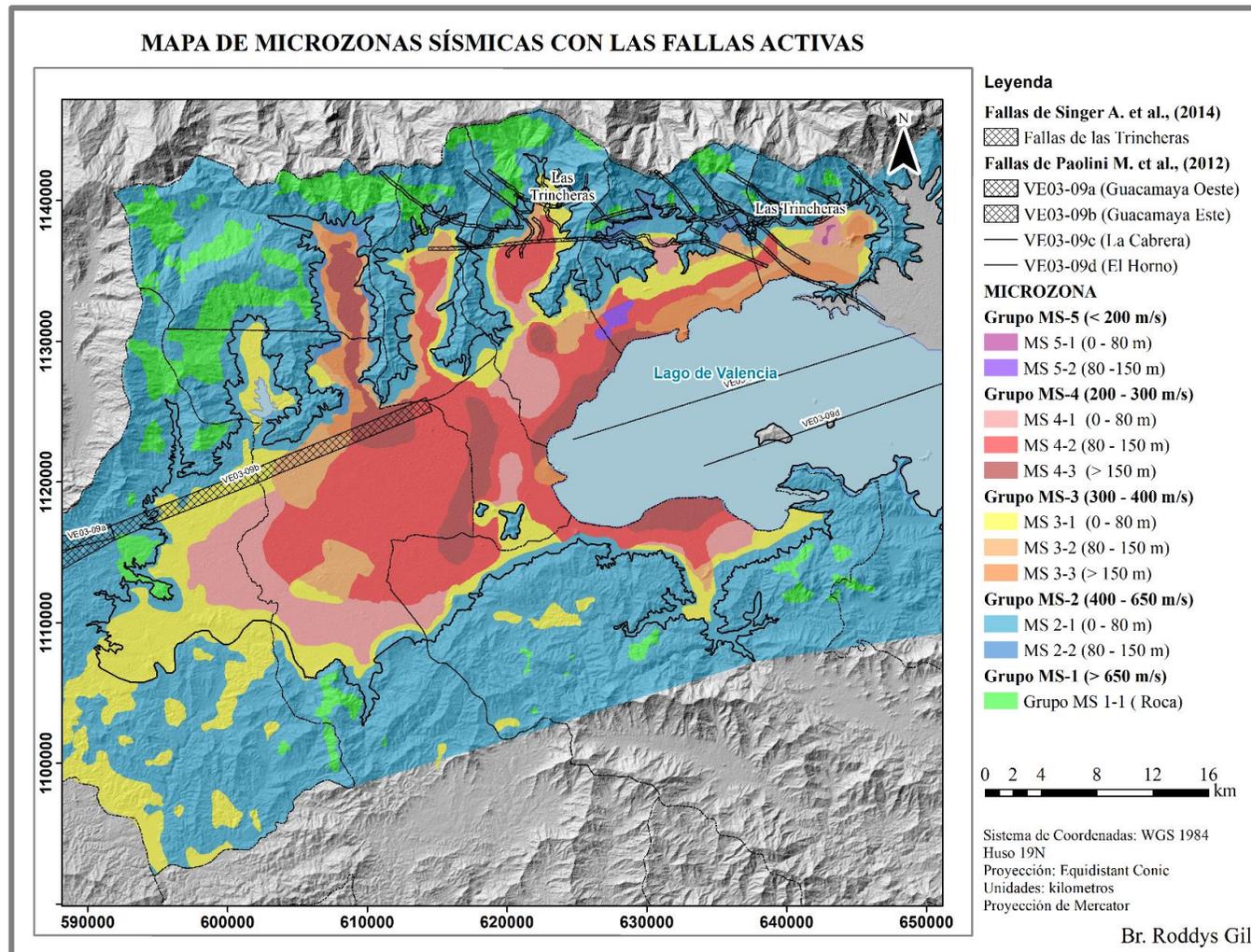


Figura 5.6. Mapa de Microzonas sísmicas y fallas activas de la región de Valencia.

5.8. Mapa de microzonificación sísmica en Naguanagua

En el municipio de Naguanagua (figura 5.7), se utilizaron 1640 muestras de mediciones de Vs30 extraídas mediante la aplicación *Raster to point* del mapa de Vs30 por topografía; de éstos, 445 valores fueron obtenidos del trabajo de Márquez & Morales (2009) y 15 de Mijares (2019). Cabe destacar que la mayor parte de los valores de IMASW y SPT se encuentran ubicados en la cuenca de Naguanagua.

Mediante la clasificación de las normas COVENIN 1756-1 (2019), se puede observar que la mayor parte de las microzonas corresponden al grupo MS-2 que están dentro de un rango de velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m de 400 a 650 m/s y se encuentra diferenciado mediante el color azul y que corresponden a una clasificación C, que se le atribuye una litología de rocas duras con un espesor meteorizado superior a 5 m, donde el área de estudio predomina este tipo de roca como un espesor entre 0 - 80 m. Estas velocidades vienen dadas por el afloramiento de los Esquistos Las Mercedes, Las Brisas y el Augengneis de Peña de Mora, Hackley *et al.*, (2006).

En el municipio de Naguanagua (figura 5.7), la cuenca presenta valores asociados al grupo MS-3 con valores de Vs30 dentro del rango de 300 a 400 m/s que corresponden a la clase CD, es decir, sus valores se encuentran dentro de una litología intermedia entre una roca dura, arenas o gravas densa medio densas. También dentro de la cuenca de Naguanagua su litología está compuesta por sedimentos aluviales del Cuaternario según estudios realizados por Goitia (2012). Estudios realizados por Schmitz *et al.* (2015), utilizando la inversión H/V para el cálculo de los espesores, identificaron que dentro de la zona de estudio los valores de espesor más alto se encuentran en el municipio de Naguanagua, dentro del grupo de microzonas MS-4 con un rango de velocidades de Vs30 de 200 a 300 m, que corresponde a la clase D según la norma COVENIN 1756-1 (2019); esta zona posee valores de espesor sedimentarios mayores a 150 m, y se debe a los sedimentos no consolidados que son transportados a través del río Cabriales. En esta zona existe alta a muy alta susceptibilidad ante en

movimiento en masa que se encuentra en las regiones de mayor altura de las montañas que conforman la cuenca del río Cabriales (Valencia, 2009).

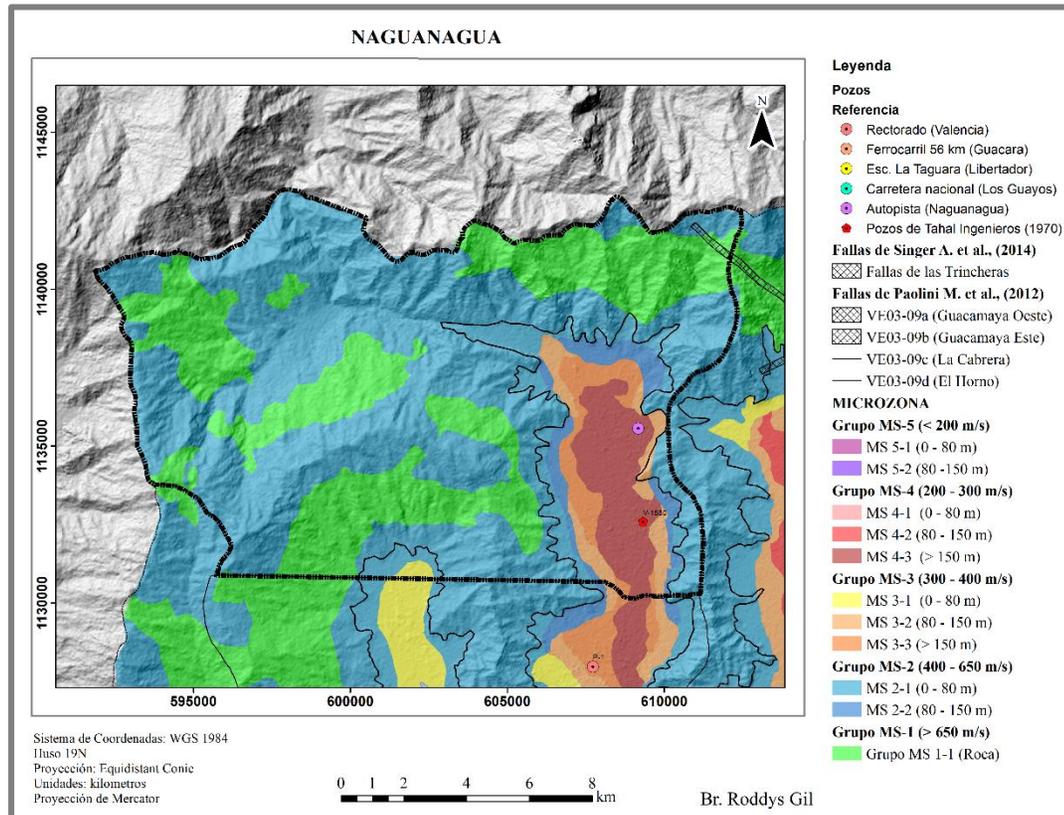


Figura 5.7. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Naguanagua.

5.9. Mapa de microzonificación sísmica en San Diego

El municipio San Diego (figura 5.8), se utilizaron 118 muestra de Márquez & Morales (2009), 11 muestras de Mijares (2019), 11 muestras de Ghio & Valladares (2008) y 884 muestras a partir del *Raster* del mapa de Vs30 topográfico para las velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m, también se utilizaron los datos de Schmitz *et al.* (2015) y Romero (2017) para la realización del mapa de espesores. En el mapa (figura 5.8), se puede observar que las microzonas predominante están asociadas al grupo MS-2 con velocidades de Vs30 entre un rango de 400 a 600 m/s, que corresponden a la clasificación de tipo C, también al grupo MS-3 con velocidad

entre un rango de Vs30 de 300 a 400 m/s, con espesores entre 0 a 150 m y que corresponden a la clasificación según la norma de CD. En el municipio San Diego se muestran elementos del grupo MS-4 que posee velocidades entre un rango de 200 a 300 m/s representados por clasificación D con espesores de 0 a 180 m.

Las zonas que poseen altas velocidades corresponden a los altos topográficos, es decir, es donde afloran los Esquistos Las Mercedes, los Esquistos Las Brisas y el Augengneis de Peña de Mora. En la cuenca de San Diego, se encuentra los espesores sedimentarios aluviales donde las velocidades van disminuyendo, por el contrario, el espesor en ciertas regiones aumenta como en la parte central de la cuenca San Diego, donde el espesor va dentro de un rango de 80 a 150 m y su velocidad de Vs30 tiene un rango de 200 a 300 m/s, aumentando su amenaza sísmica. Al norte de la cuenca se encuentra ubicada la falla Las Trincheras descrita con Singer *et al.* (2014).

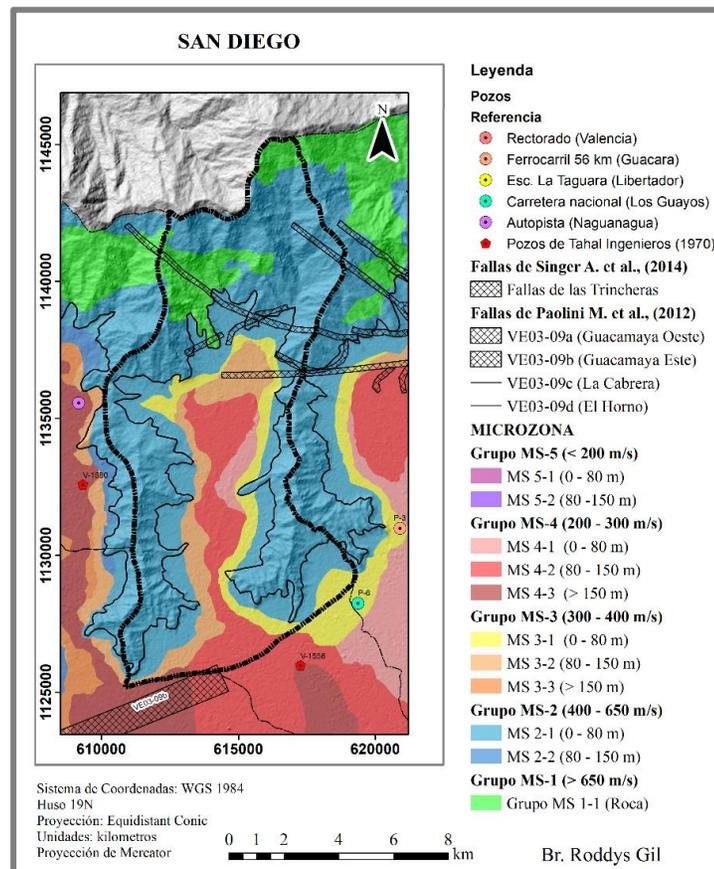


Figura 5.8. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio San Diego.

5.10. Mapa de microzonificación sísmica en Guacara

En el municipio Guacara (figura 5.9), para la realización del mapa de microzonas se utilizaron 323 datos de Loaiza & Márquez (2009), 46 datos de Ghio & Valladares (2009), 151 Márques & Morales (2009), 1528 *Raster to point* obtenido mediante el Vs30 por topografía, donde se puede observar que la mayor cantidad de datos fueron por parte de del *Raster* de Vs30 por topografía, y esto se debe a que en esta área no posee una gran cantidad de mediciones de SPT o ruido sísmico. En cuanto al espesor de sedimentos en el municipio Guacara, estos corresponden a los datos Romero (2017), obtenidos a partir de los métodos gravimétricos; a partir de estos datos se construyó el mapa de espesor total para algunas zonas del área de Valencia.

El municipio Guacara (figura 5.9), muestra que el rango de velocidades está dentro el grupo MS-2 entre 400 a 650 m/s y según la norma la clasificación corresponde a una clasificación C; esta clase está compuesta por los Esquistos Las Brisas, los Esquistos Las Mercedes y el Augengneis de Peña de Mora. El límite entre roca dura y sedimentos está definido por el grupo MS-3 con valores de velocidades de Vs30 entre 300 a 400 m/s, que corresponden a la clasificación de tipo CD según la norma COVENIN 1756-1 (2019). Seguidamente, se puede observar el grupo MS-4 con valores de velocidades de Vs30 entre 200 a 300 m/s que se encuentran dentro la clasificación de tipo D; esta microzona se encuentra en el centro de la cuenca con espesores entre 80 a 150 m que van incrementando a valores mayores de 150 m, ubicados en el centro del municipio y cerca del lago de Valencia. También se observa grupo MS-5 con espesores entre 80 y 150 m, que según la clasificación de la norma corresponde a la clase E, compuesta por arenas y arcillas sueltas. El municipio Guacara al norte está en contacto con la falla de Las Trincheras que fueron mapeadas por Singer *et al.* (2014), y que son de suma importancia para el estudio ya que conociendo la traza de la falla se puede mitigar los daños posibles en esta área, dado que parte de la población del municipio se encuentra en esta falla.

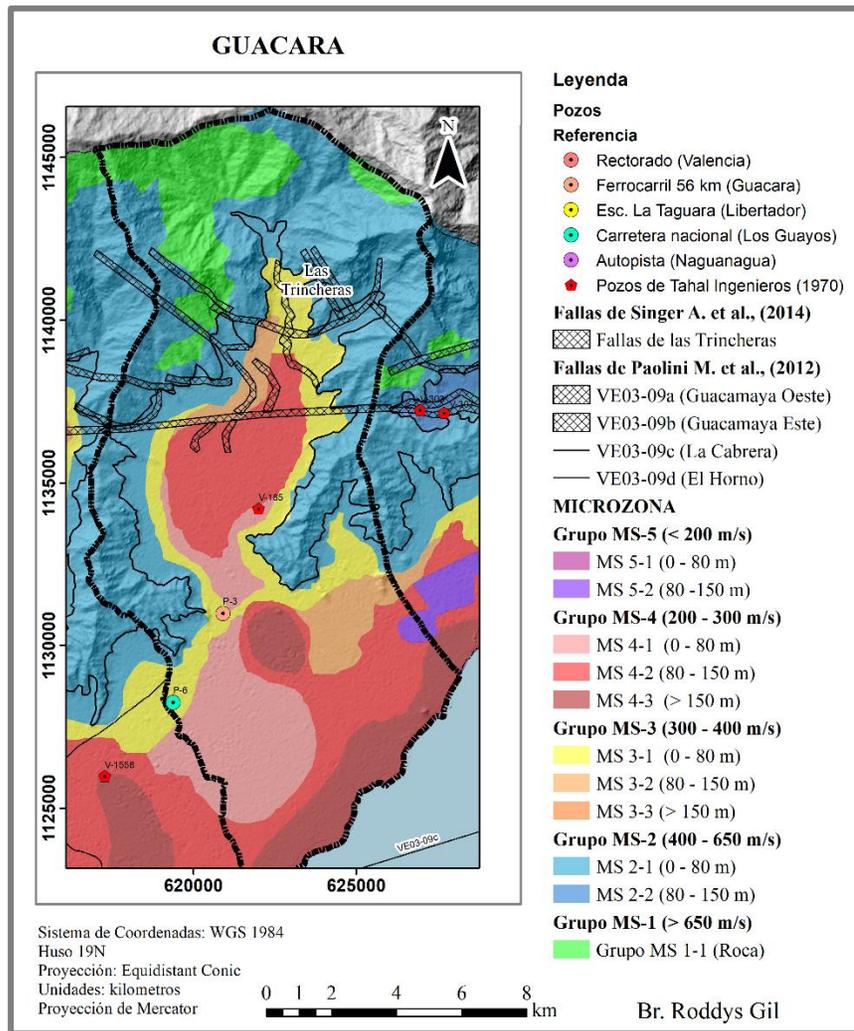


Figura 5.9. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Guacara.

5.11. Mapa de microzonificación sísmica en San Joaquín

En el municipio San Joaquín (figura 5.10), para la realización del mapa de microzonas sísmicas se utilizaron los valores de espesor sedimentario de Romero (2017), los valores Vs30 de Loaiza & Márquez (2008) y 1032 datos obtenidos a través del *Raster* del mapa Vs30 por topografía. En el mapa se muestra que al norte predomina el grupo MS-4 de clasificación C según la norma, con espesores de 0 a 80 m en su mayoría, sin embargo, al sur del municipio su espesor de sedimento aumenta a 80 a 150 m, debido a la cercanía con el lago de Valencia, por el contrario sus valores de

Vs30 disminuyen, resaltando como una zona con alta amenaza. En el centro de San Joaquín (figura 5.10), se observa el grupo MS-3 con velocidades de Vs30 dentro el rango de 300 a 400 m/s con una clasificación de C, con espesores muy bajos, debido a la cercanía con alto topográfico. A pesar de que la cuenca de San Joaquín está caracterizado por sedimentos Cuaternarios podemos observar que cerca del lago de Valencia hay velocidades de Vs30 entre los rangos de 300 a 400 m/s, con espesores de 80 a 150 m, esto refiere a que esta zona presenta sedimentos más consolidados. Al norte del municipio se encuentra la falla Las Trincheras Singer *et al.* (2014), dentro de las MS-2 y MS-3.

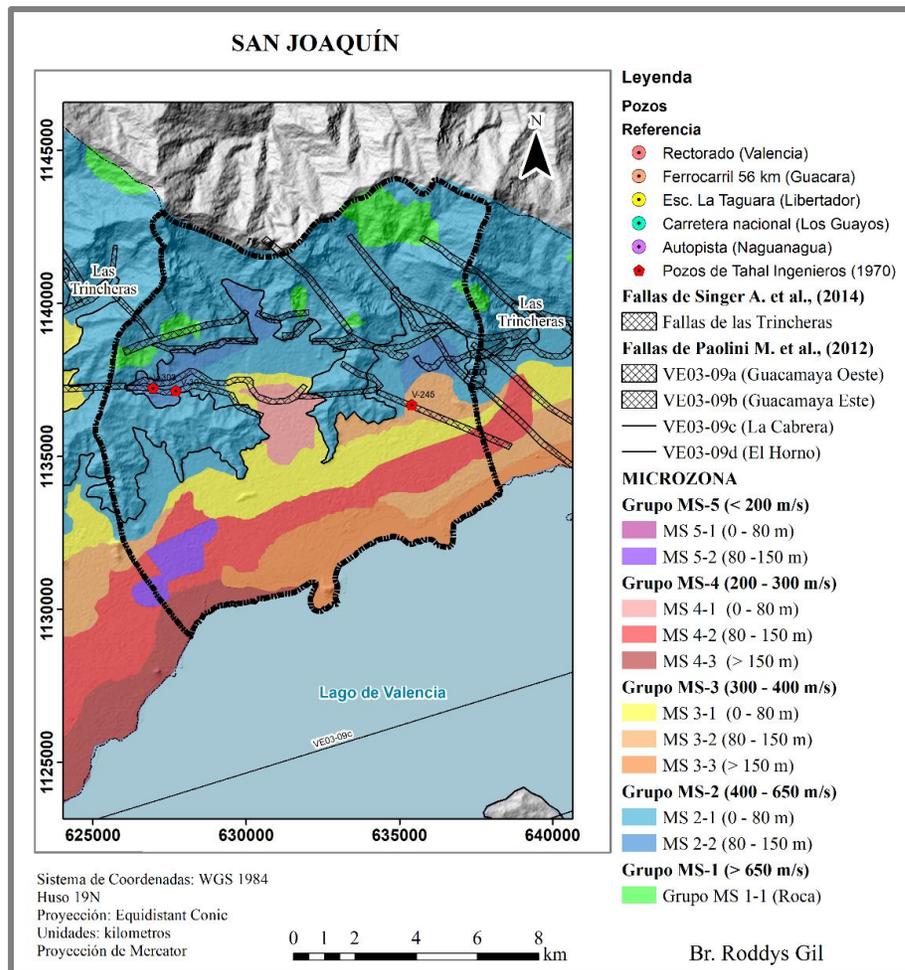


Figura 5.10. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio San Joaquín.

5.12. Mapa de microzonificación sísmica en Diego Ibarra

En el municipio de Diego Ibarra (figura 5.11), se utilizaron los valores de espesor sedimentario de Romero (2017), y 1279 valores de Vs30 por medio de SPT de Loaiza & Márquez (2008), 27 valores de Vs30 de Márquez & Morales (2009), y 742 valores por medio del *Raster to point*. En el mapa se muestran valores de velocidades de Vs30 en su mayoría dentro de un rango de 300 o 400 m/s, representada por grupo MS-3 y clasificado según como la norma como CD. Adicionalmente se presentan algunos valores muy bajos de velocidades de Vs30 menores a 200 m/s del grupo MS-5, estos valores se obtuvieron mediante la inversión de SPT.

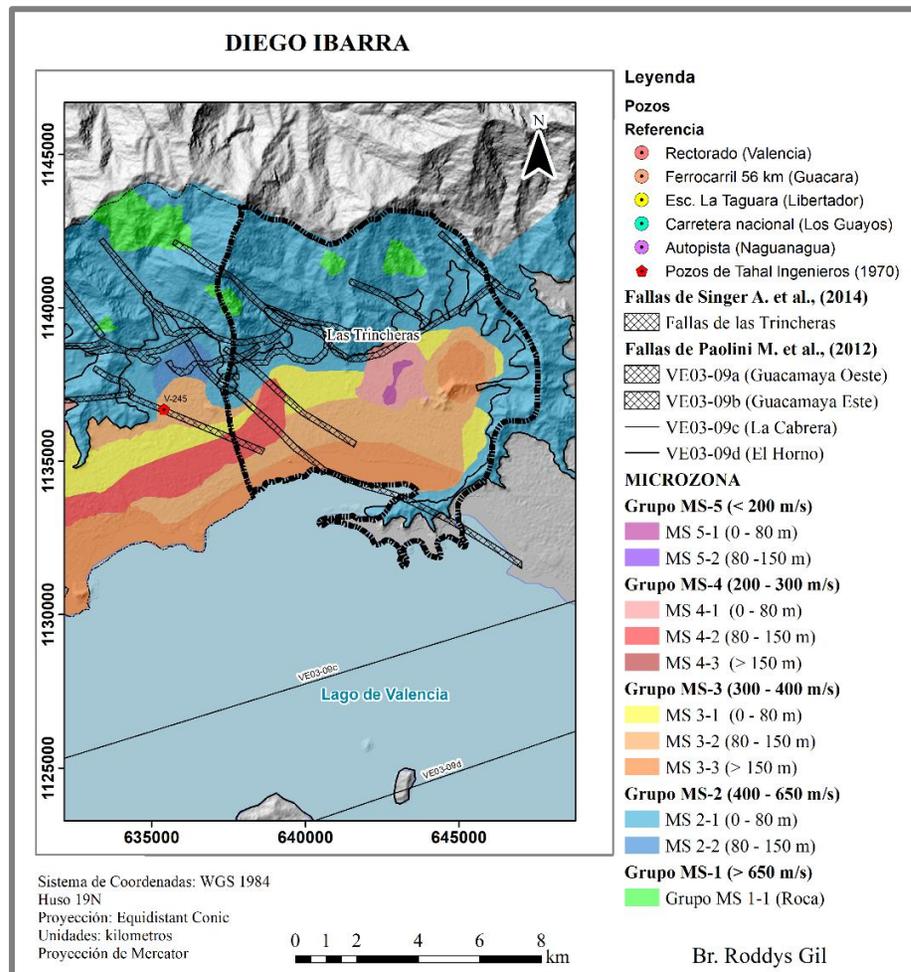


Figura 5.11. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Diego Ibarra.

5.13. Mapa de microzonificación sísmica en Valencia

En el municipio de Valencia (figura 5.12), se utilizaron 2048 de valores Vs30 a partir del *Raster to point*, 131 valores de Márquez & Morales (2009), y 4 valores de Mijares (2019) ubicados al norte del municipio de Valencia. En el mapa se puede observar que en general los valores que predominan son del grupo MS-4 con velocidades de Vs30 entre 200 a 300 m/s y un espesor en su mayoría de 80 a 150 m, describiéndolo dentro de una clasificación de tipo D; sin embargo, hay algunas zonas donde se puede observar espesores mayores a 150 m dentro de este grupo, como al norte del municipio y al este del municipio. Por el contrario, al oeste del municipio los valores disminuyen su espesor hasta un rango de 0 a 80 m. La cuenca de Valencia se encuentra delimitada por el grupo de microzona MS-3 que posee valores Vs30 entre el rango de 300 a 400 m/s. Adicionalmente, en el municipio de Valencia, se puede observar la falla de Guacamaya oeste; esta falla posee una gran incertidumbre, es por ello que se observa una traza de 500 m a cada lado de la traza, con la finalidad de mitigar los posibles riesgos que se puedan ser atribuidos a la ocurrencia de un sismo en esta área. Este municipio es el que posee la mayor población con diversas construcciones importantes para el sector económico que pueden llegar a verse afectadas por la falla si ocurriese un sismo. Además, el municipio de Valencia se encuentra asociado a la presencia, como material que conforma el relleno sedimentario, de arenas y arcillas poco densas.

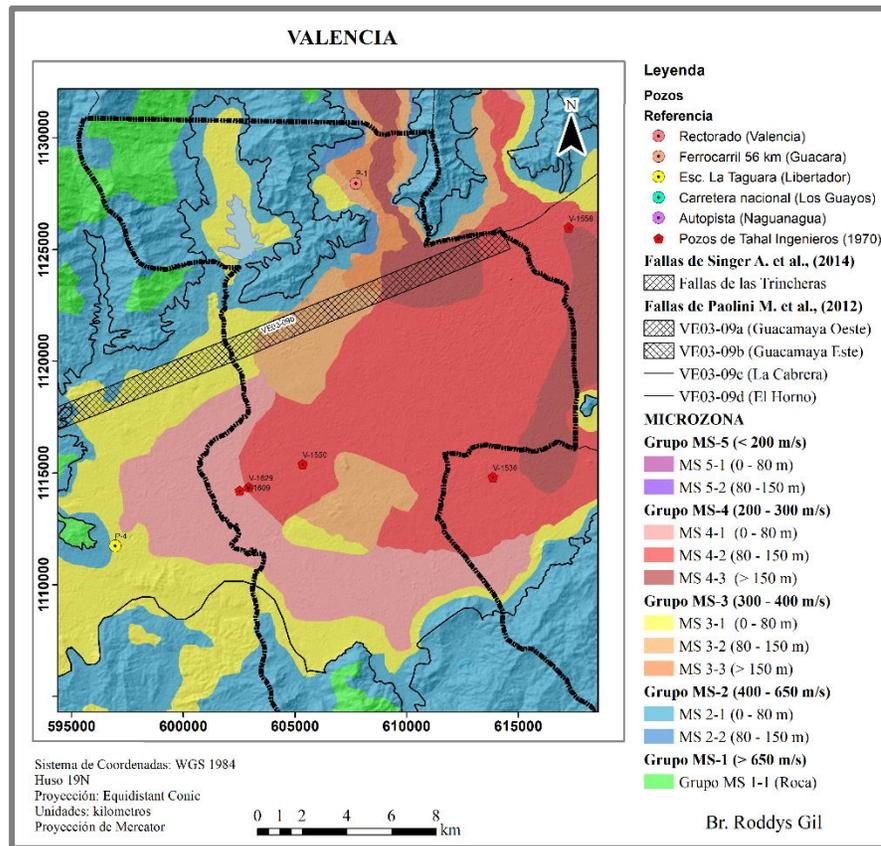


Figura 5.12. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Valencia.

5.14. Mapa de microzonificación sísmica en Los Guayos

En el municipio de Los Guayos (figura 5.13), para la realización del mapa de microzonas sísmicas se utilizaron 470 valores obtenidos por SPT de Ghio & Valladares (2008), 23 valores de igual manera de Márquez & Morales (2009), y por último 685 valores obtenidos por el *Raster to point* del mapa por topografía, además para el mapa de espesor se utilizó el mapa de Romero (2017). En el municipio se puede observar (figura 5.13) que la clasificación que predomina es D, con un rango entre de 200 a 300 m/s y un espesor sedimentario entre un rango de 80 a 150 m. También se observan algunos valores dentro del Grupo MS-3 de clasificación CD al sur del municipio Los Guayos, puesto que en esa zona flora el complejo Tinaco, con valores de velocidades de Vs30 entre 400 a 650 m/s dentro de la clasificación C.

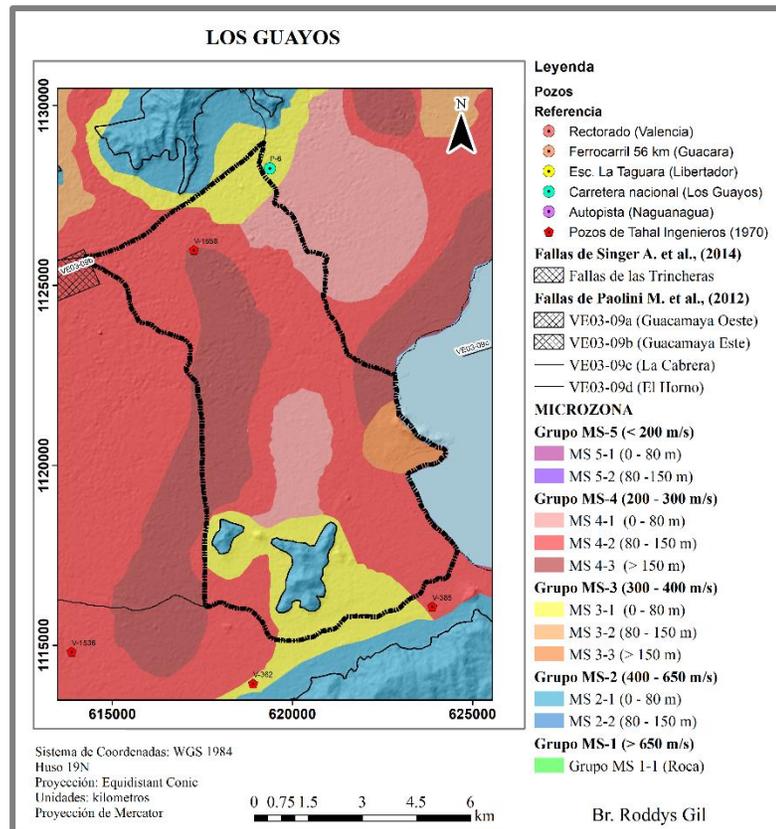


Figura 5.13. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio de Los Guayos.

5.15. Mapa de microzonificación sísmica en Libertador

En municipio Libertador (figura 5.14), el estudio se realizó con 2048 valores de V_{s30} obtenidos a través el *Raster to point* de *ArcMap* versión 10.4.1, y los datos de espesores a través del estudio realizado por Romero (2017). En el mapa de microzonas (figura 5.14), se observa que la mayor parte de las zonas que están dentro de la cuenca están asociadas al grupo MS-3, con una clasificación según la norma C, y además presenta un rango de espesor de 0 a 80. También dentro del municipio se observa el grupo MS-4, que tiene valores de velocidades de V_{s30} dentro de un rango de 200 a 300 m/s con un espesor de 0 a 80 m, esto se debe a su cercanía al alto topográfico, clasificándose de tipo D. También se observa la clasificación de tipo C, con valores de velocidades de V_{s30} entre 400 a 650 m/s. En el municipio Libertador (figura 5.14), se

puede observar la falla de Guacamaya oeste y este, con un ancho de 500 m a cada lado, debido a su incertidumbre, sin embargo, en este municipio no es un área muy poblada solo se encuentra la población de Tocuyito.

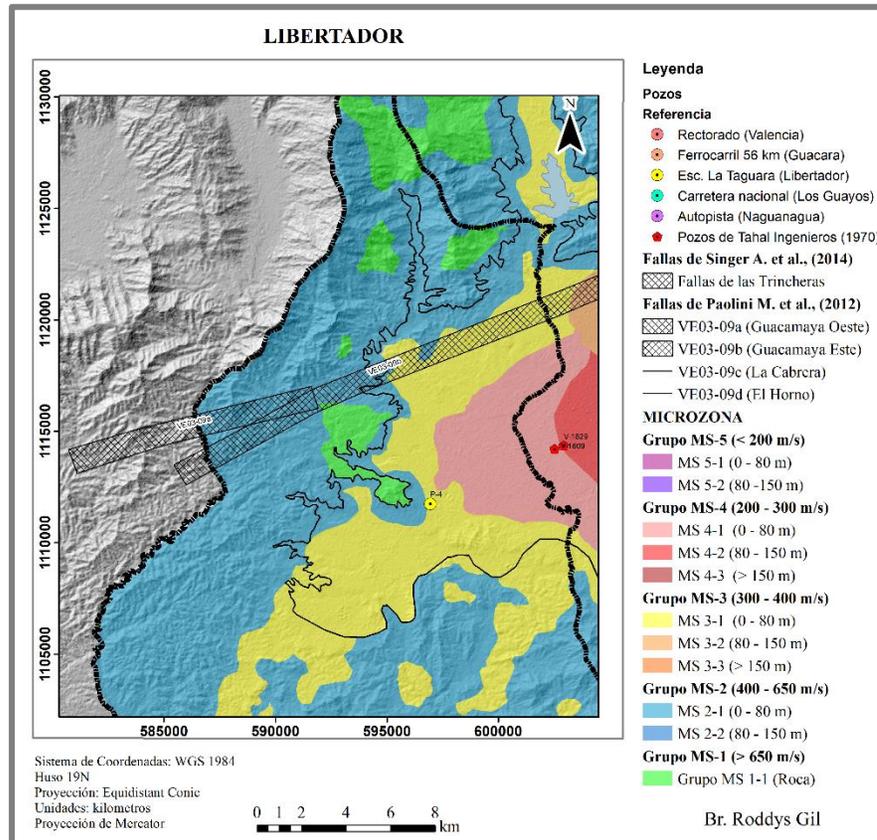


Figura 5.14. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Libertador.

5.16. Mapa de microzonificación sísmica en Carlos Arvelo

En el municipio de Carlos Arvelo (figura 5.15), los datos para la elaboración del mapa están dado por los valores obtenidos del mapa Vs30 topografía que son 4773, puesto que esta zona no presente datos de mediciones, sin embargo, es importante realizar el estudio en esta zona, ya que como se mencionó anteriormente esta zona presentó un movimiento de *lateral Spread*, según Rodríguez *et al.* (2006), debido al terremoto de Caracas 1967. El municipio Carlos Arvelo, específicamente en

la ciudad de Güigüe, se tienen los menores valores de velocidades de Vs30 dentro de un rango de 200 a 300 m/s con una clasificación D y una variación de espesor siendo el más profundo en dirección al lago de Valencia con más de 150 m. En este municipio no se encuentran en presencia de fallas activas.

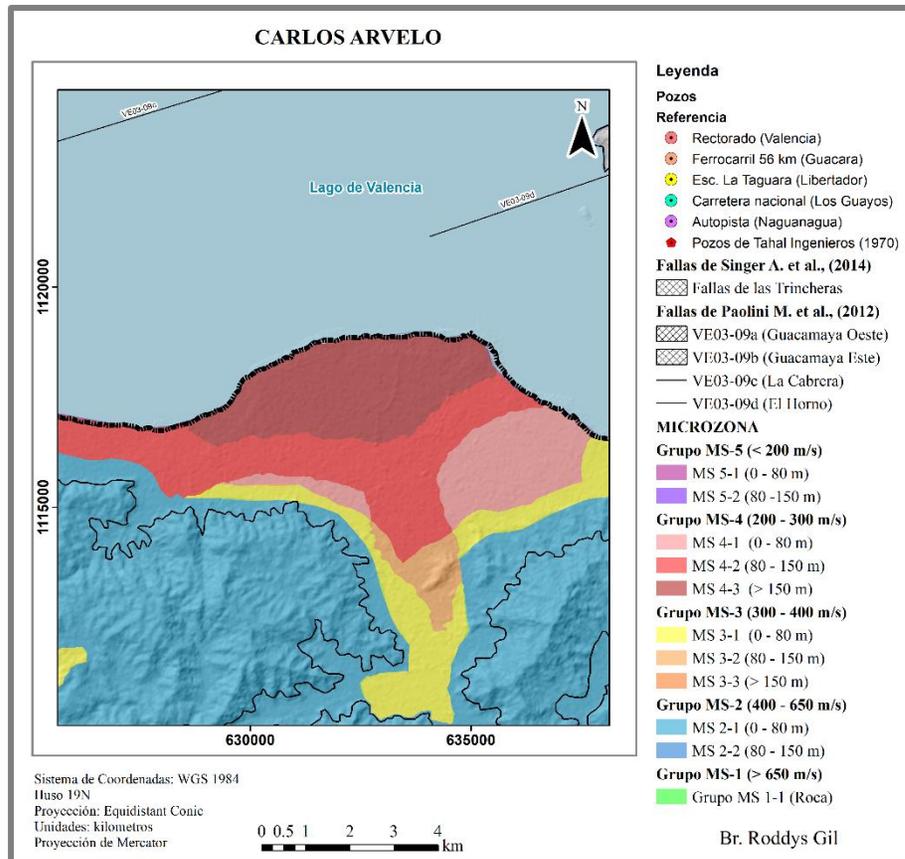


Figura 5.15. Mapa de Microzonas sísmicas en el municipio Carlos Arvelo.

5.17. Perfiles de suelo

Como parte del estudio de microzonificación sísmica según la norma COVENIN 1756-1 (2019), se deben realizar uno o varios perfiles de suelos representativos en cada una de las microzonas presentadas para conocer su respuesta en superficie. Estos perfiles de suelos van a depender del área de estudio, es decir, dependiendo de la extensión del sitio donde se encuentran ubicadas. Cada perfil de

suelo está caracterizado por su clase de sitio según la norma COVENIN 1756-1 (2019), la velocidad V_{s30} calculada, los valores de V_s de Mijares (2019) (figura A.5.7, A.5.8; A.5.9, anexo), y la profundidad de la cuenca.

A continuación se muestran los diversos perfiles de suelo realizados para la clasificación D (figura 5.16), CD (figura 5.17) y C (figura 5.18) dentro de la región de Valencia, puesto que son las únicas zonas donde se tiene información de pozos a través de plantillas de datos geotécnicos o pozos utilizados para estudios hidrogeológicos. Parte de la información que perfiles de pozos no se encontraban dentro de los estudios previos de SPT, es por ello que se usaron solo aquellos en los cuales se tenía acceso (figura A.5.4). Por este motivo se utilizaron los datos de pozos obtenidos por Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), (figura A.5.5 y A.5.6, anexo), que son pozos con la finalidad de realizar un estudio de prospección hidrogeológica, sin embargo, estos pozos poseen una profundidad mayor a 40 m.

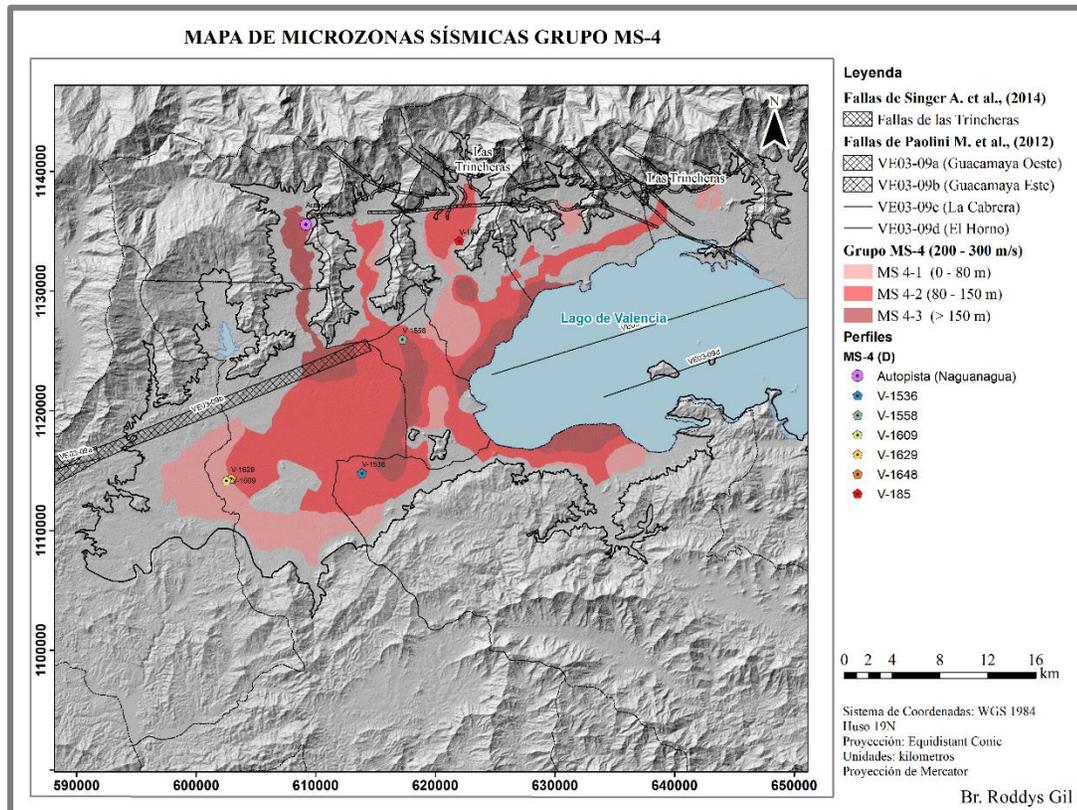


Figura 5.16. Microzonas del grupo MS-4, con perfiles de pozos

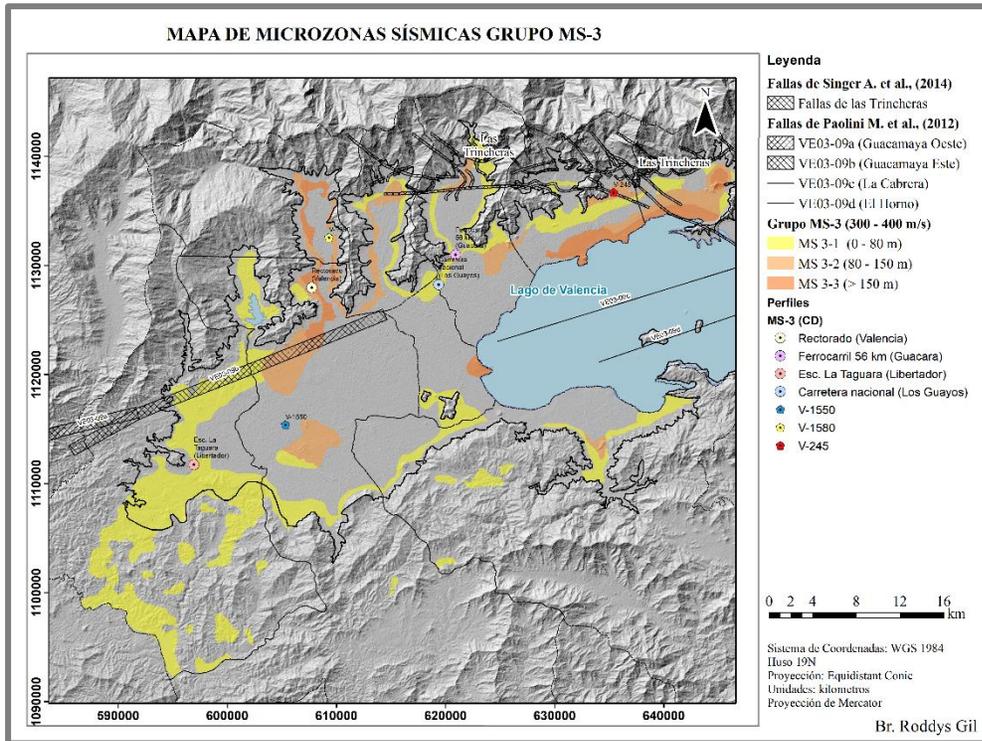


Figura 5.17. Microzonas del grupo MS-3, con perfiles de pozos

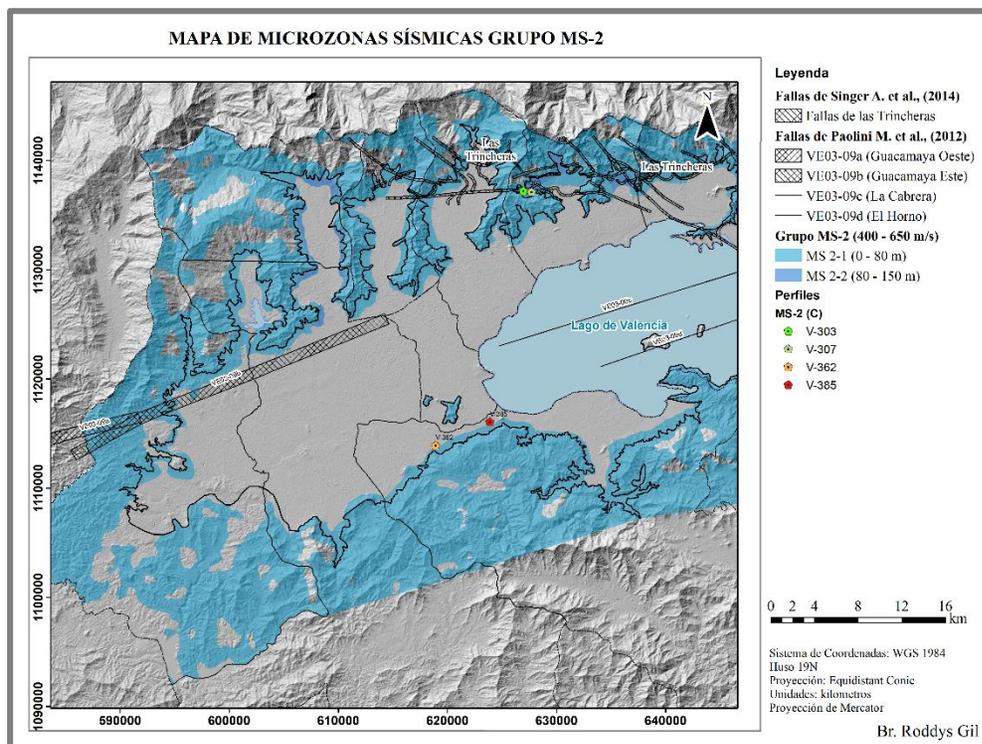


Figura 5.18. Microzonas del grupo MS-2, con perfiles de pozos

5.18. Perfiles de suelo (clasificación D)

El primer perfil de suelo corresponde a un pozo de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), identificado como V-185; este pozo se encuentra ubicado en el municipio de Guacara y está dentro de la clasificación D, debido a que posee velocidades de V_{s30} dentro de un rango de 200 a 300 m/s con un espesor sedimentario de 0 a 80 metros (figura 5.16).

Se puede observar que en el perfil (tabla 5.1), la litología que se presenta en la zona de estudio es de arena limosa y arena arcillosa con una profundidad de 50 m. Los valores de V_s , obtenidos fueron a través de perfil 35 de Mijares (2019), donde se tiene que valores de velocidades de V_s están dentro de un rango de 280 a 310 m/s. Conociendo el V_s y el espesor del pozo se procedió a estimar los valores de V_{s30} , donde se obtuvo como resultado un valor de 289 m/s correspondiendo a la clasificación D. El valor de periodo fundamental obtenidos en el mapa de Schmitz *et al.*, (2015), fue de 0.7 s, y a partir del periodo se calculó el espesor mediante la fórmula descrita por Hernández (2021) (figura A.5.3, anexo), donde se obtuvo como resultado que el espesor de acuerdo a este periodo fue de 59.5 m, estando este resultado dentro del espesor mostrado en el (figura 5.16).

Tabla 5.1. Perfil de suelo del pozo V-185. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.7 s		CLASE			
				D			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				289		289	
V-185							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arena limosa	SM	20	20	280	1.80		
Arena arcillosa	SC	30	50	310	1.85		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-185		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	$H=V_s * T / 3.5$ (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		1.4	0.70	289.3	297.3	59.5	0-80
Vs a partir de perfil MM35 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
	H	1	20	280	50	30	
	H	2	30	310			
	Roca						
			Vs30	289.3			

Este perfil se encuentra ubicado dentro del municipio Valencia y al igual que el perfil anterior está dentro del grupo MS-4 que corresponde al rango de velocidades de Vs30 de 200 a 300 m/s, y un espesor sedimentarios de 0 a 80 m (figura 5.16).

Este perfil también fue extraído de los pozos de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), donde se obtuvo que su litología está compuesta por grava, arena, arcillosa con una profundidad de 75 m. Para obtener los valores de Vs se utilizó el perfil 29 de Mijares (2019), donde se presenta que sus velocidades están comprendidas dentro de un rango de 280 a 400 m/s. Utilizando el espesor sedimentario y la velocidad se determinó que la velocidad en los primeros 30 m es de 285 m/s, este valor concuerda con lo obtenido mediante el mapa de microzonas, siendo de una clase D. Adicionalmente, se calculó el espesor sedimentario a partir de la fórmula Hernández (2021), donde se realiza a través de la relación del periodo, Vs y la constante k; el periodo fundamental utilizado fue de 1 s extraído del mapa de Schmitz *et al.* (2015), donde se obtuvo un espesor de 91 m (figura A.5.3, anexo).

Tabla 5.2. Perfil de suelo del pozo V-1609. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1 s		CLASE			
				D			
				Vs30 (m/s)	control (m/s)		
				285	285		
V-1609							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Grava	GW	25	25	280	1.90		
Arena arcillosa	SC	10	35	310	1.85		
Grava	GW	15	50	320	1.90		
Arena arcillosa	SC	5	55	350	1.85		
Grava	GW	5	60	380	1.90		
Arena arcillosa	SC	15	75	400			
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-1609		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		1.0	1.00	284.6	321.4	91.8	80 - 150
Vs a partir de perfil MM29 IMASW							
Vs30		No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)		
H		1	25	280	75 30		
H		2	10	310			
H		3	15	320			
H		4	5	350			
H		5	5	380			
H		6	15	400			
				Vs30	284.6		

El siguiente perfil corresponde a los pozos de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), y está ubicado en el municipio Carlos Arvelo y fue nombrado como V-1536, donde se muestra en el mapa que corresponde a una clase D con espesores entre 80 a 150 m (figura 5.16). En la tabla (tabla 5.4), se muestra que la litología principalmente está compuesta por arena arcillosa, grava, arena limosa y arena gruesa con un espesor de 80 m y una velocidad Vs dentro de un rango de velocidades de 280 a 600 m/s, a partir del perfil 60 de Mijares (2019), por medio del método IMASW, obteniendo con esto una velocidad Vs30 de 280 m/s, obteniendo una clasificación de tipo D. Para obtener el espesor se utilizó el periodo de 0.9 s de Schmitz *et al.* (2015), (figura A.5.3, anexo), con el cual se obtuvo un espesor de 90.6 m.

Tabla 5.3. Perfil de suelo del pozo V-1629. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1.4 s		CLASE		
				D		
				Vs30 (m/s)	control (m/s)	
				210	210	
V-1629						
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)	
Arena limosa	SM	25	25	200	1.75	
Arena arcillosa	SC	35	60	280	1.85	
Arena gruesa	SP	10	70	300	1.85	
Arena arcillosa	SC	10	80	400	1.85	
Arena gruesa	SP	5	85	500	1.85	
Arena arcillosa	SC	5	90	600	1.85	
Profundidad de la cuenca a partir del período H/V con la fórmula $H = Vs \cdot T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).						
Sitio: V-1629 (Tahal)	frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H	0.7	1.40	210.0	275.5	110.2	80-150
Vs a partir de perfil MM35 IMASW						
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)		
H	1	25	200	90	30	
H	2	35	280			
H	3	10	300			
H	4	10	400			
H	5	5	500			
H	6	5	600			
Roca						
		Vs30	210.0			

Este perfil corresponde a los pozos de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), y está ubicado en el municipio Carlos Arvelo y denotado como V-1536, donde se muestra en el mapa que corresponde a una clase CD, con espesores entre 80 a 150 m (figura 5.16). En la tabla (tabla 5.4), se muestra que la litología principalmente está compuesta por arena arcillosa, grava, arena limosa y arena gruesa con un espesor de 80 m y una velocidad Vs dentro de un rango de velocidades de 280 a 600 m/s, a partir del perfil 60 de Mijares (2019), (figura A.5.6, apéndices). Se obtuvo que la velocidad de Vs30 para este perfil es de 280 m/s, que según la norma está dentro de la clasificación D. Para la obtención del espesor se utilizó el periodo de Schmitz *et al.* (2015) de 0.9 s (figura A.5.3, anexo), con el cual se obtuvo un espesor de 90.6 m.

Tabla 5.5. Perfil de suelo del pozo V-1558. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Período fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1.8 s		CLASE	
				D	
				Vs30 (m/s)	control (m/s)
				250	250
V-1558					
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)
Arena arcillosa	SC	40	40	250	1.85
Arena limosa	SM	20	60	280	1.75
Arena arcillosa	SC	20	80	300	1.85
Arena limosa	SM	15	95	350	1.75
Arena arcillosa	SC	30	125	400	1.85
Arcilla limosa	CL	10	135	500	1.80
Arena gruesa	SP	20	155	550	1.85
Arcilla limosa	CL	5	160	600	1.85

Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-1558		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	0.6	1.80	250.0	332.9	171.2	150-200

Vs a partir de perfil MM35 IMASW						
Vs30	No.		Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)	
		H	1	40	250	30
	H	2	20	280		
	H	3	20	300		
	H	4	15	350		
	H	5	30	400		
	H	6	10	500		
	H	7	20	550		
	H	8	5	600		
			Vs30	250.0		

El siguiente perfil pertenece al perfil geotécnico realizado en la universidad de Carabobo en la autopista del municipio Naguanagua (figura 5.16). La litología que comprende este perfil geotécnico está compuesto por arenas limosas, limo con arena y arcilla limosa con una profundidad máxima de 160 metros (tabla 5.6). Para determinar Vs se utilizó el perfil 36 de Mijares (2019) obtenido mediante el método de IMASW (figura A.5.4, apéndices), con el cual se obtuvo que las velocidades de corte (Vs), que se encuentran dentro de un rango entre 250 a 600 m/s, y mediante estos valores se calculó la velocidad de ondas de corta en los primeros 30 m que dio como resultado 274 m/s. Para el cálculo del espesor se utilizó la fórmula de Hernández (2021), para ello se extrajo el periodo del mapa de Schmitz *et al.* (2015), donde se obtuvo un valor de 1.5 s (figura A.5.3, anexo), y con ello se calculó que la profundidad de la cuenca es

de 167 m. Este perfil debido al valor de Vs30 según la norma COVENIN 1756-1 (2019), está dentro de la clasificación D.

Tabla 5.6. Perfil de suelo del pozo de la autopista del municipio de Naguanagua. Universidad de Carabobo, Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1.5 s		CLASE	
				D	
				Vs30 (m/s)	control (m/s)
				274	274
Autopista (Naguanagua)					
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)
Arena limosa	SM	3	3	250	1.75
Limo con arena	ML	2	5	250	1.80
Arcilla limosa	CL	3	8	250	1.75
Arena limosa	SM	1	9	250	1.75
Arcilla limosa	CL	1	10	270	1.75
Arena limosa	SM	2	12	270	1.75
Arcilla limosa	CL	3	15	270	1.75
Arena limosa	SM	5	20	280	1.80
Arcilla limosa	CL	10	30	300	1.75
Limo con arena	ML	20	50	400	1.80
Arena limosa	SM	20	70	450	1.80
Arcilla limosa	CL	30	100	500	1.75
Arena limosa	SM	60	160	600	1.80

Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = Vs \cdot T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: Autopista (Naguanagua)	frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)	
H	0.7	1.50	274.2	388.4	166.5	150-250	

Vs a partir del perfil MM36 IMASW					
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)	
H	1	3	250	13	30
H	2	2	250		
H	3	3	250		
H	4	1	250		
H	5	1	270		
H	6	2	270		
H	7	3	270		
H	8	5	280		
H	9	10	300		
H	10	20	400		
H	11	20	450		
H	12	30	500		
H	13	60	600		
Roca					
		Vs30	274		

5.19. Perfiles de suelo (clasificación CD)

Para la clasificación de suelos se realizó la misma metodología que con la clasificación de suelos de tipo D, sin embargo, el rango de velocidades de V_{s30} es de 300 a 400 m/s. Para el estudio de perfiles de suelo en la clasificación CD se utilizaron 7 perfiles de pozo (figura 5.17).

El primer perfil de pozo corresponde al ferrocarril km 56 dentro del municipio Guacara (figura 5.17), a través de las planillas geotécnicas de la universidad de Carabobo, donde presenta un espesor de 0 a 80 m; la descripción litológica comprende: arcilla limosa, arena fina, arena limosa, arena gruesa, grava y por último el basamento (tabla 5.7). El espesor reportado dentro de este perfil geotécnico fue de 80 m y mediante la utilización del perfil número 52 de Mijares (2019), se obtuvo los valores dentro del rango de velocidades V_s de 283 a 680 m/s (figura A.5.5, apéndices), obteniendo una velocidad de onda de corte para los primeros 30 m de 309 m/s estando dentro de la clasificación CD. De igual manera se hizo el cálculo para el espesor sedimentario donde el periodo según Schmitz *et al.* (2015), es de 0.7 s (figura A.5.3, anexo), y con ello se obtuvo que el espesor es de 88.3 m.

Tabla 5.7. Perfil de suelo del pozo de Ferrocarril km 56 del municipio Guacara. Universidad de Carabobo, Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.7 s		CLASE			
				CD			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				309		309	
Ferrocarril Km 56 (Guacara)							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arcilla limosa	CL	3	3	283	1.75		
Arena fina	SM	9	12	290	1.80		
Arena arcillosa	SC	10	22	320	1.80		
Arena limosa	SM	8	30	330	1.80		
Arena gruesa	SP	20	50	500	1.85		
Grava	GW	30	80	680	1.90		
Esquistos Las Mercedes	R			1300	2.50		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = Vs \cdot T / K$ K=3.5 Hernández (2021).							
Sitio: km 56 (Guacara)		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		1.4	0.70	308.9	441.4	88.3	0-80
Vs a partir de perfil MMS2 IMASW							
Vs30		No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)		
H1			3	283	30	30	
H2			9	290			
H2			10	320			
H3			8	330			
Roca							
			Vs30	308.9			

En el siguiente perfil (figura 5.17), se utilizó las planillas obtenían de los estudios de la universidad de Carabobo de la carretera nacional, ubicada dentro del municipio Los Guayos donde se obtuvo que su litología estaba compuesta por limo con arena, arcilla limosa con un espesor máximo de 30 m (tabla 5.8), y con una velocidad que fue calculada a partir del perfil 46 de Mijares (2019), dentro de un rango de velocidades de Vs de 260 a 360 m/s, mediante estos valores se obtuvo la velocidad de onda de corte para los primeros 30 metros fue de 340 m/s, esta velocidad se encuentra dentro de la clasificación CD según la norma COVENIN 1756-1 (2019). Para el cálculo del espesor se utilizó el periodo de 0.5 s (figura A.5.3, anexo) de Schmitz *et al.* (2015), obteniendo como resultado un espesor de 48.5 m estando dentro de un rango de espesores de 0 a 80 m, que se puede observar tanto en el mapa de microzonificación sísmica realizado, así como también dentro del perfil geotécnico.

Tabla 5.8. Perfil de suelo del pozo de la carretera nacional del municipio de Los Guayos. Universidad de Carabobo, Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Período fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.5 s		CLASE			
				CD			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				340		340	
Carretera nacional (Los Guayos)							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Limo con arena	ML	2	2	260	1.80		
Arcilla limosa	CL	3	5	280	1.75		
Limo con arena	ML	3	8	340	1.80		
Arcilla limosa	CL	7	15	360	1.75		
Arena limosa	SM	15	30	360	1.80		
Profundidad de la cuenca a partir del período H/V con la fórmula $H = V_s \cdot T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: Carretera nacional (Los Guayos)		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	$H=V_s \cdot T / 3.5$ (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	2.0	0.50	339.6	339.6	48.5	0-80
Vs a partir de perfil MM46 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
H	1	2	260	30	30		
H	2	3	280				
H	3	3	340				
H	4	7	360				
H	5	15	360				
Roca							
		Vs30	339.6				

El siguiente perfil se obtuvo mediante la planilla geotécnica realizada en la universidad de Carabobo (figura 5.17), denotada como la Esc. La Taguara en el municipio Libertador. Este perfil está principalmente compuesto por una litología de limo con arena, arena gruesa, y el basamento con un espesor de 30 m donde en el mapa realizado de microzonificación sísmica es que se encuentra en unos 0 a 80 m (tabla 5.9). Para el cálculo de la velocidades de ondas de corte se utilizó el perfil 41 de Mijares (2019) obtenido mediante IMASW, donde su velocidad está dentro del rango de 350 a 1300 m/s, estas velocidades de corte más el espesor permitieron el cálculo de la velocidad de onda de corte de los primeros 30 m dando como resultado 372 m/s, estando está dentro de la clasificación del de C, como se muestra en la tabla 5.9. Para el cálculo del espesor se utilizó la frecuencia natural de Schmitz *et al.* (2015), donde para este sitio la frecuencia es de 0.45 s (figura A.5.3, anexo), y al utilizar la fórmula propuesta por Hernández (2021) se obtuvo un espesor de 53 m.

Tabla 5.9. Perfil de suelo del pozo de la esc. La Taguara del municipio Libertador. Universidad de Carabobo, Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.45 s		CLASE			
				CD			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				372		372	
Esc. La Taguara (Libertador)							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Limo con arena	ML	5	5	350	1.80		
Arena gruesa	SP	3	8	350	1.85		
Arena limosa	SM	20	20	380	1.80		
Arena gruesa	SP	20	30	500	1.85		
Esquistos Las Mercedes	R			1300	2.50		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s \cdot T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: Esc. La Taguara (Libertador)		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	2.2	0.45	371.5	415.6	53.4	0-80
Vs a partir de perfil MM41 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
	H	1	5	350	30		48
	H	2	3	350			
	H	3	20	380			
	H	4	20	500			
	Roca						
			Vs30	371.5			

El siguiente perfil fue a partir de los datos de pozo de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), denotado como V-245, ubicado en el municipio San Joaquín (figura 5.17). Este perfil según la clasificación de la microzonificación sísmica se encuentra en la clase CD y esto se puede corroborar con lo observado en el mapa de microzonificación sísmica. Este perfil está compuesto principalmente de arena arcillosa, arcilla limosa, y grava con espesor de 95 m (tabla 5.10). Para el cálculo de las velocidades de ondas de corte se utilizó el perfil 35 de Mijares (2019), obtenido a través de IMASW, donde se obtuvo que el rango de velocidades va de 340 a 500 m/s, a partir del Vs y el espesor se tiene que la velocidad en los primeros 30 m es de 390 m/s. Para el cálculo del espesor se utilizó la frecuencia natural de 0.9 s (figura A.5.3, anexo), obtenida a través del mapa de Schmitz *et al.* (2015), dando como resultado un espesor de 118 m, estando dentro de un rango de espesores de 80 a 150 m, como se muestra en el mapa de microzonificación sísmica.

Tabla 5.11. Perfil de suelo del pozo V-1550. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1 s		CLASE	
				CD	
				Vs30 (m/s)	control (m/s)
				393	393
V-1550					
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)
Arena limosa	SM	10	10	380	1.80
Arena arcillosa	SC	40	50	400	1.80
Grava	GW	10	60	500	1.80
Arcilla limosa	CL	10	70	600	1.75
Grava	GW	10	80	700	1.90
Arena arcillosa	SC	30	110	700	1.80
Grava	GW	10	120	700	1.90

Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = Vs \cdot T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-1550		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		1.0	1.00	393.1	511.9	146.3	80-150

Vs a partir de perfil MM42 IMASW					
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)	
				H	1
	2	40	400		
	3	10	500		
	4	10	600		
	5	10	700		
	6	30	700		
	7	10	700		
	Roca				
		Vs30	393.1		

El siguiente perfil fue realizado por Gisca (2011) En el municipio de Valencia en el rectorado de la universidad de Carabobo (figura 5.17). Dentro del perfil geotécnico se puede observar que su litología está principalmente compuesta por arcilla limosa, arena limosa, arena gruesa y el afloramiento del Esquistos Las Mercedes con una profundidad de 240 m (tabla 5.12). Para determinar las velocidades de ondas de corte se utilizó el perfil número 35 realizado por Mijares (2019) a través del método de IMASW, con el cual se obtuvo como resultado velocidades dentro de un rango de 290 a 1300 m/s y con ello se pudo determinar la velocidad de onda de corte para los primeros 30 m, obteniendo como resultado un valor de 223 m/s, estando dentro de la clasificación CD según la norma COVENIN 1756-1 (2019), al igual que en el mapa de microzonificación sísmica realizado. Para calcular el espesor a partir del periodo H/V,

se utilizó la frecuencia natural de 1.4 s (figura A.5.3, anexo), extraído a través del mapa de Schmitz *et al.* (2015), dando como resultado un espesor de 235.2 m siendo éste muy cercano al espesor obtenido a través del perfil geotécnico realizado por Gisca (2011), (tabla A.5.3, apéndices).

Tabla 5.12. Perfil de suelo del pozo del rectorado. Universidad de Carabobo. Gisca (2011), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1.4 s		CLASE	
				CD	
				Vs30 (m/s)	control (m/s)
				323	323
Rectorado (Informe GISCA)					
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)
Arcilla limosa	CL	4	4	290	1.75
Arena limosa	SM	5	9	300	1.75
Arcilla limosa	CL	7	16	320	1.80
Arena limosa	SM	5	21	340	1.75
Arena limosa	SM	9	30	350	1.80
Arcilla limosa	CL	7	37	350	1.80
Arena gruesa	SP	8	45	380	1.85
Arcilla limosa	CL	3	48	400	1.85
Arena gruesa	SP	8	56	500	1.90
Arcilla limosa	CL	8	64	600	1.90
Arena gruesa	SP	132	196	700	1.90
Arcilla limosa	CL	44	240	900	1.95
Esquisto Las Mercedes	R			1300	2.50

Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: Rectorado Universidad de Carabobo		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3. (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		0.7	1.40	323.4	588.1	235.2	150 - 250

Vs a partir de perfil MM35 IMASW					
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)	
	H	1	4	290	30 240
	H	2	5	300	
	H	3	7	320	
	H	4	5	340	
	H	5	9	350	
	H	6	7	350	
	H	7	8	400	
	H	8	3	500	
	H	9	8	600	
	H	10	8	650	
	H	11	132	800	
	H	12	44	900	
	Roca			1600	
			Vs30	323	

En el siguiente perfil obtenido a través de los perfiles de pozos de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), y denotado con el nombre de V-1580 ubicado en el municipio de Naguanagua específicamente dentro de la cuenca de Naguanagua (figura 5.17). Este perfil presentan litología de arena arcillosa, grava y arena gruesa con espesor de 155 m (tabla 5.13); para el cálculo de la velocidad Vs30 se utilizaron las velocidades Vs a partir del perfil 53 de Mijares (2019), obtenido a través del método IMASW, donde se obtuvo que el rango de velocidades va desde 380 a 700 m/s. Utilizando los valores de Vs y el espesor se determinó que la velocidad Vs30 es de 386 m/s, estando dentro de la clasificación CD. Para el cálculo de profundidad de H/V, propuesta por Hernández (2021), se utiliza el periodo de 1.2 s (figura A.5.3, anexo), obtenido a través del mapa de Schmitz *et al.* (2015), donde se obtuvo un espesor de 175m,

Tabla 5.13. Perfil de suelo del pozo V-1580. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1.2 s		CLASE			
				CD			
				Vs30 (m/s)	control (m/s)		
				386	386		
V-1580							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arena arcillosa	SC	20	20.0	380	1.80		
Grava	GW	30	50.0	400	1.90		
Arena gruesa	SP	10	60.0	500	1.90		
Grava	GW	10	70.0	500	1.90		
Arena arcillosa	SC	50	120.0	600	1.80		
Grava	GW	10	130.0	600	1.90		
Arena arcillosa	SC	20	150.0	700	1.80		
Arena arcillosa	SC	5	155.0	700	1.80		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-1580		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	0.8	1.20	386.4	511.0	175.2	150 - 250
Vs a partir de perfil MM53 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
	H	1	20	380	30 155		
	H	2	30	400			
	H	3	10	500			
	H	4	10	500			
	H	5	50	600			
	H	6	10	600			
	H	7	20	700			
	H	8	5	700			
	Roca						
			Vs30	386.4			

5.20. Perfiles de suelo (clasificación C)

El siguiente perfil fue extraído de los datos de pozos de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), nombrado como V-362, ubicado en el municipio de Carlos Arvelo (figura 5.18). Este perfil presenta una litología compuesta por arena arcillosa, arcilla limosa y grava con espesor de 75 m (tabla 5.14). Para determinar las velocidades de corte se utilizó el perfil 42 de Mijares (2019), obtenido a través de IMASW, donde se obtuvo las velocidades dentro de un rango de 400 a 600 m/s. A partir de las velocidades de Vs y el espesor se logró determinar la velocidad de la onda de corte en los primeros 30 m con un valor de 425 m/s; esta velocidad corresponde a la clasificación C según las normas COVENIN 1756-1 (2019). Para el

cálculo de la profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V Se utiliza la fórmula de Hernández (2021), la cual utiliza la velocidad de ondas de corte el periodo, la constante k de 3,5 y el periodo obtenido a través del mapa de Schmitz *et al.* (2015), de 0.5 s (figura A.5.3, anexo), y mediante el cálculo del espesor se determinó que el espesor es de 71 m.

Tabla 5.14. Perfil de suelo del pozo V-362. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.5 s		CLASE			
				C			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				425		425	
V-362							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arena arcillosa	SC	18	18	400	1.80		
Arcilla limosa	CL	7	25	450	1.80		
Arena arcillosa	SC	20	45	500	1.80		
Grava	GW	5	50	600	1.90		
Arcilla limosa	CL	10	60	600	1.80		
Grava	GW	10	70	600	1.90		
Arcilla limosa	CL	5	75	600	1.80		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ K=3.5 Hernández (2021).							
Sitio: V-362		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	2.0	0.50	425.2	498.2	71.2	0-80
Vs a partir de perfil MM42 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
	H	1	18	400	30	75	
	H	2	7	450			
	H	3	20	500			
	H	4	5	600			
	H	5	10	600			
	H	6	10	600			
	H	7	5	600			
	Roca						
			Vs30	425.2			

Este perfil fue extraído a través de los perfiles de pozo de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), nombrado como V-385, ubicado dentro del municipio Carlos Arvelo (figura 5.18). Dentro de la descripción litológica se puede observar que está compuesta de arena arcillosa y grava con una profundidad de 70 m (tabla 5.15). Para el cálculo de las velocidades de ondas de cortes se utilizó el perfil 45

de Mijares (2019), donde se observa que el rango de las velocidades están dentro de los 400 a 500 m/s. Con los datos de velocidades de Vs y la profundidad se determinó las velocidades de ondas de corte en los primeros 30 metros que dio como resultado 400 m/s, estando está dentro de la clasificación C según la norma COVENIN 1756-1 (2019). Para el cálculo del espesor se utilizó la fórmula de Hernández (2021), ya antes mencionadas y el periodo de 0,5 segundos (figura A.5.3, anexo), extraído a través del mapa de Schmitz *et al.* (2015), dónde se obtuvo una profundidad de 61.5 m estando este dentro del rango de 0 a 80 m, como se muestra en el mapa de microzonificación sísmica.

Tabla 5.15. Perfil de suelo del pozo V-385. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		0.5 s		CLASE			
				C			
				Vs30 (m/s)		control (m/s)	
				400		400	
V-385							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arena arcillosa	SC	45	45	400	1.80		
Grava	GW	25	70	500	1.90		
Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ K=3.5 Hernández (2021).							
Sitio: V-385		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	2.0	0.50	400.0	430.8	61.5	0-80
Vs a partir de perfil MM54 IMASW							
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)			
	H	1	45	400	30	70	
	H	2	25	500			
	Roca						
		Vs30	400.0				

El siguiente perfil también se extrajo de los datos de pozo de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), nombrado como V-303 y ubicado en el municipio Diego Ibarra (figura 5.18). Dentro de los perfiles litológicos se muestra que está compuesto principalmente de arena arcillosa y grava con una profundidad de 110

m (tabla 5.16). Para el cálculo de las velocidades de ondas de cortes se utilizó el perfil 51 de Mijares (2019), a partir del método de IMASW dónde se obtuvo que las velocidades está dentro de un rango entre 420 a 700 m/s, con estos dos parámetros se pudo determinar que las velocidades de ondas de corte de los primeros 30 metros que fue de 438 m/s, estando dentro de la clasificación C según las normas COVENIN 1756-1 (2019), de igual manera en el mapa de microzonificación sísmica se puede observar que este pozo también se encuentra ubicado dentro de esta clase. Para el cálculo del espesor se determinó que el periodo es de 1.1 s (figura A.5.3, anexo), extraído del mapa de Schmitz *et al.* (2015), y con ello se pudo calcular la profundidad de la cuenca que fue de 165 m.

Tabla 5.16. Perfil de suelo del pozo V-303. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz *et al.* (2015).

Periodo fundamental. Schmitz <i>et al.</i> , (2015)		1.1 s		CLASE	
				C	
				Vs30 (m/s)	control (m/s)
				438	438
V-303					
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)
Arena arcillosa	SC	20	20	420	1.80
Grava	GW	10	30	480	1.90
Arena arcillosa	SC	20	50	500	1.80
Grava	GW	30	70	500	1.90
Arena arcillosa	SC	10	80	600	1.80
Grava	GW	30	110	700	1.90

Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-303		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
H		0.9	1.10	438.3	526.4	165.4	80-150

Vs a partir de perfil MM51 IMASW					
Vs30	No.	Espesor	Vs (m/s)	Control (m)	
H	1	20	420	30	120
H	2	10	480		
H	3	20	500		
H	4	30	500		
H	5	10	600		
H	6	30	700		
Roca			0		
			Vs30	438.3	

El perfil V-307, ubicado en el municipio Diego Ibarra fue obtenido a través de los perfiles de pozo de Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970) (figura 5.18). La litología que presenta este perfil son arena arcillosa, arena media y grava con una profundidad de 110 m, según lo reportado en el informe (tabla 5.17). Las velocidades de ondas de cortes que utilizó fueron extraídas del perfil 42 de Mijares (2019), obteniendo un rango de velocidades entre 420 a 700 m/s, mediante estos parámetros se calculó velocidad de onda de corte en los primeros 30 m, donde se obtuvo una velocidad de 457 m/s. En cuanto a la profundidad de la cuenca se utilizó un periodo de 1.1 s (figura A.5.3, anexo), extraído del mapa de Schmitz et al. (2015), y con ello se obtuvo que el espesor es de 183 m.

Tabla 5.17. Perfil de suelo del pozo V-307. Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela S.A. (1970), Mijares (2019) y Schmitz et al. (2015).

Periodo fundamental. Schmitz et al., (2015)		1.1 s		CLASE			
				C			
				Vs30 (m/s)	control (m/s)		
				457	457		
V-307							
Litología	Clasificación geotécnica	Espesor (m)	H (m)	Vs (m/s)	Densidad (g/cm ³)		
Arena arcillosa	SC	15	15	420	1.80		
Arena media	SM	20	35	500	1.80		
Arcilla limosa	CL	5	40	600	1.75		
Arena media	SM	10	50	600	1.80		
Arena arcillosa	SC	10	60	600	1.80		
Grava	GW	20	80	700	1.90		
Arcilla limosa	CL	10	90	700	1.75		
Grava	GW	20	110	700	1.90		

Profundidad de la cuenca a partir del periodo H/V con la fórmula $H = V_s * T / K$ $K=3.5$ Hernández (2021).							
Sitio: V-307		frecuencia (s ⁻¹)	T (s)	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)	H=Vs*T/3.5 (m)	Referencia del espesor mapa (m)
	H	0.9	1.10	456.5	582.6	183.1	80-150

Vs a partir de perfil MM42 IMASW						
Vs30	No.	Espesor (m)	Vs (m/s)	Control (m)		
	H	1	15	420	30	110
	H	2	20	500		
	H	3	5	600		
	H	4	10	600		
	H	5	10	600		
	H	6	20	700		
	H	7	10	700		
	H	8	20	700		
	Roca					
			Vs30	456.5		

5.21. Mapa de microzonas sísmicas con las fallas activas y el potencial de licuación

Para estimar el potencial de licuación en la región de Valencia, según la norma COVENIN 1756-1 (2019), se debe tomar en cuenta los lineamientos sobre el potencial de licuación que debe estar incluido en la microzonificación sísmica, donde se menciona que la licuación es la pérdida temporal de la capacidad de un suelo suelto durante un sismo comportarse como un líquido, es por ello que también es importante hacer la evaluación de las fallas activas en el zona de estudio y tener en consideración sus magnitud máxima.

En la ciudad de Valencia para determinar el potencial de licuación se deben tomar en consideración los eventos sísmicos ocurridos en la región, debido a la interacción de la placa sudamericana con la placa del Caribe, ya que como se ha mencionado anteriormente según Audemard (1990), menciona el *lateral spread* ocurrido en la ciudad de Güigüe como consecuencia del terremoto de Caracas de 1967. Según Idriss & Boulenger (2014), mencionan que los eventos sísmicos pueden desencadenar licuación en las diferentes áreas debido a la cercanía a cuerpos de agua y los materiales más susceptibles son las arenas y limos.

Las fallas activas de la ciudad de Valencia son Guacamayas este y oeste, el Horno, La Cabrera y la falla Las Trincheras. Este conjunto de fallas geológicas activas atraviesa el estado Carabobo y la cordillera de la costa, las cuales son capaces de generar sismos, que a su vez pueden desencadenar el fenómeno de la licuación. Conocer su potencial contribuirá al estudio del potencial de licuación en la zona de estudio.

Debido a la falta de información de pozos digitalizados y disponibles al público de la ciudad de Valencia, se utilizaron los mapas obtenidos por Pombo (2018), donde se realizó el estudio dentro de los municipios Valencia, Los Guayos, Naguanagua, San Diego, Guacara y Libertador, utilizando alrededor de 257, 39, 87, 115, 197 y 12 datos de pozos respectivamente. El estudio realizado por Pombo (2018), contempla la evaluación de efectos inducidos por la licuación con más de 107 perforaciones

analizadas dentro de la región de Valencia, que fueron suministradas por la empresa INGEROCA (Marvéz, 2013, Aguilera, 2013, Peña, 2013), donde solamente se consideraron aquellas perforaciones que tuvieron una profundidad de al menos 10 metros, puesto que según EERI (1994), menciona que el fenómeno de licuación a los 10 metros tiene una mayor incidencia.

El trabajo de investigación realizado por Pombo (2018), se realizaron cuatro mapas del potencial de licuación con las magnitudes de 7.5, 7.0, 6.5, 6.0, sin embargo para esta investigación, se tomó en consideración el mapa del potencial de licuación de magnitud 7.0, puesto que la fallas activas en la región de Valencia cuenta con una magnitud máxima para Guacamayas, Las Trincheras, el Horno y Las Cabrera menor o igual 7.0. A través de este mapa se puede determinar el potencial de licuación para el municipio Valencia de un 24.57%, Los Guayos 10.94%, Naguanagua 38.0%, San Diego 24.79%, Guacara 0.47% y Libertador con 16.67% (Pombo, 2018).

La litología que predomina en las zonas que presentan mayor potencial de licuación en un 65% es de arena limosa y un 25% de arena arcillosa. Esta litología es muy común dentro de los municipios ya antes mencionados como por ejemplo en el perfil V-1629, municipio Valencia (tabla 5.3).

En cuanto las litologías que existen en las zonas licuables (figura 5.19), se realizó el siguiente gráfico:

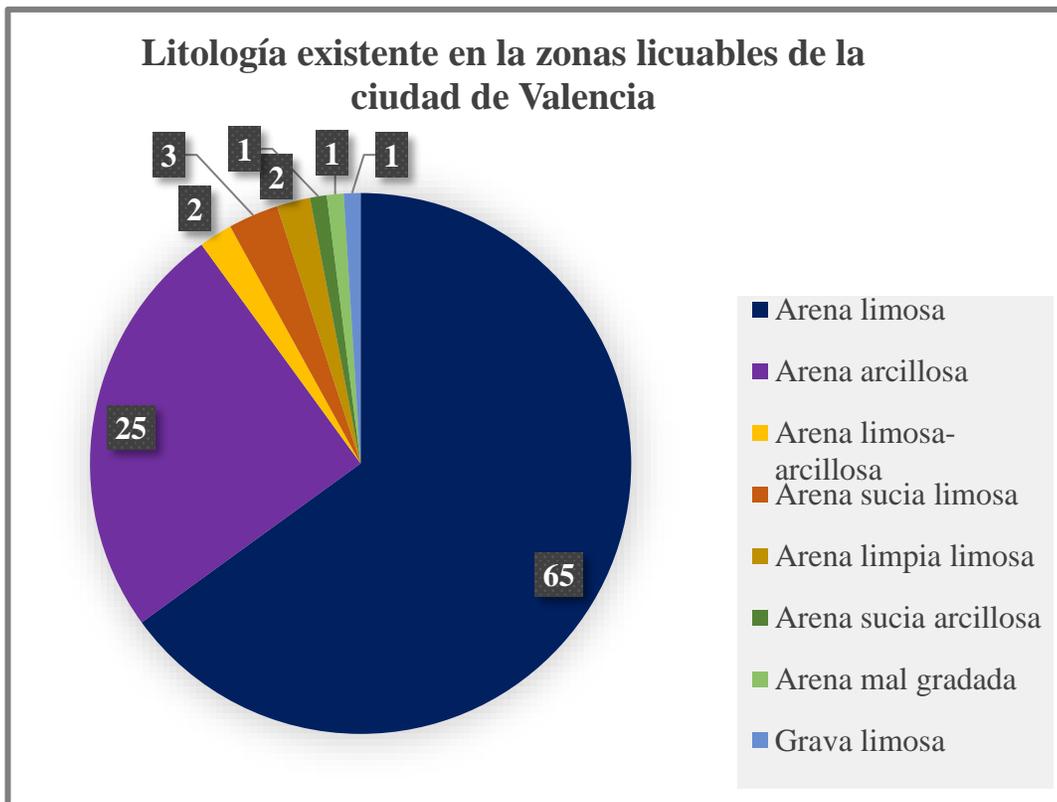


Figura 5.19. Gráfico de las litologías existentes en las zonas licuables de la ciudad de Valencia modificado de Pombo (2018)

En el mapa de potencial de licuación (figura 5.20), se situaron el potencial de licuación dentro del rango muy alto, alto y mediano, en razón de que estos rangos de potencial de licuación son los que podrían afectar a las poblaciones de la región de Valencia. En el municipio de Naguanagua podemos observar un muy alto potencial de licuación hacia el norte, al igual que el municipio Valencia y parte del municipio Libertador. El potencial de licuación de Mw. 7.0, está distribuido en los municipios San Diego, Naguanagua, Valencia, Libertador, Los Guayos y Guacara (figura 5.20).

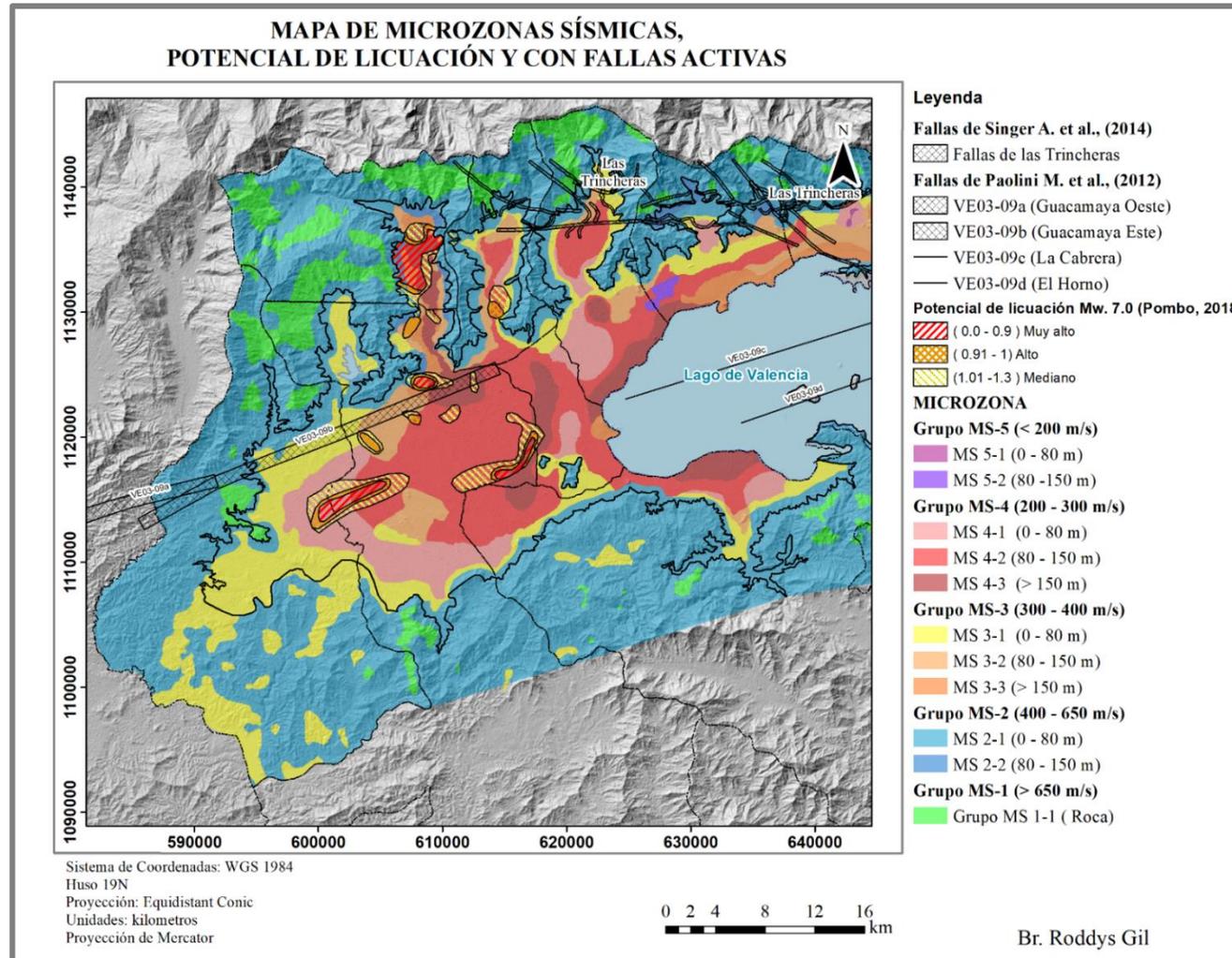


Figura 5.20. Mapa de microzonas sísmicas con fallas activas y el potencial de licuación.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a los resultados obtenidos, se tiene que:

- El mapa Vs30 por topografía es una buena herramienta para delimitar las zonas dentro del rango de velocidades propuestas en la norma venezolana construcciones sismorresistentes, permitiendo una mejor interpretación de las velocidades de ondas de cortes en los primeros 30 metros, debido a que este mapa comprende un 88 % de los datos utilizados.
- El histograma obtenido a través de los datos de Vs30 integrado muestra que la frecuencia más alta corresponde a un rango de valores de Vs30 entre 200 a 300 m/s, que corresponden a la cuenca, donde su litología está principalmente compuesta por arenas, limos y arcillas de origen Cuaternario.
- El límite entre roca y sedimentos de la cuenca de Valencia, se encuentra muy bien diferenciado por el rango de velocidades Vs30 entre 400 - 650 m/s.
- El mapa de Vs30 integrado, muestra valores menores a 200 m/s en los municipios Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra, que corresponden a sedimentos menos consolidados ubicados dentro de la cuenca.
- Las velocidades de Vs30 entre 400 a 650 m/s, que se encuentran en los altos topográficos, corresponden a los afloramientos de los Esquistos Las Mercedes, los Esquistos Las Brisas y el Augengneis de Peña de Mora.
- En el municipio Los Guayos, los valores de Vs30 de 400 - 650 m/s corresponden al afloramiento del complejo Tinaco.
- El histograma de los valores de espesor sedimentario integrado, muestra que su mayor frecuencia está dentro de un rango de 30 a 60 m, atribuido a la cercanía con el afloramiento del basamento, compuesto principalmente por arenas limosas y arenas arcillosas.
- En el mapa de espesores sedimentarios se obtuvo que los mayores valores de espesor corresponden a una rango de 250 a 300 m dentro de la cuenca de Naguanagua y en el municipio San Joaquín cercano al lago de Valencia.

- En el mapa de microzonas sísmicas, se obtuvo que las velocidades más bajas corresponden al grupo MS-4, con un rango de Vs30 entre 200 y 300 m/s, y un espesor máximo mayor a 150 m para los municipios Naguanagua, Valencia, Los Guayos, Guacara, Carlos Arvelo y San Joaquín.
- Las zonas que poseen microzonas MS-1 y MS-2 corresponde a los valores de velocidades de Vs30 mayores de 650 m/s y velocidades entre 400 a 650 m/s, ubicadas en el alto topográfico de la ciudad de Valencia, donde afloran los Esquistos Las Mercedes, los Esquistos Las Brisas y el Augengneis de Peña de Mora con espesores menor a 80 m.
- Las fallas activas de la Guacamaya este y oeste, ubicados en los municipios Valencia y Libertador, poseen una incertidumbre en cuanto a su ubicación exacta, por lo cual se identifica una franja de 500 m a ambos lados de la falla.
- El sistema de fallas Las Trincheras presenta una menor incertidumbre por haber sido mapeada recientemente, por lo cual la franja de seguridad tiene 100 m a ambos lados de las fallas.
- En la cuenca de Naguanagua predomina la microzona MS-3 con velocidades dentro del rango de 300 a 400 m/s y una profundidad de 0 a 150 m, sin embargo, en el centro de la cuenca se presenta una microzona MS-2, con velocidades de Vs30 de 400 a 650 m/s y un espesor mayor de 150.
- En el municipio San Diego se tiene que la microzona que predomina es MS-4, de velocidades de Vs30 entre 200 a 300 m/s con una profundidad máxima de 80 a 150 m, donde se encuentra ubicada parte del sistema de fallas Las Trincheras, y como consecuencia pueden ocurrir deformaciones en superficie por la presencia de las fallas.
- En el municipio Guacara al igual que en el municipio San Diego, la microzona que lo caracteriza es MS-4 con un rango de velocidades entre 200 a 300 m/s con una profundidad máxima mayor a 150 m cerca del lago de Valencia.
- San Joaquín presenta una zona de baja velocidades cerca de la población de la Ensenada, con velocidades menores a 200 m/s, siendo este las velocidades más bajas

registradas en la zona de estudio. En este municipio se encuentra ubicado parte del sistema de las fallas Las Trincheras.

- En el municipio Diego Ibarra se registraron bajas velocidades de ondas de cortes en los primeros 30 metros que se encuentra caracterizado por una microzona MS-5 con un espesor de 150 m.
- El municipio Valencia está caracterizado principalmente por una microzona MS-4 que corresponde a velocidades de V_{s30} entre el rango de 200 a 300 m/s con espesores entre 80 a mayores de 150, donde se observó que en la zona norte, donde se concentra gran parte de la población, se encuentra ubicado la franja de seguridad de la falla La Guacamaya.
- El municipio de Los Guayos también presenta en su mayoría una microzona MS-4, con velocidades entre 200 a 300 m/s y con una profundidad máxima a 150 m.
- El municipio Carlos Arvelo se contempla que la microzona que predomina es la MS-4, con velocidades de 200 a 300 m/s donde se muestra que para Güigüe posee un espesor de 80 a 150 m.
- Las zonas con un mayor potencial de licuación se ubican dentro de los municipios Naguanagua, Valencia y Libertador para un sismo de magnitud 7.0.

Se tienen las siguientes recomendaciones a tomar en cuenta para futuras investigaciones:

- Realizar campañas de mediciones de ruido ambiental en los municipios Libertador, Diego Ibarra, San Joaquín, San Diego y Carlos Arvelo.
- Incrementar el número de perforaciones para los municipios antes mencionados.
- Realizar perforaciones geotécnicas en el municipio Carlos Arvelo (Güigüe), para determinar el potencial de licuación.
- Se debe completar la base de datos de las perforaciones existentes que no se encuentran registradas en ninguna literatura.

- Mapear los sismos ocurridos en la ciudad de Valencia y observar el plano de falla, para de esta manera tener una mejor comprensión de la sismicidad del área de estudio.
- Realizar un estudio de las posibles estructuras que deben ser reforzadas, como escuelas, hospitales y edificaciones altas, debido al riesgo sísmico que presenta la ciudad de Valencia.
- Concretar y velar por la implementación de los resultados de microzonificación sísmica en la ciudad de Valencia en decretos u ordenanzas municipales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguerrevere, S. & Zuloaga, G. (1937). Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Bol. Geol., Caracas*, 1(24): 8-24.
- Aguilera, F. (2013). Determinación del Potencial de Licuación de los suelos de los Municipios: San Diego, Guacara, San Joaquín, Diego Ibarra, Estado Carabobo. Tesis pregrado Universidad de Carabobo. Naguanagua. 55.
- Allen, T. I., & Wald, D. J., (2009). On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (V_s30). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, no. 2A, 935-943.
- Audemard, F., (1998). Estudio de Neotectónica y geología de fallas activas donde se construirá el patio de tanques Sur-Jose. FUNVISIS Unpubl. Co. Rpt. for INTEVEP, S.A. 37.
- Audemard, F. A., (2000). Nueva percepción de la sismicidad histórica del segmento en tierra de la falla de El Pilar, Venezuela nororiental, a partir de primeros resultados paleosísmicos. *Funvisis, Caracas, Venezuela*. 1 – 10 p.
- Audemard, F. (2002). Ruptura de los grandes sismos históricos venezolanos de los siglos XIX y XX revelados por la sismicidad instrumental contemporánea. XI Congreso Venezolano de Geofísica 1-9.
- Audemard F., Machette M., Cox J., Dart R. & Haller K.M. (2000). Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela. Principales Fallas Activas del Mundo U.S. Geological Survey (USGS) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) con el apoyo del Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo S.A. (INTEVEP) y Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). Escala 1:2.000.000 Proyección de Mercator. (Longitud de meridiano central, 67°W; latitud de escala verdadera 0°; con base en el esferoide de Clarke 1866).
- Avé Lallemant, H. & Sisson, V. (1993). Uplift path of blueschists and eclogites in Cordillera de la Costa Belt, Venezuela, Part 2: Deformational constraints. *Transactions of the 13th Caribbean Conference (Pinar del rio, Cuba)*, 211 – 219 p.
- Bellizzia, A. (1986). Sistema Montañoso del Caribe, una cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur. En *Sociedad Venezolana de Geólogos, memorias VI Congreso Geológico Venezolano*, 10, 6657-6836.
- Bellizzia, A., & Dengo, G., (1990). The Caribbean Mountain system, northern South America; A summary, in Dengo, G., and Case, J. E., eds., *The Caribbean region: Boulder, Colorado, Geol. Soc. of America, The Geology of North America*, 167-175.
- Bodet, L., van Wijk K., Bitri A., Abraham O., Cote P., Grandjean G., & Leparoux D. (2005). Surface-wave inversion limitations from laser Doppler physical modeling, *J. Environ. Eng. Geophys.* 10, 151–162.
- Cavada, J. (2000). Guía de Prospección Sísmica por Refracción. Universidad Central de Venezuela. Versión 1.4, 1 – 29.
- Cheng, F., Xia, J., Xu, Y., Xu, Z., & Pan, Y. (2015). A new passive seismic method based on seismic interferometry and multichannel analysis of surface waves. *Journal of Applied Geophysics*, 117, 126–135.

- Classification of Soils for Engineering Purposes SUCS (1985). Annual Book of ASTM Standards. D 2487-83, 04.08. American Society for Testing and Materials. pp. 395-408.
- 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.
- De Santis, F., Singer, A. & Audemard, F. (1989). Manifestaciones de lateral spread en el delta lacustre de Güigüe, costa sur del Lago de Valencia, durante el terremoto de Caracas del 29-07-67. VII Congreso Geológico Venezolano. Barquisimeto. 1124 – 1136.
- Di Stefano P., Luzio D., Renda P., Martorana R., Capizzi P., D'Alessandro A., Messina N., Napoli G., Perricone M., Todaro S., Zarcone G. (2013). Integration of stratigraphic data with HVSr measures for studies of seismic microzonation: the case of Oliveri (ME). DiSTeM Department, University of Palermo, Italy. 1 – 6 p.
- Dobrin, M., (1960). Introducción a la Prospección Geofísica. McGraw Hill, New York, 446.
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI), (1994). Earthquake Basic Brief N.1: Liquefaction, what it is and wath to do about it. Oakland, California. 1 – 8 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).
- Fernández R. (2015). Capacidad Portante con Fines de Cimentación Mediante los Ensayos SPT Y Corte Directo en el Distrito de Aguas Verdes- Tumbes (tesis de doctorado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. 1- 166 p.
- Forghani, F., and Snieder R. (2010). Underestimation of body waves and feasibility of surface-wave reconstruction by seismic interferometry. TLE 29, 790–794.
- Genatios C., Lafuente M., Cilento A. & Grases J. (2017). A 50 años del terremoto de Caracas de 1967. Análisis y perspectiva. Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat-CITECI. Caracas, Venezuela. 26.
- Ghio L. & Valladares E. (2008). Elaboración del mapa de velocidades de ondas de corte Vs-30 del municipio Los Guayos del estado Carabobo (Tesis de Pregrado). Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela. 51p.
- Gisca, (2011). Servicio de perforación de pozos para la instalación del observatorio acelerográfico en la ciudad de Valencia - estado Carabobo. Informe ING-IF-P-061147 Rev. 0. 1, 24 – 33.
- Goitia M. (2012). Modelo gravimétrico del basamento de la zona norte de la ciudad de Valencia, estado Carabobo (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela. 95 p.
- 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.
- González J. (2011). Estimación de parámetros geotécnicos por métodos geofísicos en la ciudad universitaria de Caracas. Trabajo de maestría. Departamento de geofísica.

- Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de ingeniería. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 6-18.
- González S. (1972). Geología de la Sierra del Interior (región central) y parte de los llanos de Venezuela (incluyendo parte de los estados Carabobo, Aragua, Guárico y Cojedes). Bol. Geol., Caracas, Public. esp. 7(3):1629-1650.
- Hackley P., Urbani F., Karlsen A. & Garrity C., (2006). Mapa Geológico de Venezuela: hojas 1 y 2.
- Halliday D., Curtis A. & E. Kragh (2008). Seismic surface waves in a suburban environment—Active and passive interferometric methods. TLE 27, 210–218.
- Herrera, V. (2013) Propuesta de una fuente que emplea audio para exploración sísmica de refracción somera. Ensenada, Baja California, México, p. 5-7.
- Henríquez, C., (2007). Mejora De Terrenos Potencialmente Licuables Con Inyecciones De Compactación (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. 1- 691 p.
- Hernández, J.J. (2021). Fórmula aproximada del periodo y espesor de perfiles de suelos. Comunicación personal.
- Idriss M. & Boulanger R. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Department of civil & environmental engineering. College of engineering. University of California at Davis. 1 – 138 p.
- INOS (1981). "Plan rector básico de drenaje urbano de la ciudad de Valencia". Informe Técnico, Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Valencia.
- Kearey, P., Brooks M., & Hill I., (2002). An Introduction to Geophysical Exploration. Department of Earth Sciences University of Bristol. Third edition. 272 p.
- Kramer, S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 653 p.
- Kramer, S. Y Stewart, J. (2004). Geotechnical aspects of seismic hazards. Cap. 4 de: Earthquake Engineering: from Engineering Seismology to Performance-based Engineering, CRC Press, Boca Raton, Florida. 1- 85 p.
- Loaiza L. & Marquéz D. (2008). Elaboración del mapa de velocidades de ondas de corte Vs30, de los municipios Guacara, San Joaquín y Diego Ibarra, estado Carabobo (Tesis de Pregrado). Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela. 65 – 70 p.
- López V. M. (1942). Geología de la región comprendida entre Boca Chica y La Puerta y estudio de los yacimientos minerales de Santa Isabel, estado Aragua y Guárico. Rev. Fomento, Caracas, 4(47): 41-74.
- Louie, J. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction. Bulletin of the Seismological Society of America. 91(2), 347-364.
- Mambie S, (2017). Integración geológica de la región Ocumare de la Costa-Maracay-Valencia, estados Aragua y Carabobo (tesis de pregrado). UCV, Caracas, Venezuela. 19 – 69 p.
- Márquez J. & Morales M. (2009). Elaboración de un mapa de velocidad de ondas de corte Vs- 30 a partir de base de datos existente y nueva del área metropolitana de Valencia (Tesis de Pregrado). Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela. 87 p.
- Martínez R., (2006). Consideraciones preliminares respecto a incluir los estudios de microzonificación sísmica en la planificación y control urbano en Venezuela. Boletín IMME v. 44 n. 1.

- Martin A.J. & Diehl J.G (2004). Practical experience using a simplified procedure to measure average shear wave velocity to a depth of 30 meters (VS30). In: 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1–6, 2004, paper n. 952.
- Marvéz R. (2013). Determinación del Potencial de Licuación de los suelos de los Municipios Los Guayos y Valencia, Estado Carabobo. Tesis pregrado. Universidad de Carabobo. Naguanagua, p. 84.
- McMechan G. & Yedlin M. (1981). Analysis of Dispersive Waves by Wave Field Transformation. *Geophysics*, Vol. 46, No. 6, 1981, 869-874. doi:10.1190/1.1441225.
- Menéndez A., (1965). Geología del área de El Tinaco, centro norte del Estado Cojedes, Venezuela. *Bol. Geol., Caracas*, 6(12): 417-543.
- Menéndez A. (1966). Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. *Boletín de Geología, Caracas*, 8(15): 116-139.
- Mijares M. (2019). Estudio del parámetro Vs30 mediante el análisis multicanal de ondas superficiales en la ciudad de Valencia (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela. 100 – 133 p.
- Mussio V. (2012). Potencial de licuación mediante el método de microtemores en la colonia solidaridad social, Mexicali (Tesis de maestría). Ingeniería civil –análisis y diseño de presas de tierra. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1 – 7 p.
- National Research Council (1985). Liquefaction of soils during earthquakes. Committee on Earthquake Engineering, commission on engineering and technical system. Washington USA, p. 1 - 255.
- Núñez S. (2015). Geología de la región de Tinaquillo- Cachinche- Chaparrote, estados Cojedes, Carabobo y Guárico. UCV-G, 190.
- O’Connell D. & Turner J. (2011). Interferometric Multichannel Analysis of Surface Waves (IMASW). *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 5. 2122–2141 Pp. doi: 10.1785/0120100230
- Paolini M., Rodriguez L. & Olbrich F. (2012). Actualización de las fallas activas de Venezuela como aportes a la evaluación de la amenaza sísmica. Informe FUNVISIS FUN-077.
- Parasnis, D. (1970). *Principios de Geofísica Aplicada*. Edit. Paraninfo. Madrid. 367.
- Pardon & Porcelet (1994). *Reducción del Daño Sísmico-Guía para las empresas de agua*. Estados Unidos, p. 190.
- Park B, Miller R, & Xia, J. (1998). Imaging dispersion curves of surface waves on multichannel record. 68th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded. 1- 4 p.
- Park B., C., Miller R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, v. 64, n. 3. 800-808.
- Park, C. B., Miller R. D., Xia J., and Ivanov J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW) active and passive methods, *TLE* 26, 60–64.
- Peña E. (2013). Determinación del Potencial de Licuación de los suelos del Municipio Naguanagua, Estado Carabobo. Tesis pregrado. Universidad de Carabobo. Naguanagua, p. 76.

- Pombo, A., Morales, M. Márquez, J. 2016. Mapa de velocidad de ondas de corte vs- 30, del área Metropolitana de Valencia. Revista Ingeniería UC, por publicar.
- Pombo A. (2018). Riesgo sísmico en el área metropolitana de Valencia (tesis doctoral). Universidad de Carabobo, Carabobo. 178 - 245 p.
- Ramirez, K. (2021). Determinación de la profundidad de la falla Las Trincheras en Valencia, estado Carabobo. Comunicación personal
- Rodríguez L., Audemard F. & Rodríguez J. (2006). Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS, departamento de Ciencias de la Tierra, Apdo Postal 76.880, Caracas 1070-A, Venezuela. Fax (58-212) 257-99-77.
- Rojas, S., Morales, C., Rojas, H., Cataldo, A., Schmitz, M. (2010). Determinación de las velocidades de propagación de las ondas de corte - parámetros Vs30, VsP, Vs500 y parámetros dinámicos - con métodos sismológicos en Caracas. Conferencia 50 Aniversario Sociedad Venezolana de Geotecnia “Estado de la Práctica” en Honor a Gustavo Luís Pérez Guerra. Caracas, Venezuela. 18 p.
- 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.
- Ruiz, S. & Leyton O., (2016). Correlación cruzada de ruido sísmico para la obtención de perfiles profundos de velocidad de onda de corte en la cuenca de Santiago (tesis de maestría). Universidad de Chile, Santiago de Chile. 1 – 10 p.
- Salazar G. (2018). Terremotos y salud: lecciones y recomendaciones. 60 (suppl 1): 6-15. <https://doi.org/10.21149/9445>
- SESAME Group (2005). Site effects assessment using ambient excitations, final report. WP13: recommendation for quality array measurements and processing. European Commission- Research General Directorate. Project No. EVG1-CT-2000-00026.
- Schmidt V. (2012). Determinación del parámetro Vs30 usando los métodos FK y SPAC en la bahía de Cádiz (sur de España). Ingeniería 22 (1): 39-54, ISSN: 1409-2441; 2012. San José, Costa Rica.
- Schmitz M., Cano V., López O., Klarica S., Pombo A., Díaz J., Heredia J., Avendaño J., Morales C. & 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, volumen 36. Boletín de Geología, 37 (1), 17-26.
- Schmitz M. & Hernández J.J. (2021). Colores para microzonas, aplicación a Valencia – Güigüe. Comunicación personal.
- Schubert, C. (1980). Neotectónicas de la Zona de Falla de La Victoria y origen de la Cuenca de Santa Lucía, Ocumare del Tuy, Venezuela. Acta Científica Venezolana (Pre-print), p. 1-7.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division 97 (9), 1249-1273 Pp.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering 111(12), 1425-1445.

- Singer A., Nevado F., Gómez A. & Rodriguez L. (2014). Evidencias de actividad tectónica reciente en la falla de Las Trincheras. VI Congreso. 1 – 6 p.
- Sisson V. & Lallemand H., (1997). High-Pressure (~2000 Mpa) Kyanite-and Glaucophane-bearing pelitic schist and eclogite from Cordillera de la Costa belt, Venezuela. *Journal Of Petrology* 38(1): 65-83.
- Sladen, J. A., D'Hollander, R. D., & Krahn, J. (1985). The liquefaction of sands, a collapse surface approach. *Canadian Geotechnical Journal*, 22(4), 564–578. doi:10.1139/t85-076.
- Stokoe II, K., Wright S., Bay, J. A., & Roesset, J. (1994). Characterization of geotechnical sites by SASW method, in *Geophysical characterization of sites. ISSMFE Technical Committee #10*, edited by R.D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.
- Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A. (1970). 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.
- Tarback, E. & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra una introducción a la geología física*. 8a edición. 342-343.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R. E., Keys, D. A. (1976) *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. Londres, p. 877.
- Urbani, F. (2000). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos, UCV, Caracas*, (33): 1-170.
- Urbani, F. (2012). La cordillera de la costa de Venezuela: evolución de su conocimiento geológico desde el siglo xvi al xxi. *Caracas, Venezuela*. 152-156.
- Urbani, F. (2018). Una revisión de los terrenos geológicos del sistema montañoso del caribe, norte de Venezuela. *Boletín de Geología. Volumen XXIII número 36*. Caracas, Venezuela, p. 103. Reproducido del *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*.
- Valencia, L. (2009). Estudio de susceptibilidad ante el movimiento en masa de la cuenca del río Cabriales, Valencia, estado Carabobo (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela. 1-164.
- Wald, D. & Allen, T. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification. *Bull. Seism. Soc. Am.*, v. 97, no. 5, 1379–1395.
- Wathelet, M. (2007). Array recordings of ambient vibrations: surface-wave inversions. (Thesis submitted for the degree of Doctor of Applied Sciences). Université de Liège, Belgium 12, 1-19.
- Wehrmann M. (1972). Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar. *Bol. Geol., Caracas, Public. Esp.* 5, 4: 2093-2121.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Liam Finn, W.D., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., Stokoe II, K.H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/ NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 127(10), 817-833.

- Yuehua Z. (1993). Theory of scattered P- and S-wave energy in a random isotopic Scattering medium. Bulletin of the Seismological of America, Vol. 83, No.4, pp. 1264-1276.
- Zinck, A. (1977). Potencialidad, conflictos de uso y modelos de ordenamiento de las tierras en la Depresión del Lago de Valencia. Maracay: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo, M.A.R.N.R.122 p.
- Zinck, A. (1980a). Definición del Ambiente Geomorfológico con Fines de Descripción de Suelos. Mérida: CIDIAT, 1 – 131 p.
- Zinck, A. (1980b). Valles de Venezuela. Caracas: Cuadernos LAGOVEN, 1 – 154 p.