

**ELABORACIÓN DE MAPA DE MICROZONIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE
LICUEFACCIÓN DE SUELOS, EN LAS PARROQUIAS: LOS TACARIGUA,
ANDRÉS ELOY BLANCO, JOSÉ CASANOVA GODOY Y PEDRO JOSÉ OVALLES,
MARACAY**

Br. Hidalgo Freire Jorge Miguel

CI. V- 18.033.383

Br. Paredes Lugo Luis Alberto.

CI. V- 19.201.155

Tutor: Ing. José V. Heredia T.

Caracas, Julio de 2015

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis dos grandes fortalezas: Dios Todopoderoso y mi familia. Con su apoyo permanente e incondicional me alentaron a seguir, incluso en momentos de desánimo y me enseñaron que la perseverancia y la dedicación son herramientas para el éxito.

También lo dedico a mis seres queridos que no están entre nosotros, honro su memoria porque su amor y buenos consejos, contribuyeron con mi formación como persona.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi guía y fortaleza.

A mi numerosa familia, especialmente a mis padres, mi hermana y mi abuela. Gracias por apoyarme y confiar en mí, algo que valoro y tendré siempre presente.

A nuestro tutor Ing. José Heredia, su asistente Ing. Erika González y a todo su equipo de trabajo, por su interés y tiempo que nos brindaron en la realización del presente trabajo.

A la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas por su valiosa aportación.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, que contribuyeron en mi formación profesional y humana.

A la Universidad Católica Andrés Bello, de la cual me siento orgulloso de pertenecer.

Gracias a todos.

Hidalgo Freire Jorge Miguel.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica Andrés Bello, casa de estudios que nos permitió forjarnos como profesionales y a los profesores que inculcaron en nosotros los valores éticos y los conocimientos de la carrera.

Al Ing. José Vicente Heredia, tutor del presente trabajo, por su apoyo y dedicación constantes para guiarnos y enseñarnos y a la Ing. Erika González Ugueto, por el apoyo recibido en todo momento y por dedicar su tiempo al correcto desarrollo de este trabajo.

A la empresa Oficina Técnica Ingeniero José V. Heredia y Asociados por la información suministrada sin la cual no hubiese sido posible la realización de este trabajo de investigación.

Al personal de FUNVISIS por sus aportes y colaboración en esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme dado salud para lograr mis objetivos y permitido llegar hasta este punto.

A mi Madre Ana Teresa Lugo. Por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi Padre Luis Alberto Paredes. Por su apoyo incondicional, su ejemplo de perseverancia y constancia que me ha infundado siempre para lograr ser lo que hoy soy.

A mi Hermano Jesús Alberto Paredes. Por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis Abuelos Mery Montilla y Olmedo Lugo. Por su apoyo incondicional, ejemplos de lucha y progreso.

A mis Ángeles Luis Alberto Paredes Escalante y Alba María Torres. Por cuidar mis pasos desde el cielo y acompañarme en todo momento.

Paredes Lugo Luis Alberto.

ÍNDICE

	Pp.
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
SINOPSIS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULOS	4
I EL PROBLEMA	4
Introducción	4
Planteamiento del Problema	4
Antecedentes de la Investigación	6
Alcance y Limitaciones de la Investigación	10
Objetivos de la Investigación	12
General	12
Específicos	12
Justificación de la Investigación	12
II MARCO TEÓRICO	
Ubicación Geográfica del Área en Estudio	14
Características del Municipio Girardot y Parroquias en Estudio	14
Geología Regional	16
Sismo	17
Elementos de un Sismo	18
Falla	18
Componentes o características de las fallas	19
Falla Activa y Falla no activa	22

Clasificación de las fallas según su movimiento	22
Ondas Sísmicas	23
Características de un Sismo	25
Intensidad	26
Magnitud	26
El Fenómeno de la Licuefacción.	28
Licuefacción de Flujo	30
Métodos de Mitigación de la Licuefacción	36
Vibroflotación	36
Compactación Dinámica	37
Pilas de Compactación	37
Compactación por lechada	37
Técnicas de Drenaje	37
Sismicidad en Venezuela	38
Sismicidad en Aragua	39
Amenaza Sísmica	41
Vulnerabilidad Sísmica	42
Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	42
Objetivos del ensayo SPT	42
Equipo utilizado en la ejecución del ensayo SPT	43
Descripción del Ensayo SPT	43
Métodos basados en el número de golpes SPT para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo	44
Relación de resistencia cíclica (CRR)	47
Corrección por Escala de Magnitud de Sismo	50
Correcciones por altos esfuerzos de sobrecarga y esfuerzos de corte	

estático	51
Corrección por Esfuerzos de Confinamiento Elevados ($K\sigma$)	52
Corrección para condiciones del terreno en pendiente ($K\alpha$)	53
Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS)	54
III MARCO METODOLÓGICO	56
Modalidad, Tipo y diseño de la investigación	56
Población y Muestra	57
La Población	57
La Muestra	58
Procedimiento Metodológico para la Resolución del Problema	58
Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	59
Validez y Confiabilidad	60
Técnicas de análisis de datos	61
Fases de la Investigación	61
IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	63
Definición de las Variables para la Aplicación del Método simplificado de Seed e Idriss	63
Recolección de Información Documental de las Variables que Intervienen en los Cálculos	63
Diseño de la Hoja de Cálculo para Obtener en Potencial de Licuefacción	65
Procesamiento de datos utilizando la hoja de cálculo	69
Análisis y Clasificación de los Resultados Obtenidos	73
Análisis de resultados	74
V CONCLUSIONES	97
VI RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	106
ANEXOS	108
A Plano Parroquias que integran el Municipio Girardot. Estado Aragua	109
B Mapa Geológico de Venezuela	110
C Mapa Neotectónico de Venezuela	111
D Planillas utilizadas por la empresa OT Heredia y Asociados, para registro de datos de perforación	112
E Perfil típico aproximado del suelo de las parroquias estudiadas	117
F Mapa de superficie del nivel freático de las parroquias estudiadas	121
G Mapas de contorno del nivel freático de las parroquias estudiadas	125
H Mapas de contorno del factor de seguridad de las parroquias estudiadas	127
I Tabla de ubicación de las perforaciones según parroquia	129
J Imagen aérea de ubicación de las perforaciones	134

LISTA DE TABLAS

N°		Pp.
1	Escala Modificada de Mercalli	26
2	Escala de Magnitudes Sísmicas	27
3	Valores de los coeficientes en función del contenido de finos (FC)	48
4	Valores de los factores de corrección para SPT	49
5	Valores de los factores de corrección para SPT	66
6	Resumen Factores de Corrección por Forma y Ejecución de Ensayo	66
7	Modelo de hoja de cálculo del Factor de Seguridad	68
8	Resultados del ejemplo de cálculo	71
9	Resultados del cálculo del Factor de Seguridad	72

LISTA DE GRÁFICOS

N°		Pp.
1	Corte de la Tierra ilustrando el proceso de un sismo	18
2	Componentes de una falla	19
3	Esquema facetas triangulares	20
4	Esquema de una Falla Normal	22
5	Esquema de una Falla Inversa	22
6	Esquema de una Falla de Rumbo	23
7	Ondas Primarias (P)	23
8	Ondas Secundarias (S)	24
9	Ondas Love (L)	24
10	Ondas Rayleigh (R)	25
11	Diagrama que representa una Falla por Flujo	30
12	Falla de flujo en la Presa Sheffield provocado por el terremoto de Santa Bárbara en 1925	31
13	Diagrama de una estructura inclinada como consecuencia de la pérdida de capacidad portante.	31
14	Efectos de licuefacción de suelos después del sismo de Niigata en 1964.	32
15	Licuefacción causando cargas laterales sobre los pilotes de fundación.	36
16	Curva rd versus profundidad desarrollada por Seed & Idriss 1971	46
17	Relación de esfuerzo cíclico versus números de golpes	47
18	Factores de escala de magnitud derivados de varios investigadores	51
19	Curva recomendada para determinar $K\sigma$	55
20	Relación del factor de pendiente ($k\alpha$) contra alfa (α)	53
21	Ejemplo de información en capas en un SIG.	54
22	Planilla de Perforación Tipo.	64
23	Planilla de Peso Unitario.	65

24	Rango específico de factores de seguridad, por color asignado a efectos de los mapas elaborados en este estudio	73
25	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Los Tacarigua. Magnitud sismo 6.5	76
26	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Los Tacarigua. Magnitud sismo 7.0	77
27	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Los Tacarigua. Magnitud sismo 7.5	78
28	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Andrés Eloy Blanco. Magnitud sismo 6.5	79
29	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Andrés Eloy Blanco. Magnitud sismo 7.0	80
30	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Andrés Eloy Blanco. Magnitud sismo 7.5	81
31	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia José Casanova Godoy. Magnitud sismo 6.5.	82
32	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia José Casanova Godoy. Magnitud sismo 7.0.	83
33	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia José Casanova Godoy. Magnitud sismo 7.5.	84
34	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Pedro José Ovalles. Magnitud sismo 6.5.	85
35	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Pedro José Ovalles. Magnitud sismo 7.0.	86
36	Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Pedro José Ovalles. Magnitud sismo 7.5.	87
37	Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia Los Tacarigua	89

38	Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia Los Tacarigua	89
39	Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia Los Tacarigua	90
40	Parroquia Los Tacarigua Perfil Aproximado	90
41	Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia Andrés Eloy Blanco	91
42	Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia Andrés Eloy Blanco	91
43	Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia Andrés Eloy Blanco	92
44	Parroquia Andrés Eloy Blanco Perfil Aproximado	92
45	Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia José Casanova Godoy	93
46	Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia José Casanova Godoy	93
47	Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia José Casanova Godoy	94
48	Parroquia José Casanova Godoy Perfil Aproximado	94
49	Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia Pedro José Ovalles	95
50	Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia Pedro José Ovalles	95
51	Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia Pedro José Ovalles	96
52	Parroquia Pedro José Ovalles Perfil Aproximado	96

SINOPSIS

Este estudio tuvo como objetivo elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay. Se trató de proyecto especial, porque crea un recurso concreto tecnológico de importancia para la ingeniería, urbanismo, seguridad social y ambiental. Aunado, el mapa, como producto científico implicó un procedimiento demostrable con fundamentos teóricos, matemáticos y metodológicos, que son desarrollados en el trabajo.

El diseño de la investigación, fue no experimental, aplicada, de tipo descriptiva, apoyada en la revisión de diversas fuentes referenciales para obtener información y datos básicos que son registrados en una hoja de cálculo y base de datos, elaborada utilizando el programa Microsoft Excel, que permitió el registró de la información de 387 perforaciones, distribuidas a lo largo de los suelos de las parroquias citadas, con sus coordenadas UTM Norte y Este. Información tomada de 150 estudios técnicos, realizados por la Oficina Técnica Ingeniero José Heredia y Asociados (OT Heredia y Asociados), entre 1983 y 2014, para luego proceder a realizar los cálculos requeridos por el método simplificado de Seed e Idriss, para estimar el potencial de licuefacción de un suelo y para lo que fue necesario considerar las variables: El número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), la profundidad del Nivel Freático, el porcentaje de Partículas Finas y el peso unitario.

El factor de seguridad, estimado como capacidad del suelo para presentar licuefacción ante un sismo, o condiciones según el perfil del suelo del área, arrojó un valor del 95%, considerado alto y por tal de muy bajo potencial de licuefacción ya que $FS \geq 1,7$.

Verificados los valores del factor de seguridad calculados, según los rangos establecidos por FUNVISIS, para la integración en el Sistema de Información Geográfica se procedió a la elaboración del mapa

Descriptor: Mapa, Zonas, amenaza y vulnerabilidad, Potencial de licuefacción, prevención.

INTRODUCCIÓN

Según lo dispuesto por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), en la norma 1756-2001 para edificaciones sismorresistentes, de mejorar el Mapa de Zonificación Sísmica pues sólo es una clasificación muy general que divide el territorio nacional en ocho zonas sísmicas, el Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), en el marco de la Misión Ciencia, se plantean identificar los problemas concernientes a los riesgos naturales y tecnológicos del país, como base un diagnóstico que permita formular y propiciar la ejecución de proyectos que apunten a su solución.

Específicamente, en la Misión Ciencia se adelanta un “Proyecto de Investigación Aplicada a la Gestión Integral de Riesgo en Espacios Urbanos”, con la participación de FUNVISIS, el Instituto de Geología y Minas (INGEOMÍN), el Departamento de Hidrometeorología y el Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF), de la Universidad Central de Venezuela (UCV), y otros, que tienen entre sus objetivos elaborar los mapas de amenazas múltiples de Venezuela (sísmica, por inundaciones, geotécnica-geomorfológica y tecnológica), con base en la evaluación de las vulnerabilidades e identificación del riesgo, para luego transferir la información a las comunidades e instituciones, con el propósito de su fortalecimiento y creación de una red de conocimiento, prevención y protección.

En el contexto descrito, el presente trabajo pretende contribuir con la caracterización de amenaza y vulnerabilidad contemplados en el proyecto mencionado, como base para la toma de decisiones, manejo de recursos asociados y la prevención de riesgos de accidentes y catástrofes naturales, específicamente en las parroquias Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles del Municipio Girardot del Estado Aragua, pues por su cercanía al Lago de Valencia pudieran ser zonas potencialmente licuables debido a las características de los suelos adyacentes al Lago, cuya formación data de la era Cuaternaria, son suelos jóvenes, presentan un alto nivel freático, están saturados por su proximidad a ese cuerpo de agua.

Las características del suelo donde están asentadas esas entidades, plantean la necesidad de estudiar el comportamiento del mismo ante la ocurrencia de un eventual sismo en el área, con el objetivo de elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay.

Un estudio y mapa de interés que permitirá conocer los sitios potencialmente licuables y tomar las medidas preventivas, a través de los organismos competentes, para evitar pérdidas humanas y materiales, que pueda ocasionar la licuefacción de los suelos en esas zonas.

Para el desarrollo coherente de este trabajo, el mismo se estructuró en seis Capítulos, cuyo contenido se resume de la siguiente manera:

El Capítulo I, expone el problema que representa el potencial de licuefacción de un suelo, para los pobladores, como la necesidad de conocer con propósitos preventivos, la ubicación en mapas científicamente desarrollados, de los sitios de mayor vulnerabilidad y amenaza. Seguidamente, aborda estudios realizados en Venezuela y otros países, sobre sismicidad y elaboración de mapas asociados a este tema, luego se explica el alcance del estudio, que es elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay. En si, elaborar una herramienta sencilla, que permita tanto a la autoridad competente, como los ingenieros y especialistas del área de la construcción, tomar decisiones en materia urbanismo, construcciones y prevención de riesgos. Cierra este Capítulo con la formulación de las interrogantes, los objetivos que guían la investigación y la justificación de su realización.

En el Capítulo II, hace referencia a la sustentación teórica de la investigación, en tal sentido se desarrollan generalidades sobre aspectos geográficos y geológicos de las zonas en observación para luego desarrollar los tópicos vinculados con los sismos, las zonas de amenaza y vulnerabilidad, el fenómeno de licuefacción, las propiedades mecánicas de los suelos y

ensayos para reconocerlas, el Método de Seed & Idriss para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo, el cálculo de relación de resistencia cíclica, las curvas de Corrección por Escala de Magnitud de Sismo, las bases legales y normas técnicas que orientan el estudio, el software ArcGIS Desktop y su aplicación en el diseño de mapas, entre otros tópicos conexos con el fenómeno de licuefacción.

En el III Capítulo, se describe la metodología o plan de la investigación, la cual se enmarca en el paradigma cuantitativo; en la modalidad de proyecto especial, no experimental, aplicada, de tipo descriptiva, apoyada en un trabajo de campo y en revisión de diversas fuentes referenciales, para obtener información y datos básicos que son registrados y procesados en forma manual y computarizada para elaborar el mapa identificando las zonas de las parroquias en estudio y cuyos suelos presentan potencial de licuefacción.

En el Capítulo IV, detalla el proceso llevado a cabo para estimar los cálculos según el método desarrollado por Seed & Idriss (1998), en el cual se basa este trabajo, la revisión de las planillas de perforación para obtener los datos y estimar el potencial de licuefacción, representado por un factor de seguridad, que determina un patrón de colores que simbolizan la probabilidad de licuefacción de cada punto estudiado.

El Capítulo V, presenta las conclusiones sobre el estudio y mapa realizado

En el Capítulo VI, los autores formulan algunas recomendaciones para el uso del mapa como una herramienta de prevención y de aplicación en futuros estudios

Finalmente son listados los autores y obras consultadas en esta investigación y se anexan algunas tablas y gráficos producto de los cálculos hechos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

Los eventos sísmicos representan uno de los mayores riesgos potenciales en Venezuela en cuanto a pérdidas humanas, materiales y económicas. En la actualidad, aproximadamente un 80% de la población vive en zonas de amenaza sísmica variable que aumenta el nivel de riesgo, haciéndolo cada vez mayor a medida que se eleva el índice demográfico y las inversiones en infraestructura. Así lo confirma el hecho que desde la fundación de los primeros asentamientos coloniales en el siglo XVI, el país ha sufrido los efectos de los terremotos. La historia sísmica revela que durante el período 1530-2004, han ocurrido más de 130 eventos sísmicos, que han provocado daños en varias poblaciones venezolanas.

Los registros de esos movimientos sísmicos, reflejan que en Venezuela la zona de mayor actividad se ubica en una franja de unos 100 km de ancho, definida a lo largo de los sistemas montañosos de Los Andes, la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, lugares donde se localizan los principales sistemas de fallas sismogénicas del país: Boconó, San Sebastián y El Pilar, además de otros sistemas activos menores como la Oca-Ancón, Valera, La Victoria y Urica, capaces de producir sismos importantes.

Los sistemas de fallas de Boconó, San Sebastián y El Pilar, han sido propuestos como el límite principal entre las Placas Caribe y América del Sur, causante de los sismos más severos que han ocurrido en el territorio nacional. (FUNVISIS 2005), y Venezuela se encuentra en el Norte de América del Sur, zona de interacción de esas placas, lo que representa una zona de ruptura, provocando que ellas acumulen tensión y liberen energía mediante el rompimiento de la corteza terrestre produciendo sismos.

El continuo movimiento o interacción de las placas Caribe y América del Sur es responsable de los sismos más severos que han ocurrido en el territorio nacional, pues está asociada con el sistema de fallas activo predominante formado por las fallas de Oca-Anón, Boconó, San Sebastián y El Pilar, lo que sugiere la posibilidad de que, en cualquier momento, se pueda presentar un terremoto y por tal razón, se deben tomar medidas que contribuyan a preservar las vidas y bienes. Entre ellas elaborar los mapas necesarios, donde se ubique e identifiquen las zonas las zonas, cuyos suelos presentan potencial de licuefacción.

Para entender un poco más en profundidad el origen de los sismos, es necesario pasearse por la teoría del movimiento de los continentes, que el FUNVISIS (2002) refiere fue esbozada inicialmente Wegener en 1912, quien aseguraba que hace 200 millones de años los continentes estaban juntos formando un supercontinente llamado Pangea, que se fracturó y dispersó debido a grandes movimientos horizontales, sin embargo, más nadie creyó en su teoría.

También reseña el FUNVISIS (2002), que en fecha mas reciente, 1961, el geólogo Harry Hess y el geofísico Robert Dietz, plantearon teorías similares que explicaban que los continentes estaban localizados sobre placas tectónicas y que son arrastrados debido al movimiento que generan las mismas. Hoy en día, conocida como la teoría de la Tectónica de Placas, según la cual la litósfera está dividida en placas, separadas por cadenas montañosas o fosas que se mueven lentamente chocando o rozándose unas con otras. El movimiento y roce entre placas produce en los bordes y en zonas de interacción algunos fenómenos entre ellos los sismos o terremotos que ocurren cuando el roce entre placas crea esfuerzos que son liberados violentamente y las rocas llegan a su punto de fractura, como ocurrió en Caracas en 1967.

Para efectos de la investigación en curso, cabe destacar que la ocurrencia de sismos se traduce en probabilidad de ocurrencia de licuefacción de los suelos, un fenómeno que se produce al aplicar cargas cíclicas, generalmente causadas por la acción de los sismos en suelos granulares saturados, usualmente próximos a los bordes de cuerpos de agua. El principal daño estructural causado por la licuefacción de los suelos viene dado por la pérdida de soporte del terreno de fundación, que al ser objeto de este fenómeno, se comporta de manera similar a un líquido,

produciendo deslizamientos, hundimientos y asentamientos diferenciales entre otros, que también ocasionan daños en las estructuras.

Específicamente en el Estado Aragua, las áreas ubicadas en la cuenca del Lago de Valencia, cuyos suelos presenta características típicas de zonas susceptibles a la licuefacción (suelos jóvenes, granulares, saturados, alto nivel freático), están cercanas a las fallas de San Sebastián y La Victoria, son zonas catalogadas entre las de mayor riesgo sísmico en el país, añadiéndose a ello, un crecimiento demográfico y gran desarrollo urbanístico e industrial, que aumenta el potencial de riesgo. Rasgos, que hacen imperativo realizar estudios que permitan conocer el potencial de licuefacción de los terrenos que forman parte de dicha cuenca o están en sus cercanías, como es el caso de las parroquias Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles del Municipio Girardot, donde es perentorio prevenir a las personas de riesgos y evitar en lo posible, daños estructurales en las edificaciones, pues estas podrían sufrir fallas en la capacidad de soporte del terreno de fundación por la inestabilidad de los suelos debido a su origen, formación y actividad sísmica que presentan.

El contexto descrito, motiva realizar este estudio con el objetivo de elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay.

Antecedentes de la Investigación

En el año 2014, Pombo, Ramírez, Schmitz y Niño, presentaron en la Universidad de Carabobo, un estudio sobre el *Potencial de licuefacción de los suelos en el área metropolitana de Valencia*, Venezuela, integrada por los municipios Valencia, Naguanagua, Libertador, San Diego, Los Guayos y Guacara y que calificaron como afectada por las fallas de San Sebastián y La Victoria; cuya actividad y capacidad de generar sismos de gran magnitud es permanente, sus suelos están formados en mayoría por sedimentación de arena limosa, son cercanos al río Cabriales y el Lago de Valencia y en ellos está presente el fenómeno de la licuefacción hasta

profundidades de 5m. Para determinar el potencial de licuefacción de los suelos procedieron a conocer la litología, el ambiente tectónico y geológico; historial sísmico y a la aplicación de los criterios de susceptibilidad a la licuefacción según la norma sismoresistente, para estimar con métodos simplificados, el factor de seguridad o indicativo del potencial de licuefacción de los suelos, específicamente para sismos de magnitud momento (M_w) 6, 6.5, 7 y 7.5.

Para los autores citados, el trabajo de campo implicó recabar, analizar y evaluar 707 perforaciones de ensayos SPT, cuyos resultados confirmaron que esos suelos son potencialmente licuables pues el Factor de seguridad (FS), es menor a uno, y el área si se ubica dentro de los sistemas de falla de San Sebastián y La Victoria, aumentando el riesgo en zonas densamente pobladas como Valencia, Naguanagua y San Diego, que mostraron ser potencialmente licuables para sismos de magnitud M_w 6.0. Asimismo, como los FS obtenidos, muestran la existencia de extensas aéreas urbanas con riesgo de licuefacción, expresaron que se requieren estudios más detallados que permitan un uso seguro de estas zonas.

Este estudio, es una guía para el presente trabajo, porque se procede de forma muy similar a la que ellos aplicaron y tal procedimiento es ajustado a las recomendaciones del FUNVISIS.

Sobre un tópico conexo con la sismicidad, está la investigación llevada adelante por Montilla (2013), para hacer una *Estimación de la respuesta sísmica del sitio usando mediciones de microtemblores en el sector Pan de Azúcar, Ejido, Estado Mérida* en la que deja ver la importancia de hacer las mediciones de microtemblores o vibraciones ambientales desde su aparición, como herramienta para estimar el comportamiento dinámico. Un método que valoró usual, versátil, económico, eficiente, validado y aceptado en la Ingeniería Sísmica moderna para estudiar los probables efectos del sitio, en zonas con muy baja actividad sísmica.

Montilla, estima los efectos utilizando tres equipos y nueve estaciones sismométricas de sitio, de señal digital de alto rango y resolución, con capacidad para registrar aceleraciones máximas de hasta 1,0 g, configuradas para operar con una rata de muestreo de doscientas muestras por segundo (200 SPS) por canal de medición, integradas y controladas por una computadora

portátil. Este equipo se ubicó estratégicamente en el sector Pan de Azúcar, para cubrir al máximo los posibles puntos críticos o discontinuidades del terreno susceptibles de presentar comportamiento dinámico desigual. Los registros, fueron procesados con la técnica de Nakamura, basada en la función de transferencia de la señal captada, para determinar los parámetros dinámicos del suelo, frecuencias y períodos dominantes de vibración y rango de amplificación probable del suelo, en cada estación.

El resultado de los posibles efectos de sitio en la zona, la forma de los espectros, frecuencias, períodos dominantes y amplificaciones obtenidas, le mostraron un suelo subyacente bastante denso, consolidado, según la Norma COVENIN para Edificaciones Sismorresistentes, suelos de forma espectral tipo S2. No obstante detectó zonas (definida por las estaciones Z03, Z04 y Z05), donde apreció ligero aflojamiento del terreno, determinado por períodos predominantes más largos, indicativo de la presencia de una zona de transición que reporta el solapamiento de unidades geológicas donde se generó un depósito de material aluvial, producto del deslizamiento de terreno de la parte más alta de la zona. Esto incrementa ligeramente las amplificaciones sísmicas probables que pudieran generarse en el área.

El comportamiento dinámico registrado en las estaciones Z07, Z08 y Z09 explican la proximidad al afloramiento rocoso producido en la parte más alta del terreno del poblado, pero en general, el perfil longitudinal de ese suelo, excepto la zona de transición, tiene cierta paridad en los valores de período predominante y amplificación probable esperada, correspondiendo a la zona de transición, que es la más poblada del sector, un comportamiento sísmico un tanto anómalo. En consecuencia, se debe tomar previsiones técnicas de carácter sismorresistente en las obras a desarrollar para garantizar de ellas un comportamiento dinámico y estabilidad estructural adecuadas, de ocurrir un evento sísmico de magnitud de moderada a severa, porque las construcciones existentes, (mampostería informal), pueden ser altamente perjudiciales, si el período predominante del suelo de fundación se aproxima al período de vibración fundamental de las edificaciones sobre él, e incursionar en el fenómeno de resonancia vibratoria, causando daño excesivo, destrucción o colapso de las mismas.

El estudio de Montilla, es considerado un referente, pues aun cuando la metodología y técnica son diferentes, ayudan a comprender de forma integral el fenómeno sísmico, la formación y el comportamiento del suelo con miras a hacer del él un uso más apropiado y favorable a las personas ante la posibilidad de que pueda ocurrir un sismo.

Un trabajo análogo fue realizado por Padrón, Mendes, Schmitz y Hernández (2010), sobre la Microzonificación Sísmica en los procesos de planificación y gestión urbana, Caso Estudio; Municipio Chacao, como aporte a la discusión sobre la inclusión de los resultados de diferentes estudios del Proyecto de Microzonificación Sísmica en los procesos de planificación y gestión urbana, que tome en cuenta otras amenazas asociadas a la amenaza sísmica, la vulnerabilidad física y social, el marco normativo y la referencia de que en ese municipio colapsaron en 1967, cuatro edificaciones producto de los efectos del sitio.

Los autores manifiestan que resultados del Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas, ejecutado entre 2005 y 2009, se identificaron las diferentes zonas con respuesta sísmica similar, y de allí Surge el interés de determinar cómo esos resultados podrían apoyar el proceso de planificación urbana de la ciudad. Como aporte a la discusión sobre el tema, estudiaron las características principales de la amenaza sísmica, de otras amenazas, aspectos de vulnerabilidad y el marco normativo de la planificación urbana en el municipio Chacao, en el cual colapsaron cuatro edificaciones en el sismo de 1967. El estudio reveló que los niveles de amenaza sísmica correspondientes a la microzonificación sísmica no rigen ni condicionan el ordenamiento urbano ni el diseño urbano, excepto por efectos económicos.

El estudio concluye que una mejora necesaria debe incluir la microzonificación sísmica, un adecuado proceso de planificación y gestión urbana que incluya la adecuación estructural, la renovación urbana, el seguimiento y control de la aplicación de las normas para edificaciones sismorresistentes y el acompañamiento social y técnico. Medidas necesarias para reducir, los niveles de riesgo sísmico.

En un orden similar de ideas, está la investigación realizada por Olivier (2009), para hacer la *Evaluación del Potencial de Licuefacción en la Ciudad de Cumaná, Venezuela*, con el objetivo de determinar el potencial de licuefacción dicha ciudad. En campo, el investigador realizó y estableció correlaciones de ensayos SPT y eventos sísmicos históricos ocurridos en Cumana. Datos que procesó utilizando el método Cetin et al. (2004) e Idriss y Boulanger (2008) y que luego procedió a integrar en un software especializado a través del cual elaboró los mapas de potencial de licuefacción.

Esta indagación, como se evidencia, esta relacionada con el tema del potencial de licuefacción y la posibilidad de diseñar mapas correlacionando informaciones e integrándolas en medios informáticos para producir mapas y planos de microzonificación de zonas con amenaza y vulnerabilidad sísmica.

Alcance y Limitaciones de la Investigación

El presente trabajo, se enfoca en elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay. Los estudios requeridos para ello, se basan principalmente en los análisis de suelos, la fundamentación matemática para calcular los factores de seguridad y en llevar los datos obtenidos a un software para hacer el mapa y ubicar sobre él, la información referente al comportamiento del suelo ante la eventualidad de un sismo en la zona observada.

En cuanto a las limitaciones del estudio, está la realidad de que los investigadores no disponen de los equipos necesarios para realizar ensayos de campo y crear una base de datos utilizando los perfiles geotécnicos correspondientes. Situación para lo cual recurrieron a los datos e informaciones obtenidos mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) ejecutados por la Oficina Técnica José Heredia & Asociados, empresa privada especializada en el área de geotecnia con 30 años de experiencia. Gracias a esa información fue posible la aplicación del

método simplificado de Seed & Idriss para determinar el potencial de licuefacción de los suelos de las zonas en estudio.

Cabe destacar que al momento de la realización de los mapas se debe tomar en cuenta la exactitud y extensión de los datos recaudados, factores que dependen de la cantidad de estudios disponibles distribuidos en las parroquias de interés. Con esto en mente se recaudaron todas las planillas de perforación presentes en los estudios realizados por la empresa entre los años 1983 y 2014, para garantizar la mayor precisión posible

Igualmente, hubo limitación por desconocimiento de quienes investigan, en lo relacionado con el análisis de suelos y el manejo de sistemas informáticos para elaborar mapas. Lo que conllevó a la búsqueda de asesoría especializada, nuevos aprendizajes e inversión de más tiempo en revisiones y correcciones, para lograr el objetivo propuesto. Para lo que también se contó con el apoyo de FUNVISIS, institución que suministró información valiosa en relación con las fallas y actividad sísmológica que afecta a las parroquias en estudio y sobre el programa ArcGIS, utilizado para la confección de los mapas.

Una investigación como esta, dirigida a la elaboración de mapas muy especializados que reúnan las exigencias del FUNVISIS y explique la caracterización de suelos, pues de ellas dependen su capacidad de soporte, amenaza y vulnerabilidad y otros aspectos que se necesitan conocer, implicó buscar respuestas a las siguientes interrogantes:

¿Cómo elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay?, ¿Qué características tiene el suelo del área de las parroquias en estudio (peso unitario, número de golpes del ensayo de penetración estándar, altura del nivel freático y porcentaje de finos)?, ¿Cuáles son los cálculos de los factores de seguridad del área de las parroquias en observación?, ¿Qué correspondencia hay entre los valores del factor de seguridad calculados, dentro de los rangos establecidos por FUNVISIS?, ¿Cómo representar

en un mapa los diferentes potenciales de licuefacción del área de esas parroquias? Preguntas dirigidas a lograr estos objetivos:

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Elaborar un mapa identificando las zonas, cuyos suelos presentan potencial de licuefacción en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, del Municipio Girardot, Estado Aragua.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el suelo del área de las parroquias en estudio (peso unitario, número de golpes del ensayo de penetración estándar, altura del nivel freático y porcentaje de finos).
- Calcular los factores de seguridad del área de las parroquias en observación.
- Ubicar los valores del factor de seguridad calculados dentro de los rangos establecidos por FUNVISIS.
- Representar en un mapa los diferentes potenciales de licuefacción del área de las parroquias estudiadas.

Justificación

El Estado Aragua se encuentra en una de las zonas de más alta amenaza sísmica del territorio nacional dada su cercanía a la falla activa de La Victoria; que a su vez está conformada por las fallas La Guacamaya, El Horno y Pichao. Aunado la litología de la zona, las parroquias en estudio se ubican a orillas del Lago de Valencia. Todo esto, hace de vital importancia para ellas, dicho Estado y sus habitantes, conocer el potencial de licuefacción del área, ya que dicho

fenómeno además de guardar estrecha relación con los sismos, está asociado directamente con el tipo de suelo y la presencia de agua, como allí ocurre.

Actualmente, Venezuela es un país donde la mayor parte de las áreas urbanas e industriales se concentran en zonas de alto riesgo sísmico, y el Estado Aragua no es una excepción; puesto que evidencia un alto crecimiento poblacional e industrial que a la vez, ha ocasionado un acelerado crecimiento de asentamientos informales, que no siempre cuentan con un desarrollo adecuado de planificación, diseño y construcción de las edificaciones, lo que contribuye a agravar los riesgos por factores humanos, que deben ser abordados con rigor científico para poder tomar acciones preventivas a futuro y correctivas de todo lo que pueda ser corregido.

Para las instituciones, las autoridades competentes y especialistas del área de la construcción, es de suprema importancia conocer la litología y características de los suelos de fundación de las estructuras ubicadas en las parroquias objeto de estudio, para conocer y evitar, de ser posible, la ocurrencia del fenómeno de licuefacción y sus consecuencias. En una zona sísmicamente activa, la ignorancia o falta de información sobre las características del subsuelo, como el nivel freático y capacidad portante del suelo de fundación de las estructuras, pueden ocasionar graves daños tanto a nivel social como estructural. Esto motiva estudiar el comportamiento y características litológicas de los suelos en las parroquias bajo movimientos sísmicos de magnitudes entre 6,5 Mw y 7,5 Mw, para evaluar la capacidad de soporte del suelo y luego clasificar las zonas de acuerdo a su potencial de licuefacción.

Este estudio, es necesario e importante pues se sabe que el riesgo de licuefacción se relaciona con la amenaza sísmica y características del suelo, por tanto, para evitar pérdidas humanas y materiales, es imprescindible recopilar adecuadamente la información correcta sobre la susceptibilidad del suelo del área a presentar licuefacción, para su registro y elaboración de mapas que apoyen la toma de las previsiones en relación con ordenamiento urbano de esas parroquias y futuras construcciones, con la intención de disminuir, si se puede, la vulnerabilidad que éste fenómeno representa para la población.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Ubicación Geográfica del Área en Estudio

Aragua está situada sobre la costa del Mar Caribe, región centro-Norte de Venezuela, sus coordenadas geográficas son 09°23'48"; 10°32'24" de latitud Norte y 66°32'36"; 67°52'8" de longitud Oeste; con una superficie total de 7.014 km², que incluye 94 km² del Lago de Valencia o Tacarigua.

Las Parroquias Tacariguas, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, se ubican en el Municipio Girardot del Estado Aragua y son parte de sus 18 municipios y 34 parroquias.

Características del Municipio Girardot y Parroquias en Estudio

El Estado Aragua está situado sobre la costa del Mar Caribe, región centro-norte de Venezuela. Sus coordenadas geográficas son 09°23'48"; 10°32'24" de latitud Norte y 66°32'36"; 67°52'8" de longitud Oeste. Tiene una superficie de 7.014 Km², incluidos 94 Km² del Lago de Valencia. Limita al Norte con el Mar Caribe, al Este con los Estados Vargas, Miranda y Guárico, al Oeste con el Estado Carabobo y Guárico y al Sur con el Estado Guárico. Área poblada por 1.758.873 habitantes, según censo del 2011, con una densidad de 242 hab/km².

En su ordenamiento político-territorial actual, registra 18 municipios divididos en 34 parroquias; unas urbanas, otras rurales, entre los que están el municipio Girardot y las

parroquias Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, que son el interés en este estudio.

El municipio Girardot, está ubicado en la parte Centro Norte del Estado Aragua, tiene una extensión de 311,57 km², es asiento de Maracay la ciudad capital donde además están todas las parroquias en investigación. Sus coordenadas son N1.161.700, E648.700. Limita al norte con el Mar Caribe, desde Punta de Mosquito y en sentido Este continúa hasta llegar al lugar denominado Punta de Guayamuré. Al Sur, limita con el Lago de Valencia desde la desembocadura del Caño Colorado o Tucupido y de allí continúa en línea recta en dirección Oeste hasta llegar al punto denominado Portachuelo de La Cabrera. Al Este limita con los Municipios Santiago Mariño y Francisco Linares Alcántara desde Punta de Guayamuré ascendiendo hacia el Sur, hasta llegar al Lago de Valencia. Al Oeste, limita con el Estado Carabobo desde Portachuelo de La Cabrera, hasta donde comienza el límite con el Municipio Mario Briceño Iragorry, y de allí sentido Noreste hasta llegar a Punto Mosquito

Girardot, tiene una población de 590.679 habitantes distribuidos así, entre las 8 parroquias que lo conforman: José Casanova Godoy 66.791, Los Tacarigua 62.778, Pedro José Ovalles 63.407, Andrés Eloy Blanco 53.649, Madre María de San José 57.061, Las Delicias 48.190, Joaquín Crespo 42.190 y Choroní 4.292. (Ver Anexo A). Se infiere que las parroquias en estudio, son de las que tienen más pobladores, residentes en numerosos sectores como registra esta información:

Parroquia Dr. José Casanova Godoy: Entre las Avenidas Mariño y Fuerzas Aéreas y desde la Av. Constitución hasta Los Tacarigua. Incluye, Barrios: El Carmen, Lourdes, Santa Ana, Libertad, Bolívar Norte y Sur, Campo Alegre II, OCV 13 de Enero, 13 de Enero I y II, Sergio Medina, Carlos Meza, Las Vegas I y II, Aguacatal I y II, Aquiles Nazoa, la Gallera, los Nísperos, Aragua Costas y Canto, Urbanizaciones: Bermúdez, San Ignacio, El Centro, La Fundación Mendoza, Guaicamacuto, Conjunto Residencial El Lago I y I y La Mulera.

Parroquia Andrés Eloy Blanco: Desde la Avenida Mariño hasta las márgenes de Río Güey, Incluye el Casco Central de Maracay Nor-Oeste I y II, Casco Central Sur-Oeste I, II y III, Barrios la Democracia I y II, El Milagro, Libertador, Las Flores, Alayón, Santa Rosa Sur I y II, Brisas del Lago I, II, III y Sector Las Cármenes. Urbanizaciones La Esperanza, Los Caobos, San Miguel, La Fundación Maracay II, Residencias Mérida y El Lago.

Parroquia Los Tacarigua: Comprende desde el Río Güey hasta los límites con el Estado Carabobo, incluye los barrios San Vicente Centro, Los Tubos, María Cristina, 1º de Mayo, El Triunfo, Chatarrera, Las Mercedes, Cadillal, La Isabelita, El Campito, Los Olivos, Raúl Leoni La Coromoto I, II y III, El Recurso, 23 de Enero Norte I y II y 23 de Sur Este y Sur Oeste. Urbanizaciones Tiuna y La Romana.

Parroquia Dr. Pedro José Ovalles: Desde la Autopista hasta el Sur y desde el Canal de Sudantex hasta los límites de los Municipios Santiago Mariño y Francisco Linares Alcántara. Incluye los barrios San Rafael, José Gregorio Hernández, José Casanova Godoy, Los Cocos, San Luis, San Pedro Alejandrino, Río Blanco I, II y III, Doña Paula. Urbanizaciones Las Delicias, San Rafael, Araguama Country, Los Samanes, San Carlos I y II, Villas Don Genaro, La Punta, Mata Redonda, La Esmeralda y Palma Real.

Geología Regional

Debido al sistema de fallas producidas en dirección Este-Oeste, en el espacio comprendido entre La Serranía del Interior y la cordillera de La Costa, se formó una depresión de forma alargada conocida como Graben de Valencia, hacia donde se vertieron de lado y lado, las aguas de las serranías. La formación de conos aluvionales o de deyección, por erosión de las montañas condicionaron el represamiento de las aguas y la formación del Lago de Valencia, que evolucionó hasta su forma y extensión actual en un área próxima a 1280 km², en cuyo centro está el Lago de Valencia o de Los Tacarigua de aproximadamente 280 km². (Anexo B)

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

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

Sismo

FUNVISIS (2002), define sismo o terremoto como “un movimiento súbito e impredecible de una parte de la corteza terrestre, ocasionado por fuerzas que tienen su origen en el interior de la tierra” (p. 9) y como “movimiento brusco de la corteza terrestre, capaz de cambiar por completo el paisaje de una región” (FUNVISIS 2002. 2015. s. n/p). Movilidad, que puede ser producida por el desplazamiento de bloques de la litosfera (origen *tectónico*), producida por la extrusión de magma hacia la superficie (*volcánico*). Ambos, liberan la energía acumulada y esta se transmite en forma de ondas elásticas que causan vibraciones y oscilaciones a su paso a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta “arriba” de la superficie terrestre. (FUNVISIS 2002, p. 10)

Por su localización, los sismos pueden ser superficiales, intermedios o profundos y aun cuando hay otros criterios al respecto, Bolt (2003), localiza los sismos superficiales en la franja que va

desde 0-70 km, los intermedios entre 70-300 km, y los profundos entre 300-700 km. Cabe destacar que en Venezuela, casi todos los sismos destructores fueron de origen superficial (p. 10).

Elementos de un Sismo

Durante la actividad sísmica, básicamente, están presentes tres elementos: el foco o hipocentro, el epicentro y la onda sísmica (Ver gráfico 1).

El Foco o hipocentro. Literalmente, es el lugar del interior o bajo tierra donde se origina el terremoto, dando lugar a las ondas sísmicas. Es el punto en el plano de falla donde se origina la ruptura y da inicio a la liberación de energía mediante la propagación de ondas sísmicas. Su ubicación se define por coordenadas de longitud, latitud y profundidad focal

El Epicentro. Es el punto ubicado en la superficie terrestre y directamente sobre el foco o hipocentro. Es la proyección vertical del foco hacia la superficie terrestre.

La onda sísmica. Son oscilaciones o vibraciones que se propagan dispersando la energía desde el foco del terremoto.

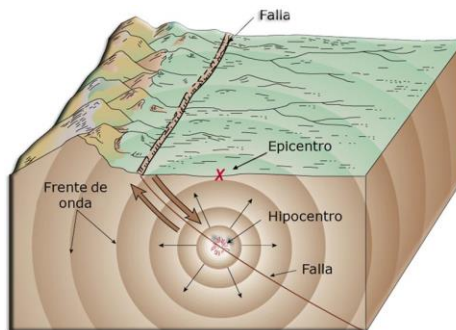


Gráfico 1. Corte de la Tierra ilustrando el proceso de un sismo
Fuente: Tarbuck y Lutgens (2005).

Falla

Desde el punto de vista geológico, Estefani (2013), expresa que una falla es una discontinuidad natural de la corteza terrestre que ocurre por propagación de una fractura en una estructura de roca de la corteza, por aplicación de una energía cinética en ella; generalmente proviene del calor del núcleo de la tierra o, por el enfriamiento y calentamiento de la litósfera por interacción con la energía solar.

En la falla geológica, Estebani (2013), identifica los siguientes componentes: plano de falla, bloques de falla, orientación o dirección, buzamiento, desplazamiento y facetas triangulares, que se ilustran en el gráfico 2 y luego se procede a su descripción.

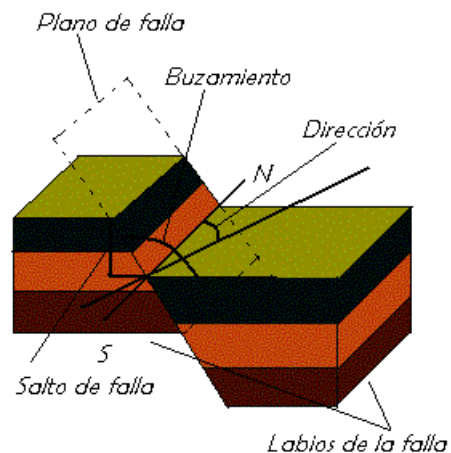


Gráfico 2. Componentes de una falla
Fuente: Estefani (2013)

Componentes o características de las fallas

Plano de falla, o la superficie a lo largo de la cual se desplazan los bloques que se separan en la falla.

Labios o bloques de falla, son las dos porciones de roca separadas por el plano de falla. Cuando el plano de falla es inclinado, el bloque que se haya por encima del plano de falla se denomina bloque colgante y al que está por debajo, bloque yacente.

Orientación o dirección, ángulo que forma una línea horizontal contenida en el plano de falla con el eje Norte-Sur.

Buzamiento, es el ángulo del plano de falla con respecto al horizonte.

Salto de falla, es la distancia entre un punto dado de uno de los bloques (ejemplo, una de las superficies de un estrato) y el correspondiente en el otro, tomada a lo largo del plano de falla.

Desplazamiento, es la distancia neta entre las superficies de los bloques y la dirección en que se ha movido un bloque con respecto al otro.

Facetas triangulares, son espejos de fallas que muestran el corte producido en una fila montañosa cuando la falla se presenta en forma perpendicular a la diferencia de dicha fila montañosa. Tanto la parte hundida como el propio espejo de falla tienen aspecto triangular, de aquí su nombre, como puede verse en el gráfico 3.

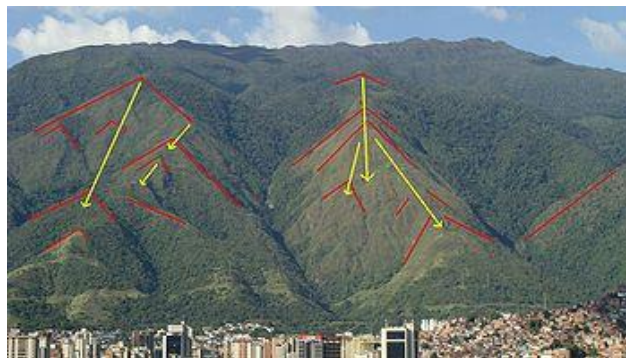


Gráfico 3. Esquema facetas triangulares
Fuente: Estefani (2013)

Falla Activa y Falla no activa

Por la posibilidad de generar un sismo, las fallas pueden ser activas y no activas.

Las fallas activas, se asocian con la probabilidad de producir algún movimiento sísmico pues la información de estudios históricos, sismológicos y de evidencias geológicas, constatan desplazamientos en los últimos 40 mil años está. Estas fallas pueden ser sísmicas o asísmicas.

Las fallas activas son sísmicas, si el desplazamiento a lo largo de segmentos del plano de falla se produce de forma esporádica, por la aplicación de esfuerzos tectónicos en las inmediaciones de la falla, y ocasiona deformación elástica de las rocas en ese entorno. Cuando la resistencia al corte de las rocas es superada por la magnitud de los esfuerzos, se produce la ruptura y desplazamiento a lo largo de la falla dando lugar a un sismo. Luego de un sismo suceden periodos de menor o nula actividad y nuevamente las rocas comienzan a acumular esfuerzos.

Las fallas asísmicas, ocurren cuando los esfuerzos son liberados de forma permanente por procesos como el reptaje (creep), o mediante pequeñas rupturas sucesivas que ocasionan sismos de muy baja magnitud y poco espaciados en el tiempo.

Las fallas no activas, son discontinuidades en las estructuras geológicas, que en otro tiempo geológico fueron activas y hoy se pueden ver sus efectos dentro de las rocas pero no hay evidencia de eventos recientes y no representan peligrosidad sísmica.

Clasificación de las fallas según su movimiento

Falla normal, son las generadas por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al azimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, con un ángulo típico de 60° respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina techo y se desliza hacia abajo, mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso y asciende. Esto se representa en el gráfico 4.

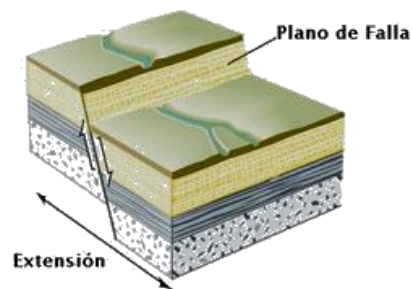


Gráfico 4. Esquema de una Falla Normal
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Falla inversa, es la se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal, el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30° respecto a la horizontal y el bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. (Ver gráfico 5). Si, las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45° , toman el nombre de cabalgamiento.

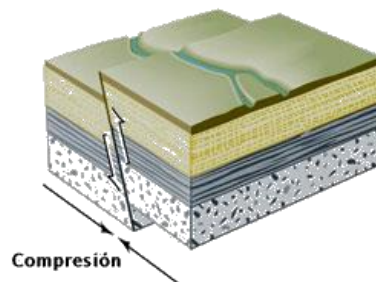


Gráfico 5. Esquema de una Falla Inversa
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Falla de desgarre o desplazamiento de rumbo, son las que se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal. Son típicas de límites transformantes de placas tectónicas y pueden ser de dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas y laterales izquierdas. En las laterales el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha y, en las laterales izquierdas, el movimiento es hacia la izquierda. También se conoce como fallas transversales. (Ver gráfico 6)

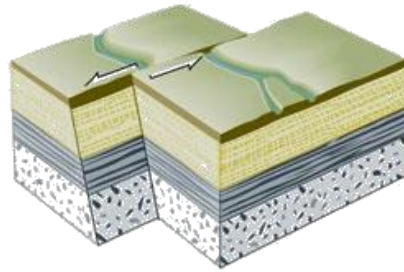


Gráfico 6. Esquema de una Falla de Rumbo
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas, son las vibraciones en las que se dispersa la energía del foco o hipocentro de un terremoto. Explica Alonso (2007), que cuando ocurre un terremoto se generan dos tipos de ondas: las corpóreas y las superficiales.

Las ondas corpóreas, viajan a través del interior de la tierra, y también son de dos tipos: ondas Primarias (P) y ondas secundarias (S).

Ondas Primarias (P), son las primeras que alcanzan la superficie terrestre; viajando a través de rocas sólidas y materiales líquidos, con vibraciones longitudinales, que retumban de forma sónica y hacen vibrar los elementos estructurales (Ver gráfico 7)

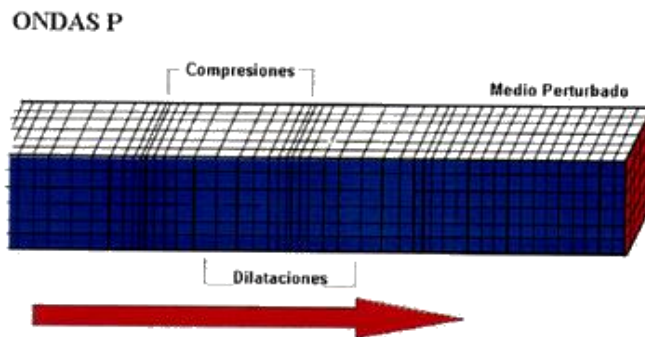


Gráfico 7. Ondas Primarias (P)
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Las Ondas Secundarias (S), son más lentas que las ondas P, llegando posteriores a éstas a la superficie terrestre, produciendo movimientos perpendiculares al sentido de propagación y, al contrario de las ondas P, no viajan a través de los materiales líquidos, pues su movimiento es de arriba abajo y de lado a lado, sacudiendo la superficie del suelo vertical y horizontalmente, lo cual puede generar daños estructurales en las zonas urbanas (Ver gráfico 8)

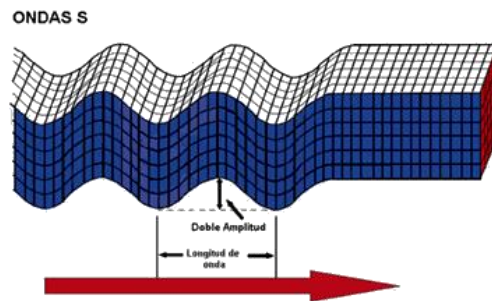


Gráfico 8. Ondas Secundarias (S)
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Las ondas superficiales, se desplazan sobre la superficie del planeta, desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo, pudiendo ser ondas Love (L) y ondas Rayleigh (R).

Las Ondas Love (L), presentan un movimiento parecido al de las ondas S, sin embargo el mismo está restringido por los intervalos de interacción entre las diferentes capas de la superficie terrestre y son más lentas que las ondas Rayleigh (Ver gráfico 9)

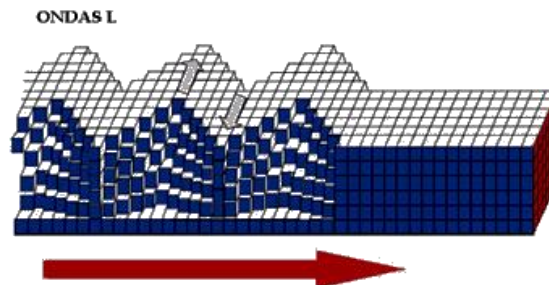


Gráfico 9. Ondas Love (L)
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Las Ondas Rayleigh (R), registran trayectoria elíptica en el plano vertical y orientación hacia la dirección en la que viajan las demás ondas (Ver gráfico 10).

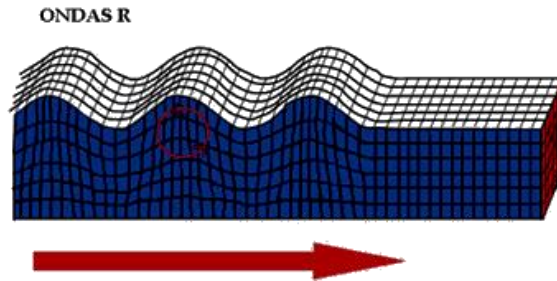


Gráfico 10. Ondas Rayleigh (R)
Fuente: FUNVISIS (s/f)

Características de un Sismo

Intensidad

Es la medida subjetiva de los daños ocasionados por un sismo sobre la población, las construcciones y la naturaleza (FUNVISIS 2002). La intensidad puede variar notablemente de un sitio a otro, dependiendo de la distancia al epicentro y de las condiciones geológicas locales. Actualmente existen varias escalas de intensidad usadas en el mundo, la más utilizada es la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (MM), propuesta en 1902 y que consta de una escala de 12 grados, como se refleja en la tabla 1.

Tabla 1. Escala Modificada de Mercalli

Grado	Efectos del terremoto
I	Microsismo, detectado por instrumentos.
II	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo).
III	Sentido por algunas personas dentro de edificios.
IV	Sentido por algunas personas fuera de edificios.
V	Sentido por casi todos.
VI	Sentido por todos.
VII	Las construcciones sufren daño moderado.
VIII	Daños considerables en estructuras.
IX	Daños graves y pánico general.
X	Destrucción en edificios bien contruidos.
XI	Casi nada queda en pie.
XII	Destrucción total.

Fuente: FUNVISIS (2002).

Magnitud

La magnitud es la medida de energía liberada y se expresa en la amplitud de ondas sísmicas (FUNVISIS 2002). Es un parámetro propuesto por Charles F. Richter en 1935 para clasificar los sismos de acuerdo a la energía liberada. De allí nace la escala sismológica de Richter, conocida como Escala de Magnitud Local, mundialmente utilizada para clasificar los terremotos cuya magnitud oscila entre 2,0 y 6,9 ya que para magnitudes mayores, se producen errores de estimación de magnitudes similares para temblores cuya intensidad es claramente

diferente. Dado estas condiciones, para medir un sismo de mayor magnitud, los sismólogos Hanks y Kanamori, investigadores del Instituto de Tecnología de California, en 1979, propusieron la Escala Sismológica de Magnitud de Momento, que es una escala logarítmica basada en la medición de energía total que se libera en un sismo y como sucesora de la escala de Richter, es la utilizada en la actualidad para medir terremotos de una magnitud superior a 6,9. En la tabla 2, se exponen englobadas, las magnitudes de acuerdo a la escala utilizada.

Tabla 2. Escala de Magnitudes Sísmicas

Magnitud (M_i=De 2,0° a 6,9° y M_0=Mayores 6,9°)	Descripción	Efectos de un sismo
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.
2,0-2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.
3,0-3,9	Menor	Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.
4,0-4,9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo pero con daño poco probable.
5,0-5,9	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.
6,0-6,9	Fuerte	Pueden llegar a destruir áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.
7,0-7,9	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.
8,0-8,9	Gran	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.
9,0-9,9	Gran	Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.
10,0+	Épico	Nunca registrado.

Fuente: US Geological Survey. (2009)

El Fenómeno de la Licuefacción.

La licuefacción es un fenómeno en el que la resistencia y rigidez de un suelo se ve reducida considerablemente debido a un sismo o una carga rápida y repetitiva. Éste y otros fenómenos relacionados con ésta son responsables de enormes daños en históricos terremotos del mundo.

Es preciso aclarar, que el fenómeno la licuefacción también es llamado licuación. Ambas denominaciones son utilizadas por los expertos de la ingeniería, en algunos casos con similar significado y en otros con alguna diferencia de orden técnico. Respetando los criterios de los expertos del área, en este trabajo, se hace uso unificado del término licuefacción.

El fenómeno de la licuefacción, ocurre mayormente en suelos saturados, en los que el espacio entre partículas individuales está completamente lleno de agua y ejerce una presión sobre las partículas del suelo que influyen en la fuerza con la que las propias partículas se presionan entre sí. Antes de un terremoto, la presión del agua es relativamente baja. Sin embargo, los temblores pueden causar que la presión del agua aumente hasta el punto que las partículas de suelo puedan moverse fácilmente unas respecto a otras. Al ocurrir un terremoto, las ondas sísmicas usualmente provocan ese aumento en la presión de agua. Igualmente, algunas actividades relacionadas con la construcción como explosiones en el subsuelo pueden causar aumento de la presión de poros.

Cuando se produce la licuefacción, la fuerza del suelo disminuye la capacidad portante para soportar las fundaciones de las edificaciones que sobre él se erigen. El suelo licuado ejerce mayor presión sobre muros de contención, lo que puede causar que los mismos se inclinen o deslicen. Este movimiento puede causar asentamientos y ocasionar destrucción de las estructuras que se encuentren en la superficie del suelo.

La licuefacción se ha observado en terremotos durante muchos años. De hecho, los registros escritos que datan de cientos e incluso miles de años describen los efectos del terremoto, que ahora se sabe están asociados con la licuefacción.

Debido a que la licuefacción sólo ocurre en suelos saturados, sus efectos se observan con mayor frecuencia en las zonas bajas cerca de cuerpos de agua como ríos, lagos, bahías y océanos. Los efectos de la licuefacción pueden incluir grandes deslizamientos de tierra hacia los cuerpos de agua cercanos. Los puertos y muelles suelen estar ubicados en áreas susceptibles a la licuefacción y muchos han sufrido daños considerables por efectos de éste fenómeno en terremotos en el pasado, por este motivo, la mayoría de los puertos y muelles tienen grandes estructuras de retención o muros, ya que cuando el suelo que está debajo de dichas estructuras licúa, la presión que ejerce sobre las mismas puede aumentar en gran medida, lo suficiente como para hacer que se deslice o incline hacia el cuerpo de agua ocasionando su ruptura.

Con frecuencia, la licuefacción causa daños en puentes que cruzan ríos y otros cuerpos de agua. Estos daños pueden tener consecuencias drásticas e impedir las operaciones de respuesta de emergencia y rescate en corto plazo, además de causar grandes pérdidas económicas. Los movimientos del suelo inducidos por la licuefacción pueden empujar fundaciones fuera de lugar hasta el punto donde el puente se extiende o comprime hasta el punto de pandeo o se extiende hasta quedar sin apoyo en alguno de sus extremos. (Foto 1).



**Fotos 1. Desplazamiento lateral de un muro del muelle en el Puerto Isla, Kobe 1995.
Fuente: University of Washington (2000)**

El FUNVISIS (2002), considera que las principales manifestaciones de la licuefacción se deben a dos grandes causas que dependen por una parte de las condiciones de equilibrio de la masa del suelo y las características de la arena y, por otra parte del movimiento sísmico:

Licuefacción de Flujo

La licuefacción de flujo, ocurre cuando el equilibrio estático es destruido por cargas estáticas o dinámicas en un depósito de suelo con baja resistencia residual, y que es la que posee el suelo después de haber licuado. Estas fallas, caracterizadas por movimientos grandes y rápidos hacen que la arena pierda súbitamente su resistencia al corte y pase a un estado de deformación con resistencia residual y deformación a volumen constante, pudiendo producir efectos desastrosos como:

Falla de Flujo: son las fallas del terreno más catastróficas causadas por el fenómeno de licuefacción que pueden movilizarse a grandes distancias y a altas velocidades, e involucrar suelo completamente licuado o bloques de suelo firme viajando sobre una capa de suelo licuado. Este tipo de falla se desarrolla generalmente en suelos sueltos formados por arenas y limos saturados, con pendiente del terreno mayor a 3°.

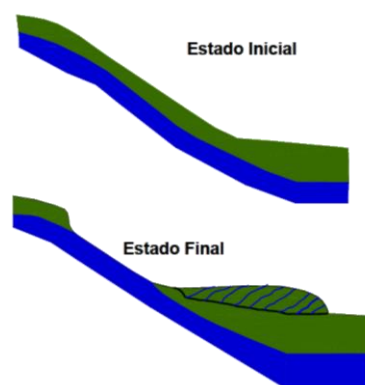


Gráfico 11. Diagrama que representa una Falla por Flujo
Fuente: Alva (2013)



Gráfico 12. Falla de flujo en la Presa Sheffield provocado por el terremoto de Santa Bárbara en 1925.
Fuente: Alva (2013)

Pérdida de la Capacidad Portante: sucede cuando el suelo que soporta una edificación licua y pierde su resistencia, pueden ocurrir grandes deformaciones en el subsuelo, que ocasionan que la estructura se asiente, se incline o sumerja y dejar a la estructura fuera de servicio.

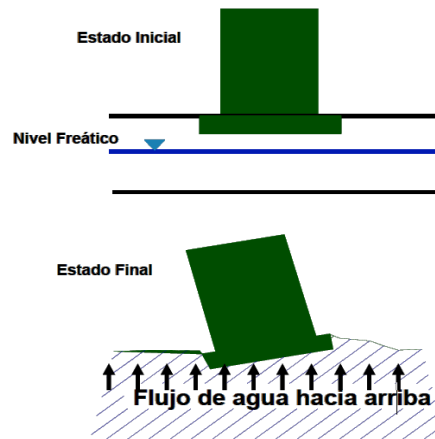


Gráfico 13. Diagrama de una estructura inclinada como consecuencia de la pérdida de capacidad portante.
Fuente: Alva (2013)

Asentamiento: en muchos casos el peso de estructuras no es lo suficientemente elevado como para generar las grandes deformaciones asociadas a la pérdida de capacidad de

soporte. Sin embargo, deformaciones de menor magnitud pueden ocurrir en la medida que la presión de poros se disipa y el suelo se consolida después de un terremoto. Estos asentamientos pueden ocasionar daños, aun cuando estos daños sean mucho menores que los debidos a falla por flujo, desplazamiento lateral, y pérdida de la capacidad de soporte.



Gráfico 14. Efectos de licuefacción de suelos después del sismo de Niigata en 1964.
Fuente: Alva (2013)

Movilidad Cíclica: Ocurre cuando los esfuerzos desviadores para el equilibrio estático de la masa del suelo son menores que la resistencia residual de la arena en estado licuado. Las deformaciones de la masa del suelo son producidas tanto por los esfuerzos estáticos como por los cíclicos, la misma es incrementada durante los movimientos sísmicos. Los efectos relacionados con la movilidad cíclica, generalmente se presentan de la siguiente forma:

Oscilaciones del Terreno: En terrenos planos, o donde la pendiente es suave y la ocurrencia de desplazamientos laterales no es posible, la licuefacción de estratos a cierta profundidad puede producir la ruptura de los estratos más superficiales en bloques que pueden oscilar hacia arriba y abajo adquiriendo el terreno la forma de estas ondas. Estas oscilaciones están acompañadas usualmente de aberturas, fisuras y grietas del terreno, las cuales ocasionan ruptura de estructuras rígidas como pavimentos y tuberías.

Desplazamiento Lateral: este tipo de falla involucra el movimiento lateral de las capas superficiales como resultado de la licuefacción y la pérdida transitoria de la resistencia de las capas inferiores. El desplazamiento lateral ocurre generalmente en terrenos relativamente

llanos (con pendientes comprendidas entre el 0,5 y 5%). En condiciones normales el desplazamiento lateral tiene un rango de pocos metros y en condiciones anormales pueden ocurrir desplazamientos laterales de varias decenas de metros acompañados de grietas en el terreno y desplazamientos diferenciales verticales. Los desplazamientos laterales a menudo distorsionan las fundaciones de edificios, dañan las tuberías de desagües y otras estructuras. El daño causado por este tipo de falla es raras veces catastrófico, sin embargo es muy destructor.

Volcanes de Arena: es un fenómeno que frecuentemente acompaña la ocurrencia de licuefacción durante el movimiento sísmico o inmediatamente después, donde el exceso de presión de poros es disipado hacia arriba como la dirección más fácil u en puntos localizados, a lo largo de grietas, produce erupciones de arenas en estado líquido que conforman pequeños volcanes.

Los casos de licuefacción enunciados, permiten inferir que básicamente, hay tres posibilidades de reducir los riesgos de licuefacción en el diseño y construcción de edificios y otras estructuras como puentes, túneles y carreteras.

Primera posibilidad, es evitar la construcción en suelos susceptibles de licuefacción. Hay varios criterios para determinar la susceptibilidad de licuefacción de un suelo. Al caracterizar el suelo en una obra particular de acuerdo con estos criterios se puede decidir si el sitio es susceptible a la licuefacción y por lo tanto no apto para la estructura deseada. La evaluación de la susceptibilidad de licuefacción de un suelo, se realiza tomando en cuenta criterios históricos, geológicos, de composición del suelo y de Estado.

Los Criterios Históricos, implica la observación de terremotos anteriores que proporcionan una gran cantidad de información sobre la susceptibilidad de licuefacción de ciertos tipos de suelo y lugares en los que este fenómeno ha ocurrido. Los suelos que han licuado en el pasado pueden licuar de nuevo en futuros terremotos

Los Criterios Geológicos, se deben considerar porque el tipo de proceso geológico en el cual un depósito de suelo fue creado, tiene una fuerte influencia en su susceptibilidad a la

licuefacción. Depósitos saturados que han surgido por la sedimentación en los ríos y lagos (depósitos fluviales o aluviales), por deposición de escombros o material erosionado (depósitos coluviales), o si son depósitos formados por la acción del viento (depósitos eólicos) pueden ser muy susceptibles a la licuefacción. Estos procesos ordenan las partículas de acuerdo a la uniformidad de los granos respecto a su tamaño y los depositan en estado suelto que tiende a densificarse al ser sacudido por terremotos. La tendencia a la densificación conduce a una creciente presión de agua intersticial y la disminución de la fuerza.

Los Criterios de Composición, son relevantes ya que la susceptibilidad a la licuefacción depende del tipo de suelo. El suelo arcilloso, es particularmente sensible, muestra un comportamiento blando similar al del suelo licuado, pero no se comportan en la misma manera que los suelos arenosos. Los suelos compuestos por partículas del mismo tamaño tienden a ser más susceptibles a la licuefacción que los suelos cuyo rango de tamaño de partículas es más amplio. En un suelo con muchas partículas de diferentes tamaños, las partículas pequeñas tienen a rellenar los huecos entre las partículas más grandes, reduciendo así la tendencia a desarrollar la presión de poros y la densificación del suelo cuando es sacudido por un sismo. Igualmente, la fricción entre partículas angulares es mayor que entre partículas redondeadas, por esto los depósitos de suelo con partículas angulares normalmente son más fuertes y menos susceptibles a licuefacción.

Los Criterios de estado inicial de un suelo, se define por su densidad y la tensión efectiva en el momento en el que es sometido a una carga rápida. A un nivel de carga dado, los suelos más sueltos son más susceptibles a la licuefacción que los suelos más densos. Para una densidad dada, los suelos que presentan tensiones efectivas altas son generalmente más susceptibles a la licuefacción que los suelos con tensiones efectivas más bajas.

La segunda posibilidad, se resume en la construcción de estructuras resistentes a la licuefacción, si es necesario construir en suelos susceptibles a licuefacción debido a restricciones de espacio, ubicación favorable, u otras razones de peso.

Puede ser posible construir estructuras resistentes a licuefacción mediante el diseño de elementos de cimentación especiales para resistir sus efectos. Una estructura que posea ductilidad, tenga la capacidad de resistir grandes deformaciones, soportes ajustables para la corrección de los asentamientos diferencias, y que el diseño de las fundaciones permita soportar puntos blandos para reducir considerablemente la cantidad de daño que sufre una estructura en caso de licuefacción.

Es importante que todos los elementos de fundación en el caso de una fundación superficial estén unidos unos con otros, de manera que los movimientos y asentamientos de la fundación se den uniformemente, disminuyendo la cantidad de fuerzas cortantes inducidas en los elementos estructurales que descansan sobre los cimientos. Una losa de fundación es un tipo de fundación recomendada en caso que haya presencia de suelos potencialmente licuables, ya que puede transferir cargas desde las zonas licuadas a tierras adyacentes que presenten mejor resistencia.

Las instalaciones de servicios enterradas, tales como tuberías de aguas blancas, aguas residuales, líneas telefónicas y electricidad deben tener conexiones dúctiles a la estructura, para dar cabida a los grandes movimientos y asentamientos que puedan ocurrir debido a la licuefacción.

La licuefacción puede causar grandes cargas laterales sobre los pilotes de fundación, ya que los mismos deben ser hincados a través de una capa de suelo débil potencialmente licuable hasta una capa más fuerte, por esto no solo deben soportar cargas verticales de la superestructura sino que también deben ser capaces de resistir cargas horizontales y momentos de flexión inducidas por movimientos laterales en caso de que la capa débil licue. Se puede conseguir resistencia suficiente mediante pilas de mayores dimensiones o más refuerzo.

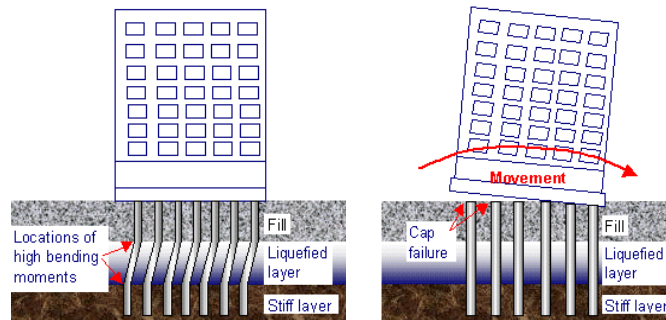


Gráfico 15. Licuefacción causando cargas laterales sobre los pilotes de fundación.
Fuente: University of Washington (2000)

La tercera opción, consiste en la mitigación de los peligros de licuefacción mediante el mejoramiento de la resistencia, densidad y características de drenaje del suelo. El objetivo principal de las técnicas de mejora del suelo utilizadas para reducir los peligros de licuefacción es evitar grandes aumentos en la presión de poros, lo que se puede lograr mediante la densificación del suelo y/o mejora en su capacidad de drenaje.

Métodos de Mitigación de la Licuefacción

Vibroflotación

La vibroflotación, implica el uso de una sonda de vibración que pueda penetrar en el suelo granular a profundidades de más de 100 pies. Las vibraciones de la sonda, hacen que la estructura de grano se colapse densificando con ello el suelo que rodea a la sonda. Para el tratamiento de una superficie de suelo potencialmente licuable, la vibroflotación se sube y se baja en un patrón de cuadrícula.

Por otra parte, está el Vibro-Reemplazo, que es una combinación de vibroflotación con un relleno de grava que resulta en columnas de piedra, que no sólo aumenta la densificación sino

que a la vez proporciona un grado de refuerzo y un medio potencialmente eficaz para el drenaje.

Compactación Dinámica

La densificación por compactación dinámica, proporciona una forma económica de mejorar el suelo para la mitigación de los riesgos de licuefacción y se realiza dejando caer un peso pesado de acero u hormigón en un patrón de cuadrícula desde una altura de 30 a 100 pies.. Cuando el exceso de presión de poros de la carga dinámica se disipa, ocurre una densificación adicional, sin embargo, el proceso es algo invasivo; y la superficie del suelo puede requerir compactación superficial con posible adición de relleno granular luego de la compactación dinámica.

Pilas de Compactación

La instalación de pilotes de compactación es una forma muy efectiva de mejorar el suelo. Las pilas de compactación, general hechas de concreto pretensado o madera, tienen dos finalidades una es la de reforzar y la otra la de densificar el suelo. Generalmente se instalan en un patrón de rejilla y se llevan hasta profundidades de 60 pies.

Compactación por lechada

La compactación por lechada es un método mediante el cual una mezcla de agua, cemento y arena es inyectada a presión en un suelo granular. La lechada, forma un bulbo que desplaza, y por lo tanto, densifica el suelo circundante. Este método de compactación es una buena opción si la fundación de una edificación ya existente requiere una mejora, ya que es posible inyectar lechada desde el lado o, en un ángulo inclinado para llegar a los cimientos del edificio.

Técnicas de Drenaje

Los peligros de la licuefacción pueden reducirse mediante el aumento de la capacidad de drenaje del suelo. Si el agua intersticial dentro del suelo puede drenar libremente, se reducirá la acumulación de exceso de presión de poros. Las técnicas de drenaje incluyen la instalación

de drenes de grava, arena o materiales sintéticos. Los de grava o arena son drenajes verticales, por lo general se instalan verticalmente y los sintéticos se pueden instalar en varios ángulos. A menudo se utilizan técnicas de drenaje combinadas con otras de mejora del suelo para la reducción más eficaz de riesgos de licuefacción.

Para verificar la eficacia de la mejora del suelo existen una serie de métodos, pero las técnicas in-situ son las más populares debido a las limitaciones de muchas técnicas de laboratorio. Por lo general se realizan pruebas de campo para evaluar el potencial de licuefacción de un depósito de suelo antes de intentar alguna mejora. Con el conocimiento de las características del terreno existentes, se puede especificar el nivel de mejora necesario. Una vez realizados los ensayos en sitio, después de la mejora se permite decidir si el grado de mejora fue satisfactorio. En algunos casos, la extensión de la mejora no se refleja en los resultados de pruebas inmediatas sino un tiempo después que la mejora ha sido completada.

Sismicidad en Venezuela

En gran medida, la actividad sísmica del país está asociada al sistema de fallas activo predominante: Boconó, San Sebastián y El Pilar, generada por el continuo movimiento Este-Oeste de la placa Caribe con respecto a la Suramericana. Este sistema de fallas ha sido causante de los sismos más severos que han ocurrido en el territorio nacional, entre los que se destacan: 1812, 1900 y 1967 entre otros (Schubert (1982, p. 2) (Grases, 1994. p. 5)

Falla de Boconó (Los Andes)

Es una falla tectónica de tipo transcurrente dextral que se expande unos 694 km en la parte central de los Andes venezolanos, comprende seis (06) segmentos que se encuentran entre la depresión del Táchira y el Mar Caribe. Posee un ancho del plano de ruptura de 20 km, y corre aproximadamente en dirección Noreste pasando bajo el pueblo que le da nombre.

Falla de San Sebastián (Cordillera de la Costa)

El sistema de fallas de San Sebastián, pertenece al conjunto de accidentes tectónicos de primer orden y de tipo transcurrente dextral, que se extienden sin discontinuidad a través del territorio nacional desde la frontera con Colombia (falla de Boconó), hasta la región Nororiental (falla de El Pilar), con una longitud total de 277 km, y un ancho del plano de ruptura de 20 km.

Falla El Pilar (Serranía del Interior)

Se extiende según con rumbo E-W entre la cuenca de Cariaco y el Golfo de Paria en la parte Nororiental de Venezuela. Se caracteriza por ser una falla de tipo transcurrente dextral, constituida por 5 segmentos, con una longitud total de 446 km y un ancho del plano de ruptura de 20 km.

Estas fallas son las más activas, pero cabe destacar que existen otros accidentes que presentan una actividad menor a las anteriores, como el caso de las fallas: Oca-Ancón, Valera, La Victoria, entre otras, han sido capaces de generar sismos de gran relevancia como el ocurrido en Churuguara (Estado Falcón), entre las décadas de los años 60 y 90 del siglo XX (Anexo C).

Sismicidad en Aragua

El Estado Aragua, por su ubicación geográfica es propenso a la eventual ocurrencia de sismos, porque es afectado por el sistema de fallas la Victoria caracterizado por ser de tipo dextral; el cual se extiende en dirección Este por unos 360 km; con rumbo promedio $N 78^\circ E \pm 17^\circ$ desde el Sur de Barquisimeto hasta Cabo Codera, ubicada transversalmente por la línea de la Costa hacia el Norte de Venezuela. Limita con la cuenca del río Tuy en el Norte y divide la cuenca del Lago de Valencia. Es paralela a la línea de la Costa y considerada el “corte principal entre la placa del Caribe y la placa de Suramérica” (Schubert, Valastro y Cowart, 1977. p. 363). Las fallas que integran el sistema la Victoria, son:

Falla la Guacamaya Oeste. Se extiende desde la cadena cerrada de Los Andes hasta el Municipio Libertador, tiene una longitud de 98 km y un ancho del plano de ruptura de 10 km, un rumbo promedio de $N80^{\circ} E \pm 20^{\circ}$; con inclinación promedio subvertical. Se presenta con algunas formas de rasgos geomorfológicos en rocas metamórficas del Mesozoico y depósitos cercanos al Pleistoceno de la cuenca del Lago de Valencia, al Suroeste de Venezuela, este parece ser un contacto sedimentario metamórfico en el subsuelo a lo largo de los márgenes hacia el Norte de la cuenca del Lago de Valencia. Con intervalo de ocurrencia 1700 años se espera un sismo de Mw 7.0, además posee una tasa de movimiento de 0.6 mm/año. La edad del último movimiento es Cuaternario.

Falla la Guacamaya Este. Es continuación de la anterior, va desde el Municipio Libertador hasta Valencia al Noroeste del Lago de Valencia, tiene una longitud de 80 km y un ancho del plano de ruptura de 10 km. Al igual que la falla Guacamaya al Oeste, presenta algunas formas de rasgos geomorfológicos en rocas metamórficas del Mesozoico, y la edad del último movimiento es Cuaternario. A un periodo de retorno de 1417 años se espera un sismo de Mw 6.9, con desplazamiento de 85 cm y una velocidad de 0.60 mm/año.

Falla La Cabrera. Se extiende bajo la superficie del Lago de Valencia y es de edad cuaternaria. Mide de extremo a extremo 26 Km y tiene un ancho del plano de ruptura de 10 km. Se solapa con la falla El Horno, y tiene un rumbo promedio de $N 72^{\circ} E \pm 0^{\circ}$, e inclinación promedio subvertical. La traza está completamente bajo las aguas del Lago y los depósitos lacustrinos del Holoceno. Basado en la longitud máxima probable, tiene un intervalo de ocurrencia de 512 años con un sismo de Mw 6.7. La tasa de movimiento es de 1.10 mm/año. El último movimiento se produjo durante el Holoceno y Post – Glacial.

Falla del Horno. Al igual que la falla de La Cabrera, se extiende debajo de la superficie del Lago de Valencia y es completamente cuaternaria. Con rumbo promedio de $N 72^{\circ} E \pm 2^{\circ}$, e inclinación subvertical, con una longitud de extremo a extremo de 34 km y un ancho del plano de ruptura de 10 km. Se solapa con la falla de la Cabrera y la falla de La Victoria. Se espera un

sismo de magnitud Mw 6.9 cada 1475 años, esto basado en una ruptura eventual a lo largo de la longitud completa de la sección de falla y su tasa de movimiento es 0.50 mm/año. Ésta falla afectó en el pleistoceno tardío a los sedimentos lacustrinos del lago de Valencia.

Falla La Victoria. Se extiende entre el Este de Las Tejerías y el Oeste de Maracay, con longitud de extremo a extremo de 52 Km y un ancho del plano de ruptura de 10 km, solapándose con las fallas del Horno y El Pichao, con rumbo promedio de N 77° E +/- 3°. La expresión geomorfológica principal es característica de la roca metamórfica del Mesozoico, al Este de Maracay. Las expresiones de sedimentos del Cuaternario a lo largo de los Valles de Aragua son pobres debido a la tasa de sedimentación que es más que la tasa de deslizamiento de la falla. El intervalo de ocurrencia de terremotos de Mw 7.1 es cada 2058 años. La tasa de movimiento es de 0.55mm/año y el último movimiento es de edad cuaternaria.

Falla Pichao. Se extiende desde Tejerías hasta Cabo Codera, con rumbo promedio de N 76° E +/- 3° con una longitud 70 km y un ancho del plano de ruptura de 10 km. La falla se evidencia en las formas geomorfológicas de las rocas metamórficas del Mesozoico a lo largo del contacto sedimentario Neógeno-metamórfico del Mesozoico en el margen Norte de la cuenca del río Tuy. Se espera un sismo máximo probable de Mw 7.2 cada 3818 años. La tasa de movimiento es de 0.4 mm/año y el último movimiento fue durante el cuaternario.

Amenaza Sísmica

Amenaza sísmica, es un término técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos que afecten adversamente a la integridad física de las comunidades y las estructuras, en un período y sitio determinado. Es importante recalcar que, los diseños que se llevan a cabo en las denominadas zonas sísmicas, o con mayor probabilidad de daños por la ocurrencia de sismos, la amenaza constituye lo más relevante de dónde se deberá ubicar la estructura propiamente dicha (COVENIN: 1756-2001).

Vulnerabilidad Sísmica

Es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su comportamiento, que puede entenderse como la predisposición de un elemento o grupo de elementos expuesto a ser afectado o ser susceptible a sufrir daño, ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado.

Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de Penetración Estándar, mide en forma sencilla el grado de compacidad del suelo en el sitio, al convertir el proceso de hincar el tomamuestras en el terreno en un ensayo dinámico de penetración conocido como ensayo normal de penetración SPT, desarrollado a finales del año 1920.

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

Objetivos del ensayo SPT

- Obtener la medida de la resistencia a la penetración con un muestreador en un suelo no cohesivo.
- Tomar muestras representativas del suelo.
- Hallar correlación entre:
 - ✓ El número de golpes N , medido y la compacidad.

- ✓ Φ y la resistencia a la compresión simple por medio de tablas o ábacos ya existentes.

Equipo utilizado en la ejecución del ensayo SPT

- Equipo de perforación.
- Varillas para muestreo.
- Muestreador de tubo partido.
- Martinete de 140lbs. de peso con sistema de caída.

Descripción del Ensayo SPT

El ensayo consiste en determinar el número (N) de golpes de un martillo con peso de 63.5 kg (140 lb) y 762 mm (30 pulgadas) de altura de caída, necesarios para hincar en el suelo inalterado un tomamuestras partido normal en una distancia de 305 mm (1.0 pie).

1. Para efectuar la prueba el muestreador se enrosca al extremo de la tubería de perforación y se baja hasta la profundidad donde se encuentra el manto arena sobre el cual se va a hacer la prueba. Previamente el fondo del pozo debe haberse limpiado cuidadosamente para garantizar que el material no este alterado.
2. Se coloca el martillo en posición guiado por la tubería de perforación elevándolo con un cable accionado manual o mecánicamente, que se encuentra suspendido del trípode con polea.
3. Se marca el extremo superior de la tubería de perforación en tres partes cada una de 15cm para la posterior observación del avance del muestreador bajo el impacto del martillo.
4. Se deja caer el martillo sobre el cabezote de la tubería de perforación y se contabiliza el número de golpes aplicado con la altura de caída especificada, para cada uno de los segmentos de 15cm marcados. No se tienen en cuenta los golpes para el primer segmento puesto que es el

de penetración inicial al terreno. Se suman los golpes aplicados para que penetre el tubo en el segundo y tercer segmento, obteniéndose así el valor de “N”.

5. Se lleva a la superficie el muestreador y se abre, debe registrarse la longitud de la muestra recobrada, su peso y describir sus características en cuanto a color, uniformidad entre otros.

Métodos basados en el número de golpes SPT para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo

Existen diferentes métodos que evalúan el potencial de licuefacción de un suelo, entre ellos están: Método Simplificado de Iwasaki y Tatsuoka (1978), Método Simplificado de Tokimatsu y Yoshimi (1983), Método de Seed & Idriss (1998) y el Método de Idriss & Boulanger (2004).

En esta investigación, se evalúa el potencial de licuefacción a través del Método de Seed & Idriss, que es un procedimiento semi-empírico, basado en registros del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), es bastante práctico y se ha mantenido vigente en el tiempo, porque el ensayo SPT es ampliamente aceptado y se utiliza en la mayoría de las investigaciones geotécnicas cotidianas. Además, evita realizar ensayos dinámicos que son complejos y costosos. El procedimiento ha sido revisado y actualizado en las últimas tres décadas por los expertos en la materia, ratificando la practicidad e importancia de su uso, siendo la última modificación la realizada por Idriss & Boulanger (2008).

En Venezuela, el ensayo SPT está ampliamente generalizado, hasta el punto que se podría decir que es prácticamente el único ensayo de campo del que se puede tener información geotécnica que se utiliza para evaluar el potencial de licuefacción.

Para evaluar la resistencia a la licuefacción de un suelo es necesario estimar dos variables:

1- La razón de esfuerzos de corte cíclicos (CSR): es la demanda sísmica en el estrato de suelo. Se puede estimar según la formulación:

$$CSR = \left(\frac{\tau_{\sigma v}}{\sigma'_{v0}} \right) = 0.65 * \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) * \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) * rd \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

a_{\max} : aceleración pico horizontal del terreno generada por el sismo.

g : aceleración de gravedad.

σ_{v0} : Esfuerzo total vertical

σ'_{v0} : Esfuerzo efectivo vertical.

rd : Coeficiente de reducción de esfuerzos.

Para el cálculo de las presiones que afectan el suelo, tanto las totales como las efectivas, utilizamos la teoría de la mecánica de suelos básica.

2- Esfuerzo vertical total:

$$\sigma_{v_0} = \sum z_1 * \gamma_1 + z_2 * \gamma_2 + \dots z_n * \gamma_n \quad (\text{Ec. 2})$$

Presión de poros:

$$u = \gamma_0 * z_0 \quad (\text{Ec. 3})$$

Esfuerzo vertical efectivos:

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{V_0} - u \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

z_n : Profundidad a estudiar.

z_0 : Profundidad por presencia de agua.

γ_n : Peso específico del suelo.

u_0 : Peso específico del agua.

u : Presión de poros.

El coeficiente r_d toma en cuenta la flexibilidad de la columna del suelo; cuando el valor es igual a 1 corresponde a un elemento de comportamiento rígido, dicho valor disminuye con la profundidad tal como se muestra en el gráfico 16. El valor promedio de r_d se puede estimar según las siguientes expresiones:

$$r_d = 1.0 - 0.00765 (z) \quad \text{para } z \leq 9.15\text{m} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 (z) \quad \text{para } 9.15\text{m} \leq z \leq 23\text{m} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$r_d = 0.744 - 0.00800 (z) \quad \text{para } 23\text{m} < z \leq 30\text{m} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$r_d = 0.500 (z) \quad \text{para } z > 30\text{m} \quad (\text{Ec. 8})$$

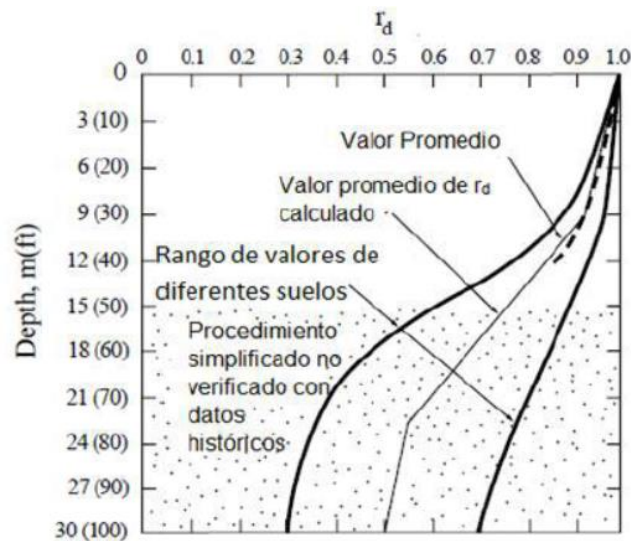


Gráfico 16. Curva r_d versus profundidad desarrollada por Seed & Idriss 1971
Fuente: Kramer y Stewart (2004)

Varios autores han coincidido que para obtener rd , es importante tener una ecuación que permita obtener los valores de reducción y sea consistente con los valores obtenidos en la práctica. Con la siguiente ecuación obtenemos los mismos valores de las ecuaciones anteriores, pero se reduce a una sola ecuación (Youd, 1997):

$$rd = \frac{1 - 0.4113^{0.5} + 0.0452z + 0.001753z^{1.5}}{1 - 0.4113^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z + 0.00121z^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

Relación de resistencia cíclica (CRR)

La relación de resistencia cíclica (CRR), es la capacidad del suelo de resistir a la licuefacción. En el Workshop de 1997 los autores (Youd et al., 1997), realizaron una ligera modificación a la curva inicialmente propuesta por Seed (Seed & Idriss, 1971), con el fin de que las curvas para arenas limpias tengan una mayor consistencia con las curvas desarrolladas a partir del CPT y la velocidad de ondas de corte. La curva así propuesta se ilustra en el gráfico 17.

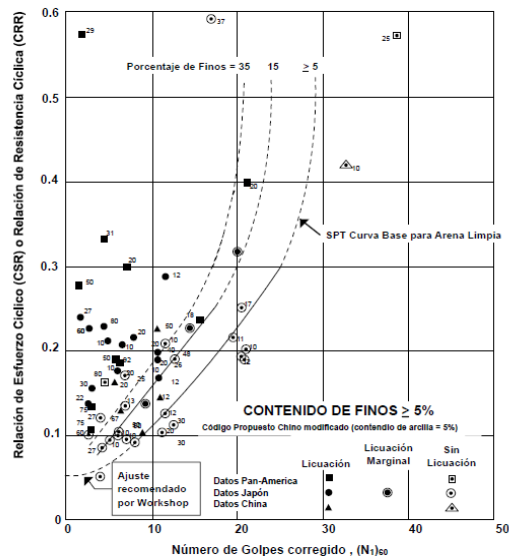


Gráfico 17. Relación de esfuerzo cíclico versus números de golpes
Fuente: Kramer y Stewart (2004)

Para el caso de arenas limpias, por ejemplo, los autores recomiendan utilizar la ecuación propuesta por Rauch de la Universidad de Texas:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N1)60} + \frac{(N1)60}{135} + \frac{50}{[10(N1)60 + 45]^2} = \frac{1}{200} \text{ (Ec. 10)}$$

Dónde:

(N1)60: es el número de golpes del ensayo SPT normalizados para una energía del 60%.

CRR7.5: es la relación de resistencia cíclica para un sismo de magnitud 7.5.

Esta ecuación es válida para $(N1)60 < 30$. Para $(N1)60 \geq 30$ las arenas limpias son muy densas, y por tanto clasifican como no licuables.

En el workshop de 1997 (Youd et al., 1997), los autores proponen utilizar la expresión desarrollada por I. M. Idriss con la asistencia de R. B. Seed, para la corrección de (N1)60, para el equivalente a una arena limpia (N1)60cs:

$$(N1)_{60cs} = \alpha + \beta(N1)_{60} \text{ (Ec. 11)}$$

Donde α y β son coeficientes, que dependen del contenido de finos, y cuyos valores se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de los coeficientes en función del contenido de finos (FC)

FC	α	β
$\leq 5\%$	0	1
$5\% \leq FC \leq 35\%$	$\exp[1.76 - 190/FC^2]$	$[0.99 + (FC1.5/ 1000)]$
$FC \geq 35\%$	5	1,2

Fuente: Seed & Idriss (1971)

Tabla 4. Valores de los factores de corrección para SPT

Factor	Variable del Equipo	Simbología	Corrección
Presión confinante	-	CN	$(P\sigma / \sigma_{vo})^{0.5}$
Presión confinante	-	CN	$CN \leq 1.7$
Relación de energía	Martillo tipo Donet	CE	0,5 - 1
Relación de energía	Martillo de seguridad	CE	0,7 - 1,2
Relación de energía	Martillo automático	CE	0,8 - 1,3
Diametro de perforación	65 - 115 mm	CB	1,00
Diametro de perforación	150 mm	CB	1,05
Diametro de perforación	200 mm	CB	1,15
Longitud de tubería	< 3 m	CR	0,75
Longitud de tubería	3 - 4 m	CR	0,80
Longitud de tubería	4 - 6 m	CR	0,85
Longitud de tubería	6 - 10 m	CR	0,95
Longitud de tubería	10 - 30 m	CR	1,00
Método de muestreo	Muestreador estándar	CS	1,00
Método de muestreo	Muestreador con protector	CS	1,1 - 1,3

Fuente: Amundaray (2006).

Finalmente, los autores recomiendan para el $(N1)_{60}$, la siguiente expresión:

$$(N1)_{60} = Nm C_N * C_E * C_B * C_R * C_S \text{ (Ec. 12)}$$

Dónde:

Nm: Medida de la resistencia a la penetración estándar

CN: Factor para normalizar Nm a un esfuerzo de sobrecarga común.

CE: Factor de corrección por la relación de energía del martillo (ER)

CB: Factor de corrección por el diámetro del hueco de perforación.

CR: Factor de corrección por la longitud de barras de perforación.

CS: Factor de corrección por extracción de muestras sin protector (liner)

Para estimar el factor CN, los autores recomiendan utilizar la fórmula propuesta por Youd & Idriss (2001), la cual está dada por la siguiente expresión:

$$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \sigma_{VO}} \quad (\text{Ec. 13})$$

El resto de los coeficientes se muestran en la tabla 4.

Corrección por Escala de Magnitud de Sismo

Los datos utilizados para construir las curvas (CRR) se basan en observaciones a sismos de magnitud 7.5. Para ajustar las curvas a magnitudes diferentes a 7.5, es necesario aplicar factores de corrección de escala. El factor de seguridad contra la licuefacción (FS) se calcula:

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \times MSF \quad (\text{Ec. 14})$$

Dónde:

CRR7.5: relación de resistencia cíclica para sismos de magnitud 7.5.

CSR: relación de esfuerzos cíclicos inducidos por el sismo de magnitud M_w

MSF: factor de corrección para ajustar la curva CRR7.5 a un sismo de magnitud M_w

En este estudio, los sismos de magnitud 6.6, 7 y 7.5, fueron sugeridos por la metodología del FUNVISIS y se aplica el factor de corrección de escala.

Existen distintos criterios para estimar los factores MSF, como se refleja en el gráfico 18. Para efectos de la ingeniería práctica Idriss (1995) propone los factores MSF mediante:

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (\text{Ec. 15})$$

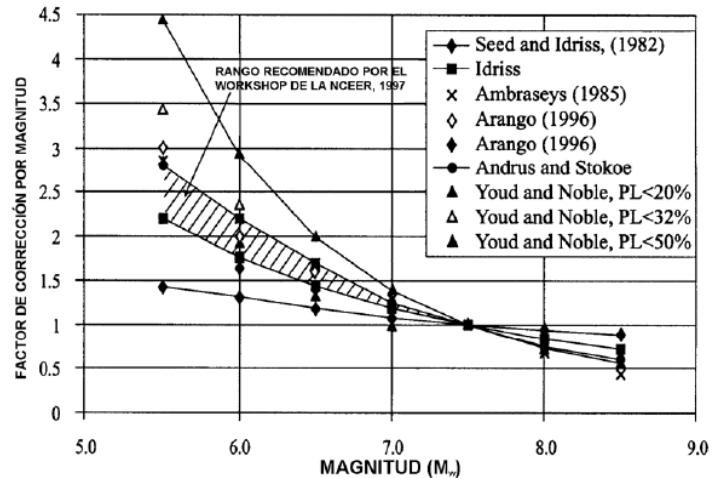


Gráfico 18. Factores de escala de magnitud derivados de varios investigadores
Fuente: Youd & Idriss. (2001)

Correcciones por altos esfuerzos de sobrecarga y esfuerzos de corte estático

Los factores de corrección K_α y K_σ fueron desarrollados para ajustar la relación de resistencia cíclica a presiones de sobrecarga y tensiones de corte más grandes que las existentes en el desafío del procedimiento simplificado. Como se ha visto anteriormente, el procedimiento simplificado solo es válido en sitios poco inclinados (baja tensiones de corte) y a profundidades menores de 15 metros bajas presiones de sobrecarga). El factor K_σ extiende las relaciones cíclicas para altas presiones de sobrecarga, mientras que el factor K_α extiende el procedimiento simplificado para condiciones de terreno en pendiente, estos factores se usan para corregir la ecuación de FS como se muestra a continuación:

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF; K_\alpha \cdot K_\sigma \quad (\text{Ec. 16})$$

Corrección por Esfuerzos de Confinamiento Elevados (K_σ)

La resistencia a la licuefacción se incrementa de manera no real en la medida que aumentan los esfuerzos de confinamiento; por lo cual para tomar en cuenta estos efectos, es recomendable el uso de un factor de corrección, que se presenta en la fórmula siguiente:

$$K_\sigma = \sigma'_{v0}{}^{f-1} \quad (\text{Ec. 17})$$

Nota: La fórmula anterior se expresa en Kgf/cm²

Donde f es un exponente que es función de la densidad. Los valores recomendados de f son:

f=0,7-0,8 para Dr=40-60%

f=0,6-0,7 para Dr=60-80%

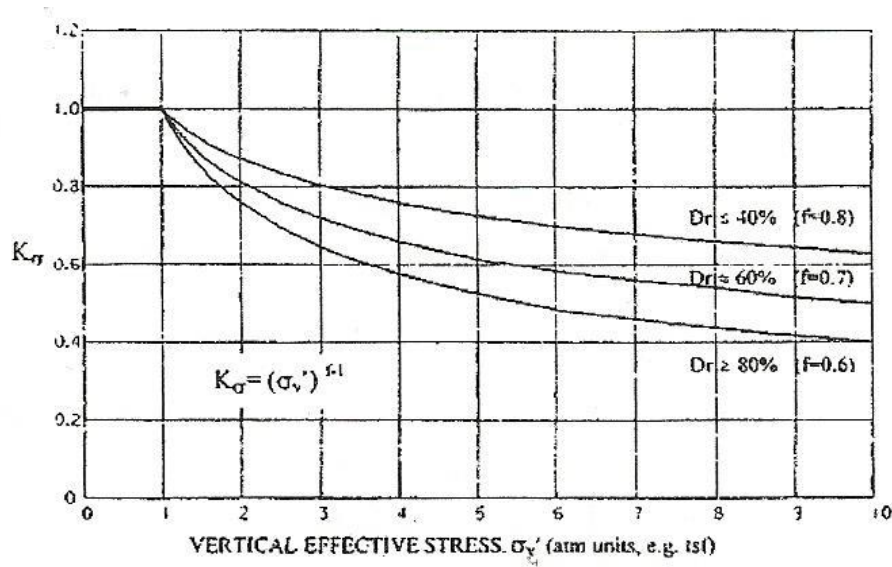


Gráfico 19. Curva recomendada para determinar K_σ
Fuente: Youd & Idriss (2001)

Corrección para condiciones del terreno en pendiente ($K\alpha$)

Para determinar el factor de pendiente, sabemos que esta induce esfuerzos de corte estáticos en el interior del suelo, aunque no sea afectado por un terremoto. El esfuerzo de corte estático, se puede evaluar normalizando el esfuerzo efectivo vertical inicial. El resultado nos proporciona un valor llamado alfa, el cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{T_{st}}{\sigma'_{v0}} \quad (\text{Ec. 18})$$

Dónde:

Relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo efectivo vertical inicial.

T_{st} : Esfuerzo cortante estático

σ'_{v0} : Esfuerzo efectivo vertical inicial

Para terrenos totalmente horizontales, el coeficiente alfa es igual a cero (Ver gráfico 20)

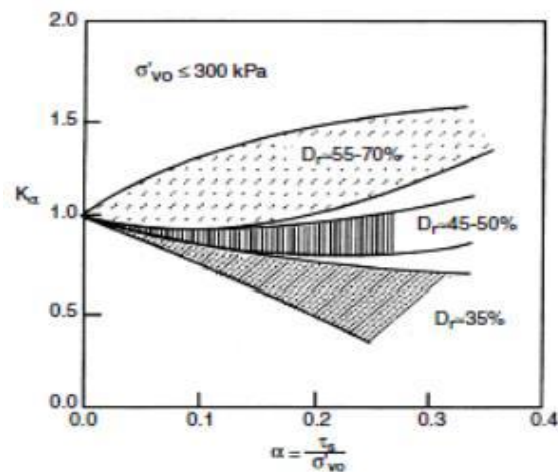


Gráfico 20. Relación del factor de pendiente ($K\alpha$) contra alfa (α)
Fuente: Brandes (2003)

Para efecto de esta investigación los cálculos se harán solo con base al factor $K\sigma$.

Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS)

El Sistema de Información Geográfica SIG, es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

Las principales cuestiones que puede resolver un SIG, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. *Localización*: preguntar por las características de un lugar concreto.
2. *Condición*: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. *Tendencia*: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. *Rutas*: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. *Pautas*: detección de pautas espaciales.
6. *Modelos*: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

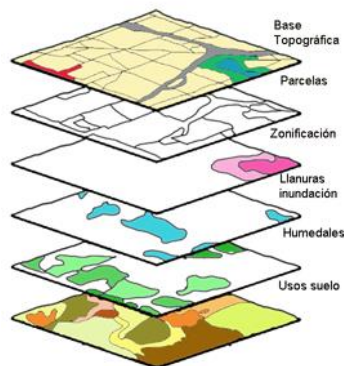


Gráfico 21. Ejemplo de información en capas en un SIG.
Fuente: Universidad de Salamanca (s/f)

Para la elaboración de los mapas, en este trabajo se utilizó el software ArcMAP, del programa ArcGIS.

Procedimientos metodológicos para la elaboración del mapa

Paso1: para efectos de la distribución de probabilidad de licuefacción en cada una de las parroquias estudiadas, se elaboró una base de datos en el por parroquias que se organizó por coordenadas Este y Norte, y niveles de contribución al factor de seguridad para sismos de magnitud 6.5, 7.0 y 7.5 respectivamente.

Paso 2: la tabla creada en el paso 1, fue administrada bajo el software de sistema de información geográfica ArcGIS, lo que permitió la localización en cartografía digital de los puntos de muestra con sus datos de factor de seguridad asociados.

Paso 3: una vez georreferenciados los puntos con sus respectivos valores de factor de seguridad, se procedió a implementar el algoritmo IDW del software ArcGIS, de la caja de herramientas de “Spatial Analyst”, el cual ejecuta una interpolación determinando los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, donde la superficie que se interpola corresponde a una variable dependiente de la ubicación, lo cual funciona perfecto para el cálculo del nivel de licuefacción a lo largo de los sectores estudiados.

Paso 4: al obtener la interpolación por defecto, se reclasificó el mapa resultante en función de los intervalos requeridos para el análisis. Posteriormente se editó la cartografía y se procedió a los análisis consecuentes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Modalidad, Tipo y Diseño de la Investigación

La metodología, como actividad se encamina a determinar métodos y técnicas para llevar cabo el estudio de forma ordenada, sistemática, metódica y científica. Según Tamayo (2008), se trata de un “plan” detallando “las unidades de análisis o de investigación, las técnicas de observación y recolección de datos, los instrumentos, los procedimientos y las técnicas de análisis” (p. 114), es decir señalar métodos y herramientas, el cómo solucionar el problema y lograr el objetivo propuesto.

En el orden de lo planteado, se precisa que esta indagación es cuantitativa pues los elementos que conforman el problema, son conocidos y descritos matemática o estadísticamente, ello exige contarlos, medirlos, valorarlos para saber exactamente cómo y dónde se inicia la situación, en cuál dirección van y qué tipo de incidencia hay entre ellos. La modalidad, adoptada es la de “Proyecto Especial”, que para la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2013), consiste en “creaciones tangibles, susceptibles de usar para solucionar a problemas, necesidades o intereses demostrados” (. 17), e incluye entre ellos los productos tecnológicos de importancia demostrable con fundamentos teóricos y descripción metodológica para obtener el resultado o producto en concreto.

Elaborar un mapa de microzonificación del potencial de licuefacción de suelos, en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, Maracay, es un proyecto especial porque ese mapa y la información contenida, servirá de apoyo a los ingenieros civiles, para el estudio de esos suelos, antes de iniciar cualquier proyecto constructivo y aportará datos e información a instituciones con competencia en

planes de desarrollo regional, urbanismo, prevención de riesgos y protección civil. Es una herramienta tecnológica, metodológica e informativa que ayudará evaluar con precisión y rapidez el suelo y su potencial de licuefacción.

En función de lo expuesto, se diseñó una investigación no experimental, aplicada, de tipo descriptiva, apoyada en la revisión de fuentes bibliográficas, documentales, legales, digitales y la consulta a expertos. Es no experimental y aplicada, porque no se manipuló ninguna variable, sólo se observan informaciones y datos secundarios sobre factores de seguridad, se registran digitalmente, para procesarlos, estimar cálculos, analizarlos, ubicar los resultados dentro de los rangos establecidos por FUNVISIS, y aplicarlos en el mapa a elaborar.

En cuanto al nivel, la investigación es descriptiva porque sólo “busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno sometido al análisis” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010. p. 189), en este caso, caracterizar suficientemente el suelo en estudio y su potencial de licuefacción.

Población y Muestra

La Población

Al diseñar una investigación descriptiva, debe precisarse el sujeto u objeto que será observado, descrito y analizado, lo que Hernández, et al, denominan “unidad de análisis o quiénes van a ser medidos” (p. 209), y que son los suelos de las parroquias Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, del Municipio Girardot del Estado Aragua. Luego, se delimitan la población y de ella se precisa los individuos de la muestra a observar. Esa población o “conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Hernández y otros, p.210), la conformaron 387 perforaciones distribuidas a lo largo de los suelos de las parroquias en estudio, que en 150 estudios técnicos, realizó y registró la Oficina Técnica José Heredia y Asociados (OT Heredia y Asociados), entre 1983 y 2014.

La Muestra

Con la muestra o “subgrupo de la población” (Hernández y otros, ib), para Sabino (2002), busca que “observando una porción relativamente reducida de unidades, se obtenga conclusiones semejantes a las que lograríamos si estudiaríamos el universo total” (p. 131), es decir, que a partir de una parte, se pueda generalizar para esa población y, en teoría, se selecciona según los objetivos, magnitud de la población y criterios de interés para la investigación, pero, en este estudio no se aplicó muestreo alguno, pues los datos deben ser tomados en su totalidad, no pueden manipularse pues se afecta la evaluación del potencial de licuefacción y las variables que integran el fenómeno en estudio. En consecuencia la muestra fueron las 387 perforaciones registradas en los 150 estudios realizados en los suelos de las parroquias citadas. En este caso, es una muestra censal porque “todas las unidades de investigación son consideradas en el estudio” (Ramírez, 2006. p. 108)

Procedimiento Metodológico para la Resolución del Problema

El procedimiento específico para la elaboración de un mapa identificando las zonas, cuyos suelos presentan potencial de licuefacción en las parroquias en estudio fue el siguiente:

- 1- Revisión y recolección de información bibliografía y documental para conocer y describir los Sistemas de Fallas existentes en la zona de estudio, las variables que interfieren en la aparición de las mismas, el histórico de eventos sísmicos asociados, entre otros que permitan explicar el fenómeno de la licuefacción y su relación con la probabilidad de un sismo.
- 3- Estudio detallado de los perfiles de suelo del área de estudio, realizados y proporcionados por la empresa OT Heredia y Asociados, para conocer los datos y parámetros geotécnicos básicos del suelo y rasgos característicos del ensayo de penetración estándar (SPT), como ubicación de las perforaciones en coordenadas UTM Norte y Este.

- 4- Determinación de las variables vinculadas con eventos sísmicos que se corresponden con las características registradas; que contribuyen a identificar y localizar la posible presencia de estratos potencialmente licuables y ocurrencia de actividad sísmica en la zona de estudio.
- 5- Diseño de una hoja de cálculo para digitalizar de los resultados obtenidos de los ensayos de penetración estándar o SPT (ASTM D 1586), realizados por OT Heredia y Asociados
- 6- Estimación de los factores de seguridad del área y cálculo del Potencial de Licuefacción de los perfiles obtenidos en los ensayos SPT, con el método simplificado de Seed e Idriss (1982)
- 7- Ubicación de los valores del factor de seguridad calculados dentro de los rangos establecidos por FUNVISIS, para la integración en el Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés).
- 8- Evaluación de la susceptibilidad de la estabilidad del suelo de la zona de estudio, en relación con las variables que lo caracterizan.
- 9- Interpretación, análisis y clasificación de resultados e indicadores de la presencia de estratos potencialmente licuables y evaluación del riesgo que representan para el área estudiada.
- 10- Elaboración de un mapa donde estén representados los diferentes potenciales de licuefacción del área de las parroquias estudiadas, utilizando el GIS.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En opinión de Tamayo (2008), esta es “la parte operativa del diseño investigativo y se relaciona con el procedimiento, condiciones y lugar de la recolección de datos” (p.181), en tal sentido se recurrió a la observación, revisión bibliográfica y documental y entrevistas informales.

La observación fue indirecta, pues según el autor citado, se da “cuando el investigador corrobora los datos que ha tomado de otros ya sea con testimonios orales o escritos de

personas que han tenido contacto directo con la fuente que proporciona los datos” (p. 184), que es lo que ocurrió en este estudio donde los datos e informaciones se obtuvieron de fuentes secundarias (textos, documentos, tesis, registros de Internet y otros), y en paralelo, la observación y la revisión bibliográfica y documental, permitieron obtener los datos de las perforaciones, coordenadas UTM de su ubicación, las características del suelo, factores geológicos que los afectan, geología, fallas geológicas e historial sísmico de la zona.

Sobre la entrevista, que es “la conversación que sostienen dos personas, celebrada por iniciativa del entrevistador con la finalidad específica de obtener alguna información importante para la indagación que realiza” (Gallardo y Moreno, 2005. p. 68), esta se realizó informalmente, en varias oportunidades, a manera de simples conversaciones o consulta a expertos, tanto de OT Heredia y Asociados, como del FUNVISIS; para aclarar dudas del momento, obtener información, recomendaciones técnicas, sobre los procedimientos, los resultados y la elaboración del mapa.

En cuanto a los instrumentos, Tamayo (2008), señala que son “los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos de cuestionario, guías de entrevista, grabadores, etc.” (p. 192). En este caso se utilizaron hojas, planillas y una computadora para registros.

Validez y Confiabilidad

La validez de un instrumento la da o confirma el grado en que realmente mide lo que el investigador desea medir, hasta dónde la prueba permite describir y hacer predicciones sobre el objeto examinado. En este caso, si el método simplificado de Seed e Idriss (1982), permite calcular los factores de seguridad del área de las parroquias en observación y si es posible su integración en el Sistema de Información Geográfica, para diseñar el mapa que esta investigación se propuso.

Es importante señalar que el método simplificado de Seed e Idriss (1982), es reconocido, ha sido aplicado y validado internacionalmente para la estimación de los factores de seguridad, asociados a la posibilidad de sismo en un suelo y, el Sistema de Información Geográfica, que se aplica, es el aprobado y aplicado por el FUNVISIS, para el levantamiento de mapas de información sísmológica en Venezuela e igualmente, está validado para tal fin.

La confiabilidad, se refiere a la consistencia y fiabilidad de los datos o “grado en que la aplicación repetida del instrumento, a un mismo objeto o sujeto, produzca iguales resultados” (Tamayo, 2008. p.196). Esto significa que si este estudio se repite otra vez, en condiciones similares, si la medida es confiable, dará iguales resultados que la primera. Es el tipo de confiabilidad prueba/re-prueba, para garantizar la estabilidad y consistencia en los resultados.

Técnicas de análisis de datos

Culminada la recolección de datos, los mismos se tabulan, grafican, interpretan y analizan. La tabulación, consiste en “hacer tablas o cuadros que muestren los datos agrupados y contabilizados” (Sabino, 2002. p. 175), para que se vean lo más explícito posible y facilitar la comprensión del lector. En este caso, la tabulación y el procesamiento se realizó con el programa Microsoft Office Excel, luego, los resultados se representan en gráficos y se analizan según las teorías consultadas y finalmente se elabora el mapa identificando las zonas las parroquias estudiadas, cuyos suelos presentan potencial de licuefacción.

Fases de la Investigación

Esta investigación fue desarrollada según las siguientes fases y actividades:

Fase I. Recolección de información mediante revisión de fuentes de información secundaria, Definición del procedimiento y datos a precisar para estimar el potencial de licuefacción de los suelos del área y para trabajar con el programa del Sistema de Información Geográfica a utilizar en la elaboración del mapa.

Fase II. Estudio teórico de las variables que incluye el cálculo del potencial de licuefacción del suelo

Fase III. Diseño de la metodología para solucionar el problema: Definición de los criterios geológicos y geotécnicos, formato a usar con el programa Microsoft Office Excel y con el GIS.

Fase IV. Toma, registro y procesamiento de datos correspondientes a las perforaciones y ensayos de penetración estándar o SPT

Fase V. Cálculo del Potencial de Licuefacción de los perfiles registrados, aplicando el método simplificado de Seed e Idriss (1982)

Fase VI. Revisión de resultados y evaluación de riesgos; la susceptibilidad de la estabilidad del suelo de la zona estudiada e indicar la presencia de estratos potencialmente licuables.

Fase VII. Ubicación de los valores del factor de seguridad calculados dentro de los rangos establecidos por FUNVISIS, para la integración en el GIS.

Fase VII. Elaboración del mapa identificando las zonas, cuyos suelos presentan potencial de licuefacción en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, del Municipio Girardot, Estado Aragua.

Fase VII. Redacción de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Definición de las Variables para la Aplicación del Método simplificado de Seed e Idriss

Según la metodología propuesta, y analizado el método simplificado de Seed e Idriss, se determinó que las variables necesarias para la aplicación del mismo son:

- Número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT).
- Profundidad del Nivel Freático.
- Porcentaje de Partículas Finas.
- Peso Unitario.

Recolección de Información Documental de las Variables que Intervienen en los Cálculos

Luego de revisar y clasificar cada tomo donde estaban registrados los estudios realizados por OT Heredia y Asociados, se tomaron los estudios correspondientes al área de de las parroquias de interés para esta investigación y de allí se obtuvieron una serie de planillas de registros de perforación de las cuáles se tomaron los datos correspondientes a las variables mencionadas.

El modelo de planilla utilizado por la empresa OT Heredia y Asociados, para registro de datos de perforación se muestra en el gráfico 22, en el gráfico 23 se muestra la planilla usada para el registro de datos correspondiente al peso unitario, en el anexo D se pueden observar algunas de ellas y, en CD están grabadas las usadas en este estudio.

PLANILLA DE PERFORACION

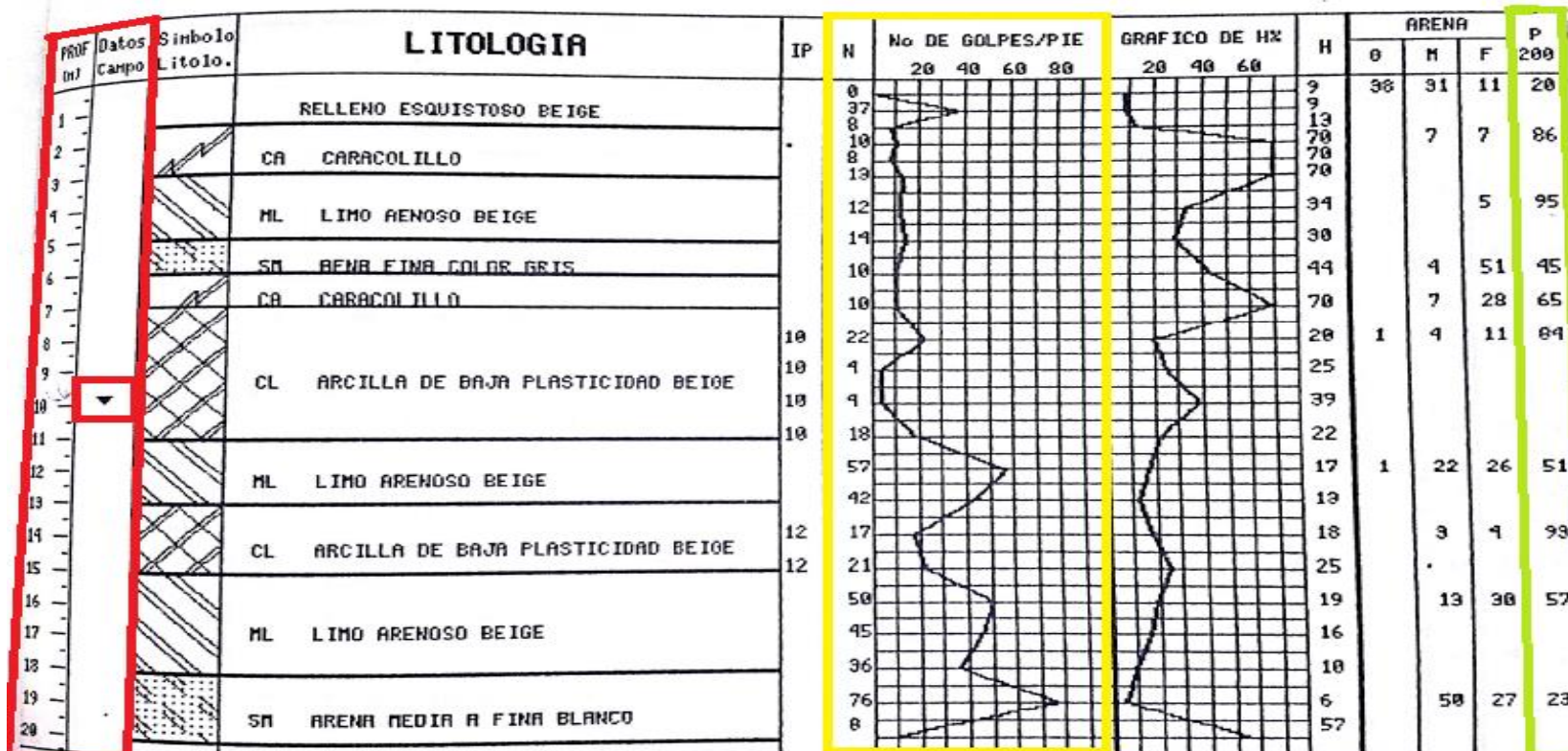





Gráfico 22. Planilla de Perforación Tipo.

Fuente: Oficina. Técnica José Heredia y Asociados (2015)

 Profundidad de Nivel Freático.

 Número de Golpes del Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

 Porcentaje de Partículas Fina

COTA	P.U.
-0.0 m. a -1.5 m.	2.10
-1.5 m. a -4.0 m.	1.42
-4.0 m. a -6.0 m.	1.58
-6.0 m. a -10. m.	1.65
-10. m. a -12. m.	1.72
-12. m. a -16. m.	1.68
-16. m. a -18. m.	1.72
-18. m. a -20. m.	1.75

Gráfico 23. Planilla de Peso Unitario.
Fuente: Oficina Técnica Ingeniero José Heredia y Asociados (2015)
■ Peso Unitario.

Diseño de la Hoja de Cálculo para Obtener en Potencial de Licuefacción

Se diseñó una hoja de cálculo que permitiera, una vez vaciada la información pertinente, calcular el potencial de licuefacción y arrojará como resultado el Factor de Seguridad correspondiente. La hoja de cálculo fue creada y programada siguiendo estos parámetros:

1. Cálculos Previos

Factor de Magnitud de Escala: Se calcula el factor de seguridad para sismos de magnitudes 6.5, 7.0 y 7.5 Mw, que son los contemplados en este trabajo de acuerdo con la metodología del FUNVISIS, para de ésta manera hallar la relación que existe entre la variación del potencial de licuefacción y la variación de magnitud del sismo. Con esta finalidad es necesario el cálculo del factor de magnitud de escala (MSFs) para cada magnitud estudiada, por medio de la ecuación (14), arrojando como resultados los valores que se exponen en la tabla 5.

Tabla 5. Factor de magnitud de escala para diferentes magnitudes de sismo

Mw	6,5	7,0	7,5
MSFs	1,442	1,193	1,000

Fuentes; Autores (2015)

2. Valores Asumidos

Aceleración del Terreno: Este dato se tomó de acuerdo a la zona en estudio. Según la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismoresistentes”, el área se encuentra en una zona de peligro sísmico de intermedio a elevado; con aceleraciones del terreno que oscilan entre los 0,25g hasta 0,35g, por lo cual se tomó el promedio de dichos valores resultando en 0,30g. Valor asumido en la mayoría de los estudios de suelos hechos para Maracay.

Correcciones por Forma y Ejecución del Ensayo: Estos factores se utilizan para corregir la influencia de la forma de aplicación del ensayo de penetración estándar durante su ejecución. Para efectos de éste trabajo fueron asumidos los valores mostrados en resumen en la tabla 6.

Tabla 6. Resumen Factores de Corrección por Forma y Ejecución de Ensayo

Factor	Variable	Término	Corrección
Corrección por confinamiento efectivo del toma muestra	-	CN	$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \sigma'_{vo}}$ Ecuac. (13)
Corrección por energía del martillo	Martillo de seguridad	CE	0,75
Corrección por longitud de la varilla	65 - 115 mm	CB	1,00
Corrección Long. Tubería	< 3 m	CR	0,75
Corrección Long. Tubería	3 - 4 m	CR	0,80
Corrección Long. Tubería	4 - 6 m	CR	0,85
Corrección Long. Tubería	6 - 10 m	CR	0,95
Corrección Long. Tubería	10 - 30 m	CR	1,00
Método de muestreo	Muestreador estandar	CS	1,00

Fuente: Autores (2015)

En lo referente a la Corrección por energía del martillo se utilizó el correspondiente en cada caso, de acuerdo a lo detallado en los informes geotécnicos de la empresa.

3. Otros Cálculos

Factores de Corrección por Contenido de Finos: Para realizar los cálculos correspondientes al método simplificado de Seed e Idriss, es necesario realizar una corrección por contenido de partículas finas (partículas de suelo pasantes a través del tamiz N° 200), ya que la presencia de las mismas, disminuye el potencial de licuefacción del estrato de suelo. Con ésta finalidad y debido a la variedad de estratos que se encuentran en el área de estudio, no fue viable una generalización en cuanto al porcentaje de finos, por lo que fueron calculados en cada caso particular según lo estipulado en la hoja de cálculo indicada como tabla 7.

Procesamiento de datos utilizando la hoja de cálculo

Diseñada y creada la hoja de cálculo, se vaciaron los datos correspondientes a cada perforación con la finalidad de obtener los factores de seguridad correspondientes a cada una de ellas. Los cálculos realizados en la hoja se rigen por el ejemplo mostrado a continuación:

Ejemplo de Cálculo

El estrato del cálculo es una capa de Limo Arenoso (ML) de 2 m de espesor donde ocurre licuefacción. Tiene una profundidad de 10m, presenta un peso unitario de 1.68T/m³, obtuvo un número de golpes igual a cincuenta y siete (57) en el ensayo de penetración estándar y la aceleración del terreno que corresponde a la zona es de 0.30g., según la Norma COVENIN “Edificaciones sismorresistentes”

Cálculo de rd, ecuación (9):

$$rd = 1.174 - 0.0267 (6)$$

$$rd = 0.854$$

Cálculo del esfuerzo total σ_o y efectivo σ'

El esfuerzo total y efectivo se realiza utilizando las siguientes expresiones:

$$\sigma_{v_0} = \sum z_1 * \gamma_1 + z_2 * \gamma_2 + \dots + z_n * \gamma_n$$

$$u = \gamma_w * z_0$$

$$\sigma'_{v_0} = \sigma_{v_0} - u$$

Donde γ es el peso unitario del suelo, Z es la profundidad del estrato y μ es la presión de poros ejercida por el agua.

$$\sigma_o = 2.556 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo efectivo se obtiene al restar el esfuerzo total la presión de poros pero como $\mu = 0$ para el caso propuesto:

$$\sigma' = 2.256 \text{ Kg/cm}^2$$

Cálculo del factor de corrección CN, utilizando la ecuación (13).

$$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \sigma' \nu_0}$$

$$\mathbf{CN = 0.636}$$

Corrección del número de golpes por forma y ejecución del ensayo. Ecuación (12).

$$(N_1)_{60} = 57 * 0.636 * 0.75 * 1 * 1 * 1$$

$$(N_1)_{60} = 27$$

Corrección del número de golpes por contenido de finos. Ecuación (11)

$$(N_1)_{60}^{cs} = 5 + 1.2 * 27$$

$$\mathbf{(N_1)_{60}^{cs} = 27}$$

Cálculo de CRR_{7.5} utilizando ecuación (10)

$$CRR_{7.5} = [(1/(34-27))] + [(27/135)] + [50/(27+45)^2] - 1/200$$

$$CRR_{7.5} = 0.00071$$

Cálculo del CSR. Ecuación (1)

$$CSR = 0.65 * (0.3/9.81) * (2.556/2.256) * 0.854$$

$$\mathbf{CSR = 0.01924}$$

Cálculo del factor de seguridad, con la ecuación (16) y los valores de MSFs de la tabla (5)

$$FS = (0.00071/0.01924) * 1 * 0.72221 \text{ (para una magnitud 7.5)} \quad \mathbf{FS = 0,03}$$

Los factores de seguridad para las diferentes magnitudes se muestran en la tabla 8

Tabla 8. Resultados del ejemplo de cálculo

Mw	6,5	7	7,5
FS	0,04	0,03	0,03

Fuente: Autores (2015)

A continuación se presenta la hoja de cálculo que contiene el ejemplo anteriormente explicado:

Tabla 9. Resultados del cálculo del Factor de Seguridad

Espeor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm2	μ	σ_{vo}' Kg/cm2	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60CS}	CRR _{7,5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K _c	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	0	2,1	2,6	0,26	0	0,26	1,50685	0,75	1	0,75	1	0	3,61467	1,07944	4	0,06228	0,3	9,8	0,9996	0,01989	7,5	0,99964	0,6	1,714	5,36	No
1	1	0	37	2,1	2,6	0,26	0	0,26	1,50685	0,75	1	0,75	1	31	3,61467	1,07944	37	-0,0156	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,714	2,00	No
1	1,5	0	8	2,1	2,6	0,52	0	0,52	1,27907	0,75	1	0,75	1	6	3,61467	1,07944	10	0,1116	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,29897	7,29	No
1	2	0	10	1,42	1,92	0,452	0	0,452	1,33172	0,75	1	0,75	1	7	5	1,2	14	0,15006	0,3	9,8	0,998	0,01987	7,5	0,99964	0,6	1,37387	10,37	No
1	2,5	0	8	1,42	1,92	0,712	0	0,712	1,15063	0,75	1	0,75	1	5	5	1,2	11	0,12397	0,3	9,8	0,998	0,01986	7,5	0,99964	0,6	1,14553	7,15	No
1	3	0	13	1,42	1,92	0,644	0	0,644	1,19306	0,75	1	0,75	1	9	5	1,2	15	0,1648	0,3	9,8	0,998	0,01985	7,5	0,99964	0,6	1,19247	9,90	No
1	4	0	12	1,42	1,92	0,836	0	0,836	1,08055	0,75	1	0,8	1	8	5	1,2	14	0,15346	0,3	9,8	0,997	0,01984	7,5	0,99964	0,6	1,07428	8,31	No
1	5	0	14	1,58	2,08	1,044	0	1,044	0,98039	0,75	1	0,85	1	9	5	1,2	16	0,16512	0,3	9,8	0,996	0,01982	7,5	0,99964	0,6	0,98292	8,18	No
1	6	0	10	1,58	2,08	1,252	0	1,252	0,89723	0,75	1	0,85	1	6	5	1,2	12	0,12992	0,3	9,8	0,995	0,01981	7,5	0,99964	0,6	0,91403	5,99	No
1	7	0	10	1,65	2,15	1,467	0	1,467	0,8249	0,75	1	0,95	1	6	5	1,2	12	0,13167	0,3	9,8	0,995	0,01979	7,5	0,99964	0,6	0,85788	5,71	No
1	8	0	22	1,65	2,15	1,682	0	1,682	0,76336	0,75	1	0,95	1	12	5	1,2	19	0,20758	0,3	9,8	0,994	0,01978	7,5	0,99964	0,6	0,81221	8,52	No
1	9	0	9	1,65	2,15	1,897	0	1,897	0,71036	0,75	1	0,95	1	5	5	1,2	10	0,11725	0,3	9,8	0,993	0,01976	7,5	0,99964	0,6	0,77406	4,59	No
1	10	1	9	1,65	2,15	2,112	0,1	2,012	0,68493	0,75	1	0,95	1	4	5	1,2	10	0,11551	0,3	9,8	0,992	0,02073	7,5	0,99964	0,6	0,75605	4,21	No
1	11	1	18	1,72	2,22	2,334	0,2	2,134	0,65987	0,75	1	1	1	9	5	1,2	16	0,16706	0,3	9,8	0,880	0,01916	7,5	0,99964	0,6	0,73845	6,44	No
1	12	1	57	1,72	2,22	2,556	0,3	2,256	0,63657	0,75	1	1	1	27	5	1,2	38	0,00071	0,3	9,8	0,854	0,01924	7,5	0,99964	0,6	0,72221	0,03	Si
1	13	1	42	1,68	2,18	2,774	0,4	2,374	0,61556	0,75	1	1	1	19	5	1,2	28	0,37932	0,3	9,8	0,827	0,01923	7,5	0,99964	0,6	0,70763	13,96	No
1	14	1	17	1,68	2,18	2,992	0,5	2,492	0,59588	0,75	1	1	1	8	5	1,2	14	0,15131	0,3	9,8	0,800	0,01912	7,5	0,99964	0,6	0,69403	5,49	No
1	15	1	21	1,68	2,18	3,21	0,6	2,61	0,57743	0,75	1	1	1	9	5	1,2	16	0,16937	0,3	9,8	0,774	0,01893	7,5	0,99964	0,6	0,68131	6,09	No
1	16	1	50	1,68	2,18	3,428	0,7	2,728	0,56008	0,75	1	1	1	21	5	1,2	30	0,48256	0,3	9,8	0,747	0,01867	7,5	0,99964	0,6	0,66936	17,29	No
1	17	1	45	1,72	2,22	3,65	0,8	2,85	0,54321	0,75	1	1	1	18	5	1,2	27	0,33836	0,3	9,8	0,720	0,01835	7,5	0,99964	0,6	0,65775	12,12	No
1	18	1	36	1,72	2,22	3,872	0,9	2,972	0,52733	0,75	1	1	1	14	5	1,2	22	0,24323	0,3	9,8	0,693	0,01798	7,5	0,99964	0,6	0,64682	8,75	No
1	19	1	70	1,75	2,25	4,097	1	3,1	0,51199	0,75	1	1	1	27	4,05857	1,1003	34	2,97589	0,3	9,8	0,667	0,01755	7,5	0,99964	0,6	0,63624	####	No
1	20	1	8	1,75	2,25	4,322	1,1	3,222	0,49751	0,75	1	1	1	3	4,05857	1,1003	7	0,09047	0,3	9,8	0,640	0,01708	7,5	0,99964	0,6	0,62625	3,32	No

Fuente: Autores (2015)

Análisis y Clasificación de los Resultados Obtenidos

Esta etapa, proporcionó una idea del significado de los hechos que rodearon la investigación, ya que los resultados no son hechos tangibles que permitan una apreciación real de los acontecimientos que se plantearon como parte de los supuestos a investigar, por tal se procedió al análisis e interpretación de los mismos.

Gráficamente, el potencial de licuefacción de los suelos se muestra por medio de una serie de mapas, doce (12) en total, los cuales corresponden a las cuatro parroquias estudiadas. A la vez cada parroquia, se observó bajo el efecto de las tres (3) intensidades de sismo que le fueron asignadas a cada una, para establecer comparaciones acerca de la variación del potencial de licuefacción de un mismo suelo bajo los efectos de diferentes sismos.

En los mapas se diferencian los distintos potenciales de licuefacción mediante una gama de colores, donde cada color corresponde a un rango específico de factores de seguridad, como a continuación se exponen, en el gráfico 24



Gráfico 24. Rango específico de factores de seguridad, por color asignado a efectos de los mapas elaborados en este estudio. Fuente: FUNVISIS (s/f)

Análisis de resultados

De acuerdo con los perfiles estudiados, las características geotécnicas de los suelos que fueron objeto de estudio, presentan factores que coinciden con los de ocurrencia de licuefacción, aunque la ausencia de nivel freático en algunas partes de la zona en estudio, incluso en las parroquias más cercanas al Lago de Valencia, permiten estimar un riesgo bajo para que ocurra dicho fenómeno como se evidencia en los mapas antes expuestos.

En un gran número de perfiles, el riesgo de licuefacción fue nulo, obteniéndose en el 95% de los casos factores de seguridad que superan el máximo establecido en este trabajo como “muy bajo potencial de licuefacción” $FS \geq 1,7$; incluso tomando en cuenta la cantidad de accidentes geológicos y fallas tectónicas presentes en la zona.

En la mayoría de los perfiles de estudio se notó la presencia de depósitos de arcillas y limos arcillosos, intercalados con depósitos de arena, los cuáles ante la presencia de agua podrían generar un ambiente propicio para que se manifieste la falla por licuefacción.

Al estudiar el fenómeno con las magnitudes de sismo establecidas para este estudio se pone en evidencia en los resultados arrojados, la baja probabilidad de falla debido a los valores de Factor de Seguridad obtenidos en cada una de las perforaciones, esto tomando en cuenta todas las correcciones realizadas de manera conservadora a la hora de aplicar el método de evaluación.

Las correcciones realizadas al ensayo de penetración estándar, también pueden influir en forma moderada en la determinación del riesgo de licuefacción. Esto se debe a que durante la perforación el martillo afecta el esfuerzo de confinamiento efectivo, aumentando el número de golpes del ensayo y así, disminuye la probabilidad de falla por licuefacción.

Igualmente, el hecho de que los perfiles estudiados fueron realizados con fines diferentes a los de esta investigación, aumenta la incertidumbre en los resultados obtenidos, debido a que existen variables que no se pueden controlar como la profundidad del ensayo y la profundidad

exacta del nivel freático, que como ya se mencionó, está ausente en la mayoría de las perforaciones.

Una estimación totalmente acertada del riesgo de licuefacción puede ser llevada a cabo obteniendo y analizando de forma efectiva cada una de las variables que forman parte de la ocurrencia del fenómeno y a su vez, evaluar según el grado de amenaza sísmica en la zona, que sea factible la ejecución de cualquier obra civil tomando las medidas necesarias.

A continuación se muestran los mapas elaborados y donde se identifican las zonas, cuyos suelos presentan potencial de licuefacción en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles, del Municipio Girardot, Estado Aragua.

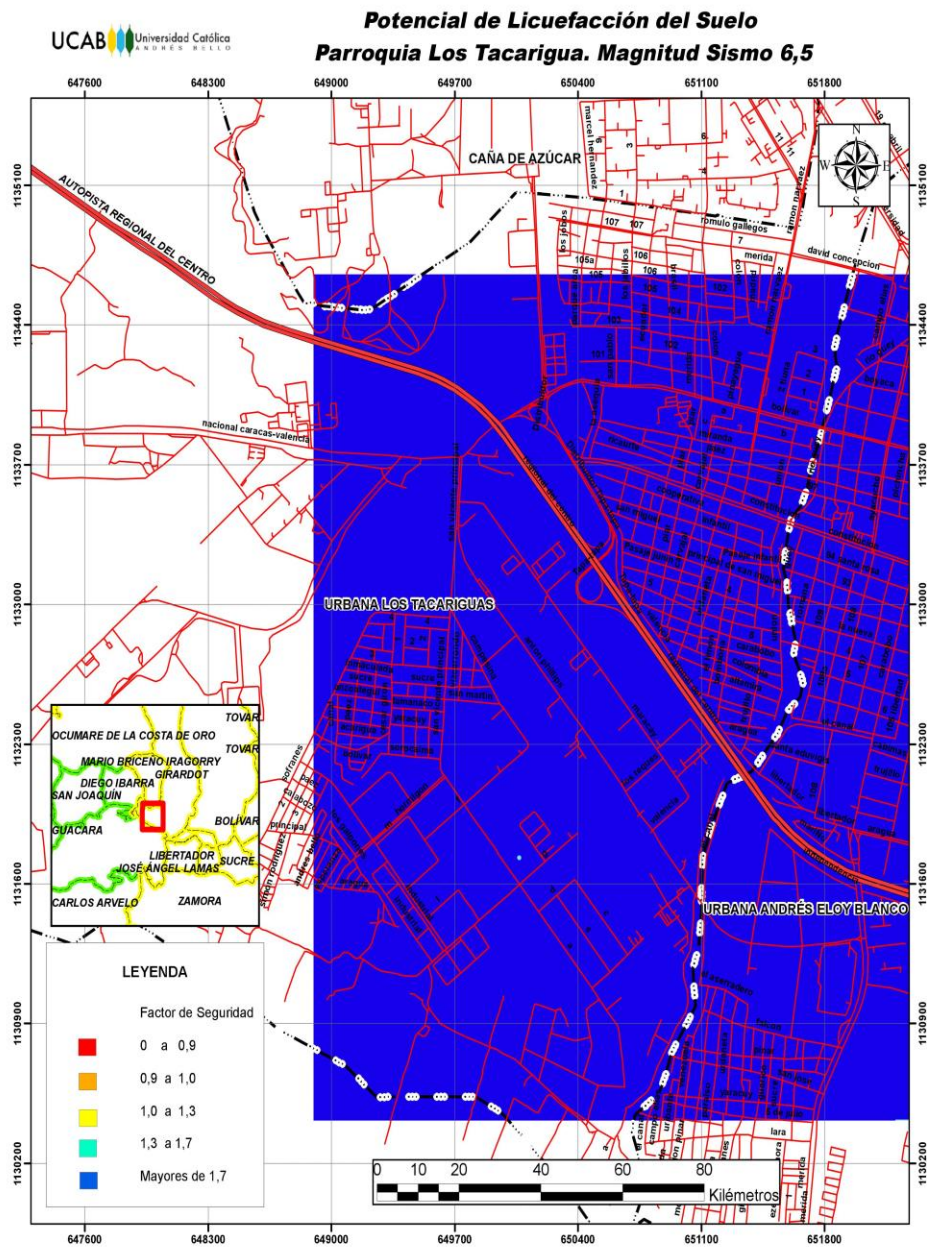


Gráfico 25. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Los Tacarigua. Magnitud sismo 6.5
Fuente: Autores (2015)

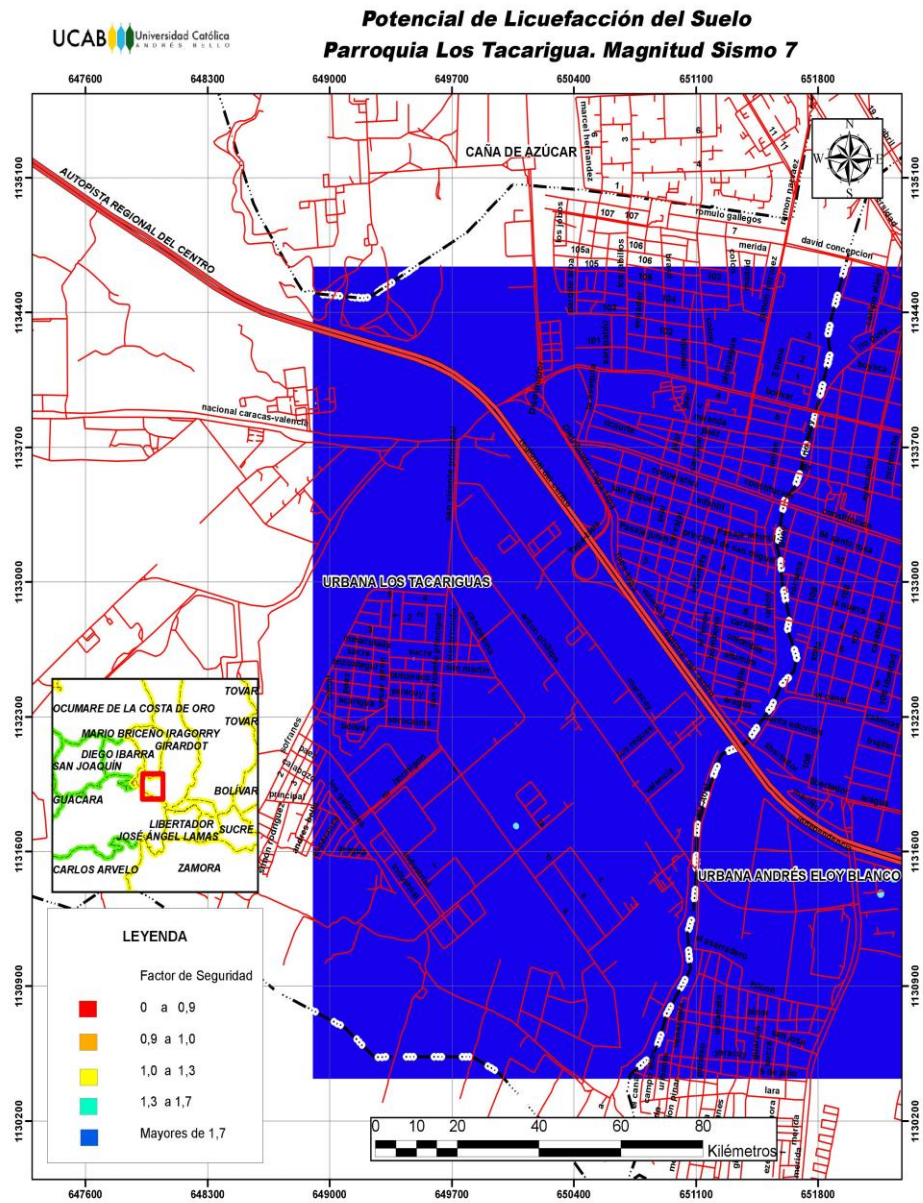


Gráfico 26. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Los Tacarigua. Magnitud sismo 7.0
Fuente: Autores (2015)

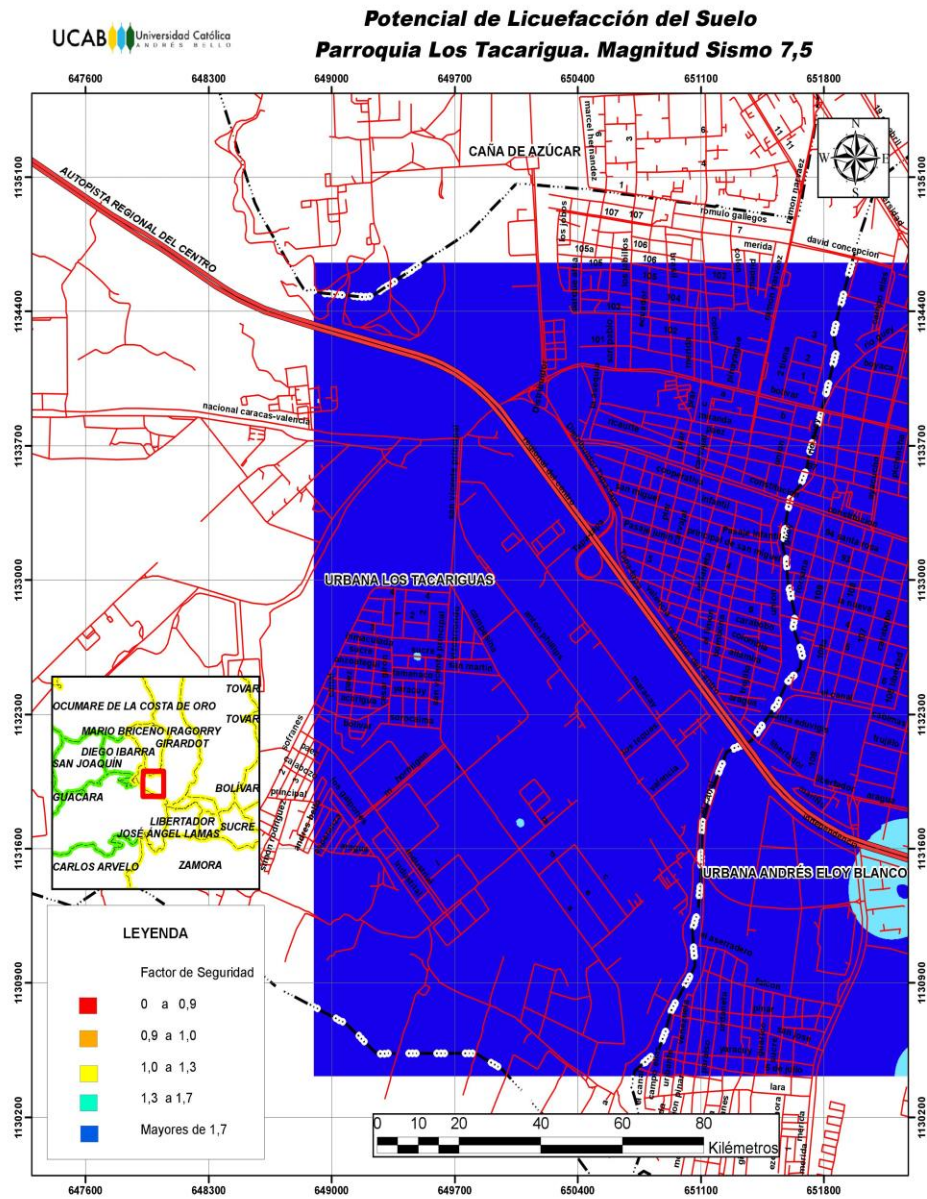


Gráfico 27. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Los Tacarigua. Magnitud sismo 7.5
Fuente: Autores (2015)

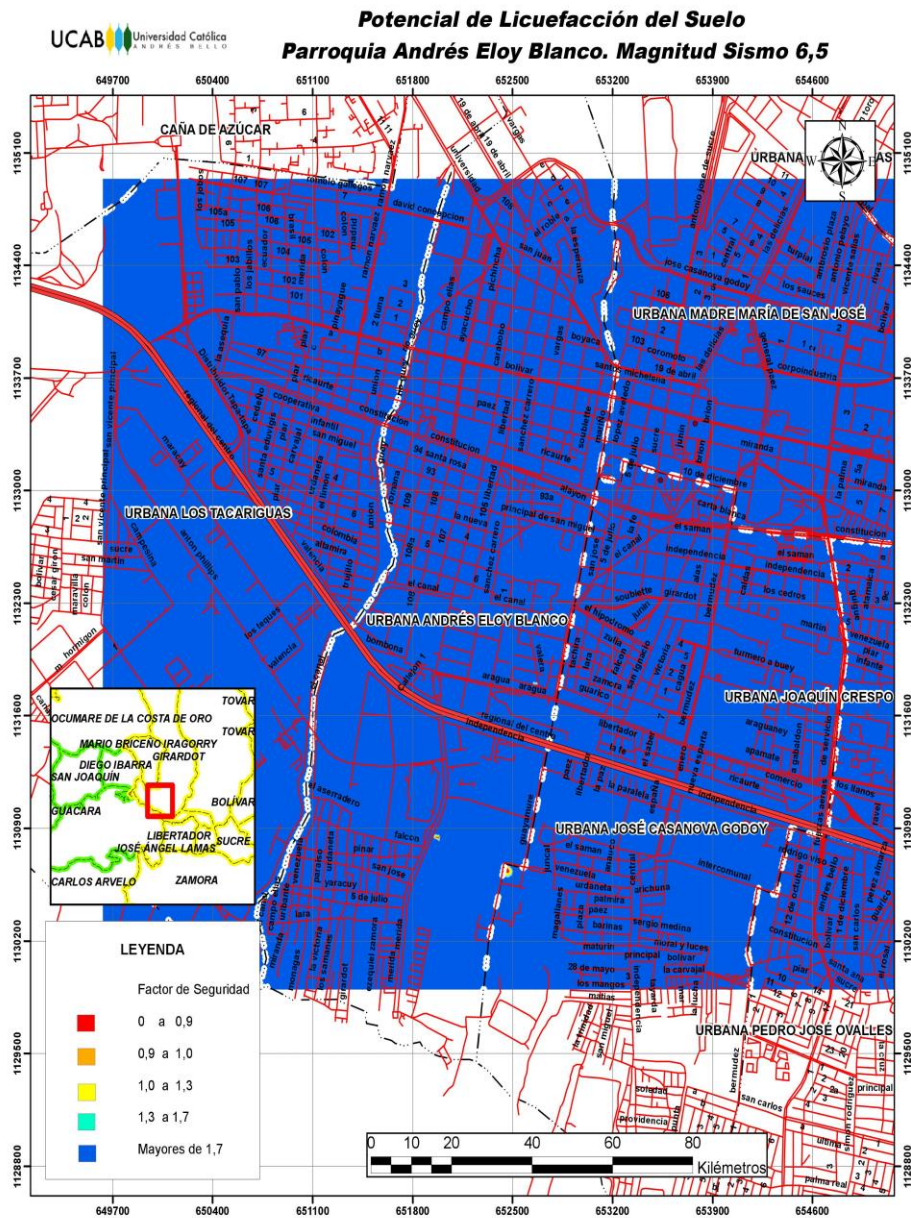


Gráfico 28. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Andrés Eloy Blanco. Magnitud sismo 6.5
Fuente: Autores (2015)

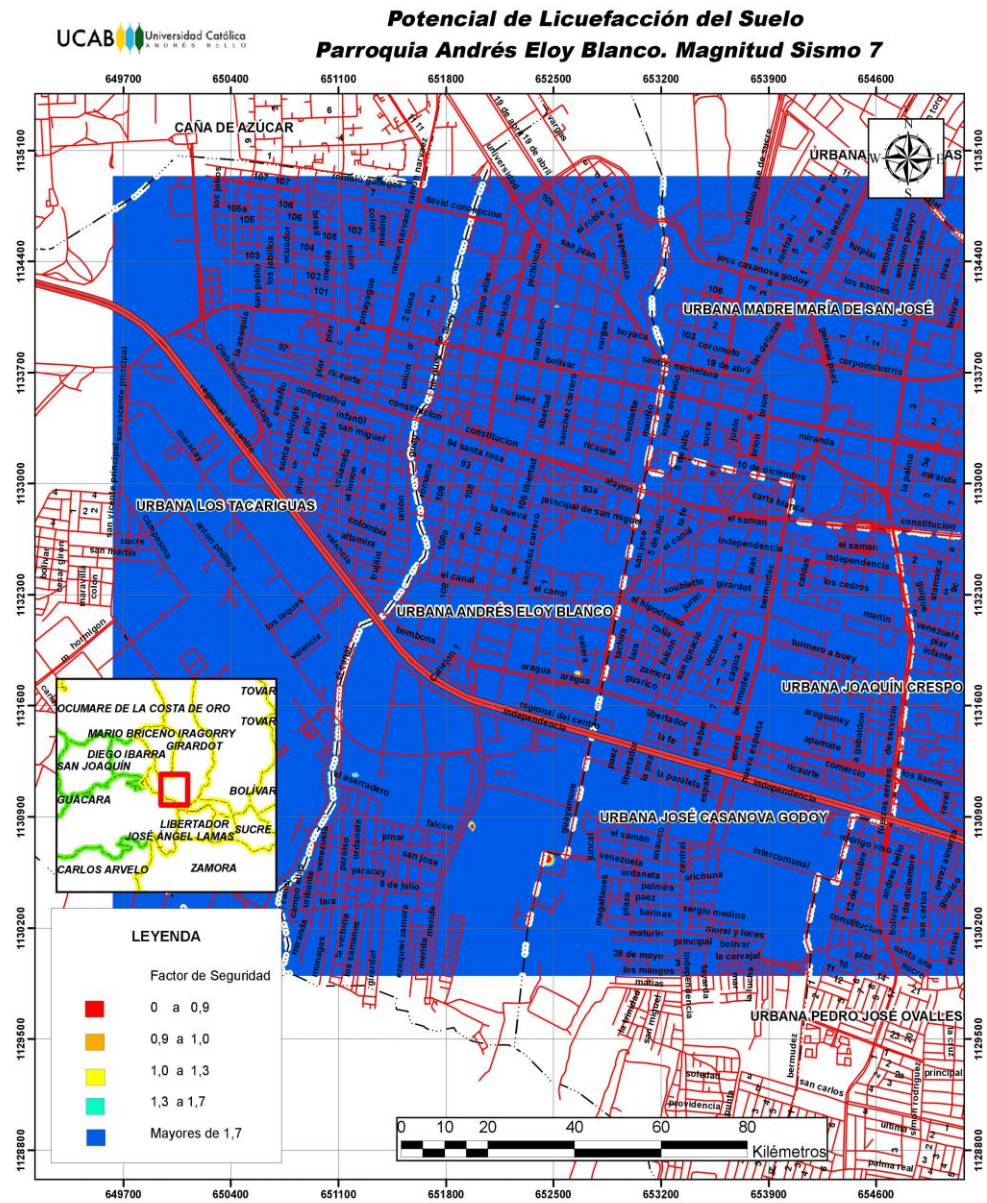


Gráfico 29. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Andrés Eloy Blanco. Magnitud sismo 7.0
Fuente: Autores (2015)

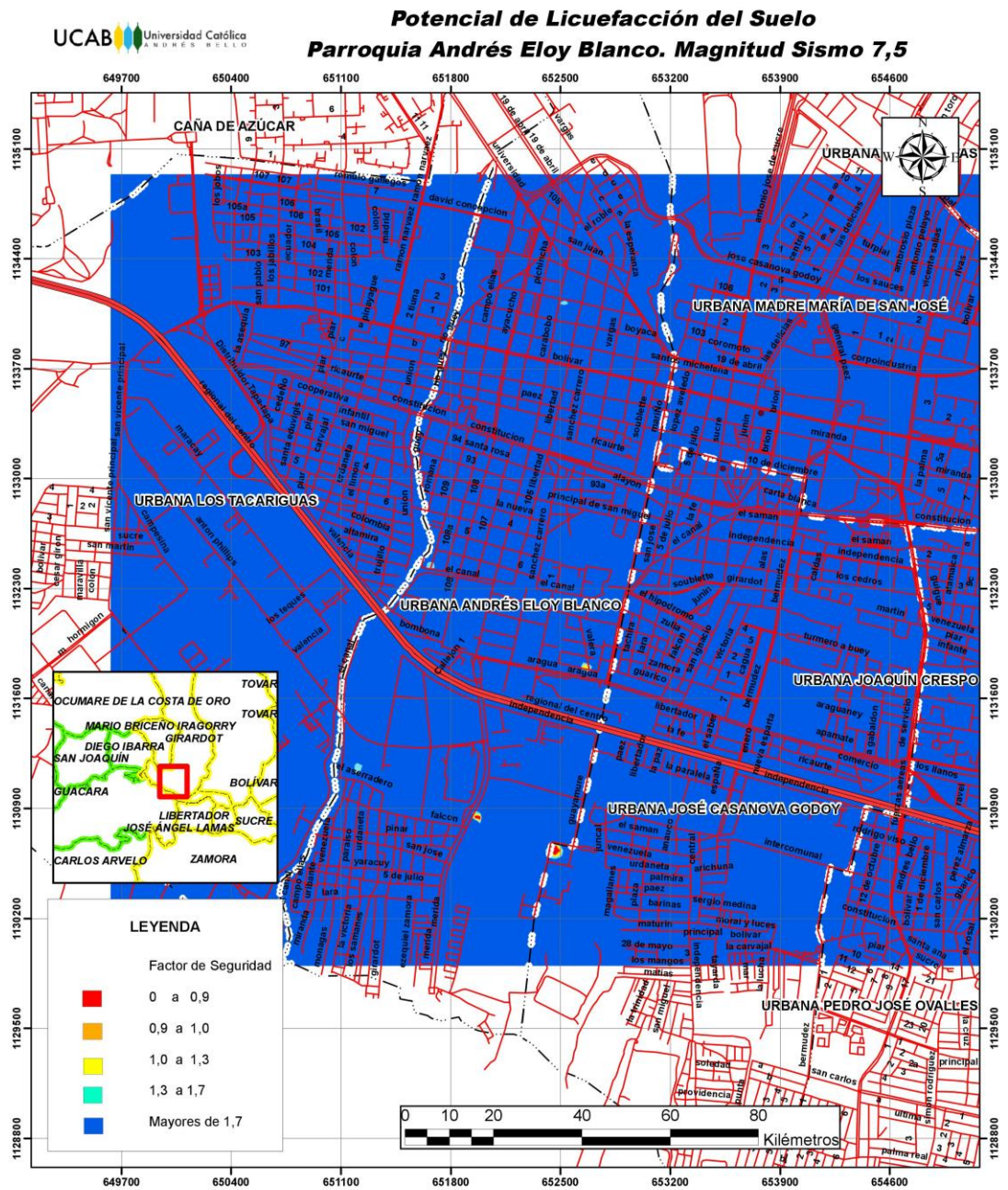


Gráfico 30. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Andrés Eloy Blanco. Magnitud sismo 7.5
Fuente: Autores (2015)

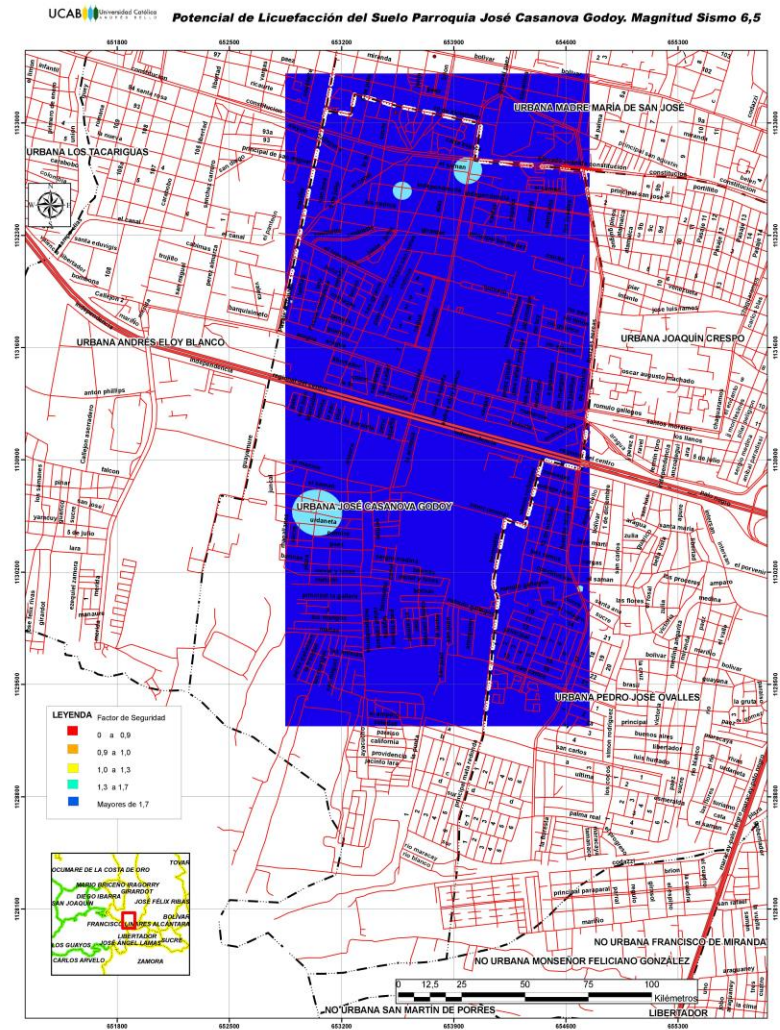


Gráfico 31. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia José Casanova Godoy. Magnitud sismo 6.5. Fuente: Autores (2015)

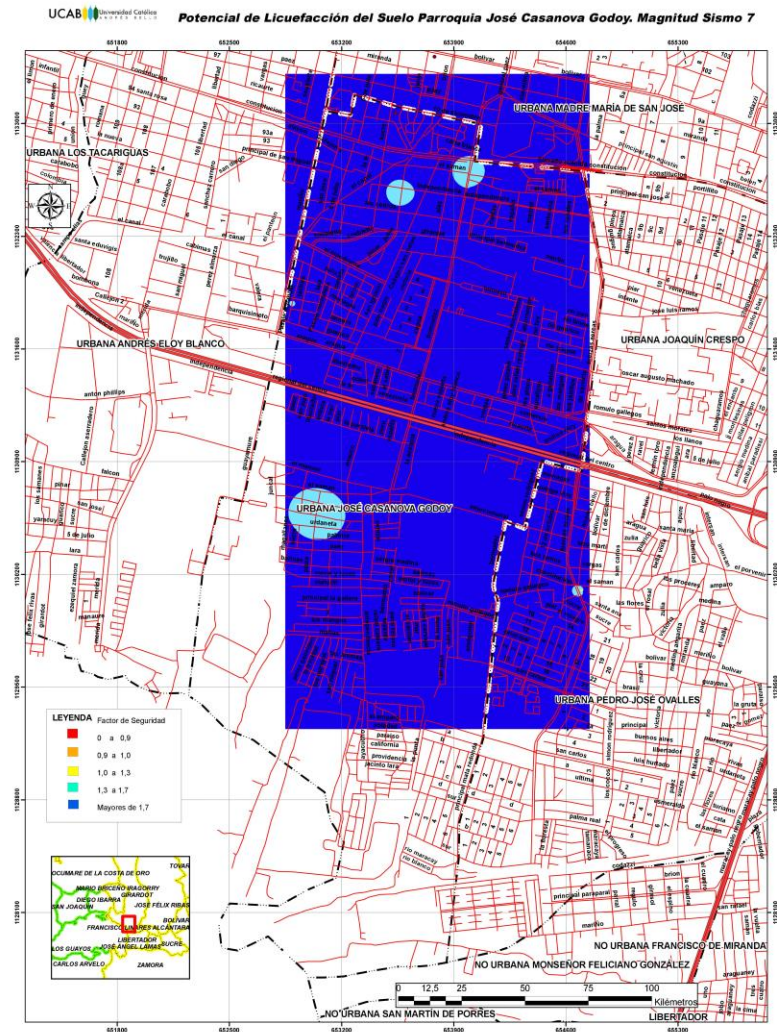


Gráfico 32. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia José Casanova Godoy. Magnitud sismo 7.0. Fuente: Autores (2015)

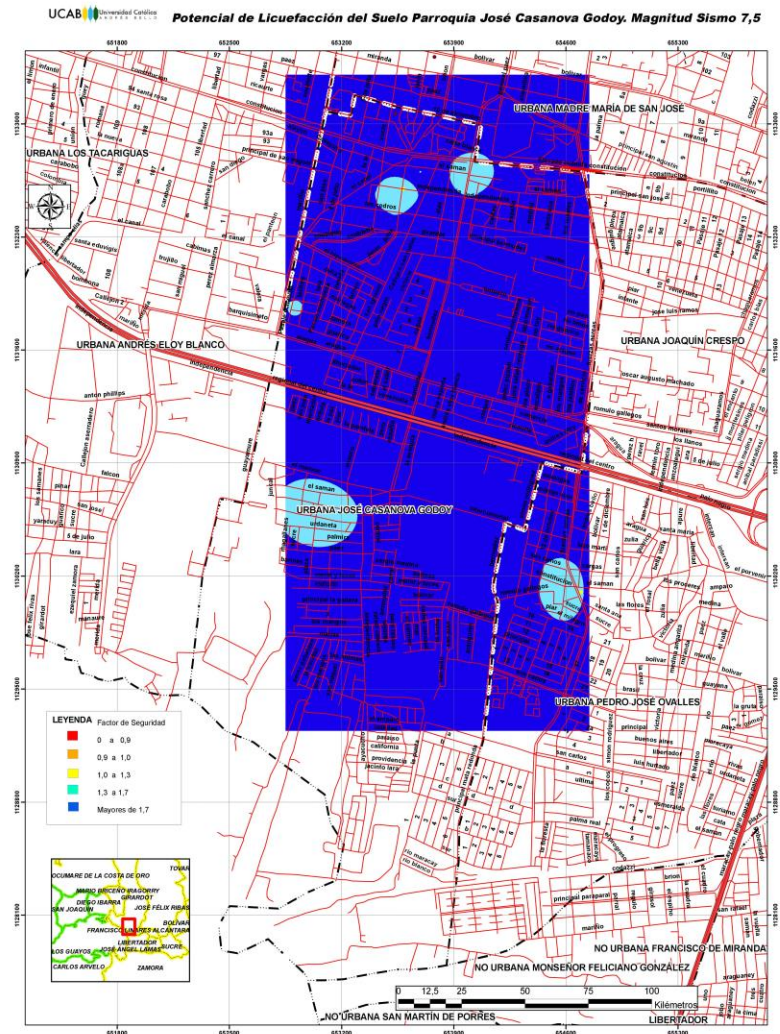


Gráfico 33. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia José Casanova Godoy. Magnitud sismo 7.5. Fuente: Autores (2015)

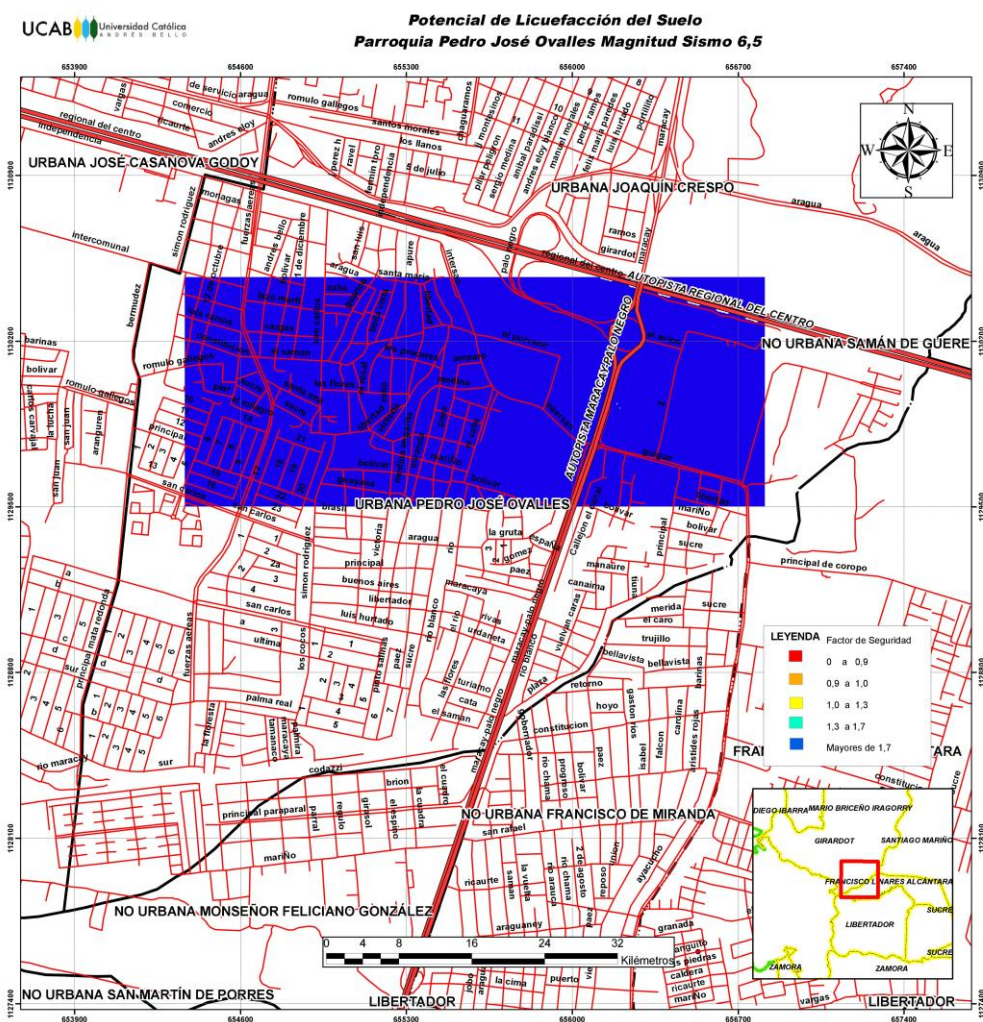


Gráfico 34. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Pedro José Ovalles. Magnitud sismo 6.5.
Fuente: Autores (2015)

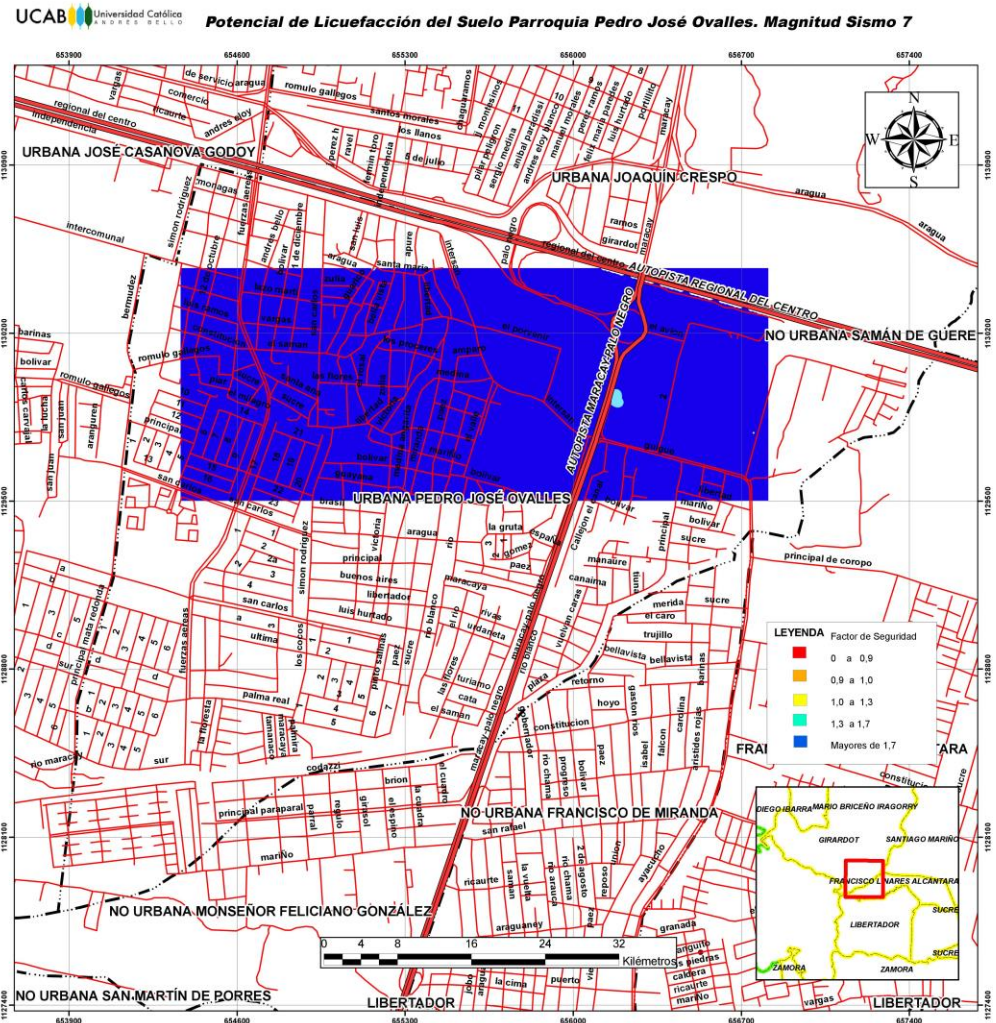


Gráfico 35. Potencial de licuefacción del suelo Parroquia Pedro José Ovalles. Magnitud sismo 7.0. Fuente: Autores (2015)

Las gráficas realizadas con la metodología aplicada, constituyen un aporte a la investigación que FUNVISIS requiere para su programa. Los mapas de las parroquias evaluadas, no muestran ninguna variación, poco resaltan el gran trabajo desarrollado por el equipo de trabajo de este documento y apuntan ser muy similares y repetitivas para otro tipo de análisis.

Por lo expuesto y como un aporte adicional a la investigación, para cada parroquia se elaboraron mapas y perfiles adicionales donde se muestra la posición aproximada del nivel freático y perfiles estratigráficos posibles, preparados con las planillas de perforación investigadas. También se graficaron mapas de curvas de factor de seguridad para no hacer monótono la presentación de resultados.

Los mapas, en su mayoría fueron creados con el programa Origin Pro 8. Un software que facilita analizar y graficar datos, enfocados en las necesidades de científicos e ingenieros y de manera eficiente. A este software, se le conoce por su efectividad al momento de graficar datos y obtener resultados en cuanto a la afectación de variables independientes, plotear curvas de nivel y extraer reportes de los análisis realizados.

Los mapas, son presentados en la misma secuencia que los anteriores. Así, en el gráfico 37 se ve el mapa de contorno de la posición relativa del nivel freático de la parroquia Los Tacarigua, los valores reflejados, pueden sufrir fluctuaciones en cada época del año y en su cercanía al Lago de Valencia están influenciados por este cuerpo de agua, y en él, también se han marcado, con sus coordenadas, los lugares donde ocurriría eventualmente licuefacción.

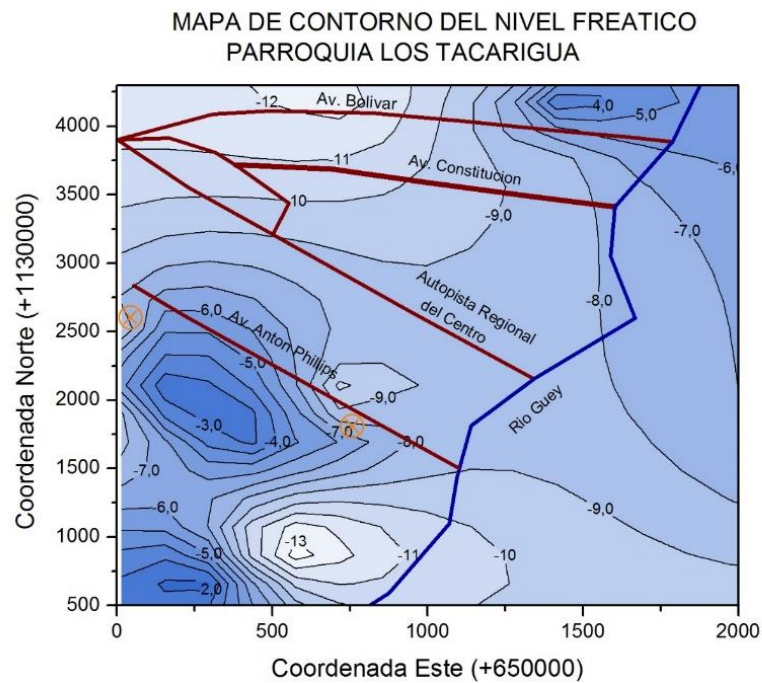


Gráfico 37. Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia Los Tacarigua
Fuente: Autores (2015)

El gráfico 38, son dos diagramas 3D sobre la posición del nivel freático de la parroquia.

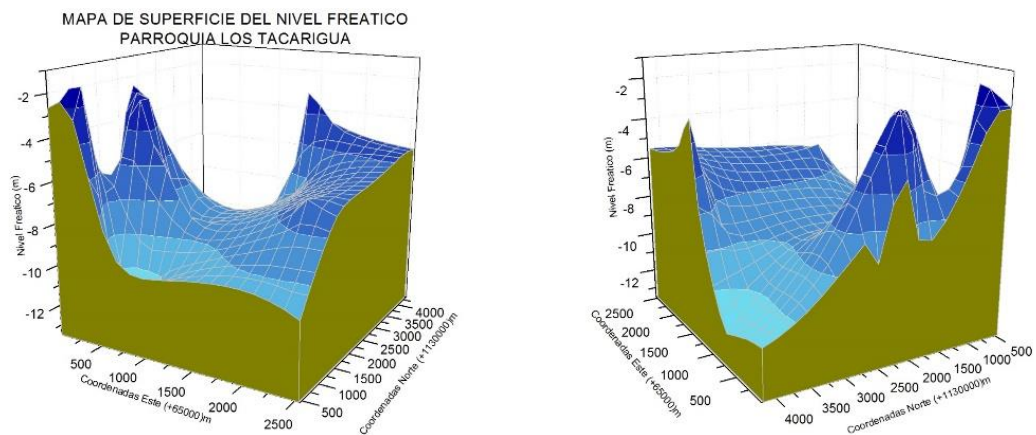


Gráfico 38. Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia Los Tacarigua
Fuente: Autores (2015)

En el gráfico 39 se dibujó un mapa de contorno del factor de seguridad la parroquia y en el gráfico 40, el perfil probable del suelo en los lugares donde puede ocurrir licuefacción

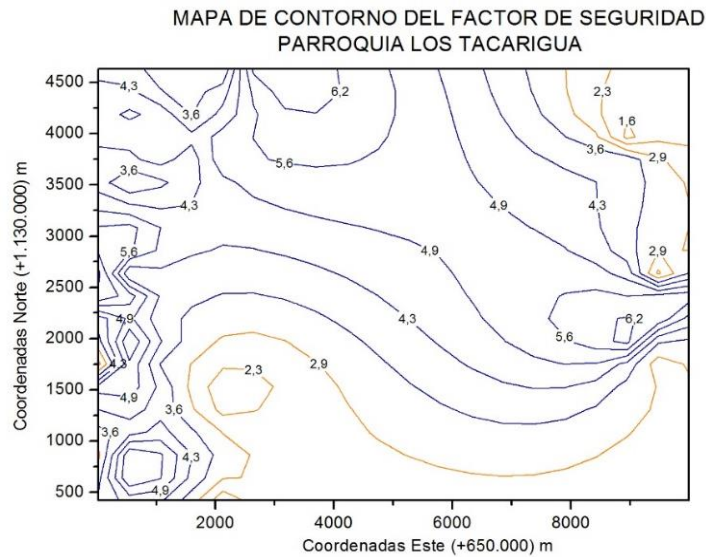


Gráfico 39. Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia Los Tacarigua
Fuente: Autores (2015)

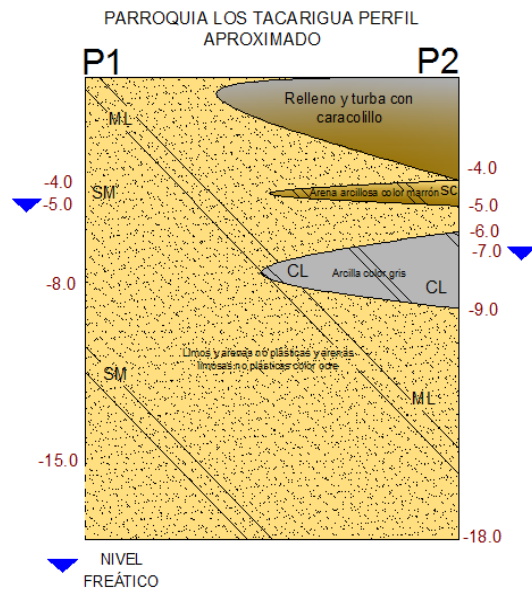


Gráfico 40. Parroquia Los Tacarigua Perfil Aproximado
Fuente: Autores (2015)

Parroquia Andrés Eloy Blanco

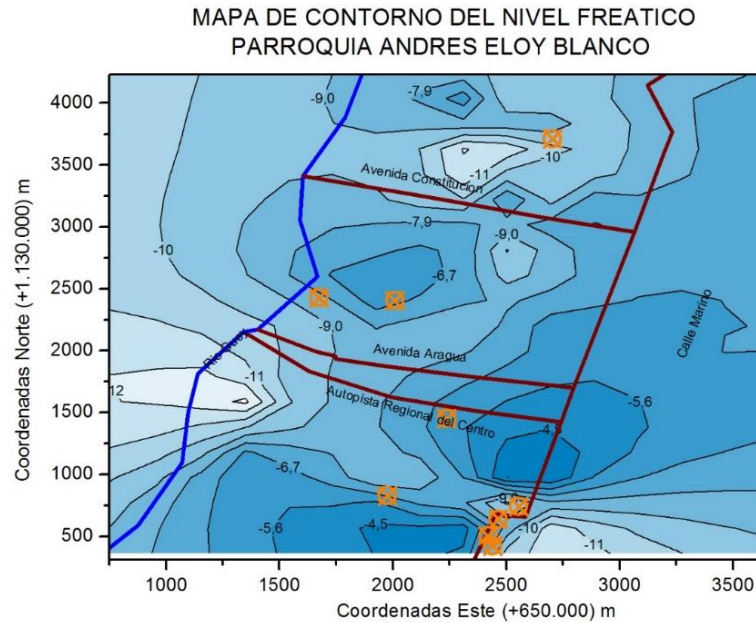


Gráfico 41. Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia Andrés Eloy Blanco
Fuente: Autores (2015)

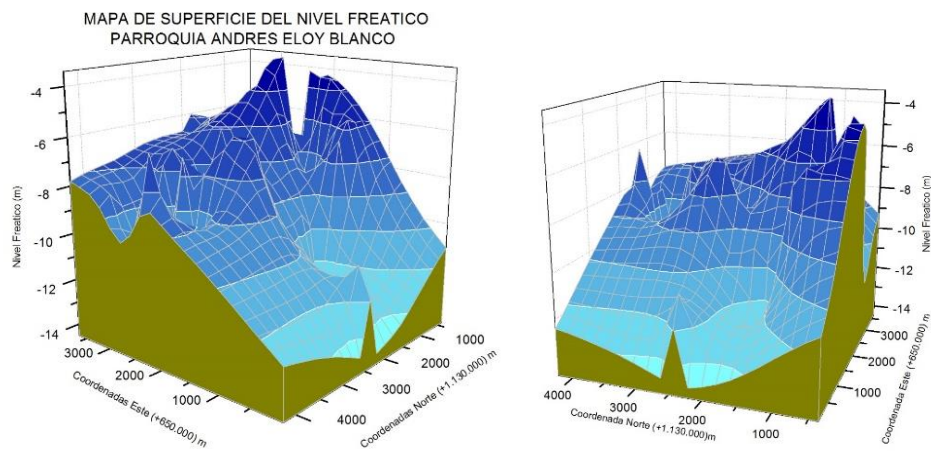


Gráfico 42. Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia Andrés Eloy Blanco
Fuente: Autores (2015)

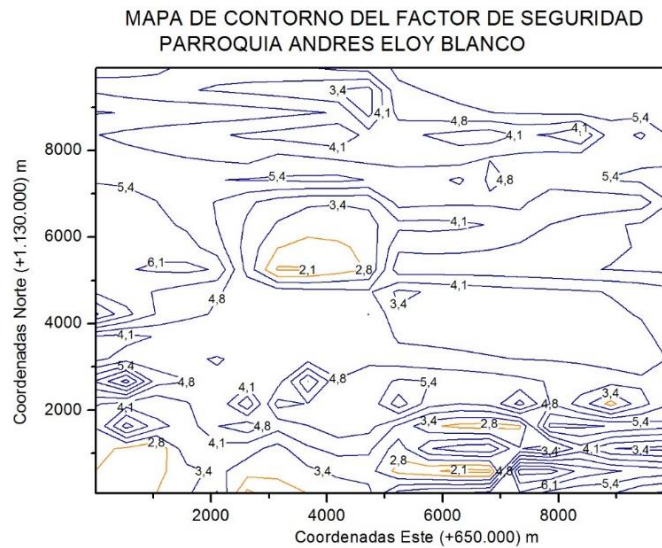


Gráfico 43. Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia Andrés Eloy Blanco
Fuente: Autores (2015)

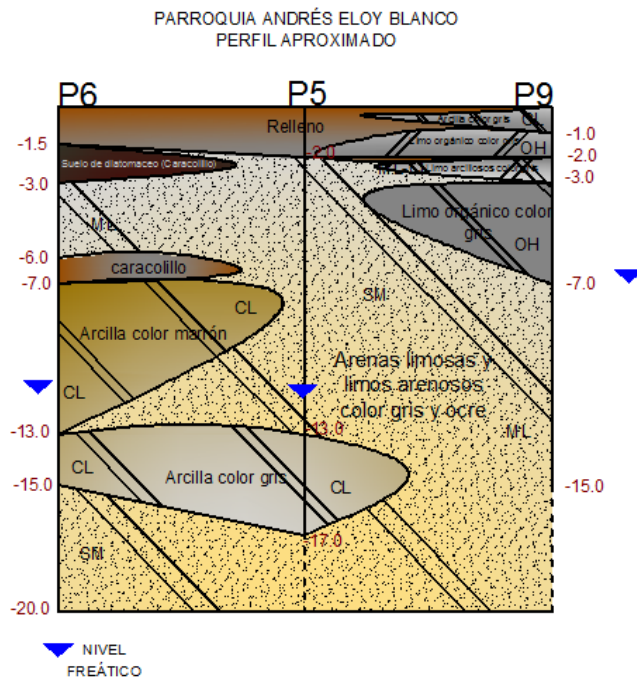


Gráfico 44. Parroquia Andrés Eloy Blanco Perfil Aproximado
Fuente: Autores (2015)

Parroquia José Casanova Godoy

MAPA DE CONTORNO DEL NIVEL FREÁTICO
PARROQUIA JOSE CASANOVA GODOY

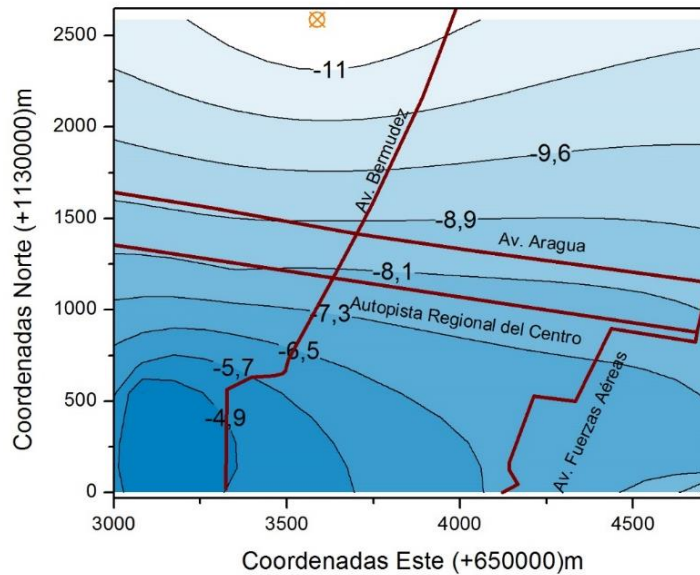


Gráfico 45. Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia José Casanova Godoy
Fuente: Autores (2015)

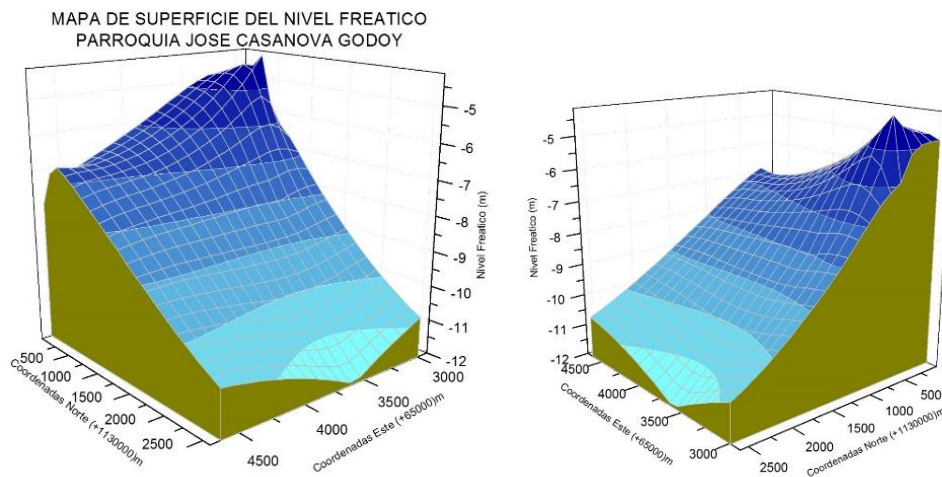


Gráfico 46. Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia José Casanova Godoy
Fuente: Autores (2015)

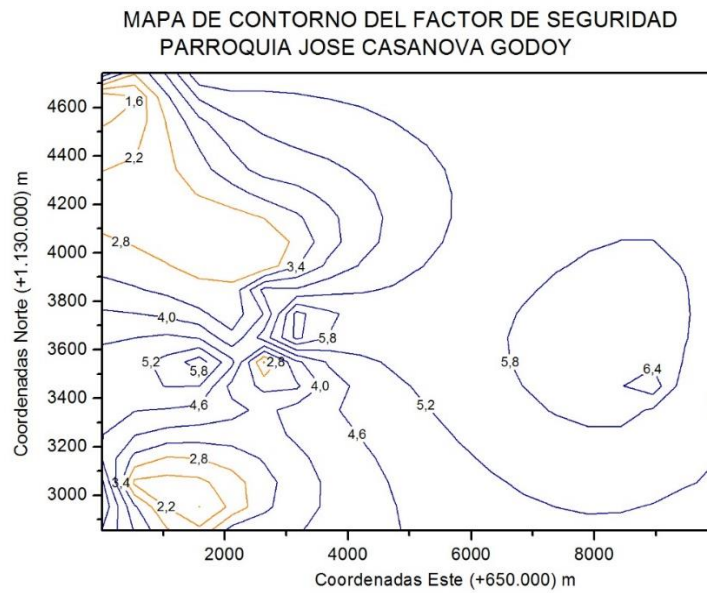


Gráfico 47. Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia José Casanova Godoy
Fuente: Autores (2015)

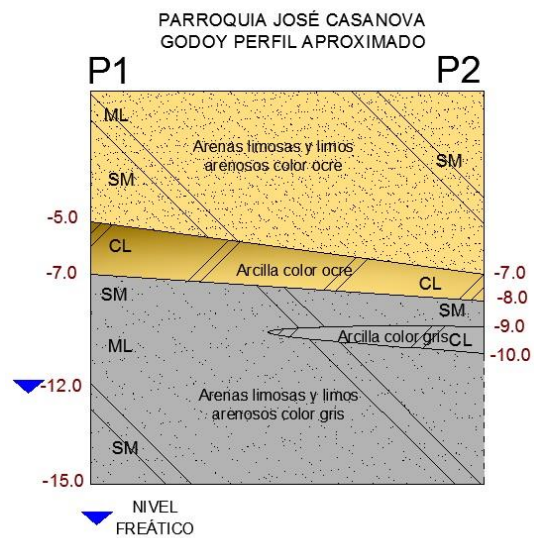


Gráfico 48. Parroquia José Casanova Godoy Perfil Aproximado
Fuente: Autores (2015)

Parroquia Pedro José Ovalles

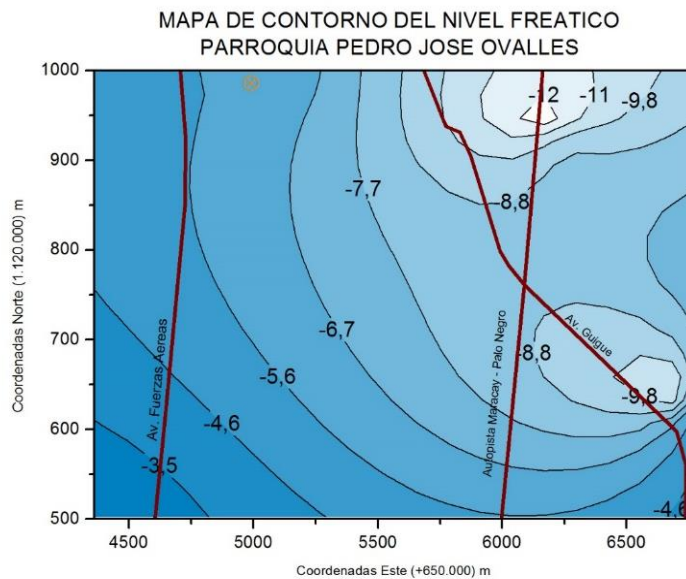


Gráfico 49. Mapa de contorno del nivel freático. Parroquia Pedro José Ovalles
Fuente: Autores (2015)

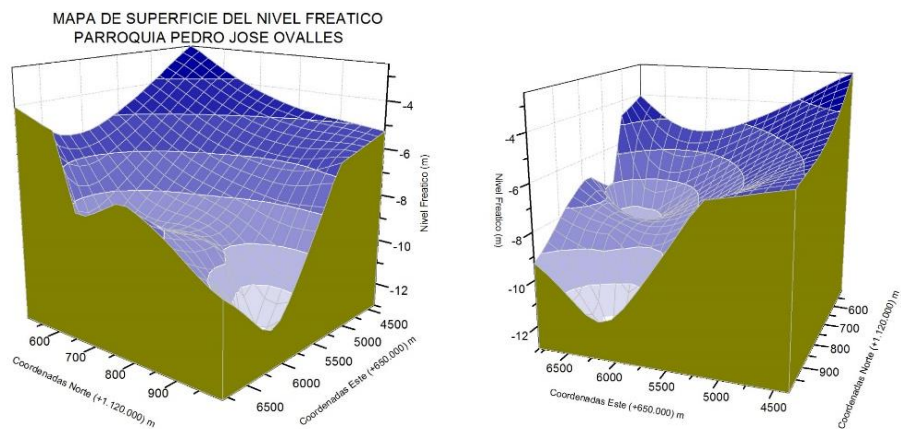


Gráfico 50. Mapa de superficie del nivel freático. Parroquia Pedro José Ovalles
Fuente: Autores (2015)

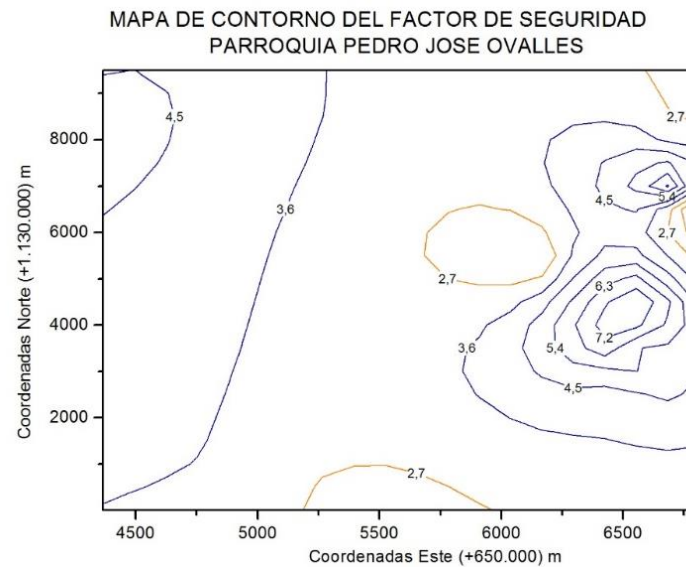


Gráfico 51. Mapa de contorno del factor de seguridad. Parroquia Pedro José Ovalles
Fuente: Autores (2015)

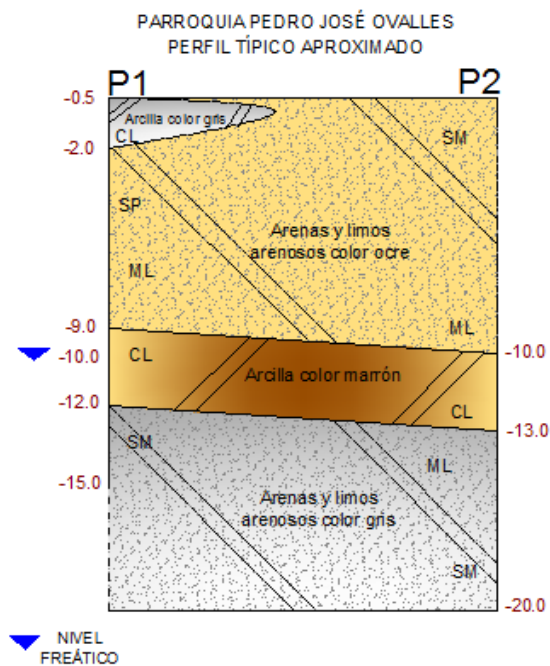


Gráfico 52. Parroquia Pedro José Ovalles Perfil Aproximado
Fuente: Autores (2015)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En función de los objetivos pretendidos en esta investigación, se concluye que:

- El área de estudio se encuentra ubicada en las parroquias: Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles pertenecientes al municipio Girardot, Maracay Estado Aragua.
- Las investigaciones realizadas en el suelo del área de las parroquias en estudio, excepto algunos lugares puntuales, permitieron reconocer que se caracterizan por la presencia de depósitos de arcillas y limos, intercalados con depósitos de arena que, en presencia del agua, puede ser un ambiente propicio para que se manifieste la falla por licuefacción.

Los valores de Factor de Seguridad obtenidos a partir de las perforaciones realizadas por la empresa Oficina Técnica Ingeniero José V Heredia y Asociados, en distintos puntos del espacio geográfico de las parroquias estudiadas, y el estudio de los diversos perfiles de suelo del área, sugieren que el riesgo de licuefacción fue nulo, pues el 95% de los casos factores de seguridad superan el máximo establecido para este trabajo, por tal se podría establecer como de “muy bajo potencial de licuefacción” $FS \geq 1,7$. En conclusión baja probabilidad de falla es baja, y no obstante a la cantidad de accidentes geológicos y fallas tectónicas presentes en la zona, allí no se presentará riesgo de licuefacción.

Tomando en cuenta que, las parroquias estudiadas, están ubicadas en el límite donde comienza la zona potencialmente licuable en el Sur de Maracay, por el ascenso del nivel del Lago de Valencia y consecuentemente del nivel freático, es importante realizar y profundizar estudios sobre este aspecto para delimitar con mayor exactitud, las zonas de desarrollo de la ciudad con base al riesgo, por ejemplo, en algunos trabajos antecedentes, se considera que si se pueden

desarrollar edificaciones multifamiliares, siempre y cuando se cumpla con lo establecido en la Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismoresistentes”, en relación con los estudios de suelos.

Los mapas elaborados, se diseñaron de acuerdo a los procedimientos indicados por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), presentados en el II Congreso Internacional de Ingeniería Estructural & Sismorresistente, dictado por los Ingenieros Adalgiza Pombo, Oscar Ramírez, Michael Schmitz y Zulay Niño, y en el cual participaron estudiantes de ingeniería en Venezuela con el objetivo de construir los mapas de riesgo del país.

El trabajo desarrollado es una contribución importante al programa de FUNVISIS de Riesgo en Espacios Urbanos, en lo referente al potencial de licuefacción de los suelos. Los resultados muestran que para la metodología empleada., en las parroquias Los Tacarigua, Andrés Eloy Blanco, José Casanova Godoy y Pedro José Ovalles no hay peligro potencial de licuefacción de los suelos.

Los mapas de contorno de nivel freático elaborados, sus diagramas en tres dimensiones (3D), muestran una errática variación del nivel freático que sólo se puede tomar como referencia, ya que sufre de variaciones estacionales y está afectada por el flujo subterráneo de Norte a Sur. Las hipotéticas depresiones en los dibujos, se deben a los antiguos abanicos aluvionales y a ensenadas adyacentes rellenas por sedimentación torrencial en procesos morfoclimáticos.

Los mapas relativos al factor de seguridad de la licuefacción, muestran cómo se podría establecer una relación de desarrollo de la ciudad, aprovechando los terrenos con menor riesgo ubicados más al Sur de la ciudad de Maracay.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Se recomienda a FUNVISIS, que en el programa de entrenamiento de los estudiantes para motivarlos a realizar futuros trabajos de grado vinculados con este importante programa: hacer las aclaratorias respectivas al uso de martillo tipo donut o martillo de seguridad durante la realización del ensayo de penetración estándar.

También es importante que además de los mapas en los que se diferencian los diferentes potenciales de licuefacción mediante una gama de colores, realicen mapas de contornos como los presentados en este trabajo, y en ellos se distingan los lugares donde no es posible la ocurrencia de este fenómeno por densificación del suelo, ausencia del nivel freático y presencia de suelos cohesivos, de los lugares donde es posible que se presente licuefacción.

Se recomienda a nuestra Alma Máter, seguir contribuyendo con el desarrollo de éste tipo de programa de investigación siempre aportando nuevas ideas, métodos y estudios que ayuden a enriquecer la biblioteca tecnológica de la universidad y el país.

Además de esto se recomienda a las instituciones pertinentes:

Incluir dentro de los requisitos exigidos para la realización de proyectos, los análisis de susceptibilidad y factores de licuefacción de los suelos.

Tomar en cuenta los trabajos de microzonificación sísmica, mapas de riesgo de licuefacción y mapas de período fundamental de suelos y edificaciones para garantizar la seguridad de las personas que habitan en las edificaciones.

Crear una base de datos relacionada con la investigación, preferiblemente por medios digitales que sea accesible al público, para desarrollar y ampliar los conocimientos en el área, como también, para evaluar alternativas para mitigar el riesgo sísmico.

Se recomienda a la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) tomar en cuenta el trabajo realizado por W.D. Kovacs titulado Liquefaction Potential and The International SPT, para replantear la corrección por energía de martillo utilizada en los cálculos por una más conservadora con la finalidad de obtener resultados más cercanos a la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, L. y De Santis F. (1997). *Licuación de Suelos: Su Ocurrencia en la Historia Sísmica de Venezuela*. Ponencia presentada en la III Conferencia de Ingenieros Jóvenes Geotécnicos. Caracas. Pp. 1-12
- Alonso, J. (2007). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones*. Caracas: Siderúrgica del Turbio SA
- Alva, J. (2013). Evaluación del potencial de Licuación de suelos
- Amundaray, J (1997). Informe Geotécnico: *Revisión de las Condiciones de Fundación y Características de licuación del Subsuelo para un Conjunto de Town Houses y Edificios Anexos al Hotel Cumanagoto, Cumaná, Estado Sucre*. Caracas, Venezuela.
- Amundaray, J. (2006). *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio. Guía para la prevención de Gestión de Riesgo*. Cap. VIII. *Suelos potencialmente licuables y medidas de remediación*. Caracas.
- Arias, F. (2006). *Proyecto de la investigación, Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme. 5ª edición.
- Audemard, F.A., Machette, M.N., Cox, J., Hart, R., and Haller, K., (2000). *Map of Quaternary Faults of Venezuela. Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and Offshore regions*. A project of the International Lithosphere Program Task Group II-2: Major active Faults of the World (Regional Coord.: Carlos Costa, Univ. San Luis-Argentina, ILP II-2 co-chairman Western Hemisphere: Michael Machette, USGS-Colorado): USGS Open-File Report 00-18, 78 p., scale 1:2,000,000, <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-filereports/ofr-00-0018>. Re-printed in 2002, as Commemorative Edition XXX Aniversario de FUNVISIS
- Brades, H (2003). *Geotechnical and Foundation Aspects*. Inglaterra.
- Bolt, B (2003). *Terremotos*. Barcelona, España: Reverté SA. Reimpresión versión española.
- Cartoteca, R. (2011). *Tutorial para la Elaboración de Mapas con ArcGIS*. Universidad Autónoma de Madrid. España.
- Cetin, K O.; Seed, R. B.; Moss, R., E. S.; Kammerer, A. M.; Wu, J.; Pestana, J. M.; Riemer, M. F.; Sancio, R. B.; Bray, J. D.; Kayen, R. E. y Faris, A. (2004). *Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework. XXVI Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar*. Long Beach, California, USA.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (2001). Norma 1756-1:2001. *Edificaciones Sismoresistente. Parte I: Articulado*. Caracas: Autor.
- De Santis, F.; Echezuría, H.; Audemard, F.; Beltrán, C.; Alviar, J. y Ferrebus, C. (1990). *Los Sismos de Abril y Mayo de 1989. Evidencia de Licuación*. XI Seminario Venezolano de Geotecnia, Caracas. Pp.205-225.
- De Santis, F.; Singer, A. y Audemard, F. (1989). *Manifestaciones de "Lateral Spread" en el Delta Lacustre de Güigüe, Costa Sur de Lago de Valencia, Durante el Terremoto de Caracas del 29-07-67*. VII Congreso Geológico Venezolano. Barquisimeto. Pp, 1124-1136.
- Fiedler, G. (1972). *La liberación de energía sísmica en Venezuela, volúmenes sísmicos y mapas de Isosistas*. En: Memoria del IV Congreso Geológico Venezolano, pp. 2441-2462.
- Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. (2002). *La Investigación Sismológica en Venezuela*. Caracas: Autor.
- Gallardo, Y.; Moreno, A. (1999). *Recolección de la información*. Santa Fe de Bogotá: ICFES. Serie Aprender a Investigar. Módulo 3.
- Gil N, y Pérez G. (2007). *Elaboración de un Mapa de Zonificación geotécnica según la NORMA 1756-2001 (Edificaciones Sismorresistentes) del Municipio Girardot, en Maracay, Estado Aragua, mediante análisis de información geotécnica, velocidad de ondas de corte y mapas geotécnicos existentes, para optar al título de Ingeniero Civil, presentado en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional. Aragua*
- González C., Iturralde, J y Picard, X. (1980). *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. Tomo II. Caracas: FONINVES
- Graffe, J. (2002) *El fenómeno de Licuación en el Subsuelo del Área Norte del Estado Anzoátegui, un enfoque actual de evolución y análisis*. Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad de Oriente.
- Grases, J. (1994) *Terremotos destructores del Caribe*. Montevideo: UNESCO-ORCYT.
- Gutiérrez L. y Martignetti J. (2009). *Generación de insumos para la evaluación de condición de vulnerabilidad de edificaciones en el sector de residencias El Centro, en la ciudad de Maracay, Municipio Girardot, Estado Aragua, mediante el levantamiento de planillas de inspección y mediciones de vibraciones de ruido ambiental de edificios y en el suelo*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional. Aragua.
- Guevara, J. (1983). *Geografía de las regiones central y capital*. Caracas: Ariel-Seix Barral. Venezolana.

- Hanks, T C y Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research* 84 (B5): 2348-5
- Henríquez, C. (2007). *Mejora de Terrenos potencialmente Licuables con inyecciones de compactación*. Tesis para optar al título de Doctor en Ingeniería en Caminos. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puerto.
- Hernández, R., Fernández, C y Baptista, P. (2010) *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill. 5ª edición.
- Idriss, M y Boulanger, R. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquakes Engineering monographs on miscellaneous earthquake engineering topics*. USA: Publication Earthquake Engineering Research Institute
- Kramer, S y Stewart, J. (2004). *Geotechnical Aspects of Seismic Hazards*. USA: Bozorgnia y Bertero.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. USA: Prentice- Hall.
- Lambe y Whitman (2012). *Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa, SA Pp. 41-50
- Matute N. y Maldonado Y. (2006). *Evaluación del Riesgo Sísmico de los suelos de la zona costera del Lago de Valencia, debido a la presencia de estratos potencialmente licuables*. Trabajo de grado para optar para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Carabobo.
- Montilla, P. (2013). *Estimación de la respuesta sísmica del sitio usando mediciones de microtemblores en el sector Pan de Azúcar, Ejido, Estado Mérida*. En: Revista Técnica de Ingeniería, Universidad del Zulia. V 36, N° 2. 2013. pp. 164-173.
- Obando, T. (2009). *Estado Actual del Conocimiento del Proceso Cíclico de Licuefacción en Suelos Sujetos a Solicitaciones Sísmicas*. Ejemplos de casos. Tesis Doctoral en Geotecnia. Universidad Internacional de Andalucía. España.
- Oficina Técnica Ingeniero José Heredia y Asociados (1983 al 2014). Estudios de Suelos. Maracay: Autor. Documentos no publicados.
- Olivier, M. (2009). *Evaluación del Potencial de Licuación en la Ciudad de Cumaná, Venezuela*. Proyecto presentado ante la Fundación Venezolana de Investigaciones Sísmicas (Funvisis) para aprobar la materia de pasantías.
- Padrón, C., Mendes, K., Schmitz, M y Hernández, J (2010). *Microzonificación Sísmica en los procesos de planificación y gestión urbana, Caso Estudio; Municipio Chacao*. Caracas: Universidad Simón Bolívar.

- Pérez, H. (2004). *Guía de Laboratorio. Mecánica de Suelos I*. Universidad Católica Andrés Bello.
- Pombo, A., Ramírez, O., Schmitz, M y Niño, Z (2014). Potencial de licuación de los suelos en el área metropolitana de Valencia, Venezuela. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Ramírez, T (2006) *Cómo hacer un proyecto de investigación*. Caracas: Panapo. 3ª edición.
- Sabino, C. (2002). *Cómo hacer una Tesis*. Caracas: Panapo. 4ª edición.
- Santibañez, D (2006). *Determinación del potencial de licuación de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar*. Tesis para optar al Título de Ingeniero Constructor. Universidad Austral de Chile.
- Sarria, A. (1995). *Ingeniería Sísmica*. Bogotá: Ecoe Ediciones UNIANDES. 2ª edición
- Seed, H e Idriss, M. (1971). *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potencial*. Journal of soil mechanics and foundation division. ASCE, 97 SM9, pp.1249- 1273
- Seed H B, e Idriss I M. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Berkeley, California: EERI.
- Standard Practice for Description and Identification of Soils. *Norma ASTM D-1586-08.(2008). Standard test Method for Standard Penetration Test (spt) and Split-Barrel Sampling of Soils*. Oct. 1, USA. 600 pp.
- Schubert, C., Valastro, S y Cowart, J. (1977). *Evidencias de levantamiento reciente en la costa Norte-Central (cordillera de la costa) de Venezuela*. En: Acta Científica Venezolana 28. Pp. 363-372.
- Schubert, C. (1982). *Los terremotos en Venezuela*. Caracas: Cuadernos Lagoven.
- Southern California Earthquake Center/ University Of Southern California (SCEC/USC) (1999). *Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117 Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction Hazards in California*. Los Angeles, California.
- Tamayo M. (2008) *El Proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa Noriega Editores. 6ª edición.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2013). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: Autor.

Tarback, E. y Lutgens, F. *Ciencias de la Tierra. Introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Prentice Hall. 8ª edición.

Youd T L e Idriss I M. (1997). NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Technical Report NCEER 97-0022, Salt Lake City, UT NCEER. Buffalo: NY. P. 276.

Youd, T e Idriss, I (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. V127, N° 4. Pp. 297-313.

Youd, T y Garris, C. (1995). Liquefaction-induced ground surface disruption. *Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE*. Vol. 212, N° 11. 2001.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Estefani, G. (2013). *Falla geológica*. Obtenido el 02/05/2015 en: <http://www.artinaid.com/2013/04/falla-geologica/>

Estefani, G. (2013). *Componentes y tipos de fallas geológicas*. Obtenido el 02/05/2015 en: <http://www.artinaid.com/2013/04/componentes-y-tipos-de-fallas-geologicas/>

Corporación de Desarrollo de la Región Central. CORPOCENTRO. (2013). *Características del Estado Aragua*. Obtenido el 18/04/2015 en: <http://corpocentro.vicepresidencia.gob.ve/dossier/Dossier%202011/DOSIER%20ARAGUA%202011.pdf>

FUNVISIS (2002). *La Investigación Sismológica en Venezuela*. [Libro en línea]. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Obtenido el 02/04/2015 en: http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/funvisis_1_18.pdf

FUNVISIS. Glosario Sismológico. (s/f) Obtenido el 02/04/2015 en: www.funvisis.gob.ve/glosario.php.

Johansson, J. (2000). *The Soil Liquefaction Web Site. Department of Civil Engineering. University of Washington*. Obtenido el 21/04/2015 en: <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/main.html>

Kovacs, W.D. (1984). *Liquefaction Potential and The International SPT* Obtenido el 13/07/2015 en: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/8_vol3_263.pdf

Petróleos de Venezuela SA. (1997) Museo Geológico Virtual de Venezuela. Mapa Geológico de Venezuela. Obtenido el 02/06/2015 en: <http://www.pdv.com/lexico/museo/rocas/mapas.htm>

Rodríguez, R (2012). Geología Venezolana. Obtenido el 02/06/2015 en: <http://geologiavenezolana.blogspot.com/p/rafael-rodriguez.html>

Rojas, S. (2011). *Propiedades Físicas de los Suelos*. Mérida: Universidad de los Andes, Venezuela. Rojas, S. **Propiedades Físicas de los Suelos**. Universidad de los Andes, Venezuela. Obtenido el 12/05/2015 en: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/silviorojas/mecsuelos/Cap%20I OrigenSuelos Depositos.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/silviorojas/mecsuelos/Cap%20I%20OrigenSuelos%20Depositos.pdf)

Schubert, C y Laredo, M. (1979). Late Pleistocene and Holocene faulting in Lake Valencia basin, north-central Venezuela. *Geology*, 7: 289-292. Obtenido el 11/04/2015 en: <http://geology.gsapubs.org/content/7/6/289.full.pdf+html>

Universidad de Salamanca. (s/f) *Servicio Transfronterizo de Información Geográfica (STIG)*. Obtenido el 30/05/2015 en: <http://www.stig.usal.es/quehacemos.php>

University of Washington (2000) *¿Where does soil liquefaction commonly occur?* Obtenido el 30/04/2015 en: <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/where/where1.html>

University of Washington (2000) *Liquefaction Resistant Structures*. Obtenido el 30/04/2015 en: <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/how/resistantstructures.html>

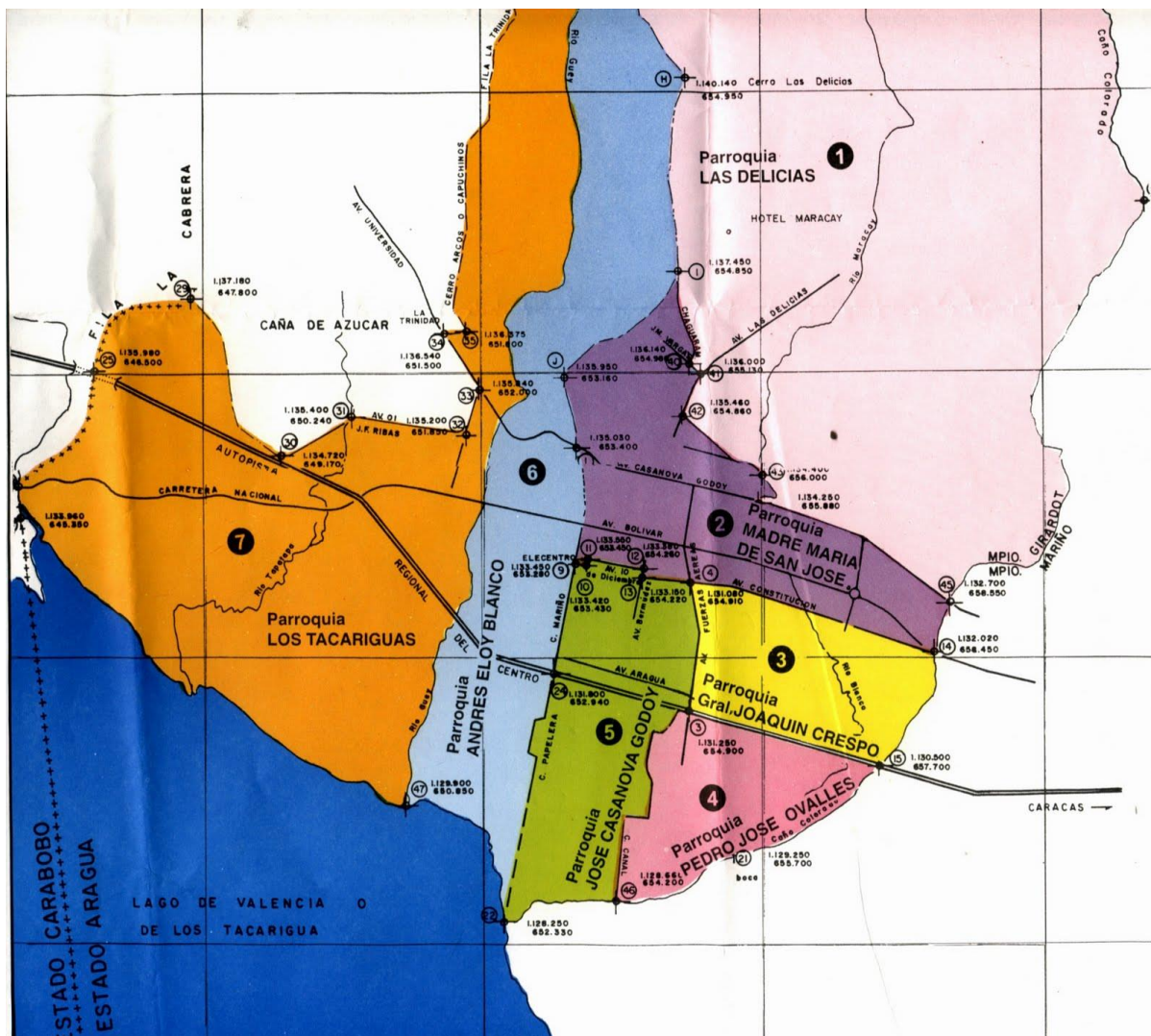
U S Geological Survey. (2009). The USGS Earthquake Hazards Program. Obtenido el 9/05/2015 en: <http://earthquake.usgs.gov/learning/faq.php?categoryID=2&faqID=23%7CUSGS>

Wegener, A. (1912). Die Entstehung der Kontinente *Journal Geologische Rundschau* Volume 3, Issue 4, pp 276-292. 9. Juli 1912. Obtenido el 3/05/2015 en: <http://link.springer.com/journal/531/3/4/page/1>

Wikipedia (2015) *Escala sísmológica de Richter*. Obtenido el 30/04/2015 en: https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_sismol%C3%B3gica_de_Richter

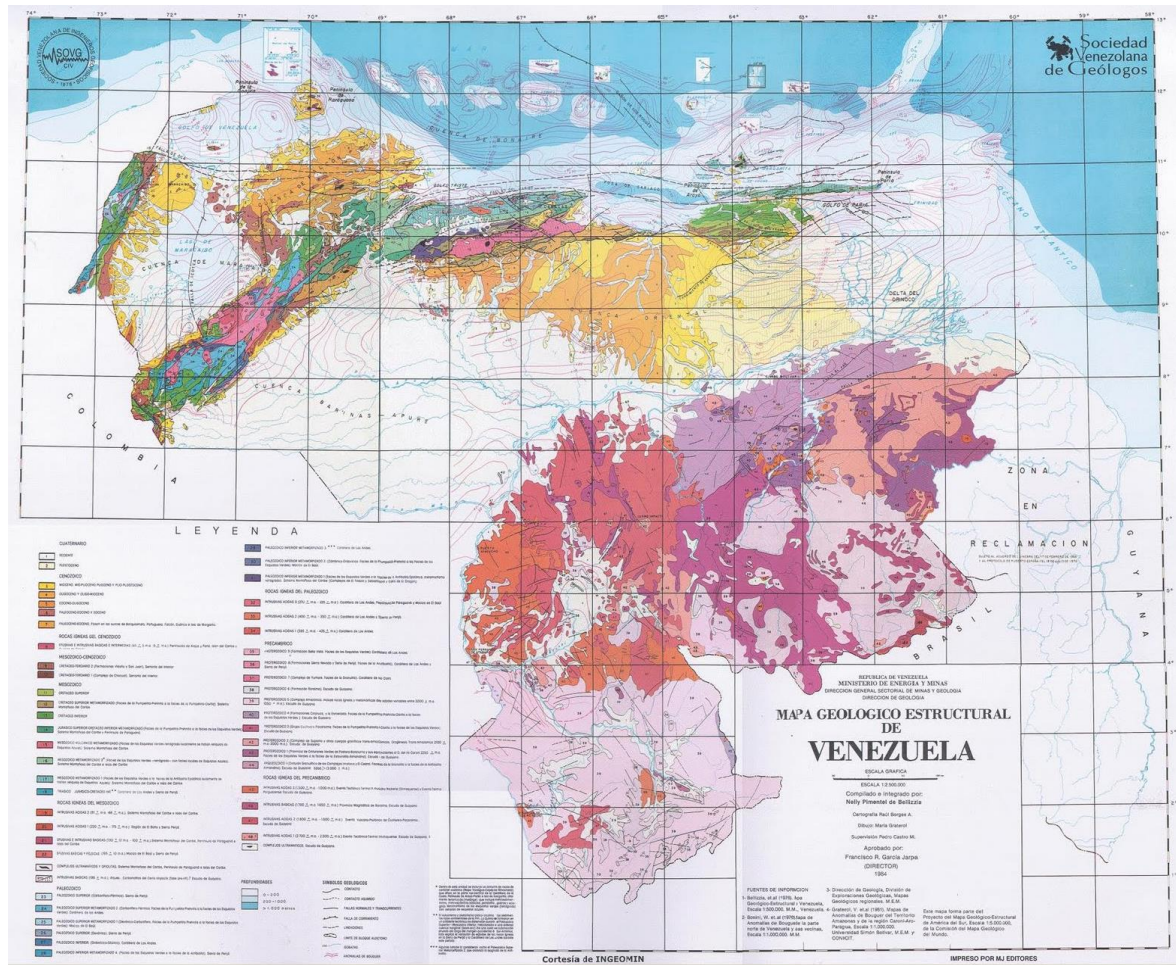
ANEXOS

Anexo A. Plano Parroquias que integran el Municipio Girardot. Estado Aragua



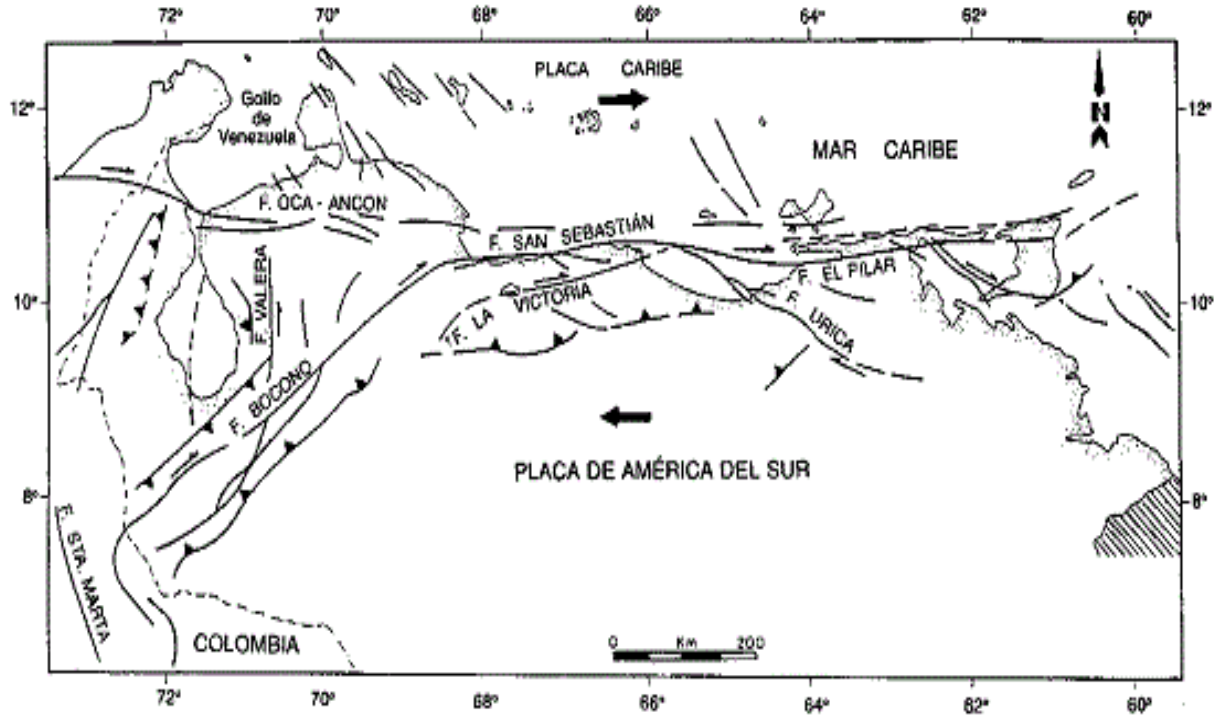
Fuente: Cortesía de la Alcaldía de Girardot, Aragua. (2012)

Anexo B. Mapa Geológico de Venezuela



Fuente: Petróleos de Venezuela SA. (1997)

Anexo C. Mapa Neotectónico de Venezuela



Fuente: Rodríguez (2012)

Anexo D. Planillas utilizadas por la empresa OT Heredia y Asociados, para registro de datos de perforación

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm2	μ	σ'_{vo} Kg/cm2	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60cs}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K σ	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	9	1,6	2,1	0,21	0	0,21	1,56028	0,75	1	0,75	1	8	3,61467	1,07944	12	0,13249	0,3	9,8	0,9996	0,01989	6,5	1,44192	0,6	1,86686	17,93	No
1	1	0	10	1,72	2,22	0,222	0	0,222	1,54712	0,75	1	0,75	1	9	0,55673	1,017	9	0,10793	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,82582	14,29	No
1	1,5	0	7	1,72	2,22	0,432	0	0,432	1,34804	0,75	1	0,75	1	5	0,55673	1,017	6	0,07934	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,39896	8,05	No
1	2	0	7	1,72	2,22	0,444	0	0,444	1,3382	0,75	1	0,75	1	5	0,55673	1,017	6	0,07903	0,3	9,8	0,998	0,01987	6,5	1,44192	0,6	1,38372	7,94	No
1	2,5	0	14	1,72	2,22	0,654	0	0,654	1,18662	0,75	1	0,75	1	9	0,55673	1,017	10	0,11365	0,3	9,8	0,998	0,01986	6,5	1,44192	0,6	1,18514	9,78	No
1	3	0	15	1,72	2,22	0,666	0	0,666	1,17899	0,75	1	0,75	1	10	0,55673	1,017	11	0,11911	0,3	9,8	0,998	0,01985	6,5	1,44192	0,6	1,17655	10,18	No
1	4	0	28	1,72	2,22	0,888	0	0,888	1,05364	0,75	1	0,8	1	18	4,05857	1,1003	24	0,26553	0,3	9,8	0,997	0,01984	6,5	1,44192	0,6	1,04866	20,24	No
1	5	0	24	1,78	2,28	1,116	0	1,116	0,94991	0,75	1	0,85	1	15	4,05857	1,1003	20	0,21603	0,3	9,8	0,996	0,01982	6,5	1,44192	0,6	0,95705	15,04	No
1	6	0	24	1,78	2,28	1,344	0	1,344	0,86478	0,75	1	0,85	1	13	4,05857	1,1003	19	0,19884	0,3	9,8	0,995	0,01981	6,5	1,44192	0,6	0,88846	12,86	No
1	7	0	15	1,78	2,28	1,572	0	1,572	0,79365	0,75	1	0,95	1	8	4,38827	1,12257	14	0,14929	0,3	9,8	0,995	0,01979	6,5	1,44192	0,6	0,83449	9,08	No
1	8	1	8	1,78	2,28	1,8	0,1	1,7	0,75862	0,75	1	0,95	1	4	5	1,2	10	0,11479	0,3	9,8	0,994	0,02094	6,5	1,44192	0,6	0,80876	6,39	No
1	9	1	21	1,78	2,28	2,028	0,2	1,828	0,72655	0,75	1	0,95	1	11	5	1,2	18	0,19233	0,3	9,8	0,993	0,02192	6,5	1,44192	0,6	0,78561	9,94	No
1	10	1	30	1,78	2,28	2,256	0,3	1,956	0,69708	0,75	1	0,95	1	15	5	1,2	23	0,25508	0,3	9,8	0,992	0,02277	6,5	1,44192	0,6	0,76463	12,35	No
1	11	1	22	1,78	2,28	2,484	0,4	2,084	0,66991	0,75	1	1	1	11	3,61467	1,07944	16	0,16559	0,3	9,8	0,907	0,02151	6,5	1,44192	0,6	0,74549	8,27	No
1	12	1	20	1,78	2,28	2,712	0,5	2,212	0,64478	0,75	1	1	1	10	3,61467	1,07944	14	0,1507	0,3	9,8	0,880	0,02148	6,5	1,44192	0,6	0,72792	7,37	No
1	13	1	25	1,78	2,28	2,94	0,6	2,34	0,62147	0,75	1	1	1	12	3,61467	1,07944	16	0,17227	0,3	9,8	0,854	0,02134	6,5	1,44192	0,6	0,71173	8,28	No
1	14	1	22	1,78	2,28	3,168	0,7	2,468	0,59978	0,75	1	1	1	10	4,17928	1,10758	15	0,16147	0,3	9,8	0,827	0,02112	6,5	1,44192	0,6	0,69673	7,68	No
1	15	1	21	1,78	2,28	3,396	0,8	2,596	0,57956	0,75	1	1	1	9	4,17928	1,10758	14	0,153	0,3	9,8	0,800	0,02083	6,5	1,44192	0,6	0,68278	7,23	No

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm2	μ	σ'_{vo} Kg/cm2	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60cs}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K σ	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	11	1,6	2,1	0,21	0	0,21	1,56	0,75	1	0,75	1	10	5	1,2	17	0,1764	0,3	9,8	0,9996175	0,01989	6,5	1,44	0,6	1,866862	23,87	No
1	1	0	18	1,72	2,22	0,222	0	0,222	1,55	0,75	1	0,75	1	16	5	1,2	24	0,2699	0,3	9,8	0,999235	0,01988	6,5	1,44	0,6	1,825824	35,74	No
1	1,5	0	16	1,72	2,22	0,432	0	0,432	1,35	0,75	1	0,75	1	12	5	1,2	20	0,21	0,3	9,8	0,9988525	0,01988	6,5	1,44	0,6	1,398964	21,31	No
1	2	0	14	1,72	2,22	0,444	0	0,444	1,34	0,75	1	0,75	1	11	5	1,2	18	0,1879	0,3	9,8	0,99847	0,01987	6,5	1,44	0,6	1,383716	18,87	No
1	2,5	0	19	1,72	2,22	0,654	0	0,654	1,19	0,75	1	0,75	1	13	1,55	1,03	15	0,1564	0,3	9,8	0,9980875	0,01986	6,5	1,44	0,6	1,185138	13,46	No
1	3	0	17	1,72	2,22	0,666	0	0,666	1,18	0,75	1	0,75	1	11	1,55	1,03	13	0,1423	0,3	9,8	0,997705	0,01985	6,5	1,44	0,6	1,17655	12,16	No
1	4	0	15	1,72	2,22	0,888	0	0,888	1,05	0,75	1	0,8	1	9	1,55	1,03	11	0,1251	0,3	9,8	0,99694	0,01984	6,5	1,44	0,6	1,04866	9,53	No
1	5	0	16	1,78	2,28	1,116	0	1,116	0,95	0,75	1	0,85	1	10	5	1,2	17	0,1768	0,3	9,8	0,996175	0,01982	6,5	1,44	0,6	0,957049	12,31	No
1	6	0	15	1,78	2,28	1,344	0	1,344	0,86	0,75	1	0,85	1	8	5	1,2	15	0,1593	0,3	9,8	0,99541	0,01981	6,5	1,44	0,6	0,888465	10,30	No
1	7	1	21	1,78	2,28	1,572	0,1	1,472	0,82	0,75	1	0,95	1	12	4,56	1,14	19	0,19885	0,3	9,8	0,994645	0,02114	6,5	1,44	0,6	0,856716	11,60	No
1	8	1	25	1,78	2,28	1,8	0,2	1,6	0,79	0,75	1	0,95	1	14	4,56	1,14	20	0,2216	0,3	9,8	0,99388	0,02225	6,5	1,44	0,6	0,828614	11,90	No
1	9	1	31	1,78	2,28	2,028	0,3	1,728	0,75	0,75	1	0,95	1	17	4,56	1,14	23	0,2641	0,3	9,8	0,993115	0,02319	6,5	1,44	0,6	0,803494	13,20	No
1	10	1	34	1,78	2,28	2,256	0,4	1,856	0,72	0,75	1	0,95	1	17	3,61	1,08	22	0,2484	0,3	9,8	0,99235	0,024	6,5	1,44	0,6	0,780852	11,65	No
1	11	1	27	1,78	2,28	2,484	0,5	1,984	0,69	0,75	1	1	1	14	3,61	1,08	19	0,2	0,3	9,8	0,907	0,0226	6,5	1,44	0,6	0,760297	9,70	No
1	12	1	26	1,78	2,28	2,712	0,6	2,112	0,66	0,75	1	1	1	13	3,61	1,08	18	0,1873	0,3	9,8	0,8803	0,02249	6,5	1,44	0,6	0,741519	8,91	No
1	13	1	23	1,78	2,28	2,94	0,7	2,24	0,64	0,75	1	1	1	11	5	1,2	18	0,1945	0,3	9,8	0,8536	0,02229	6,5	1,44	0,6	0,72427	9,11	No
1	14	1	29	1,78	2,28	3,168	0,8	2,368	0,62	0,75	1	1	1	13	5	1,2	21	0,2295	0,3	9,8	0,8269	0,02201	6,5	1,44	0,6	0,708349	10,65	No
1	15	1	26	1,78	2,28	3,396	0,9	2,496	0,6	0,75	1	1	1	12	5	1,2	19	0,2025	0,3	9,8	0,8002	0,02166	6,5	1,44	0,6	0,693589	9,35	No
1	16	1	25	1,78	2,28	3,624	1	2,624	0,58	0,75	1	1	1	11	5	1,2	18	0,1912	0,3	9,8	0,7735	0,02126	6,5	1,44	0,6	0,679852	8,82	No
1	17	1	52	1,84	2,34	3,858	1,1	2,758	0,56	0,75	1	1	1	22	5	1,2	31	0,5599	0,3	9,8	0,7468	0,02079	6,5	1,44	0,6	0,666442	25,89	No
1	18	1	37	1,84	2,34	4,092	1,2	2,892	0,54	0,75	1	1	1	15	4,88	1,18	22	0,249	0,3	9,8	0,7201	0,02027	6,5	1,44	0,6	0,653914	11,58	No
1	19	1	38	1,84	2,34	4,326	1,3	3,0	0,52	0,75	1	1	1	15	4,88	1,18	22	0,2476	0,3	9,8	0,6934	0,01972	6,5	1,44	0,6	0,642174	11,62	No
1	20	1	45	1,84	2,34	4,56	1,4	3,16	0,5	0,75	1	1	1	17	5	1,2	25	0,3007	0,3	9,8	0,6667	0,01914	6,5	1,44	0,6	0,631139	14,30	No

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm2	μ	σ_{vo}' Kg/cm2	C _n	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60cs}	CRR _{7,5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K σ	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	17	1,6	2,1	0,21	0	0,21	1,56028	0,75	1	0,75	1	15	3,61467	1,07944	20	0,21196	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,86686	28,70	No
1	1	0	14	1,72	2,22	0,222	0	0,222	1,54712	0,75	1	0,75	1	12	5	1,2	20	0,21074	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,82582	27,90	No
1	1,5	0	11	1,72	2,22	0,432	0	0,432	1,34804	0,75	1	0,75	1	8	5	1,2	15	0,16015	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,39896	16,25	No
1	2	0	5	1,72	2,22	0,444	0	0,444	1,3382	0,75	1	0,75	1	4	5	1,2	10	0,10888	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,38372	10,93	No
1	2,5	0	17	1,72	2,22	0,654	0	0,654	1,18662	0,75	1	0,75	1	11	0,12033	1,00852	12	0,12717	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,18514	10,93	No
1	3	0	4	1,72	2,22	0,666	0	0,666	1,17899	0,75	1	0,75	1	3	0,12033	1,00852	3	0,05715	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,17655	4,88	No
1	4	0	4	1,72	2,22	0,888	0	0,888	1,05364	0,75	1	0,8	1	3	0,12033	1,00852	3	0,05643	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	1,04866	4,29	No
1	5	0	6	1,78	2,28	1,116	0	1,116	0,94991	0,75	1	0,85	1	4	1,88842	1,03687	6	0,07702	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	0,95705	5,35	No
1	6	0	23	1,78	2,28	1,344	0	1,344	0,86478	0,75	1	0,85	1	13	1,88842	1,03687	15	0,16042	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	0,88846	10,34	No
1	7	0	17	1,78	2,28	1,572	0	1,572	0,79365	0,75	1	0,95	1	10	3,23355	1,06637	13	0,14518	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	0,83449	8,79	No
1	8	0	17	1,78	2,28	1,8	0	1,8	0,73333	0,75	1	0,95	1	9	3,23355	1,06637	13	0,13776	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44192	0,6	0,79048	7,90	No
1	9	1	22	1,78	2,28	2,028	0,1	1,928	0,70332	0,75	1	0,95	1	11	3,23355	1,06637	15	0,15996	0,3	9,8	0,999	0,02091	6,5	1,44192	0,6	0,76905	8,48	No
1	10	1	17	1,78	2,28	2,256	0,2	2,056	0,67568	0,75	1	0,95	1	8	4,70624	1,15432	14	0,15166	0,3	9,8	1,147	0,02505	6,5	1,44192	0,6	0,74953	6,54	No

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm2	μ	σ_{vo}' Kg/cm2	C _n	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60cs}	CRR _{7,5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K σ	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	30	1,62	2,12	0,212	0	0,212	1,56	0,75	1	0,75	1	26	3,61	1,08	32	0,7314	0,3	9,8	0,9996	0,01989	6,5	1,44	0,6	1,859797	98,60	No
1	1	0	35	1,66	2,16	0,216	0	0,216	1,55	0,75	1	0,75	1	31	5	1,2	42	0,1744	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44	0,6	1,845944	2,00	No
1	1,5	0	15	1,48	1,98	0,41	0	0,41	1,37	0,75	1	0,75	1	12	5	1,2	19	0,2014	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44	0,6	1,42852	20,87	No
1	2	0	24	1,75	2,25	0,441	0	0,441	1,34	0,75	1	0,75	1	18	4,64	1,15	25	0,2996	0,3	9,8	0,998	0,01987	6,5	1,44	0,6	1,387473	30,17	No
1	2,5	0	55	2,05	2,55	0,665	0	0,665	1,18	0,75	1	0,75	1	36	4,64	1,15	46	0,2592	0,3	9,8	0,998	0,01986	6,5	1,44	0,6	1,177257	2,00	No
1	3	0	50	1,95	2,45	0,686	0	0,686	1,17	0,75	1	0,75	1	33	4,88	1,18	44	0,2137	0,3	9,8	0,998	0,01985	6,5	1,44	0,6	1,162707	2,00	No
1	4	0	33	1,65	2,15	0,901	0	0,901	1,05	0,75	1	0,8	1	21	5	1,2	30	0,4594	0,3	9,8	0,997	0,01984	6,5	1,44	0,6	1,042582	34,82	No
1	5	0	18	1,53	2,03	1,104	0	1,104	0,95	0,75	1	0,85	1	11	5	1,2	18	0,1935	0,3	9,8	0,996	0,01982	6,5	1,44	0,6	0,961197	13,53	No
1	6	0	47	2	2,5	1,354	0	1,354	0,86	0,75	1	0,85	1	26	2,2	1,04	29	0,4155	0,3	9,8	0,995	0,01981	6,5	1,44	0,6	0,885834	26,79	No
1	7	0	38	1,91	2,41	1,595	0	1,595	0,79	0,75	1	0,95	1	21	2,2	1,04	24	0,2809	0,3	9,8	0,995	0,01979	6,5	1,44	0,6	0,829652	16,98	No
1	8	0	16	1,48	1,98	1,793	0	1,793	0,74	0,75	1	0,95	1	8	5	1,2	15	0,1606	0,3	9,8	0,994	0,01978	6,5	1,44	0,6	0,791713	9,27	No
1	9	1	16	1,48	1,98	1,991	0,1	1,891	0,71	0,75	1	0,95	1	8	5	1,2	15	0,1574	0,3	9,8	0,993	0,02081	6,5	1,44	0,6	0,775039	8,46	No
1	10	1	20	1,54	2,04	2,195	0,2	1,995	0,69	0,75	1	0,95	1	10	5	1,2	17	0,1784	0,3	9,8	0,992	0,02173	6,5	1,44	0,6	0,758617	8,98	No
1	11	1	37	1,9	2,4	2,435	0,3	2,135	0,66	0,75	1	1	1	18	4,98	1,2	27	0,3354	0,3	9,8	0,907	0,02058	6,5	1,44	0,6	0,738314	17,34	No
1	12	1	58	2,1	2,6	2,695	0,4	2,295	0,63	0,75	1	1	1	27	3,43	1,07	33	1,0786	0,3	9,8	0,880	0,02057	6,5	1,44	0,6	0,717277	54,23	No
1	13	1	60	2,09	2,59	2,954	0,5	2,454	0,6	0,75	1	1	1	27	3,43	1,07	33	0,9029	0,3	9,8	0,854	0,02045	6,5	1,44	0,6	0,698313	44,47	No

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm ²	μ	σ'_{vo} Kg/cm ²	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60CS}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K σ	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	1	1,6	2,1	0,21	0	0,21	1,56028	0,75	1	0,75	1	1	3,61467	1,07944	5	0,06885	0,3	9,8	0,9996	0,01989	7,5	0,99964	0,6	1,86686	6,46	No
1	1	0	1	1,6	2,1	0,21	0	0,21	1,56028	0,75	1	0,75	1	1	2,20475	1,04238	3	0,0591	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,86686	5,55	No
1	1,5	0	29	1,6	2,1	0,42	0	0,42	1,35802	0,75	1	0,75	1	22	5	1,2	32	0,64313	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,41482	45,76	No
1	2	0	27	1,6	2,1	0,42	0	0,42	1,35802	0,75	1	0,75	1	21	5	1,2	30	0,45109	0,3	9,8	0,998	0,01987	7,5	0,99964	0,6	1,41482	32,11	No
1	2,5	0	30	1,75	2,25	0,645	0	0,645	1,19241	0,75	1	0,75	1	20	5	1,2	29	0,41737	0,3	9,8	0,998	0,01986	7,5	0,99964	0,6	1,19173	25,04	No
1	3	0	34	1,75	2,25	0,645	0	0,645	1,19241	0,75	1	0,75	1	23	5	1,2	32	0,84706	0,3	9,8	0,998	0,01985	7,5	0,99964	0,6	1,19173	50,83	No
1	4	0	41	1,75	2,25	0,87	0	0,87	1,0628	0,75	1	0,8	1	26	3,01187	1,06009	31	0,52863	0,3	9,8	0,997	0,01984	7,5	0,99964	0,6	1,05729	28,17	No
1	5	0	18	1,75	2,25	1,095	0	1,095	0,95861	0,75	1	0,85	1	11	5	1,2	18	0,19408	0,3	9,8	0,996	0,01982	7,5	0,99964	0,6	0,96435	9,44	No
1	6	0	5	0,9	1,4	1,235	0	1,235	0,90349	0,75	1	0,85	1	3	5	1,2	8	0,09976	0,3	9,8	0,995	0,01981	7,5	0,99964	0,6	0,91904	4,63	No
1	7	0	8	0,9	1,4	1,375	0	1,375	0,85437	0,75	1	0,95	1	5	5	1,2	11	0,12063	0,3	9,8	0,995	0,01979	7,5	0,99964	0,6	0,8804	5,36	No
1	8	0	9	1,78	2,28	1,603	0	1,603	0,78487	0,75	1	0,95	1	5	5	1,2	11	0,1224	0,3	9,8	0,994	0,01978	7,5	0,99964	0,6	0,82799	5,12	No
1	9	0	28	1,78	2,28	1,831	0	1,831	0,72583	0,75	1	0,95	1	14	5	1,2	22	0,24748	0,3	9,8	0,993	0,01976	7,5	0,99964	0,6	0,7851	9,83	No
1	10	0	16	1,78	2,28	2,059	0	2,059	0,67505	0,75	1	0,95	1	8	5	1,2	14	0,15246	0,3	9,8	0,992	0,01975	7,5	0,99964	0,6	0,7491	5,78	No
1	11	0	17	1,78	2,28	2,287	0	2,287	0,63091	0,75	1	1	1	8	5	1,2	15	0,15659	0,3	9,8	0,907	0,01805	7,5	0,99964	0,6	0,71828	6,23	No
1	12	0	29	1,78	2,28	2,515	0	2,515	0,59219	0,75	1	1	1	13	5	1,2	20	0,22117	0,3	9,8	0,880	0,01752	7,5	0,99964	0,6	0,69149	8,73	No
1	13	0	80	1,78	2,28	2,743	0	2,743	0,55795	0,75	1	1	1	33	4,63705	1,14617	43	0,20278	0,3	9,8	0,854	0,01698	7,5	0,99964	0,6	0,6679	2,00	No
1	14	0	80	1,7	2,2	2,963	0	2,963	0,52847	0,75	1	1	1	32	4,63705	1,14617	41	0,15552	0,3	9,8	0,827	0,01645	7,5	0,99964	0,6	0,6476	2,00	No
1	15	0	80	1,7	2,2	3,183	0	3,183	0,50194	0,75	1	1	1	30	4,63705	1,14617	39	0,09134	0,3	9,8	0,800	0,01592	7,5	0,99964	0,6	0,62931	2,00	No

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm ²	μ	σ'_{vo} Kg/cm ²	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60CS}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K σ	Fs	Licuable Si/No
1	0,5	0	1	1,3	1,8	0,18	0	0,18	1,59	0,75	1	0,75	1	1	5	1,2	6	0,0803	0,3	9,8	0,9996	0,01989	6,5	1,44	0,6	1,985596	11,56	No
1	1	0	32	1,62	2,12	0,212	0	0,212	1,56	0,75	1	0,75	1	28	5	1,2	39	0,0667	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44	0,6	1,859797	9,00	No
1	1,5	0	24	1,58	2,08	0,388	0	0,388	1,39	0,75	1	0,75	1	19	4,93	1,19	27	0,3427	0,3	9,8	0,999	0,01988	6,5	1,44	0,6	1,460385	36,31	No
1	2	0	25	1,68	2,18	0,43	0	0,43	1,35	0,75	1	0,75	1	19	2,5	1,05	22	0,2477	0,3	9,8	0,998	0,01987	6,5	1,44	0,6	1,401563	25,20	No
1	2,5	0	21	1,54	2,04	0,592	0	0,592	1,23	0,75	1	0,75	1	15	5	1,2	22	0,2479	0,3	9,8	0,998	0,01986	6,5	1,44	0,6	1,233307	22,19	No
1	3	0	46	1,99	2,49	0,679	0	0,679	1,17	0,75	1	0,75	1	30	5	1,2	41	0,1656	0,3	9,8	0,998	0,01985	6,5	1,44	0,6	1,167487	2,00	No
1	4	0	57	2,09	2,59	0,938	0	0,938	1,03	0,75	1	0,8	1	35	4,29	1,12	44	0,2127	0,3	9,8	0,997	0,01984	6,5	1,44	0,6	1,025933	2,00	No
1	5	0	40	1,99	2,49	1,187	0	1,187	0,92	0,75	1	0,85	1	24	4,29	1,12	30	0,5065	0,3	9,8	0,996	0,01982	6,5	1,44	0,6	0,933727	34,40	No
1	6	0	30	1,82	2,32	1,419	0	1,419	0,84	0,75	1	0,85	1	16	0,56	1,02	17	0,1797	0,3	9,8	0,995	0,01981	6,5	1,44	0,6	0,869375	11,37	No
1	7	0	23	1,73	2,23	1,642	0	1,642	0,77	0,75	1	0,95	1	13	4,93	1,19	20	0,2155	0,3	9,8	0,995	0,01979	6,5	1,44	0,6	0,82007	12,87	No
1	8	0	30	1,62	2,12	1,854	0	1,854	0,72	0,75	1	0,95	1	15	5	1,2	23	0,2646	0,3	9,8	0,994	0,01978	6,5	1,44	0,6	0,781189	15,07	No
1	9	1	21	1,7	2,2	2,074	0,1	1,974	0,69	0,75	1	0,95	1	10	5	1,2	17	0,1857	0,3	9,8	0,993	0,02076	6,5	1,44	0,6	0,761835	9,82	No
1	10	1	23	1,73	2,23	2,297	0,2	2,097	0,67	0,75	1	0,95	1	11	5	1,2	18	0,1932	0,3	9,8	0,992	0,02163	6,5	1,44	0,6	0,743636	9,58	No
1	11	1	45	1,72	2,22	2,519	0,3	2,219	0,64	0,75	1	1	1	22	5	1,2	31	0,5656	0,3	9,8	0,907	0,02049	6,5	1,44	0,6	0,727004	28,94	No
1	12	1	50	1,75	2,25	2,744	0,4	2,344	0,62	0,75	1	1	1	23	5	1,2	33	1,1779	0,3	9,8	0,880	0,02051	6,5	1,44	0,6	0,711241	58,91	No
1	13	1	44	1,71	2,21	2,965	0,5	2,465	0,6	0,75	1	1	1	20	5	1,2	29	0,3998	0,3	9,8	0,854	0,02043	6,5	1,44	0,6	0,697065	19,67	No
1	14	1	55	1,77	2,27	3,192	0,6	2,592	0,58	0,75	1	1	1	24	5	1,2	34	3,7957	0,3	9,8	0,827	0,02026	6,5	1,44	0,6	0,683197	184,54	No
1	15	1	55	1,78	2,28	3,42	0,7	2,72	0,56	0,75	1	1	1	23	5	1,2	33	1,0583	0,3	9,8	0,800	0,02002	6,5	1,44	0,6	0,670151	51,08	No

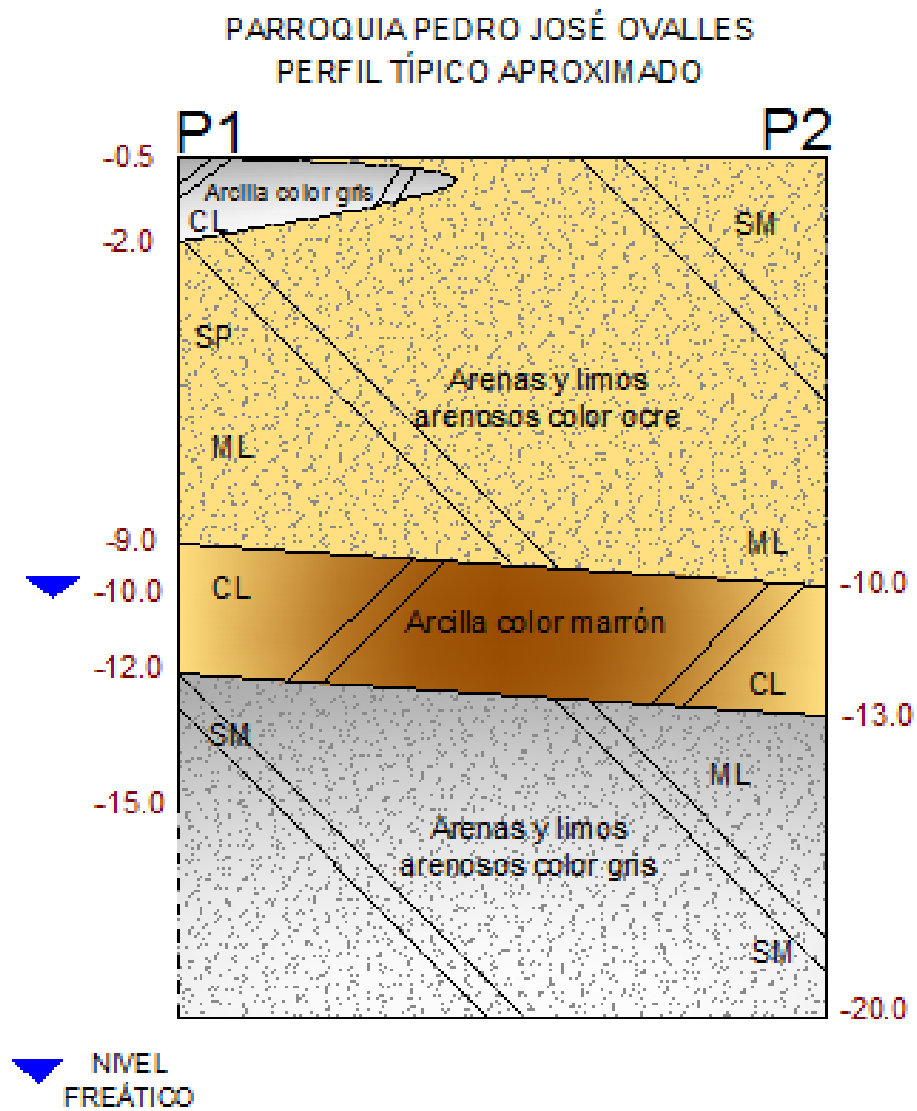
Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm ²	μ	σ'_{vo} Kg/cm ²	C _n	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{loc3}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K _G	F _s	Licuable Si/No
1	0,5	0	17	1,6	2,1	0,21	0	0,21	1,56028	0,75	1	0,75	1	15	3,61467	1,07944	20	0,21196	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,86686	19,89	No
1	1	0	95	1,89	2,39	0,239	0	0,239	1,52884	0,75	1	0,75	1	82	5	1,2	103	0,74379	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,77272	2,00	No
1	1,5	0	65	2,12	2,62	0,472	0	0,472	1,31579	0,75	1	0,75	1	48	5	1,2	63	0,42497	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,35028	2,00	No
1	2	0	36	1,89	2,39	0,478	0	0,478	1,31108	0,75	1	0,75	1	27	3,77787	1,08623	33	0,95993	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,34347	64,84	No
1	2,5	0	42	1,71	2,21	0,693	0	0,693	1,16218	0,75	1	0,75	1	27	3,77787	1,08623	34	2,75662	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,158	160,49	No
1	3	0	54	1,75	2,25	0,703	0	0,703	1,15607	0,75	1	0,75	1	35	5	1,2	47	0,26825	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,15138	2,00	No
1	4	0	80	1,75	2,25	0,928	0	0,928	1,03383	0,75	1	0,8	1	50	5	1,2	65	0,44051	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,03034	2,00	No
1	5	0	33	1,65	2,15	1,143	0	1,143	0,93897	0,75	1	0,85	1	20	5	1,2	29	0,39691	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	0,94794	18,92	No
1	6	0	39	1,93	2,43	1,386	0	1,386	0,85073	0,75	1	0,85	1	21	5	1,2	30	0,49683	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	0,8776	21,92	No
1	7	0	41	1,94	2,44	1,63	0	1,63	0,77739	0,75	1	0,95	1	23	5	1,2	32	0,8061	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	0,82248	33,33	No
1	8	0	45	1,98	2,48	1,878	0	1,878	0,71475	0,75	1	0,95	1	23	5	1,2	33	0,90277	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	0,77718	35,28	No
1	9	0	25	1,66	2,16	2,094	0	2,094	0,66788	0,75	1	0,95	1	12	5	1,2	19	0,20659	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	0,74406	7,73	No
1	10	1	26	1,67	2,17	2,311	0,1	2,211	0,64497	0,75	1	0,95	1	12	5	1,2	19	0,20732	0,3	9,8	1,147	0,02386	7,5	0,99964	0,6	0,72806	6,32	No
1	11	1	45	1,72	2,22	2,533	0,2	2,333	0,6227	0,75	1	1	1	21	5	1,2	30	0,48377	0,3	9,8	1,147	0,02479	7,5	0,99964	0,6	0,71258	13,90	No
1	12	1	63	1,75	2,25	2,758	0,3	2,458	0,60142	0,75	1	1	1	28	5	1,2	39	0,08884	0,3	9,8	1,147	0,02562	7,5	0,99964	0,6	0,69786	2,42	No
1	13	1	65	1,75	2,25	2,983	0,4	2,583	0,58155	0,75	1	1	1	28	5	1,2	39	0,08513	0,3	9,8	1,147	0,02636	7,5	0,99964	0,6	0,68415	2,21	No
1	14	1	55	2,09	2,59	3,242	0,5	2,742	0,55809	0,75	1	1	1	23	5	1,2	33	0,96461	0,3	9,8	1,147	0,02699	7,5	0,99964	0,6	0,66799	23,86	No
1	15	1	85	2,21	2,71	3,513	0,6	2,913	0,53489	0,75	1	1	1	34	5	1,2	46	0,25144	0,3	9,8	1,147	0,02753	7,5	0,99964	0,6	0,65202	2,00	No

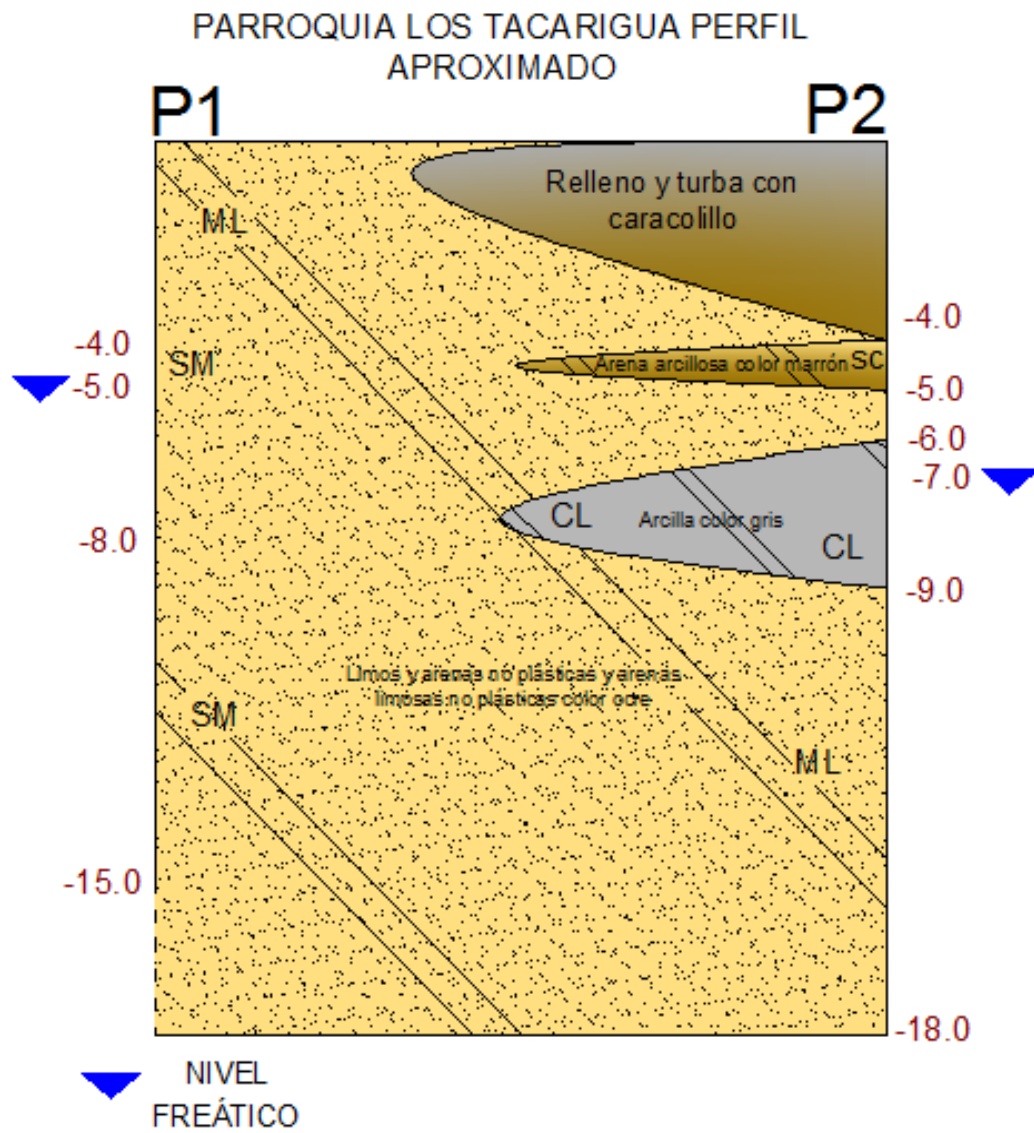
Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm ²	μ	σ'_{vo} Kg/cm ²	C _n	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{loc3}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K _G	F _s	Licuable Si/No
1	0,5	0	4	1,3	1,8	0,18	0	0,18	1,5942	0,75	1	0,75	1	4	3,61467	1,07944	7	0,09165	0,3	9,8	0,9996	0,01989	7,5	0,99964	0,6	1,9856	9,15	No
1	1	0	16	1,48	1,98	0,198	0	0,198	1,57368	0,75	1	0,75	1	14	5	1,2	22	0,24195	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,91132	23,25	No
1	1,5	0	13	1,55	2,05	0,385	0	0,385	1,38801	0,75	1	0,75	1	10	5	1,2	17	0,18277	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,46493	13,47	No
1	2	0	24	1,75	2,25	0,423	0	0,423	1,35551	0,75	1	0,75	1	18	4,17928	1,10758	24	0,28137	0,3	9,8	0,998	0,01987	7,5	0,99964	0,6	1,41079	19,97	No
1	2,5	0	37	1,91	2,41	0,626	0	0,626	1,20482	0,75	1	0,75	1	25	4,17928	1,10758	32	0,72036	0,3	9,8	0,998	0,01986	7,5	0,99964	0,6	1,20606	43,73	No
1	3	0	16	1,63	2,13	0,636	0	0,636	1,19826	0,75	1	0,75	1	11	4,17928	1,10758	16	0,17155	0,3	9,8	0,998	0,01985	7,5	0,99964	0,6	1,19844	10,35	No
1	4	0	18	1,66	2,16	0,852	0	0,852	1,07212	0,75	1	0,8	1	12	4,17928	1,10758	17	0,18087	0,3	9,8	0,997	0,01984	7,5	0,99964	0,6	1,06616	9,72	No
1	5	0	22	1,56	2,06	1,058	0	1,058	0,97431	0,75	1	0,85	1	14	5	1,2	21	0,2336	0,3	9,8	0,996	0,01982	7,5	0,99964	0,6	0,9777	11,52	No
1	6	0	35	1,89	2,39	1,297	0	1,297	0,88106	0,75	1	0,85	1	20	4,8281	1,17102	28	0,36433	0,3	9,8	0,995	0,01981	7,5	0,99964	0,6	0,90121	16,57	No
1	7	0	20	1,54	2,04	1,501	0	1,501	0,81451	0,75	1	0,95	1	12	5	1,2	19	0,20247	0,3	9,8	0,995	0,01979	7,5	0,99964	0,6	0,85006	8,69	No
1	8	0	14	1,47	1,97	1,698	0	1,698	0,75914	0,75	1	0,95	1	8	5	1,2	14	0,15101	0,3	9,8	0,994	0,01978	7,5	0,99964	0,6	0,80914	6,18	No
1	9	0	37	1,67	2,17	1,915	0	1,915	0,70626	0,75	1	0,95	1	19	5	1,2	27	0,34824	0,3	9,8	0,993	0,01976	7,5	0,99964	0,6	0,77114	13,58	No
1	10	0	35	1,67	2,17	2,132	0	2,132	0,66026	0,75	1	0,95	1	16	5	1,2	25	0,28719	0,3	9,8	0,992	0,01975	7,5	0,99964	0,6	0,73873	10,74	No
1	11	0	27	1,8	2,3	2,362	0	2,362	0,61763	0,75	1	1	1	13	5	1,2	20	0,21551	0,3	9,8	0,907	0,01805	7,5	0,99964	0,6	0,70907	8,46	No
1	12	1	10	1,5	2	2,562	0,1	2,462	0,60076	0,75	1	1	1	5	5	1,2	10	0,11672	0,3	9,8	0,880	0,01823	7,5	0,99964	0,6	0,6974	4,46	No
1	13	1	7	1,45	1,95	2,757	0,2	2,557	0,58557	0,75	1	1	1	3	5	1,2	9	0,10175	0,3	9,8	0,854	0,01831	7,5	0,99964	0,6	0,68892	3,82	No
1	14	1	50	1,8	2,3	2,987	0,3	2,687	0,56599	0,75	1	1	1	21	5	1,2	30	0,50436	0,3	9,8	0,827	0,01829	7,5	0,99964	0,6	0,67343	18,56	No
1	15	1	31	1,7	2,2	3,207	0,4	2,807	0,54904	0,75	1	1	1	13	5	1,2	20	0,21941	0,3	9,8	0,800	0,01819	7,5	0,99964	0,6	0,66176	7,98	No

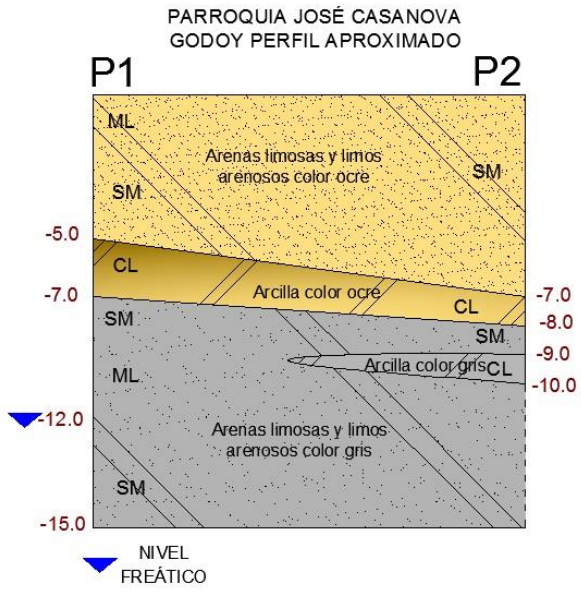
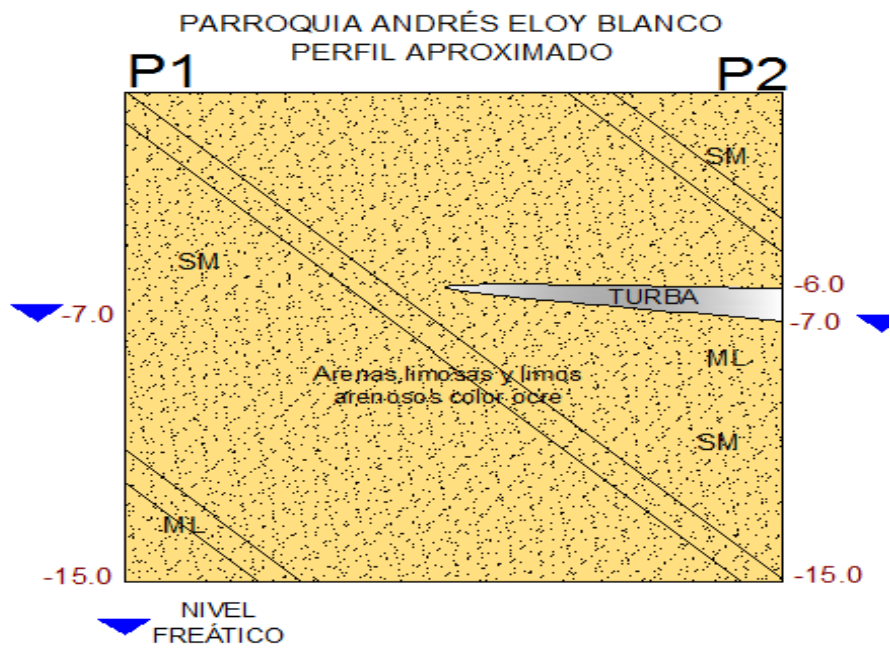
Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm ²	μ	σ_{vo}' Kg/cm ²	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60CS}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K _σ	F _s	Licuable Si/No
1	0,5	0	14	1,65	2,15	0,215	0	0,215	1,55477	0,75	1	0,75	1	12	5	1,2	20	0,21162	0,3	9,8	0,9996	0,01989	7,5	0,99964	0,6	1,84937	19,67	No
1	1	0	9	1,65	2,15	0,215	0	0,215	1,55477	0,75	1	0,75	1	8	5	1,2	14	0,15453	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,84937	14,37	No
1	1,5	0	6	1,65	2,15	0,43	0	0,43	1,34969	0,75	1	0,75	1	5	5	1,2	10	0,11725	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,40156	8,27	No
1	2	0	10	1,65	2,15	0,43	0	0,43	1,34969	0,75	1	0,75	1	8	5	1,2	14	0,15124	0,3	9,8	0,998	0,01987	7,5	0,99964	0,6	1,40156	10,67	No
1	2,5	0	10	1,7	2,2	0,65	0	0,65	1,18919	0,75	1	0,75	1	7	5	1,2	13	0,1408	0,3	9,8	0,998	0,01986	7,5	0,99964	0,6	1,18805	8,42	No
1	3	0	10	1,7	2,2	0,65	0	0,65	1,18919	0,75	1	0,75	1	7	5	1,2	13	0,1408	0,3	9,8	0,998	0,01985	7,5	0,99964	0,6	1,18805	8,42	No
1	4	0	22	1,7	2,2	0,87	0	0,87	1,0628	0,75	1	0,8	1	14	5	1,2	22	0,23966	0,3	9,8	0,997	0,01984	7,5	0,99964	0,6	1,05729	12,77	No
1	5	1	27	1,6	2,1	1,08	0,1	0,98	1,00917	0,75	1	0,85	1	17	5	1,2	26	0,3096	0,3	9,8	0,996	0,02184	7,5	0,99964	0,6	1,00811	14,28	No
1	6	1	18	1,6	2,1	1,29	0,2	1,09	0,9607	0,75	1	0,85	1	11	4,93148	1,18825	18	0,19217	0,3	9,8	0,995	0,02344	7,5	0,99964	0,6	0,96612	7,92	No
1	7	1	5	1,6	2,1	1,5	0,3	1,2	0,91667	0,75	1	0,95	1	3	5	1,2	9	0,10371	0,3	9,8	0,995	0,02474	7,5	0,99964	0,6	0,92967	3,90	No
1	8	1	6	1,6	2,1	1,71	0,4	1,31	0,87649	0,75	1	0,95	1	4	5	1,2	9	0,10871	0,3	9,8	0,994	0,02581	7,5	0,99964	0,6	0,89762	3,78	No
1	9	1	12	1,74	2,24	1,934	0,5	1,434	0,83523	0,75	1	0,95	1	7	5	1,2	14	0,14599	0,3	9,8	0,993	0,02665	7,5	0,99964	0,6	0,86573	4,74	No
1	10	1	15	1,74	2,24	2,158	0,6	1,558	0,79768	0,75	1	0,95	1	9	5	1,2	15	0,16238	0,3	9,8	0,992	0,02735	7,5	0,99964	0,6	0,83748	4,97	No
1	11	1	18	1,74	2,24	2,382	0,7	1,682	0,76336	0,75	1	1	1	10	5	1,2	17	0,18481	0,3	9,8	0,907	0,02556	7,5	0,99964	0,6	0,81221	5,87	No
1	12	1	14	1,74	2,24	2,606	0,8	1,806	0,73187	0,75	1	1	1	8	5	1,2	14	0,15233	0,3	9,8	0,880	0,02528	7,5	0,99964	0,6	0,78943	4,76	No
1	13	1	17	1,74	2,24	2,83	0,9	1,93	0,70288	0,75	1	1	1	9	5	1,2	16	0,16772	0,3	9,8	0,854	0,02491	7,5	0,99964	0,6	0,76874	5,18	No
1	14	1	22	1,74	2,24	3,054	1	2,054	0,67609	0,75	1	1	1	11	5	1,2	18	0,1962	0,3	9,8	0,827	0,02446	7,5	0,99964	0,6	0,74982	6,01	No
1	15	1	32	1,74	2,24	3,278	1,1	2,178	0,65127	0,75	1	1	1	16	4,88187	1,17957	23	0,26201	0,3	9,8	0,800	0,02396	7,5	0,99964	0,6	0,73245	8,01	No
1	16	1	18	1,74	2,24	3,502	1,2	2,302	0,62821	0,75	1	1	1	8	5	1,2	15	0,16184	0,3	9,8	0,774	0,02341	7,5	0,99964	0,6	0,7164	4,95	No
1	17	1	25	1,74	2,24	3,726	1,3	2,426	0,60673	0,75	1	1	1	11	5	1,2	19	0,19924	0,3	9,8	0,747	0,02282	7,5	0,99964	0,6	0,70153	6,12	No
1	18	1	19	1,74	2,24	3,95	1,4	2,55	0,58667	0,75	1	1	1	8	5	1,2	15	0,16038	0,3	9,8	0,720	0,0222	7,5	0,99964	0,6	0,68768	4,97	No
1	19	1	31	1,74	2,24	4,174	1,5	2,7	0,56789	0,75	1	1	1	13	5	1,2	21	0,22619	0,3	9,8	0,693	0,02154	7,5	0,99964	0,6	0,67474	7,08	No
1	20	1	23	1,74	2,24	4,398	1,6	2,798	0,55028	0,75	1	1	1	9	5	1,2	16	0,17435	0,3	9,8	0,667	0,02085	7,5	0,99964	0,6	0,66261	5,54	No

Espesor	Prof (Df) (m)	Agua	SPT (Nw)	P.U.S	PUST	σ_{vo} Kg/cm ²	μ	σ_{vo}' Kg/cm ²	Cn	C _E	C _B	CR	CS	(N1) ₆₀	α	β	(N1) _{60CS}	CRR _{7.5}	a _{max}	g	rd	CSR	M _w	M _{sf}	f	K _s	F _s	Licuable Si/No
1	0,5	0	19	1,65	2,15	0,215	0	0,215	1,55477	0,75	1	0,75	1	17	3,61467	1,07944	22	0,23571	0,3	9,8	1,000	0,01989	7,5	0,99964	0,6	1,84937	21,91	No
1	1	0	23	1,65	2,15	0,215	0	0,215	1,55477	0,75	1	0,75	1	20	5	1,2	29	0,41695	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,84937	38,77	No
1	1,5	0	12	1,65	2,15	0,43	0	0,43	1,34969	0,75	1	0,75	1	9	5	1,2	16	0,16956	0,3	9,8	0,999	0,01988	7,5	0,99964	0,6	1,40156	11,95	No
1	2	0	10	1,65	2,15	0,43	0	0,43	1,34969	0,75	1	0,75	1	8	5	1,2	14	0,15124	0,3	9,8	0,998	0,01987	7,5	0,99964	0,6	1,40156	10,67	No
1	2,5	0	9	1,7	2,2	0,65	0	0,65	1,18919	0,75	1	0,75	1	6	5	1,2	12	0,13326	0,3	9,8	0,998	0,01986	7,5	0,99964	0,6	1,18805	7,97	No
1	3	0	15	1,7	2,2	0,65	0	0,65	1,18919	0,75	1	0,75	1	10	5	1,2	17	0,18127	0,3	9,8	0,998	0,01985	7,5	0,99964	0,6	1,18805	10,84	No
1	4	0	26	1,7	2,2	0,87	0	0,87	1,0628	0,75	1	0,8	1	17	5	1,2	25	0,28983	0,3	9,8	0,997	0,01984	7,5	0,99964	0,6	1,05729	15,44	No
1	5	0	11	1,6	2,1	1,08	0	1,08	0,96491	0,75	1	0,85	1	7	4,56151	1,13816	12	0,13362	0,3	9,8	0,996	0,01982	7,5	0,99964	0,6	0,96968	6,53	No
1	6	1	9	1,6	2,1	1,29	0,1	1,19	0,9205	0,75	1	0,85	1	5	5	1,2	11	0,1251	0,3	9,8	0,995	0,02147	7,5	0,99964	0,6	0,93278	5,43	No
1	7	1	8	1,6	2,1	1,5	0,2	1,3	0,88	0,75	1	0,95	1	5	5	1,2	11	0,12221	0,3	9,8	0,995	0,02284	7,5	0,99964	0,6	0,90037	4,82	No
1	8	1	8	1,6	2,1	1,71	0,3	1,41	0,84291	0,75	1	0,95	1	5	5	1,2	11	0,11993	0,3	9,8	0,994	0,02398	7,5	0,99964	0,6	0,87159	4,36	No
1	9	1	15	1,74	2,24	1,934	0,4	1,534	0,80468	0,75	1	0,95	1	9	5	1,2	15	0,16329	0,3	9,8	0,993	0,02491	7,5	0,99964	0,6	0,84269	5,52	No
1	10	1	21	1,74	2,24	2,158	0,5	1,658	0,76977	0,75	1	0,95	1	12	5	1,2	19	0,20122	0,3	9,8	0,992	0,0257	7,5	0,99964	0,6	0,81689	6,39	No
1	11	1	22	1,74	2,24	2,382	0,6	1,782	0,73776	0,75	1	1	1	12	5	1,2	20	0,21058	0,3	9,8	0,907	0,02412	7,5	0,99964	0,6	0,79366	6,93	No
1	12	1	16	1,74	2,24	2,606	0,7	1,906	0,70831	0,75	1	1	1	8	5	1,2	15	0,16207	0,3	9,8	0,880	0,02395	7,5	0,99964	0,6	0,77259	5,23	No
1	13	1	12	1,74	2,24	2,83	0,8	2,03	0,68111	0,75	1	1	1	6	5	1,2	12	0,13449	0,3	9,8	0,854	0,02368	7,5	0,99964	0,6	0,75336	4,28	No
1	14	1	14	1,74	2,24	3,054	0,9	2,154	0,65593	0,75	1	1	1	7	5	1,2	13	0,14307	0,3	9,8	0,827	0,02333	7,5	0,99964	0,6	0,7357	4,51	No
1	15	1	20	1,74	2,24	3,278	1	2,278	0,63255	0,75	1	1	1	9	5	1,2	16	0,1743	0,3	9,8	0,800	0,02291	7,5	0,99964	0,6	0,71941	5,47	No

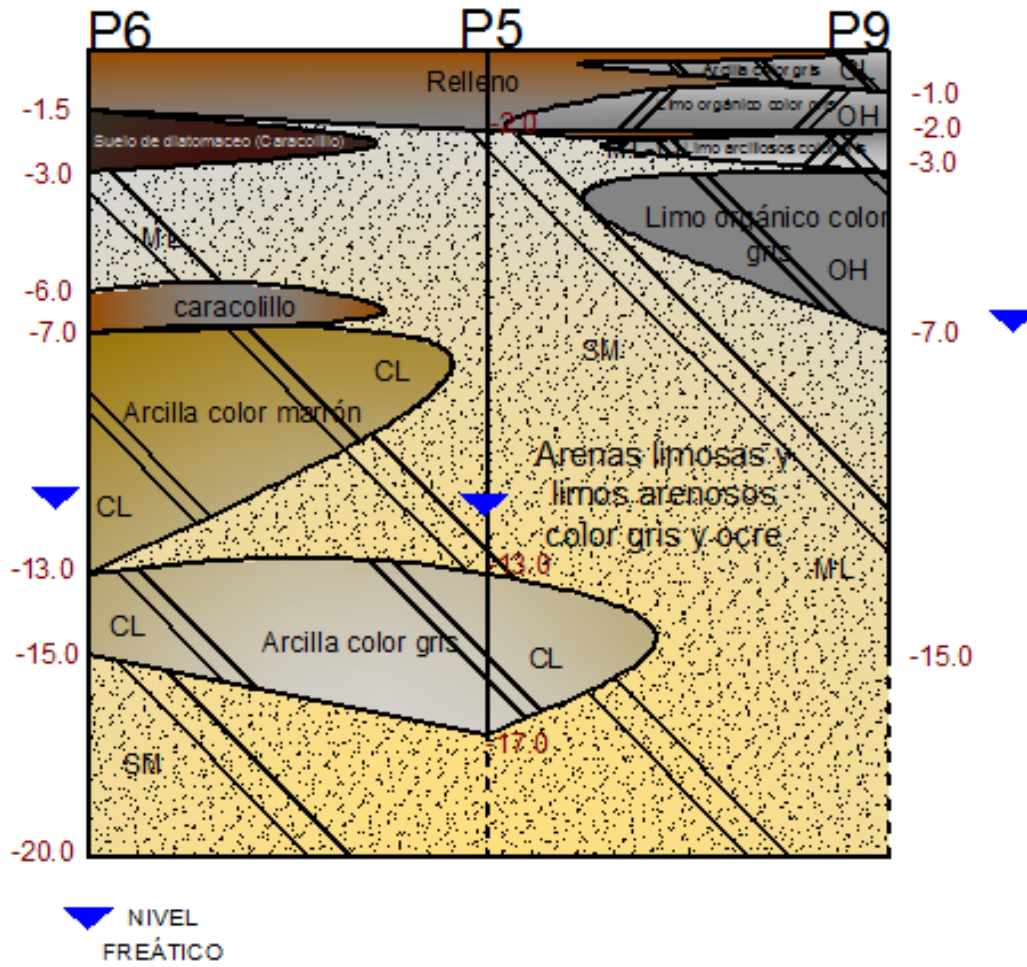
Anexo E. Perfil típico aproximado del suelo de las parroquias estudiadas



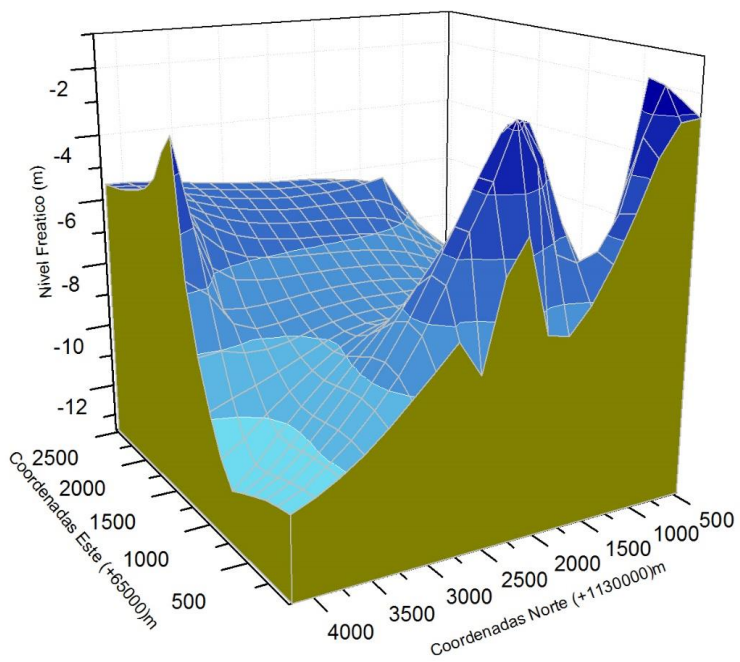
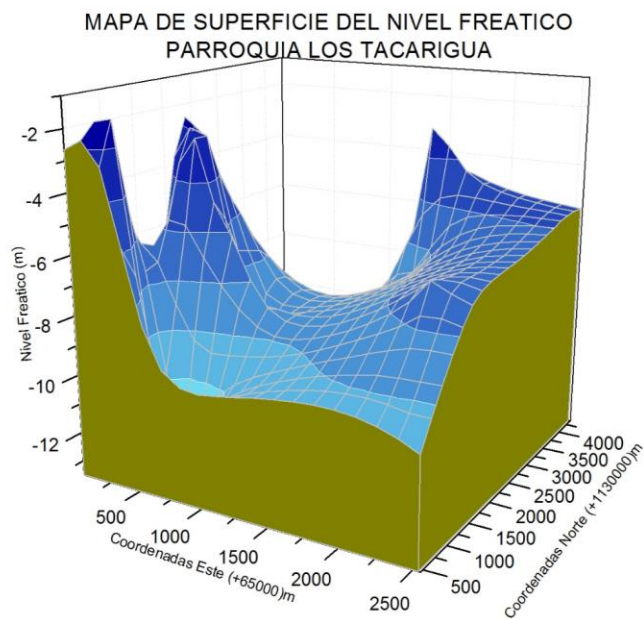




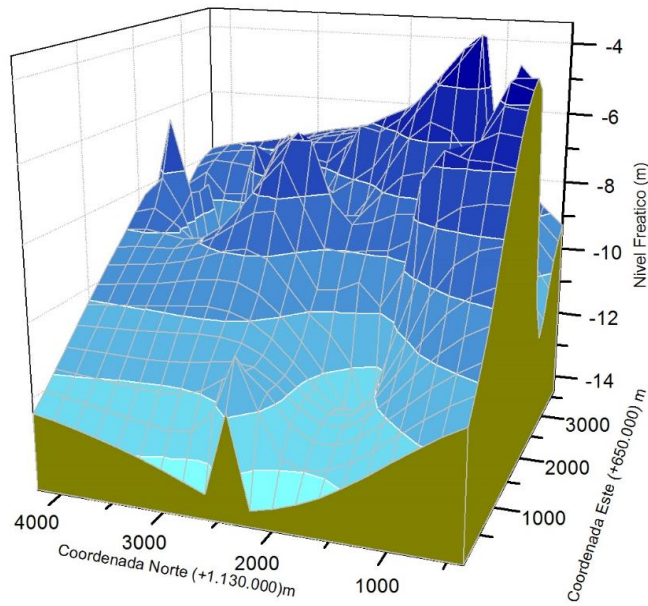
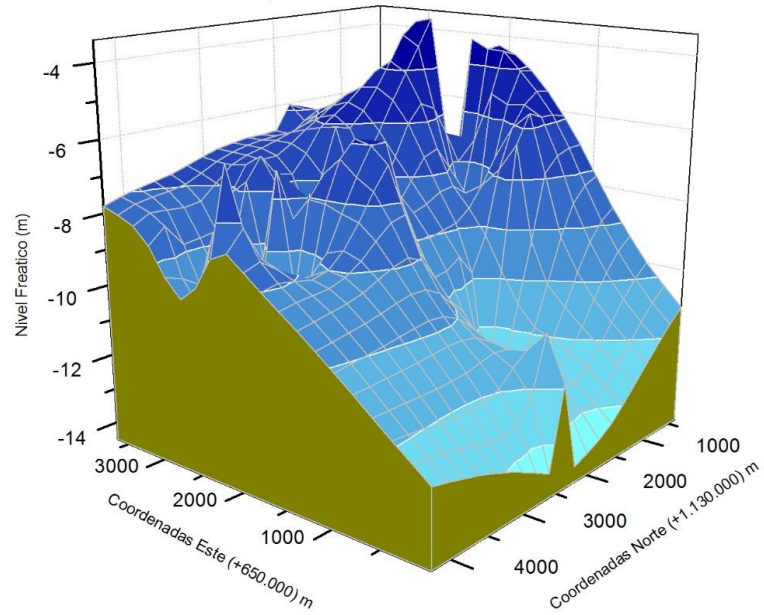
PARROQUIA ANDRÉS ELOY BLANCO
PERFIL APROXIMADO



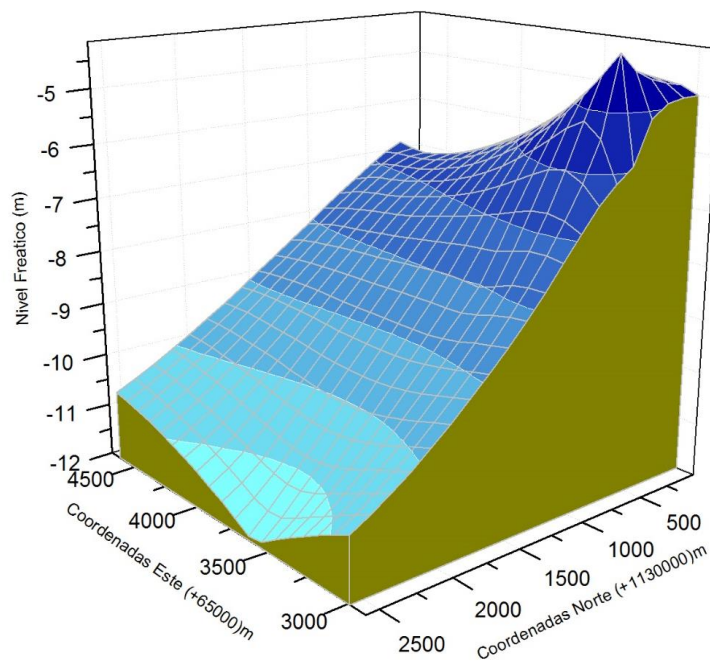
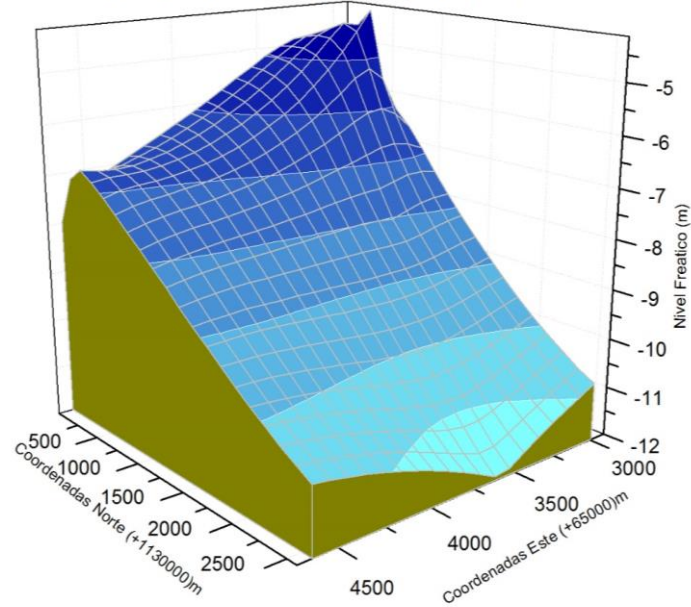
Anexo F. Mapa de superficie del nivel freático de las parroquias estudiadas



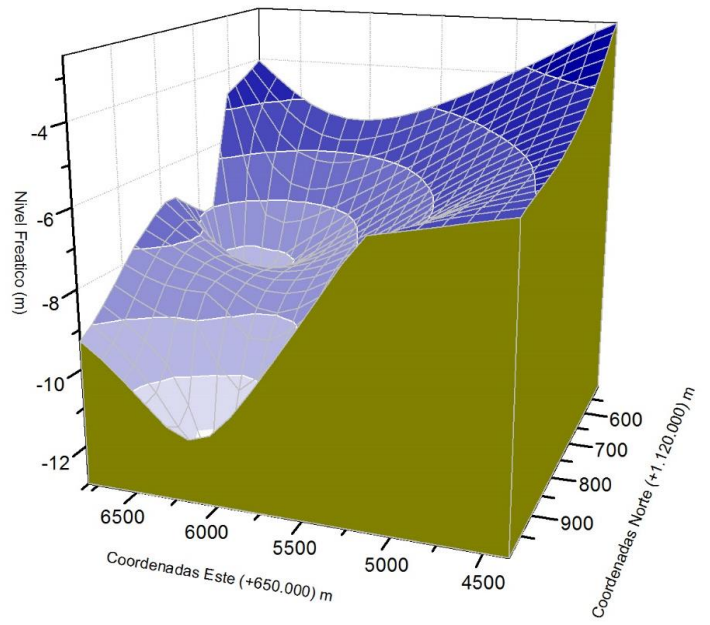
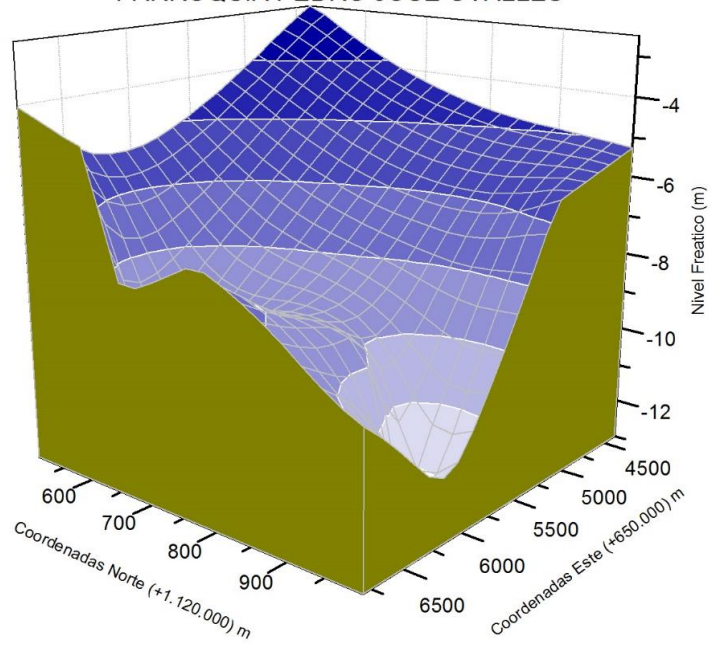
MAPA DE SUPERFICIE DEL NIVEL FREATICO
PARROQUIA ANDRES ELOY BLANCO



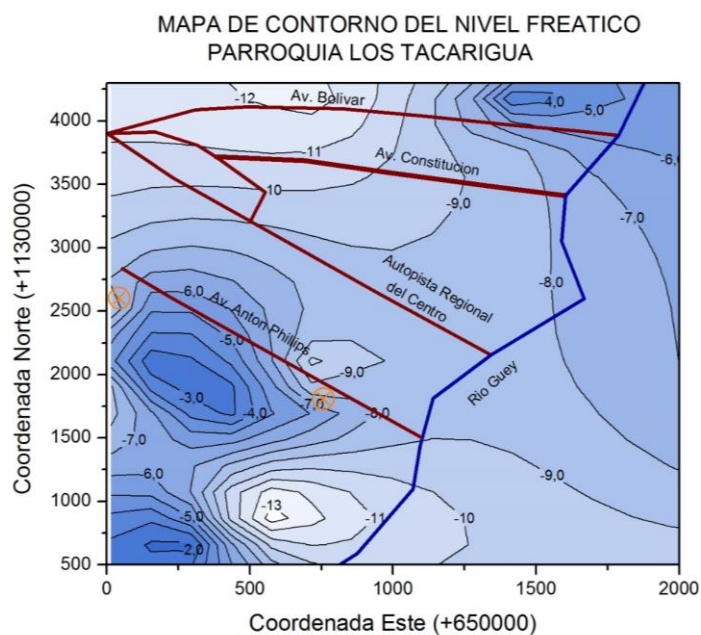
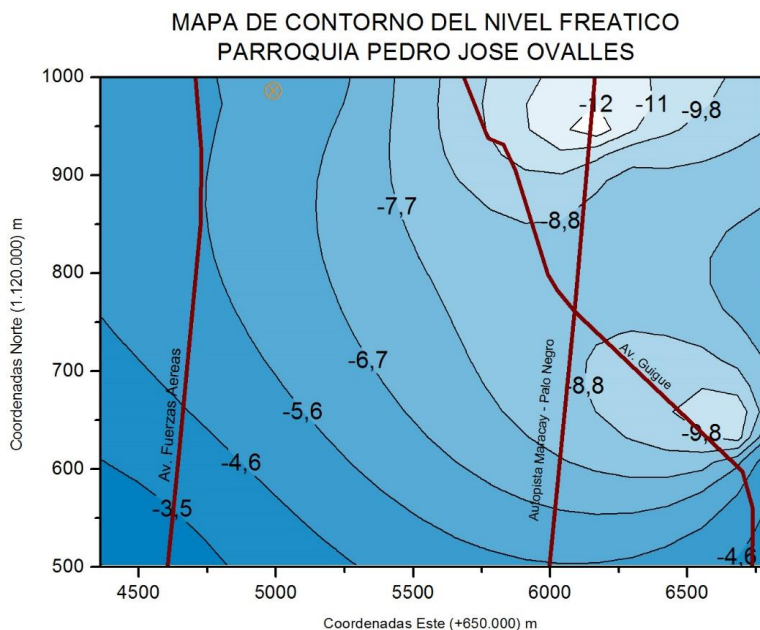
MAPA DE SUPERFICIE DEL NIVEL FREATICO
PARROQUIA JOSE CASANOVA GODOY



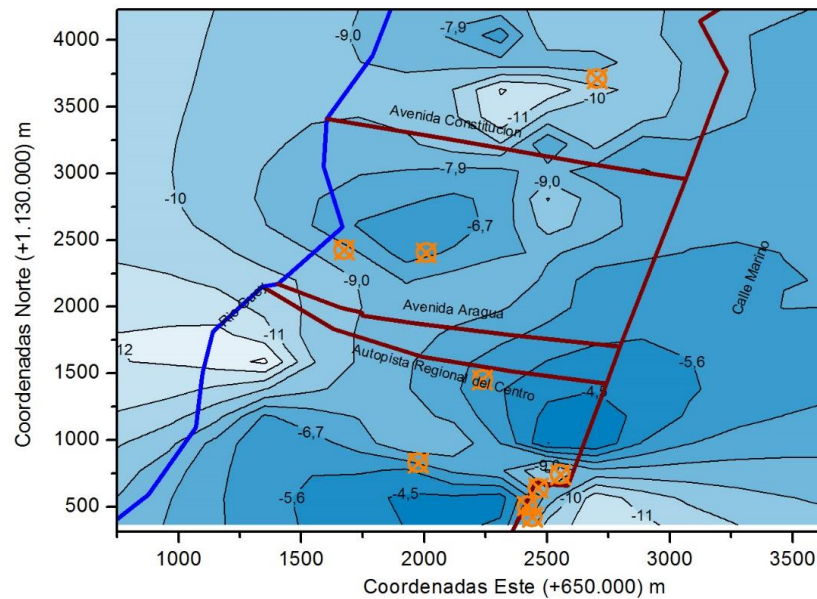
MAPA DE SUPERFICIE DEL NIVEL FREATICO
PARROQUIA PEDRO JOSE OVALLES



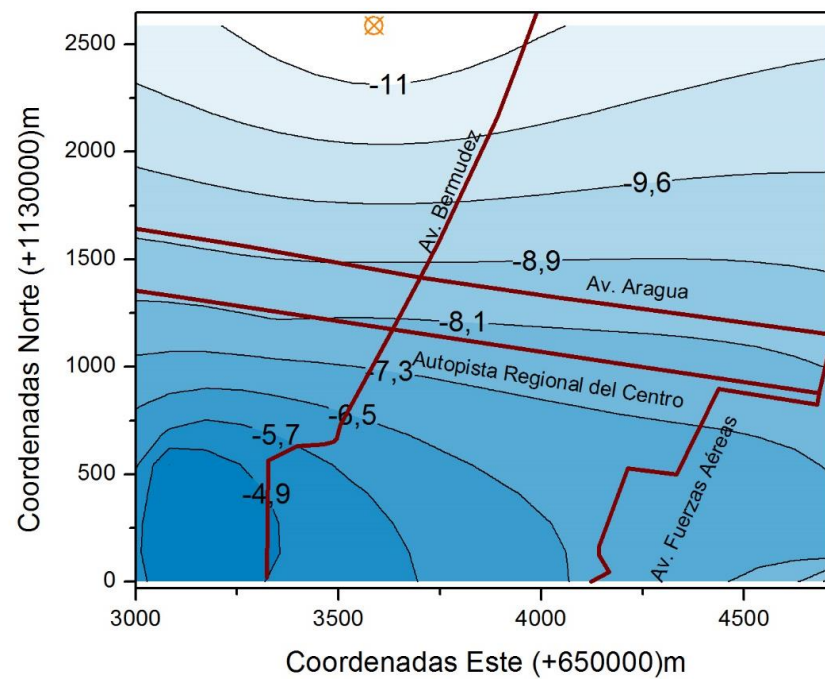
Anexo G. Mapas de contorno del nivel freático de las parroquias estudiadas



MAPA DE CONTORNO DEL NIVEL FREATICO
PARROQUIA ANDRES ELOY BLANCO

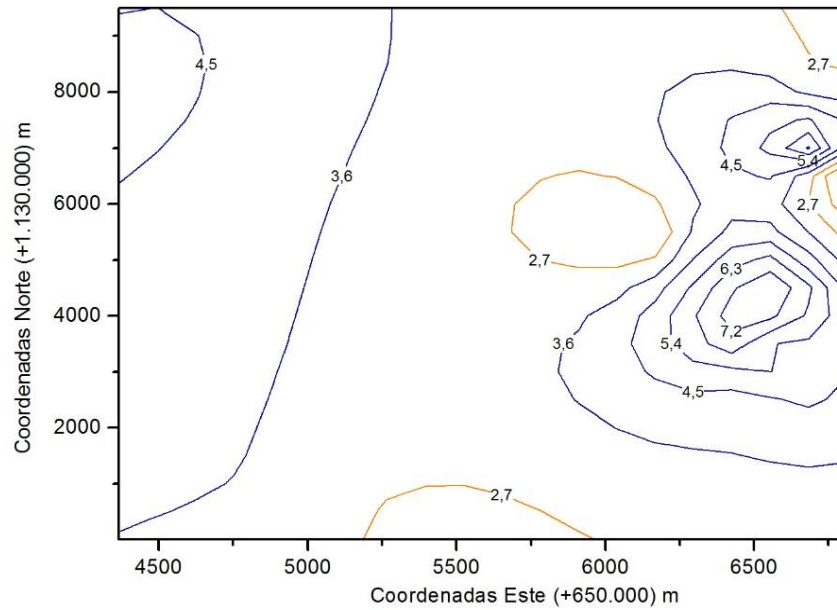


MAPA DE CONTORNO DEL NIVEL FREATICO
PARROQUIA JOSE CASANOVA GODOY

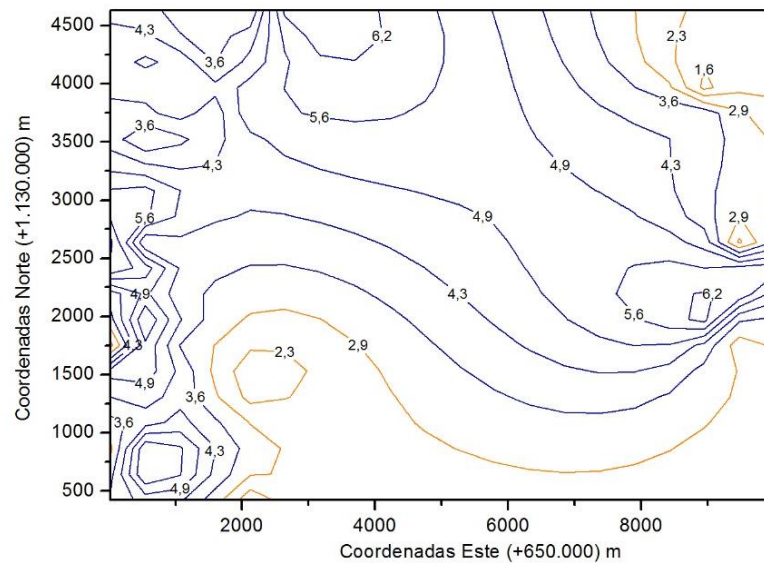


Anexo H. Mapas de contorno del factor de seguridad de las parroquias estudiadas

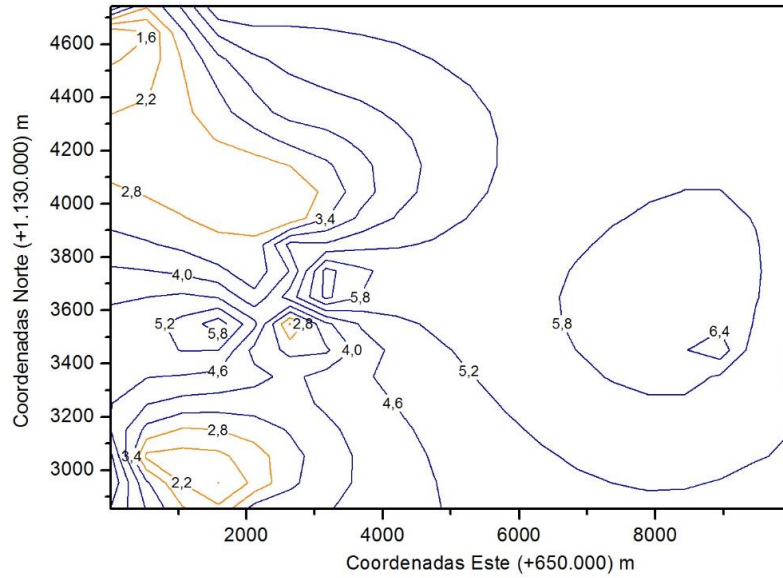
**MAPA DE CONTORNO DEL FACTOR DE SEGURIDAD
PARROQUIA PEDRO JOSE OVALLES**



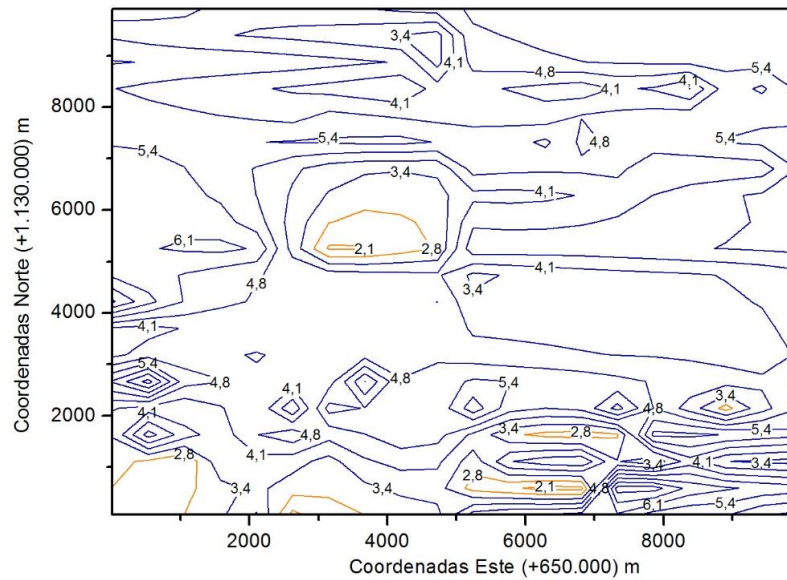
**MAPA DE CONTORNO DEL FACTOR DE SEGURIDAD
PARROQUIA LOS TACARIGUA**



MAPA DE CONTORNO DEL FACTOR DE SEGURIDAD
PARROQUIA JOSE CASANOVA GODOY



MAPA DE CONTORNO DEL FACTOR DE SEGURIDAD
PARROQUIA ANDRES ELOY BLANCO



Anexo I. Tabla de ubicación de las perforaciones según parroquia.

Parroquia Los Tacarigua

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1,130,000)	ESTE (+650,000)
LT-1	2061	9896
LT-2	2119	21
LT-3	2596	9424
LT-4	2598	9482
LT-5	421	2440
LT-6	452	2556
LT-7	502	2675
LT-8	1452	2238
LT-9	1389	2241
LT-10	1378	2165
LT-11	1766	804
LT-12	1783	801
LT-13	1831	752
LT-14	1784	730
LT-15	3949	2004
LT-16	3962	2027
LT-17	2102	9715
LT-18	2413	9779
LT-19	2449	9695
LT-20	4605	2149
LT-21	4632	2100
LT-22	4628	2054
LT-23	1779	9999
LT-24	4538	2550
LT-25	4540	2562
LT-26	1691	754
LT-27	1737	780
LT-28	1804	9882
LT-29	1798	9776
LT-30	1992	9795
LT-31	1997	9850
LT-32	2118	796
LT-33	2141	826
LT-34	2132	848
LT-35	2087	814
LT-36	804	270
LT-37	799	250
LT-38	4614	2610
LT-39	4613	2630
LT-40	2095	767
LT-41	2050	763
LT-42	2006	762
LT-43	2917	383
LT-44	2947	426
LT-45	2914	465
LT-46	4067	1190
LT-47	4059	1220
LT-48	4033	1227
LT-49	4383	1360
LT-50	4369	1461
LT-51	4217	1433
LT-52	4247	1291
LT-53	914	483
LT-54	921	536
LT-55	899	591

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1,130,000)	ESTE (+650,000)
LT-56	807	595
LT-57	737	602
LT-58	771	496
LT-59	1996	8962
LT-60	2027	8998
LT-61	2023	9024
LT-62	1978	9818
LT-63	1956	9837
LT-64	1982	9866
LT-65	2009	9838
LT-66	1694	9362
LT-67	1703	9360
LT-68	1897	9695
LT-69	1876	9728
LT-70	2652	409
LT-71	2656	434
LT-72	2678	441
LT-73	1908	9867
LT-74	1917	9874
LT-75	1704	32
LT-76	1731	32
LT-77	1726	63
LT-78	4151	780
LT-79	4162	760
LT-80	3644	765
LT-81	3639	760
LT-82	2587	9507
LT-83	2587	9521
LT-84	1915	450
LT-85	1928	441
LT-86	685	299
LT-87	677	305
LT-88	1769	421
LT-89	1748	333
LT-90	726	250
LT-91	721	256
LT-92	709	249
LT-93	2373	280
LT-94	2385	283
LT-95	2716	541
LT-96	2748	533
LT-97	778	292
LT-98	773	287
LT-99	3924	8919
LT-100	3904	8910
LT-101	4222	751
LT-102	4217	759
LT-103	3728	1321
LT-104	3724	1329
LT-105	2563	9204
LT-106	2562	9211
LT-107	2522	9395
LT-108	2531	9400
LT-109	3834	1448
LT-110	3833	1446

Parroquia Andrés Eloy Blanco

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1.130.000)	ESTE (+650.000)
AEB-1	2731	2318
AEB-2	2708	2316
AEB-3	2426	1674
AEB-4	2393	1677
AEB-5	3658	2977
AEB-6	3652	3006
AEB-7	3893	2432
AEB-8	3909	2435
AEB-9	2722	2461
AEB-10	2754	2458
AEB-11	2747	2477
AEB-12	2728	2482
AEB-13	4018	2496
AEB-14	4033	2537
AEB-15	2705	2411
AEB-16	2685	2401
AEB-17	767	2568
AEB-18	74	2555
AEB-19	785	2483
AEB-20	743	2470
AEB-21	499	2710
AEB-22	457	2703
AEB-23	404	2573
AEB-24	363	2454
AEB-25	438	2414
AEB-26	638	2465
AEB-27	586	2649
AEB-28	827	1975
AEB-29	821	2026
AEB-30	782	2056
AEB-31	756	2024
AEB-32	776	1982
AEB-33	795	1945
AEB-34	3309	3065
AEB-35	3288	3068
AEB-36	3670	3248
AEB-37	3694	3252
AEB-38	3689	3270
AEB-39	3675	3265
AEB-40	3692	3230
AEB-41	2195	2217
AEB-42	2165	2238
AEB-43	230	9949
AEB-44	2246	12
AEB-45	2368	30
AEB-46	2912	2647
AEB-47	2908	2669
AEB-48	2883	2682
AEB-49	3945	2715
AEB-50	2487	9853

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1.130.000)	ESTE (+650.000)
AEB-51	2503	9809
AEB-52	2517	9742
AEB-53	4268	2504
AEB-54	4275	2461
AEB-55	3146	1982
AEB-56	2240	2274
AEB-57	2281	2302
AEB-58	226	2385
AEB-59	2242	2433
AEB-60	2187	2415
AEB-61	2232	2364
AEB-62	2244	2331
AEB-63	2406	9647
AEB-64	2397	9656
AEB-65	2403	9665
AEB-66	1850	2664
AEB-67	1814	2661
AEB-68	2181	2450
AEB-69	2224	2520
AEB-70	3417	2161
AEB-71	3420	2176
AEB-72	3412	2198
AEB-73	3392	2194
AEB-74	3393	2165
AEB-75	4242	2374
AEB-76	4266	2388
AEB-77	3747	2803
AEB-78	3732	2819
AEB-79	2357	9873
AEB-80	2370	9947
AEB-81	1918	2786
AEB-82	1917	2817
AEB-83	2200	9817
AEB-84	2207	9838
AEB-85	2188	9838
AEB-86	2836	2352
AEB-87	2825	2375
AEB-88	3709	2937
AEB-89	3695	2953
AEB-90	2318	1350
AEB-91	3984	2362
AEB-92	3958	2351
AEB-93	3294	2474
AEB-94	3275	2465
AEB-95	3700	2711
AEB-96	3756	2712
AEB-97	3315	2446
AEB-98	3329	2418
AEB-99	3302	2423
AEB-100	1899	3577

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1.130.000)	ESTE (+650.000)
AEB-101	1810	3657
AEB-102	2824	2069
AEB-103	2831	2067
AEB-104	3645	2558
AEB-105	3653	2542
AEB-106	3354	2567
AEB-107	3349	2566
AEB-108	3088	2502
AEB-109	3117	2487
AEB-110	3795	2885
AEB-111	3795	2890
AEB-112	3308	2747
AEB-113	3297	2753
AEB-114	3648	2596
AEB-115	3652	2578
AEB-116	3663	2596
AEB-117	3668	2578
AEB-118	1636	1397
AEB-119	1636	1387
AEB-120	1627	1387
AEB-121	3174	2755
AEB-122	3169	2759
AEB-123	4135	2514
AEB-124	4124	2521
AEB-125	4131	2522
AEB-126	1130	1227
AEB-127	1149	1210
AEB-128	1133	1191
AEB-129	1153	1161
AEB-130	4898	2833
AEB-131	4903	2836
AEB-132	3857	2468
AEB-133	3862	2463
AEB-134	1635	1332
AEB-135	1628	1345
AEB-136	1688	1423
AEB-137	1681	1420
AEB-138	1354	1306
AEB-139	1361	1313
AEB-140	3974	3073
AEB-141	3982	3075
AEB-142	1706	1384
AEB-143	3842	2961
AEB-144	3850	2952
AEB-145	4488	2919
AEB-146	4493	2922
AEB-147	3714	2697
AEB-148	3703	2702
AEB-149	3715	2709
AEB-150	3711	2703

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1.130.000)	ESTE (+650.000)
AEB-151	2170	2655
AEB-152	2167	2649
AEB-153	2579	2251
AEB-154	2578	2243
AEB-155	3477	2438
AEB-156	3474	2440
AEB-157	4486	2093
AEB-158	4478	2091
AEB-159	4486	2083
AEB-160	4479	2076
AEB-161	1266	1300
AEB-162	1265	1310
AEB-163	1265	1320
AEB-164	1264	1329
AEB-165	3337	2882
AEB-166	3327	2878
AEB-167	3322	2887
AEB-168	3329	2891
AEB-169	4030	2408
AEB-170	4027	2414
AEB-171	4608	2728
AEB-172	4621	2736
AEB-173	4897	2643
AEB-174	4910	2639
AEB-175	1822	2534
AEB-176	1829	2536
AEB-177	3153	1753
AEB-178	3142	1758
AEB-179	9909	6850
AEB-180	430	2402
AEB-181	504	2419
AEB-182	469	2437
AEB-183	795	2550
AEB-184	820	2557
AEB-185	842	2563
AEB-186	865	2569
AEB-187	892	2577
AEB-188	1569	1503
AEB-189	1586	1519
AEB-190	1567	1549
AEB-191	4427	3066
AEB-192	4432	3071
AEB-193	3091	2272
AEB-194	3087	2272
AEB-195	3094	2265
AEB-196	3773	3231
AEB-197	3773	3231
AEB-198	2391	1859
AEB-199	2383	1849
AEB-200	4584	2651

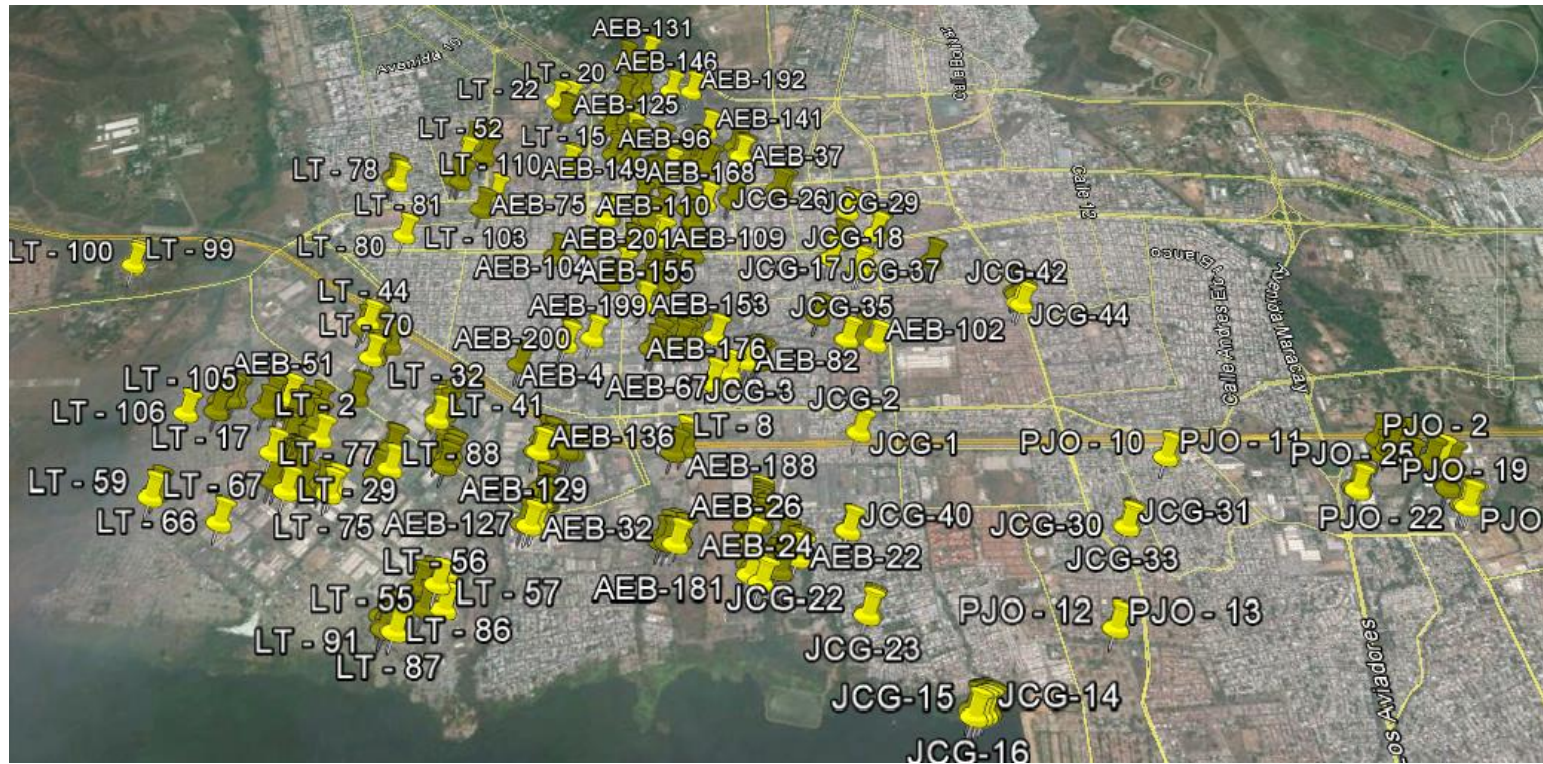
Parroquia José Casanova Godoy

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1,130,000)	ESTE (+650,000)
JCG-1	1202	3335
JCG-2	1187	3336
JCG-3	1917	2853
JCG-4	1909	2881
JCG-5	1890	2887
JCG-6	1893	2856
JCG-7	3303	3419
JCG-8	3297	3454
JCG-9	9275	3379
JCG-10	9278	3402
JCG-11	9276	3427
JCG-12	9273	3456
JCG-13	9251	3468
JCG-14	9243	3441
JCG-15	9242	3410
JCG-16	9244	3377
JCG-17	2436	3767
JCG-18	2438	3745
JCG-19	1951	4723
JCG-20	1940	4742
JCG-21	1933	4726
JCG-22	9993	2991
JCG-23	9998	3001
JCG-24	12	3006
JCG-25	2978	3839
JCG-26	2954	3837
JCG-27	2713	3982
JCG-28	2713	3969
JCG-29	2708	3962
JCG-30	97	4701
JCG-31	89	4706
JCG-32	102	4717
JCG-33	94	4717
JCG-34	1903	3481
JCG-35	1898	3486
JCG-36	2588	3588
JCG-37	2582	3592
JCG-38	2141	3360
JCG-39	2134	3358
JCG-40	547	3054
JCG-41	550	3048
JCG-42	1838	4723
JCG-43	1862	4731
JCG-44	1857	4708
JCG-45	2363	4262
JCG-46	2356	4258
JCG-47	2719	3689
JCG-48	2705	3691

Parroquia Pedro José Ovalles

CODIGO	COORDENADAS	
	NORTE (+1,130,000)	ESTE (+650,000)
PJO-1	1129970	6745
PJO-2	1129958	6811
PJO-3	1130125	6679
PJO-4	1130095	6470
PJO-5	1129995	6610
PJO-6	1130205	6508
PJO-7	1130196	6571
PJO-8	1130156	6588
PJO-9	1130122	6539
PJO-10	1130465	5148
PJO-11	1130468	5163
PJO-12	1129507	4365
PJO-13	1129502	4367
PJO-14	1129510	4371
PJO-15	1129775	6756
PJO-16	1129782	6751
PJO-17	1129776	6747
PJO-18	1129767	6749
PJO-19	1129616	6811
PJO-20	1129620	6794
PJO-21	1129638	6808
PJO-22	1129636	6790
PJO-23	1129641	6775
PJO-24	1129934	6189
PJO-25	1129916	6200
PJO-26	1129925	6218

Anexo J. Imagen aérea de ubicación de las perforaciones.



Posición de las perforaciones respecto al Lago de Valencia.

