

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROFESOR PATROCINANTE:

ING. CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ

**ANÁLISIS POST TERREMOTO 2010 DE LA
ZONIFICACIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DE
LAS COMUNAS DE TALCAHUANO Y
HUALPÉN**

**PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

NICOLE CONTRERAS CASTILLO.

Concepción, abril del 2017

NOMENCLATURA

U.S.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

ML = Limo de baja compresibilidad

MH = Limo de alta compresibilidad

CL = Arcilla de baja compresibilidad

CH = Arcilla de alta compresibilidad

SM = Arena limosa

SC = Arena arcillosa

MC = Limo arcilloso

SP = Arena pobremente graduada.

SW = Arena bien graduada.

SPT = Ensayo de Penetración Estándar

N_{SPT} = Índice de penetración estándar (golpes/pie)

M.S.N.M = Metro sobre el nivel del mar.

NCH = Norma chilena.

ANALISIS POST TERREMOTO DE LA ESTRATIFICACION Y ZONIFICACION DE LAS COMUNAS DE TALCAHUANO Y HUALPEN.

Nicole Meliza Contreras Castillo.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Nmcontre@alumnos.ubiobio.cl

Ing.Carmen González Labbé

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN

Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, el 27 de febrero de 2010 fue afecto por un sismo en la zona centro sur de magnitud 8.8 en la escala Richter, un acontecimiento de esta magnitud provoca efectos y daños a los suelos, motivo por el cual es de gran importancia estudiar y conocer las propiedades de los suelos con el fin de evitar fenómenos como desprendimientos, grietas y pérdida de resistencia debido a la licuación.

Este trabajo presenta una segunda aproximación a la realiza por Diaz (2006) basándose en una recopilación de 319 sondajes realizados hasta la fecha por diferentes empresas de la zona dedicada al rubro. Esta base de datos obtenida se implementó utilizando el programa ArcView (Sistema de Información Geográfica), en el cual se definió la zonificación de acuerdo al material predominante de los suelos y un modelo estratigráfico para cada sector creado.

Por otra parte, se busca analizar si existe un patrón repetido en como los suelos modifican sus caracterizas como efecto de un sismo, además de observar como aumenta el riesgo a licuación con el aumento de sismo.

Palabras claves: Zonificación; Estratificación; Sismo; Talcahuano; Hualpén

Conteo de palabras: $6967 + 21 \text{ Figuras/Tablas} * 250 = 12217$ Palabras Totales.

**POST-EARTHQUAKE ANALYSIS OF THE STRATIFICATION AND ZONING OF
THE COMMUNAL OF TALCAHUANO AND HUALPEN.**

Nicole Meliza Contreras Castillo

Department of Civil & Environmental Engineering, University of Bío-Bío

Nmcontre@alumnos.ubiobio.cl

Carmen González Labbé

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Cgonzal@ubiobio.cl

ABSTRACT

Chile is one of the most seismic countries of the world, on February 27, 2010 was affection by an earthquake in the Southern Center of magnitude 8.8 on the Richter scale, an event of this magnitude has effects and damage to soils, which is of great importance to study and know the properties of the soil in order to avoid phenomena such as landslides, cracks, and loss of strength due to liquefaction.

This paper presents the second approach to it is performed by Díaz (2006) based on a compilation of 319 drilling undertaken to date by different companies in the area dedicated to the field. This obtained database was implemented using the program ArcView (geographic information system), which defined the zoning according to the predominant material of soils and a stratigraphic model for each sector created.

On the other hand, it seeks to analyze if there is a repeated pattern in how soils amended its characterized as an effect of an earthquake, in addition to observing as it increases the irrigation to liquefaction with increasing earthquake

ÍNDICE

NOMENCLATURA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	6
3.1 Antecedentes Geográficos.....	6
3.2 Antecedentes Hidrográficos.....	7
3.3 Antecedentes Geomorfológicos.....	7
3.4 Antecedentes Sísmicos.....	9
3.5 Antecedentes Previos.....	10
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1 Recopilación de la Información.....	13
4.2 Organización de la Información.....	13
4.3. Comparación de sondajes.....	15
4.4. Verificación de zonificación y modelos realizados en 2006.....	16
4.5. Método basado en el ensayo de resistencia a la penetración estándar (SPT).....	18
4.5.1 Factores de escala por magnitud del sismo (DWF _M).....	21
4.5.2 Ajuste por tensión de sobrecarga (K _σ).....	22
4.6. Verificación de zonas susceptibles a licuación.....	24
5. ANÁLISIS.....	28
5.1. Comparacion de sondajes.....	28
5.2. Modificaciones de modelos 2006.....	29
5.3.Verificacion de licuacion.....	30

5.4. Verificación del modelo realizado en 2006.....	33
6. CONCLUSIONES	35
7. RECOMENDACIONES	37
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUCCIÓN

Las comunas de Talcahuano y Hualpén, se encuentran en una región que ha sido afectadas recurrentemente por catastros naturales de origen sísmico, los que han causado importantes pérdidas humanas y materiales.

Producto de los reiterados sismos, tanto en estas comunas como en el país, es de vital importancia conocer la composición, características y comportamiento de los suelos, para así poder minimizar las consecuencias que dejan estos desastres.

El año 2006, Miguel Díaz B., realizó una primera aproximación de estratificación y zonificación de los suelos de Talcahuano y Hualpén, donde genera una base de datos creando zonas limitadas de acuerdo al material predominante y define sectores de las comunas susceptibles a licuación.

El 27 de febrero de 2010 una amplia zona del país fue afectada por el sexto sismo de mayor magnitud en el mundo, el cual causó daños en distintas comunas del país. Dejando a su paso grandes daños estructurales y provocando distintos efectos en el subsuelo.

Este trabajo busca analizar los posibles cambios producidos por el terremoto del año 2010 en la estratificación y zonificación realizada el año 2006 en las comunas de Talcahuano y Hualpén, de manera de obtener información de cómo los suelos modifican sus características y propiedades a raíz de un sismo.

Dado que existe un registro de sondajes anterior al 2010 y se pretende actualizar la base de datos con sondajes realizados hasta la fecha, se busca contrastar la información y verificar si existe un patrón en los cambios.

Existen diversas herramientas computacionales que facilitan el trabajo con la información, y permiten entregar resultados de manera clara y precisa, en este caso se trabajara con un Sistema de información geográfica (ArcView, SIG), el cual permite trabajar con mapas y grandes volúmenes de información.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar posibles cambios producidos por el terremoto del 2010 en la estratificación y zonificación de Talcahuano y Hualpen realizada en 2006.

2.2 Objetivos Específicos

- Actualizar la base de datos en formato digital mediante la aplicación de ArcView (sistema de información geográfica, SIG) para fines académicos y de investigación.
- Comparar los sondeos realizados antes del año 2010 con los realizados posteriormente.
- Verificar si se produjeron cambios en la modelación realizada el año 2006 como efecto del terremoto.
- Determinar la validez de la modelación realizada en el año 2006 para su uso actual.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1 Antecedentes Geográficos

Las comunas de Talcahuano y Hualpén se encuentran en la parte oeste y costera de la Provincia de Concepción, sus coordenadas geográficas son 36°44'S y 73°07 W.

Talcahuano limita al sur con Hualpen; al sudeste con Concepción y Penco; al noreste, norte y oeste con el Océano Pacifico. Por su parte Hualpen limita al Norte con la comuna de Talcahuano, al Este con Concepción, al Sur con San Pedro de la Paz (cruzado el rio Bio-Bio) y al Oeste con el Océano Pacifico.

A continuación, la Figura 1 indica la ubicación geográfica de Talcahuano y Hualpén.

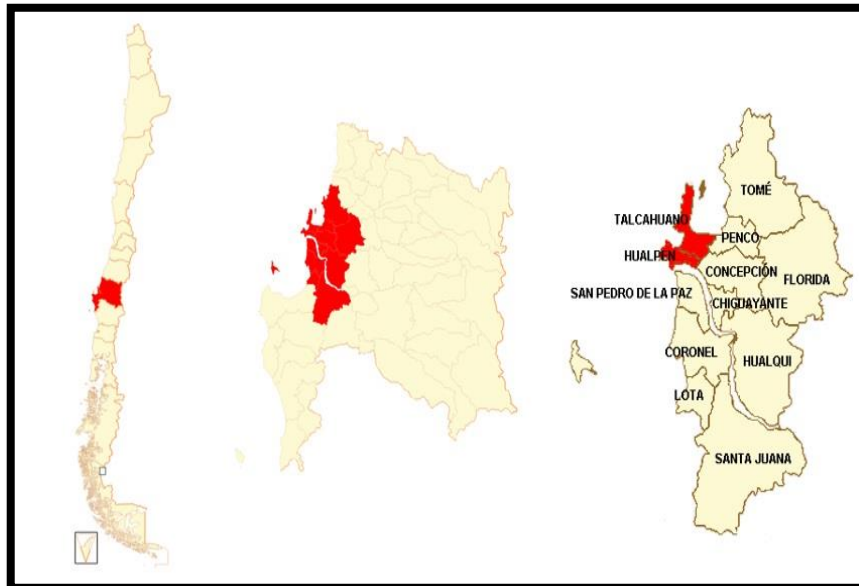


Figura N°1. Ubicación geográfica de Talcahuano y Hualpén

La comunicación de las comunas de Talcahuano y Hualpén con la ciudad de Concepción se realiza por medio de los siguientes accesos viales: Autopista Concepción-Talcahuano, Costanera, camino Las Industrias, Av. Las Golondrinas y Avda. Alessandri.

La comuna de Talcahuano cuenta con dos terminales portuarios, el de la misma ciudad y el de San Vicente, los que permiten el desarrollo comercial, industrial, pesquero industrial y artesanal, de defensa y terminal petrolero y prestan servicios a toda la zona centro sur de Chile.

Para la comunicación aérea se cuenta con el Aeropuerto Carriel Sur, sirve al área metropolitana de la ciudad de Concepción. Opera básicamente con destinos domésticos y recibe vuelos internacionales solamente cuando, por cuestiones climáticas o de fuerza mayor, no pueden aterrizar en el Aeropuerto de Santiago. Tiene una capacidad de aproximadamente un millón de pasajeros al año.

3.2 Antecedentes Hidrográficos

Talcahuano está limitado en el sector oriental por el río Andalién que fluye hasta llegar a la Bahía de Concepción. Además, es cruzado por una serie de humedales, algunos de los cuales han sido canalizados formando el Canal Ifarle, y en último término el Canal El Morro. También se destaca la Marisma de Lengua que desemboca en la Bahía de San Vicente.

En el caso de Hualpen distinguen el río Lengua, que desemboca en la bahía de San Vicente y la Laguna Verde Posee. El recurso hídrico más importante corresponde al Océano Pacífico, siendo los otros cursos mayores el canal Lengua y la desembocadura del río Bío-Bío.

3.3 Antecedentes Geomorfológicos

Talcahuano constituye un istmo de tierras bajas que une una meseta montañosa (península de Tumbes) con el continente. Se halla a una altitud de 1 msnm en su sector céntrico, aunque hay otras áreas de la comuna a distinta altura (Cerro David Fuentes, 76 msnm, meseta de Tumbes, desde 80 a 220 msnm, sector Las Higueras, entre 5 y 10 msnm).

Por su lado Hualpen permite la formación de la Bahía de San Vicente por el sector sur. El área se caracteriza por tener un sector de terrazas de topografía plana a ondulada entre la bahía de San Vicente y la boca norte de la desembocadura del río Bío Bío, con algunos cerros como el del Conejo (53 m.s.n.m.) y Toltén (144 m.s.n.m.). Hacia el noroeste se encuentran las formaciones montañosas de las Tetas Norte y Sur que alcanzan 238 m.s.n.m. y 247 m.s.n.m., respectivamente.

Las rocas y sedimentos del área en estudio han sido clasificados por Galli (1967) en grupos, resumidos en la figura 2

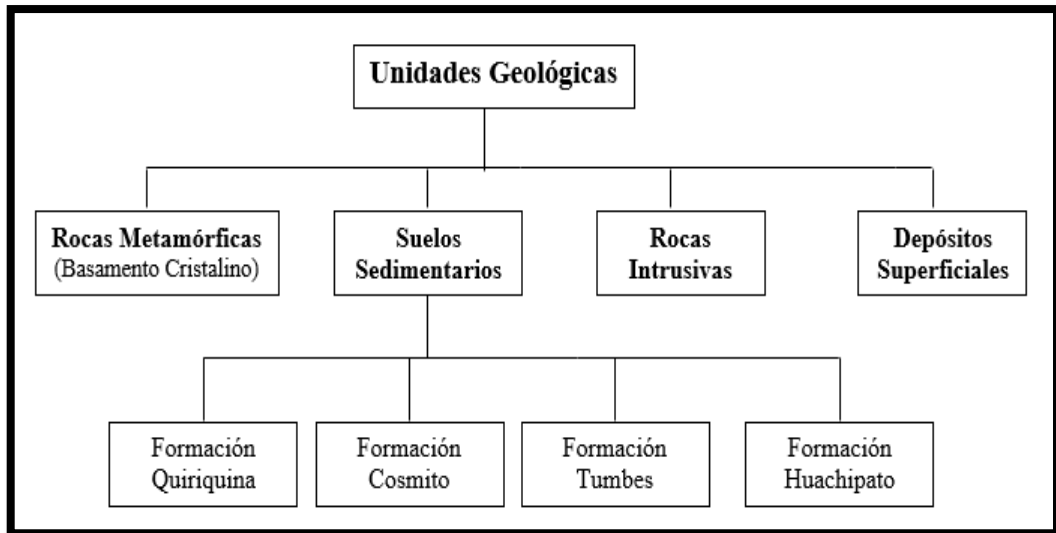


Figura N°2: Esquema de las Unidades Geológicas clasificadas por Galli, 1967.

Las rocas y sedimentos del área de estudio pueden ser agrupadas en dos grandes conjuntos estratigráficos, diferenciándose en términos de edad, mitificación y expresión topográfica. El grupo más antiguo corresponde a las rocas del Basamento Cristalino, del Batolito Paleozoico y de las formaciones Quiriquina y Tumbes, que forman la Cordillera de la Costa, la península de Tumbes y las serranías bajas. El Basamento Cristalino es un complejo metamórfico de edad indeterminada que, en el área estudiada, está formado principalmente por filita. La Formación Quiriquina, de origen marino epicontinental, está compuesta por arcosa, subarcosa y conglomerado. La Formación Tumbes, de origen marino epicontinental y continental costanero, consiste en gravaca, arenisca de color oscuro compuesta de minerales y fragmentos de roca mal seleccionados y unidos por cemento arcilloso, que subyace a las terrazas más antiguas y arenisca de dunas que las sobremonta.

El segundo conjunto estratigráfico, más joven que el anterior, está constituido por depósitos no cementados, en gran parte superficiales, de edad pleistocena y reciente, que se distribuyen en las áreas bajas del relieve. El conjunto está compuesto por la formación Huachipato (Pleistoceno y Reciente), de origen fluvio-deltaico y estuarial-marino; y en depósitos recientes, de origen continental y marino. Los sedimentos de este conjunto consisten en arena y limo eólicos; arena fluvial; arena, limo y arcilla fluvio-deltaicos; arena de playa; barro y turba de pantanos; materiales derrumbados y coluvio de las laderas y cárcavas; y relleno artificial.

La figura 3 muestra una distribución temporal de las distintas unidades geológicas

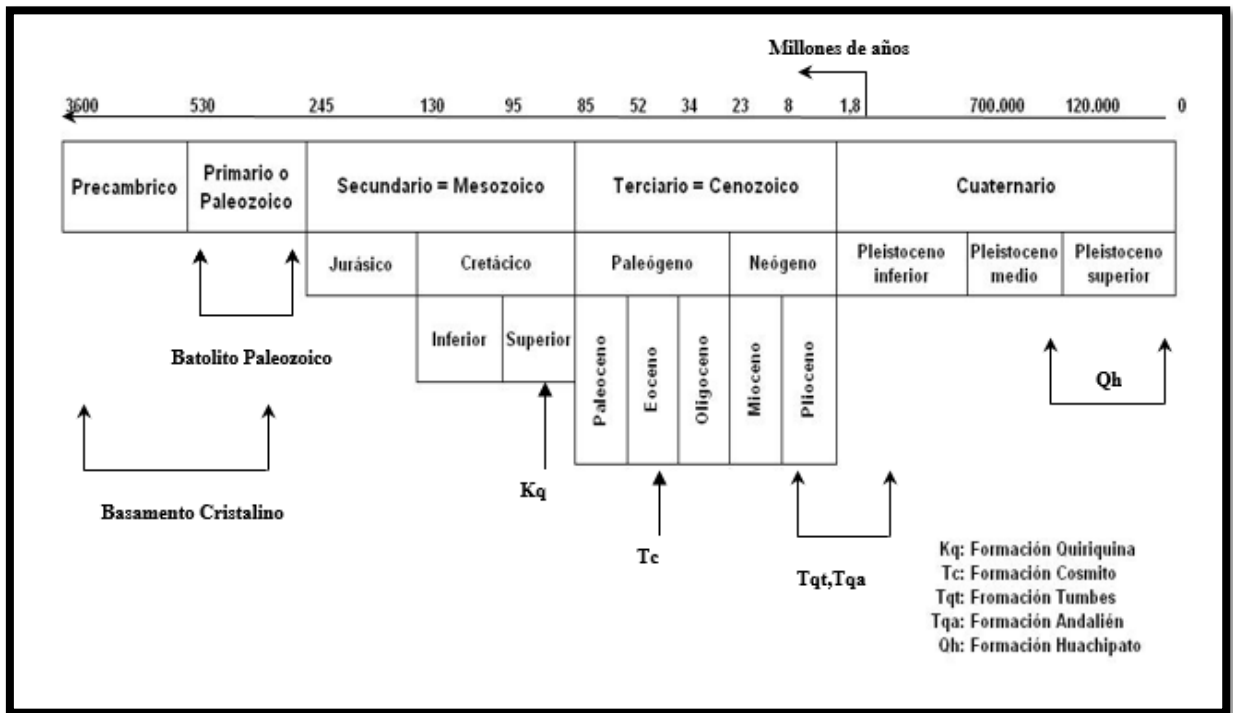


Figura N°3. Distribución temporal de las Eras de formación de las distintas Unidades Geológicas (Latini; Reyes, 1999).

3.4 Antecedentes Sísmicos

La Región del Biobío es una de las más sísmicas de Chile, en ella se han localizado las mayores pérdidas en vidas del país producto de los movimientos telúricos. La herencia sísmica de la región, ha quedado de manifiesto con la destrucción de la arquitectura antigua y el traslado del sitio de fundación. Tal como ocurrió el pasado 27 de febrero del 2010 (magnitud 8.8 Richter).

Las causas de los terremotos que ocurren en el área de Concepción, se deben al fenómeno de convergencia de las placas litosféricas de Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental) provocando la subducción u hundimiento de la placa de Nazca al ser más pesada, bajo la sudamericana.

La figura 4 muestra los principales sismos de gran magnitud ocurridos en la región en el último siglo:

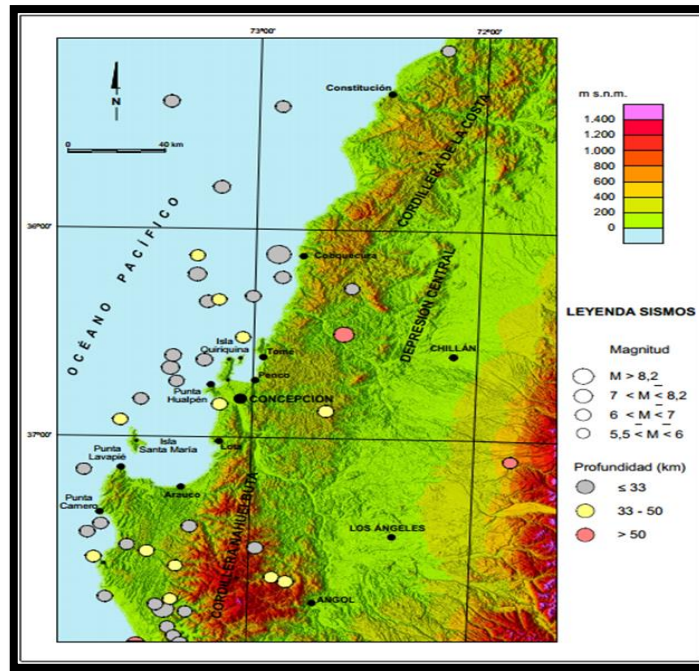


Figura N°4: Principales sismos en la Región del Biobío, Vivallos, J. et al (2010)

3.5 Antecedentes Previos

La realización de este trabajo, toma como principal base el estudio de estratificación y zonificación realizado por Miguel Diaz (2006), el cual con una base de 231 sondajes recopilados de las comunas de Talcahuano y Hualpen, logra zonificar y estratificar los suelos de las comunas, según las características de los mismos, generando modelos estratigráficos en profundidad para cada sector, para posteriormente identificar zonas con susceptibilidad a licuefacción.

La clasificación realizada por Miguel Diaz (2006) se divide en los siguientes sectores:

- **Sectores arcillosos:** Corresponden a sectores con clasificación USCS: CH, CL, SC
- **Sectores de arenas con bastante limo:** Son sectores con clasificación USCS: SM(ML), ML.
- **Sectores de arena limosas:** Son sectores con clasificaciones USCS: SM, SP-SM.
- **Sectores de limos:** Sectores con clasificación USCS: ML, MH.
- **Sectores de limos y arcillas:** Sectores con clasificación USCS: ML, MH, CL, CH.
- **Sectores materiales pobremente drenados:** Corresponde a sectores donde se encuentran pobremente drenados, barro y turba.
- **Sectores de rellenos:** Sectores donde los rellenos superficiales superan los 2 m.

La Figura 5 presenta la zonificación realizada por Miguel Díaz (2006).

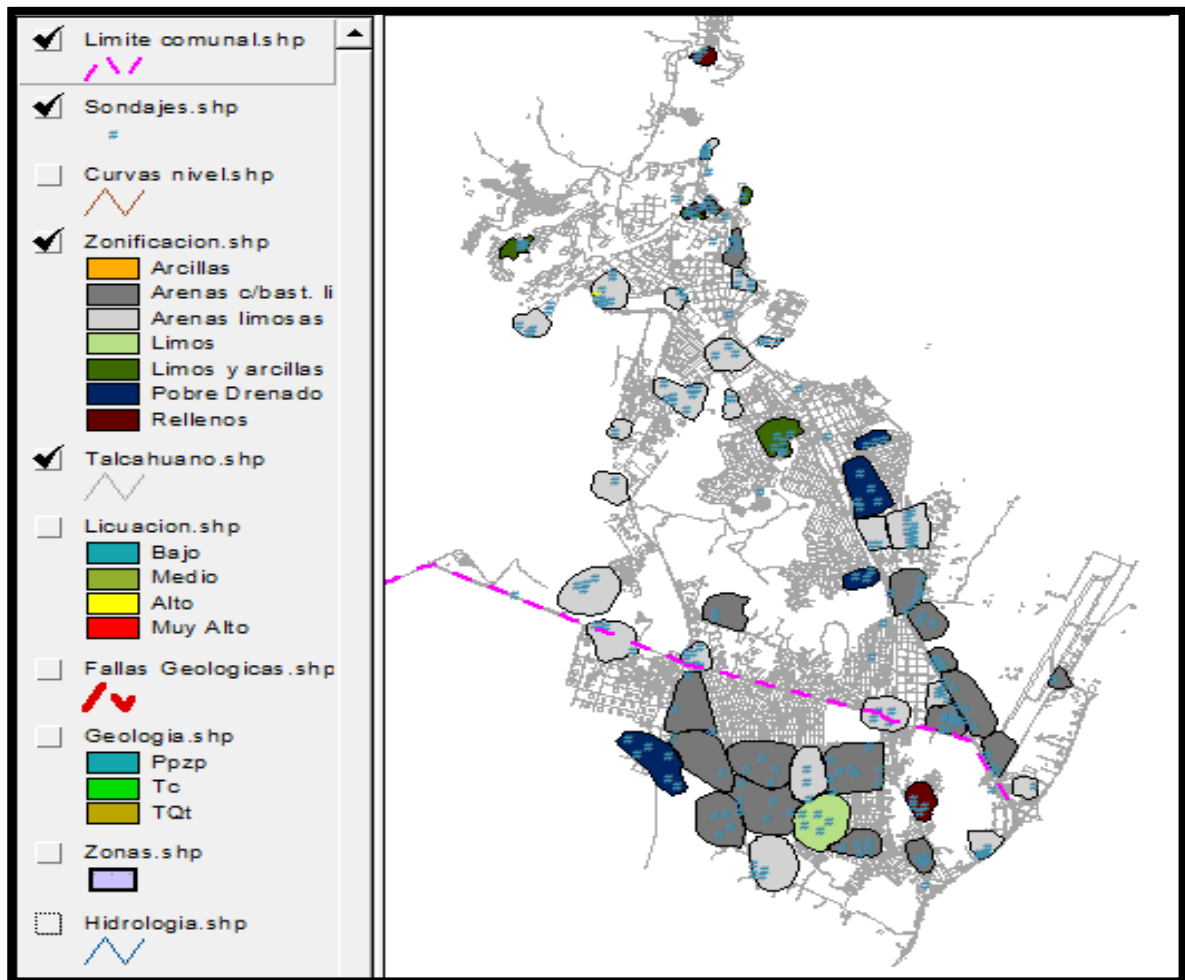


Figura N° 5. Zonificación de los suelos de Talcahuano y Hualpen realizada por Miguel Díaz (2006)

4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este estudio se consideraron los siguientes antecedentes:

- Estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Talcahuano y Hualpen, mediante la aplicación de Sistema de Información Geográfica, Proyecto de Título, Diaz M., (2006)
- NCh1508 Of.2014 Geotecnia, estudio de mecánica de suelo
- 319 sondajes

Con los antecedentes mencionados anteriormente, se busca actualizar la estratificación ya realizada, generar sectores nuevos, verificar la validez actual el año 2006 con el objeto de conocer cómo afecta un terremoto a las propiedades y características del subsuelo.

Para la realización del análisis post terremoto del año 2010 de los sectores en estudio, se utilizó la siguiente metodología

a) Actualizar base de datos.

- a.1 Recopilacion de sondajes posterior al terremoto 2010
- a.2 Estandarizacion de los datos considerando su estratigrafia, clasificacion USCS, ubicación geografica y Nspt.
- a.3 Incorporacion de la informacion a la modelacion realizada por Miguel Diaz (2006)

b) Comparacion de sondajes

- b.1 Identificacion de sondajes a comparar.
- b.2 Definir cambios o similitudes entre los sondajes realizados antes y despues del 2010.

c) Verificacion de la modelacion realizada por Miguel Diaz (2006)

- c.1 Ajustar según se requiera la zonificacion y estratificacion de acuerdo a la informacion adicionada
- c.2 Ajustar según se requiera el zonas susceptibles a licuefaccion.

d) Determianr la validez actual de la modelacion realiza por Miguel Diaz (2006)

- d.1 Concluir en base a los cambios observados si el modelo sigue siendo valido luego del terremoto del año 2010.

El desarrollo y análisis de este trabajo, se realizó utilizando el programa de Información Geográfica ArcView, Este programa permite la creación y edición de mapas digitales, almacenamiento y análisis de grandes cantidades de datos, incorporando tablas, imágenes, etc.

4.1 Recopilación de la Información

La base de este trabajo, utiliza 88 sondajes realizados en el periodo 2010 y 2016, 231 sondajes realizados en el periodo entre 1965 y 2005, obteniendo así un total de 319 sondajes.

La información fue recopilada gracias al aporte de empresas dedicadas al estudio de mecánica de suelos, tales como:

- Liem Ltda.
- Aragón Ingeniería de Suelos Ltda.
- Terrasonda.
- Dirección de Obras Municipales (D.O.M.)
- Empro Ltda.
- Laboratorio Construcción Universidad del Bio-Bio.
- JMS Ingenieros Consultores Ltda.

4.2 Organización de la Información

Con la información recopilada, se procede a ingresar los nuevos sondajes al programa continuando con el mismo formato y enumeración que Miguel Diaz (2006). Como muestra la Figura 6 cada punto representa un sondaje, siendo los de color celeste los sondajes anteriores al terremoto y los rojos los sondajes posteriores al terremoto.

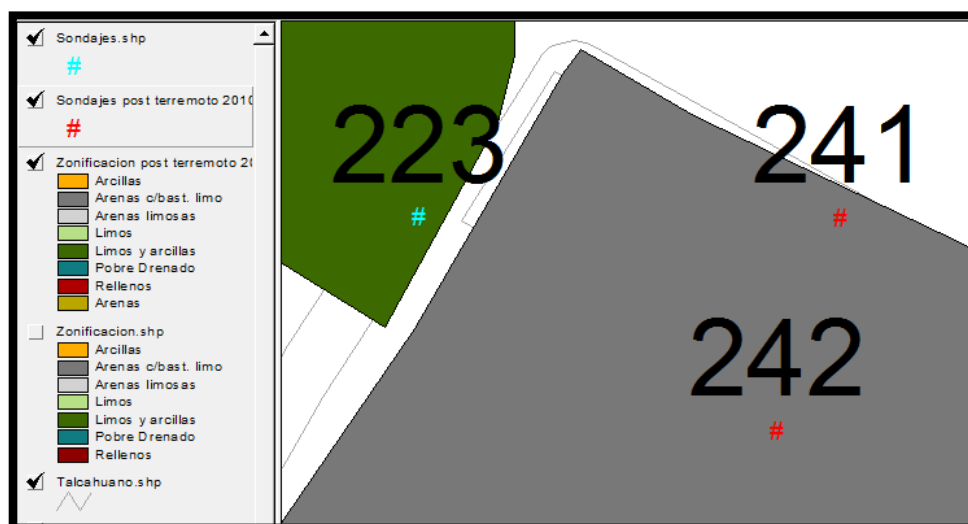



Figura N°6. Disposición de sondajes en Programa ArcView.

ArcView, trabaja incorporando información por capas o temas, los cuales se encuentran en la columna izquierda del programa. En el caso de los sondajes recopilados, se procedió a generar

una nueva capa definida como “Sondajes_Post_Terremoto_2010”, en ella se adjunta toda la información correspondiente a las prospecciones.

Para poder acceder a dicha información, primero se debe activar el tema antes mencionado en el menú de temas y para visualizar el contenido, se utiliza la herramienta “identify” , para posteriormente con el puntero del mouse presionar sobre la prospección de interés, donde se despliega un cuadro con la información del punto, ver Figura 7.

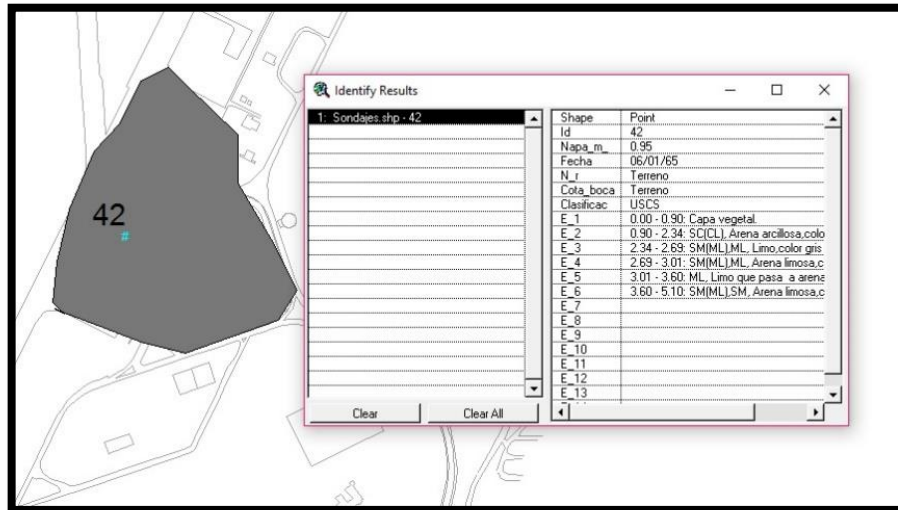


Figura N°7 Descripción de sondaje utilizando la herramienta Identify

El cuadro de información de cada sondaje cuenta con los siguientes:

- **ID:** N° de sondaje.
- **Napa (m):** Profundidad de la napa en metros.
- **Fecha:** Fecha de ejecución del sondaje, toma de la napa.
- **Nr:** Nivel de referencia usado en el momento de ejecución del sondaje.
- **Cota boca:** Corresponde a la cota de la boca del sondaje.
- **Clasificación:** Tipo de clasificación (USCS / Visual).
- **E_x:** Corresponde a la especificación del estrato. Se incluye el rango de profundidades, la clasificación USCS y color del horizonte.

Las actualizaciones de la modelación, se muestran en el Anexo E “Programa”.

4.3. Comparación de sondajes

Para la comparación de los sondajes, se procedió seleccionando sondajes anteriores al año 2010 cercanos a los ingresados posteriores a ese año, a los cuales se le realizó una ficha comparativa estandarizada, para tener en consideración los mismos parámetros en todos los análisis. Ver Figura N°8.

Para la selección final de los sondajes a comparar se consideraron solo los sondajes que cumplieran con los dos siguientes parámetros.

- Estratigrafía similar.
- Distancia entre sondajes menor a 300 metros.

La distancia considerada como parámetro, se definió como 300 metros ya que al analizar las fichas comparativas de los sondajes con distancia mayor a la determinada, se pudo observar que los sondajes perdían su similitud por lo que dejaban de cumplir con el primer parámetro.

Finalmente, el análisis se realizó considerando un estrato de estudio igual profundidad para ambos sondajes, al cual se le calculó la cantidad de golpes total incluidos en ese estrato y se verificó en qué casos se observaban variaciones en índice de total de golpes y si estas variaciones seguían algún patrón repetitivo.

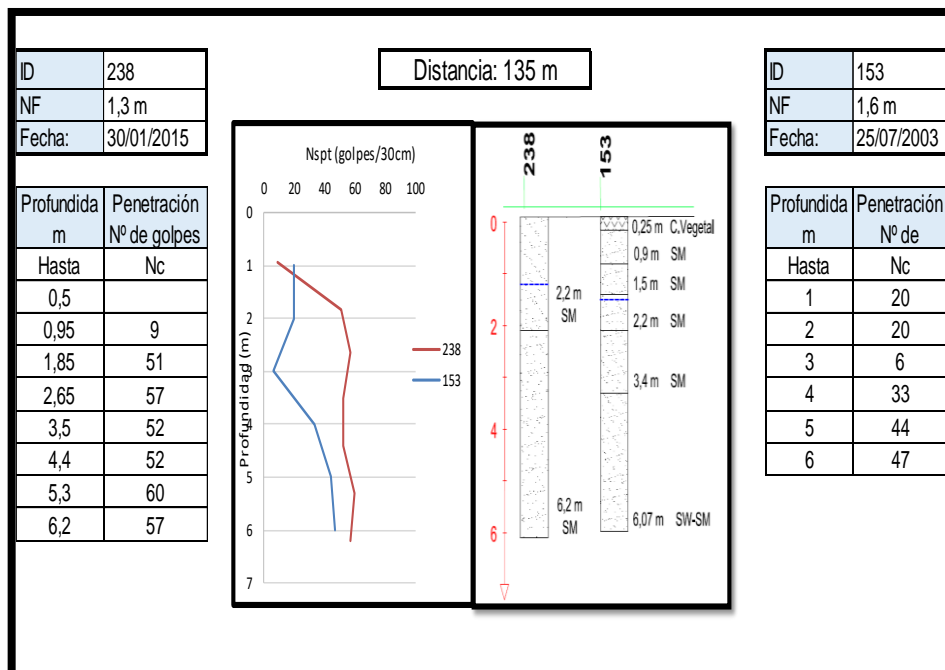


Figura N°8. Ficha comparativa de sondajes.

En la ficha comparativa se encuentran los siguientes parámetros:

- **Distancias:** Distancia entre los sondeos en análisis, en metros.
- **ID:** Numeración de sondeo en programa ArcView
- **NF:** Nivel freático, en metros.
- **Fecha:** Fecha de realización del sondeo.
- **Perfil estratigráfico**
- **Índice de penetración:** Grafico y tabla

Las fichas comparativas de los sondeos a analizar, se describen en el Anexo B: “Comparaciones de sondeos”.

4.4. Verificación de zonificación y modelos realizados en 2006.

Con la información recopilada ya ingresada en el programa ArcView se procede a separar los sondeos en dos categorías, por una parte, los sondeos que se encuentran dentro de las zonas modeladas por Miguel Diaz (2006) y por otro lado los sondeos que se ubican en sectores sin modelación.

Para los sondeos que se encuentran dentro de las zonas ya modeladas se verifica que su estratigrafía, napa e índice de penetración estén representados por el modelo asociado a su zona, de ser así, se consideró que la zona mantiene su modelo. En caso de que el modelo no sea representativo del nuevo sondeo se consideraron dos posibles modificaciones:

- a) **Modificación de los límites de la zona:** Se excluye el sondeo que no comparte las características del modelo.
- b) **Modificación de modelo:** Se modifica el modelo y se genera uno que represente a todos los sondeos de la zona.

Para los sondeos que se encuentran en sectores sin modelación, también se propusieron dos posibles alternativas:

- a) **Nueva zona:** Si se tiene información suficiente, se procede a generar una nueva zona con su modelo correspondiente.
- b) **Ampliación zona:** Se puede ampliar una zona si el sondeo queda representado por la modelación de una zona cercana existente.

En la figura N°9 se muestran las 3 modificaciones de zonas.



Figura N°9: Modificación de zonas.

Para crear los modelos y límites de las nuevas zonas, se consideró la metodología empleada por Miguel Diaz (2006) con el fin de tener un formato único para el estudio de suelos, la cual se describe a continuación:

- a) Agrupación de sondajes cercanos
- b) Trazados de ejes Norte-Sur, Este-Oeste.
- c) Proyección de los sondajes sobre los ejes, considerando las distancias entre ellos y su estratigrafía.
- d) Análisis de las relaciones estratigráficas entre los sondajes proyectados.
- e) Modelación estratigráfica en profundidad de los sondajes, generándose sectores.

Cada sector posee una modelación estratigráfica representativa, correspondiente a la descripción visual de los horizontes con su respectiva clasificación USCS y un gráfico llamado “Rango Nspt” que señala el rango de golpes máximos y mínimos en profundidad de todos los sondajes involucrados en el sector.

Después de agrupar los sondajes en determinados sectores, éstos se clasificaron de acuerdo al material predominante en profundidad.

A la clasificación definida el año 2006 se le incorporo una octava clasificación debido a que se encontraron depósitos que no estaban considerados, el cual se definió como:

- **Sectores arenosos:** Sectores con clasificación USCS: SP, SW.

En la figura 10, se puede apreciar la Zonificación realizada y su respectiva leyenda.

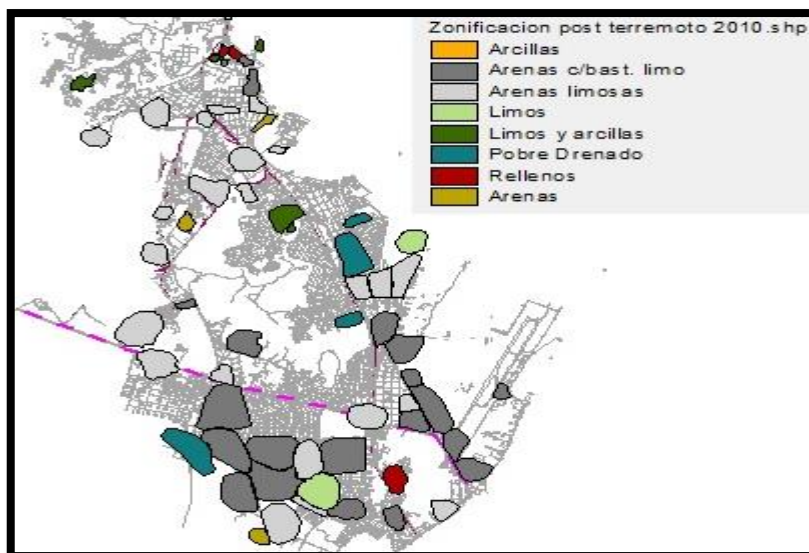


Figura N°10: Zonificación post terremoto 2010.

La Figura 11, representa un ejemplo de modelo estratigráfico para un nuevo sector generado, correspondiente al “Sector Plaza Talcahuano”.

La modelación de cada sector posee un gráfico Nspt, una columna estratigráfica representativa, Clasificación USCS y Nivel Freático.

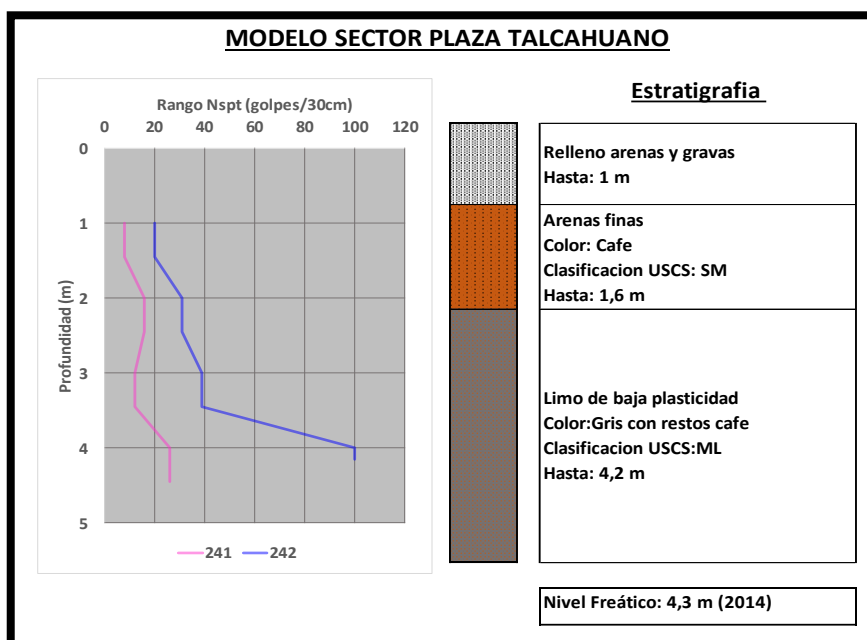


Figura N°11. Ejemplo modelo estratigráfico correspondiente al sector Plaza de Talcahuano.

Los nuevos modelos, se describen en el Anexo C: “Nuevos modelos”

4.5. Método basado en el ensayo de resistencia a la penetración estándar (SPT)

Interés ha despertado en la Ingeniería práctica la aplicación de correlaciones entre la resistencia in-situ del suelo, generalmente medida por ensayos de penetración estándar (SPT), y la resistencia a la licuación que representa el suelo frente a un sismo. Estudios realizados por Seed et al, Tokimatsu y Yoshim acerca del comportamiento de arenas limpias y limosas frente a sismos, demuestran la existencia de dichas correlaciones.

El procedimiento requiere calcular dos variables sísmicas que son:

- La excitación sísmica del estrato de suelo, expresada en términos de la relación de tensiones cíclicas promedio ($CSR = \tau_{pro} / \hat{\sigma}_{vo}$).
- La capacidad del estrato de suelo para resistir la licuación, en términos de la relación de resistencia cíclica (CRR)

En la mayoría de los procedimientos empíricos, el valor promedio de la relación de tensiones cíclicas (CSR) inducidos por el sismo se estima de los análisis de la respuesta dinámica del suelo, o mediante la expresión recomendada por Seed e Idriss (1971).

$$CSR_{peak} = \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d \quad (\text{Ec. 1})$$

$$CSR_{eq} = 0.65 \cdot CSR_{peak} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde:

$a_{m\acute{a}x}$ = máxima aceleración registrada en la superficie

g = aceleración de gravedad

σ_v = presión total a la profundidad considerada

σ'_v = presión efectiva a la profundidad considerada

r_d = factor de reducción de tensión

El factor de reducción se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$r_d = 1 - 0,001 \cdot h_{SPT} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

h_{SPT} = Profundidad de análisis para ensayo SPT

La resistencia a la penetración utilizada en las correlaciones corresponde al número de golpes medido en terreno (N) al cual se le aplica una corrección por tensión efectiva (Llao y Whitman, 1986):

$$N_1 = N \cdot C_N \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

$$C_N = \left(\frac{1}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad (\text{Ec.5})$$

donde:

C_N = factor de corrección para una tensión efectiva de sobrecarga de 1 ton/pie²

σ'_v = tensión efectiva vertical en atmósferas

La resistencia del suelo queda representada por ($N_{1,60}$), la cual es la cantidad de golpes del SPT corregido para una presión de sobrecarga efectiva de 1 Ton/pie² ($\approx 1 \text{ kg/cm}^2$), y para una razón de energía del 60% de la máxima teórica (ver Anexo A).

Corrección por energía aplicada, equipamiento y efectos de procedimientos para obtener un valor estandarizado de:

$$N_{1,60} = N_1 \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E \quad (\text{Ec.6})$$

donde:

C_R = Corrección por longitud de varillaje

C_S = Corrección por tipo de muestreador

C_B = Corrección por diámetro de perforación

C_E = Corrección por relación de energía

C_S : Cuchara partida estándar = 1

Cuchara partida sin liners = 1.1 – 1.3

C_B : 65 a 115 mm = 1

150 mm = 1.05

200 mm = 1.15

C_E : Martillo cilíndrico = 0.5 - 1

Martillo de seguridad = 0.7 – 1.2

Martillo automático-cilíndrico = 0.8 – 1.3

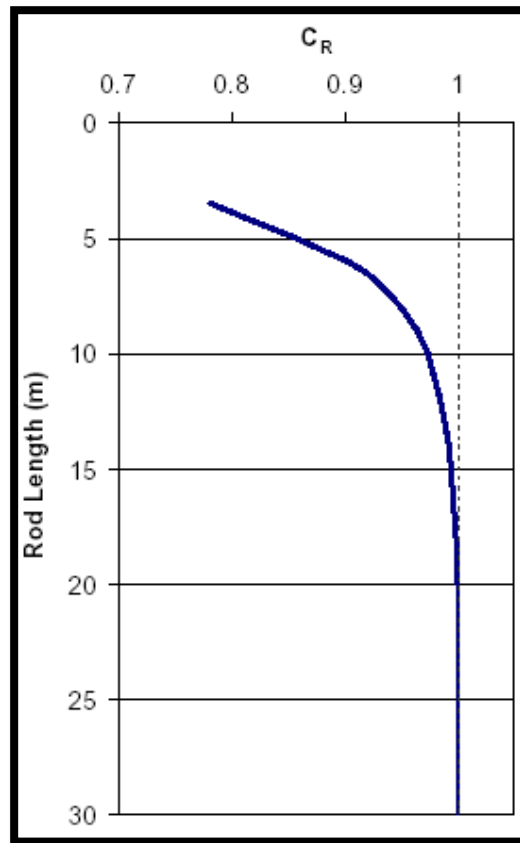


Figura N°12. Corrección por longitud de varillaje CR..

4.5.1 Factores de escala por magnitud del sismo (DWFM)

Es importante considerar la duración del sismo para la determinación del Potencial de Licuación, porque, éste depende directamente del número de ciclos significativos que tenga el sismo, ya que, a mayor cantidad de ciclos, mayor es la cantidad de presión de poros que se va acumulando. Luego, este efecto puede ser tomado en cuenta aplicando un factor de corrección a la magnitud del terremoto.

Seed (1975), demostró que existe un número de ciclos que representa a cada magnitud sísmica, llamado número de ciclos significativos.

La mayoría de los datos (casos conocidos donde se sabe si hubo o no licuación) utilizados en el desarrollo de las correlaciones están asociados a sismos de magnitudes cercanas a $M=7,5$, de manera que las curvas que se obtuvieron representan sismos de esa magnitud; pero también existen datos con otras magnitudes, los cuales pueden ser utilizados en estas correlaciones si se divide la razón de tensiones inducida por el sismo de magnitud M , por el factor de corrección propuesto por Seed e Idriss en 1982 y modificado por Idriss (2000), el cual se presenta en la Figura 13, de manera de obtener la razón de tensiones correspondiente a un sismo de magnitud 7,5.

$$CSR_N = CSR_{eq,M=7.5} = \left(\frac{CSR_{eq,M=M}}{DWF_M} \right) \quad (Ec.7)$$

donde: $CSR_{eq,M=M}$: Razón de tensiones cíclicas equivalentes para una determinada magnitud sísmica (M).

DWF_M : Factor por Magnitud de Sismo.

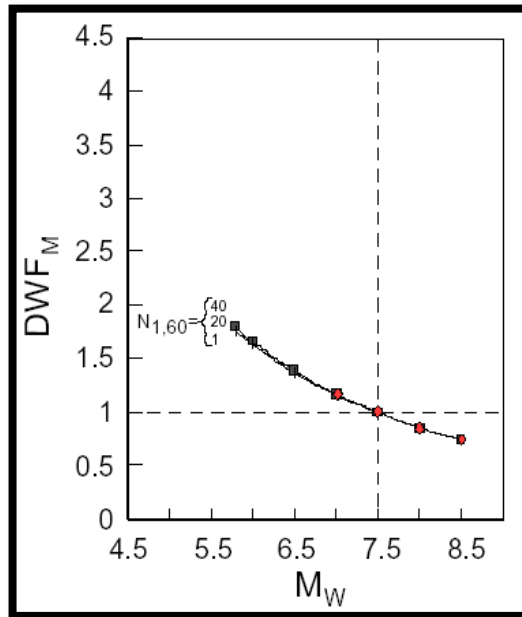


Figura N°13. Factores de Escala por Magnitud del Sismo en función de N1,60.

4.5.2 Ajuste por tensión de sobrecarga (K_σ)

Un factor adicional no resuelto directamente en estudios anteriores basado en casos históricos en el incremento de susceptibilidad de suelos a la licuación cíclica, del mismo modo CSR, con incremento en la tensión efectiva de sobrecarga.

El efecto adicional de reducción en la resistencia a la licuación normalizada con incrementos de la tensión efectiva de sobrecarga (σ'_v) está demostrado por test de laboratorio, y es una manifestación de un comportamiento del tipo "estado crítico" (suelos llegan a disminuir la dilatación cerca del incremento de tensión efectiva). La Figura 3 muestra recomendaciones hechas por Youd et al , 2001.

Respecto a la corrección del factor K_σ usado para corregir, la resistencia normalizada a la licuación para una tensión inicial efectiva de sobrecarga de 1 atm ($\sigma'_v=2000 \text{ lb/ft}^2$).

Recomendaciones usadas en las nuevas correlaciones basadas en el Test de Penetración Estándar

$$CSR^* = CSR_{eq,M=7.5,1atm} = \left(\frac{CSR_{eq,M=7.5}}{K_\sigma} \right) \quad (Ec.8)$$

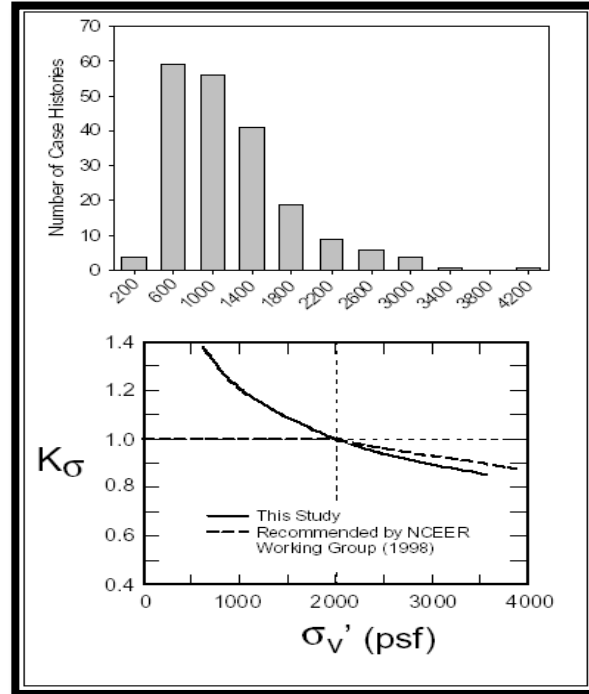


Figura N°14. Valores de K_σ , NCEER (2003) para $n=0.7$, $D_r \approx 60\%$.

La curva que se ilustra en el gráfico de la Figura 4 intenta dividir zonas correspondientes a licuación y No-Licuación, por ejemplo, para suelos con un contenido de finos $< 5\%$. A partir de esta curva se eleva el Potencial de Licuación de otro sitio, ubicando el punto correspondiente al número de golpes corregido del SPT para el lugar y el sismo de diseño (en este caso 7.5). Si el punto ubicado en esta forma, cae sobre la curva, se dice que el suelo es susceptible de licuarse; si el punto está situado bajo la curva, entonces con un adecuado margen de seguridad se dice que el lugar es seguro.

Se puede ver que los puntos que presentan licuación parcial, por lo general están próximos a la curva, y a medida que se alejan por la parte superior éstos muestran una licuación total; a medida que se alejan por la parte inferior éstos no evidencian licuación.

Para determinar la resistencia a la licuación de los suelos arenosos y con contenidos de finos, la relación de tensiones cíclicas (CSR) se compara con la relación de resistencia cíclica (CRR), esta última se obtiene de correlaciones empíricas entre la relación de esfuerzos cíclicos requeridos para causar licuación y los valores de N (SPT) normalizados por profundidad y energía de los golpes del martillo (valores de $(N_{1,60})$). En la Figura 15 se muestran las curvas recomendadas por Seed, et al (2003).

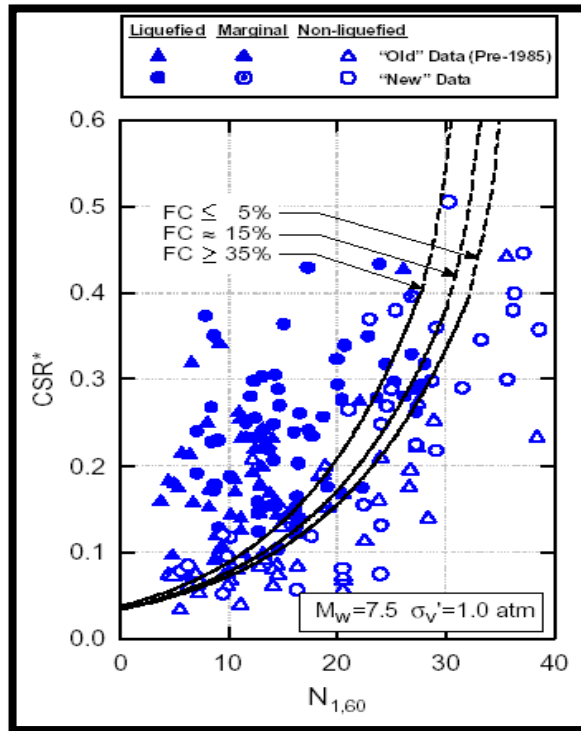


Figura N°15. Relación entre razones de tensiones causantes de licuación y valores corregidos del SPT (para $M_w=7.5$ y $\sigma_v=1$ atm) con ajuste de contenido de finos.

4.6. Verificación de zonas susceptibles a licuación.

Para poder realizar una verificación de las zonas susceptibles a licuación se realizará una nueva zonificación utilizando la metodología de Seed & Idriss considerando una nueva magnitud sísmica, para así luego evaluar qué zonas ven modificada su susceptibilidad con el cambio de magnitud.

Debido a que la estadística sitúa a Concepción dentro de las zonas más sísmicas del territorio chileno, las que se destacan por la magnitud y frecuencia de sus terremotos.

Tomando como base el terremoto de 1960 con una magnitud de 7.5 escala de Richter y epicentro en la península de Arauco, considerando además que la información referida a terremotos de una frecuencia media de 60 años para una magnitud mayor a 6 en la escala de Richter.

Por lo tanto, se considerará que la escala de ocurrencia de un terremoto de la magnitud de la cual se utilizará tendrá una frecuencia de aproximadamente 1 cada 60 años.

Se considerará una magnitud sísmica de 7.8 en la escala de Richter caracterizado con una aceleración máxima de 0.28g. en toda la zona de estudio, el valor fue tomado del sismo de 1985 en la ciudad de Viña del Mar y Valparaíso.

La segunda magnitud será la del terremoto del 27 de febrero del año 2010, la cual corresponde a 8.8 en la escala de Richter con hipocentro a 35 kilómetros de profundidad y epicentro a 115 kilómetros de la ciudad de Concepción según National Earthquake Information Center, caracterizados con una aceleración de 0.65, aceleración obtenida del Servicio Sismológico Nacional para la localidad de Colegio San Pedro, Concepción (Ver tabla 1)

Tabla N°1. Máximas aceleraciones registradas en el Terremoto de 2010.

Localidad	Aceleración Máx. Horizontal NS	Aceleración Máx. Horizontal EW	Aceleración Máx. Vertical
Colegio San Pedro, Concepción	0.65 g	0.61 g	0.58 g
Cerro Calán, Santiago	0.20 g	0.23 g	0.11 g
Campus Antumapu, Santiago	0.23 g	0.27 g	0.17 g
Cerro El Roble	0.19 g	0.13 g	0.11 g
Melipilla	0.57 g	0.78 g	0.39 g
Olmué	0.35 g	0.25 g	0.15 g
Casablanca	0.29 g	0.33 g	0.23 g
San José de Maipo	0.47 g	0.48 g	0.24 g
Colegio Las Américas	0.31 g	0.23 g	0.16 g
Cerro Santa Lucía	0.24 g	0.34 g	0.24 g

Para hacer más rápido el trabajo de cuantificar y obtener resultados de los datos de suelos se utilizó en programa en ambiente C++ builder (Acuña,2004) el cual está basado en ecuaciones de mecánica de suelos y la metodología empírica de H.B. Seed, 2003, para calcular el Potencial de Licuación.

Al programa se le deben ingresar los siguientes datos:

- Magnitud del Sismo
- Máxima aceleración en la superficie del suelo
- Peso unitario del suelo (KN/m3)
- Peso unitario del suelo sumergido (KN/m3)
- Nivel freático en metros
- Número de muestras del ensayo

- El registro de las profundidades de término de cada penetración
- El registro de número de golpes para cada penetración
- Contenido de finos.
- Valores de corrección para S.P.T.

Ingresado los datos el programa realiza las siguientes operaciones:

- Calculo de la tensión total del suelo para cada profundidad deseada
- Compara la profundidad de cada penetración con la profundidad de la napa, para así calcular la tensión efectiva según la condición de densidad y humedad correspondiente.
- Calcula el factor de reducción de esfuerzos (rd)
- Calcula el factor de corrección por presión de sobrecarga efectiva (Cn)
- Calculo del valor normalizado del número de golpes
- Factor de corrección por sismo
- Calculo de Razón de Tensiones Cíclicas
- Ocurrencia o no del fenómeno de Licuación a una profundidad dada.
- Finalmente se muestra un gráfico que relaciona las tensiones causantes de licuación y valores corregidos de S.P.T., para distintos contenidos de finos.
- Se agregó además una pantalla que muestra las ecuaciones utilizadas y respectivas variables.

La sintaxis del programa se puede ver en el anexo E “Programa”.

Finalmente, luego de determinar la cantidad de estratos y metros licuables es importante definir criterios para los niveles de licuación, ya que al crear el mapa será necesario identificar zonas de alto, medio y bajo riesgo. Estos criterios están basados en el espesor de suelo licuable, el cual determinara su riesgo de acuerdo a los siguientes niveles, metodología definida por Acuña (2004)

- **Rango de susceptibilidad Bajo:** un estrato licuable que tenga un espesor de por lo menos 1 metro.
- **Rango de susceptibilidad Medio:** Dos estratos licuables que tengan un espesor de por lo menos 1 metro cada uno.

- **Rango de susceptibilidad Alto:** Tres estratos licuables que tengan un espesor de por lo menos 1 metro cada uno.
- **Rango de susceptibilidad Muy Alto:** Más de tres estratos licuables que tengan un espesor de por lo menos 1 metro cada uno.

La verificación de las zonas susceptibles a licuación, se describen en el Anexo F: “Verificación de licuación.”

5. ANÁLISIS

5.1 Comparación sondajes

En la Tabla N°2 se muestra los resultados de las comparaciones realizadas.

Tabla N°2. Comparación de sondajes

Sondajes	Estrato (m)	Clasificación USCS	Nspt Post 2010	Nspt Pre 2010	Efecto
254 - 117	0,3 - 3,0	SP	119	82	Aumenta
255 - 117	0,5 - 3,0	SP	141	82	Aumenta
256 - 117	0,4 - 3,0	SP	114	82	Aumenta
299 - 228	1,0 - 4,0	ML	81	163	Disminuye
311 - 228	0,8 - 3,0	ML	35	111	Disminuye
238 - 153	1,0 - 6,0	SM	338	170	Aumenta
237 - 153	0,6 - 4,0	SM	121	79	Aumenta
266 - 125	0,4 - 5,0	SM	199	171	Aumenta
267 - 176	0,4 - 5,0	SM	162	144	Aumenta
294 - 176	0,9 - 6,0	SP	245	239	Aumenta
309 - 204	1,0 - 4,45	SM	115	297	Disminuye
239 - 216	0,5 - 3,0	SM(ML)	32	102	Disminuye
243 - 216	0,7 - 3,7	SM(ML)	72	174	Disminuye
244 - 216	0,8 - 3,7	SM(ML)	102	135	Disminuye
308 - 216	1,0 - 3,9	SM(ML)	70	202	Disminuye
307 - 216	1,6 - 3,7	SM(ML)	47	191	Disminuye
274 - 53	1,1 - 4,0	SP-SM	126	224	Disminuye
298 - 214	1,2 - 4,0	SP-SM	91	78	Aumenta

De las fichas comparativas descritas en el anexo B, podemos definir que hay una relación entre el tipo de suelo y el efecto de un sismo sobre éste.

En los suelos arenosos el sismo tiende a aumentar su resistencia a la penetración, esto se debe a que los arenosos tienen a reordenar sus partículas con mayor facilidad, por otro lado, en los suelos más bien arcillosos el sismo tiende a disminuir su resistencia a la penetración.

5.2. Modificaciones de modelos 2006

5.2.1. Modelo Sector Parque Industrial San Andrés: Al modelo se le modifico su perfil estratigráfico, su grafico S.P.T y se actualizo su nivel freático, para que represente de mejor manera a todos los sondajes en el sector.

5.2.2. Modelo Sector Centro Talcahuano: Al modelo se le modifico su perfil estratigráfico, se actualizo su nivel freático y se re-definió su borde

5.2.3. Modelo Sector Hospital Higuera: Al modelo se le modifico el grafico SPT, se actualizo su nivel freático y se re-definió su borde.

5.2.4. Modelo Sector Liceo A-21: Al modelo se le modifico su perfil estratigráfico, su grafico S.P.T y se actualizo Su nivel freático, para que represente de mejor manera a todos los sondajes en el sector.

5.2.4. Modelo Sector Cruz del Sur: Al modelo se le actualizo el nivel freático.

5.2.5. Modelo Sector Carriel Norte: Al modelo se le actualizo el nivel freático y se re-definió su borde.

5.2.6. Modelo Sector Parque Industrial Arucas: Al modelo se le actualizo su nivel freático.

5.2.7. Modelo Sector el Triángulo 2: Al modelo se modificó su perfil estratigráfico, se actualizo su nivel freático y re-definió su borde.

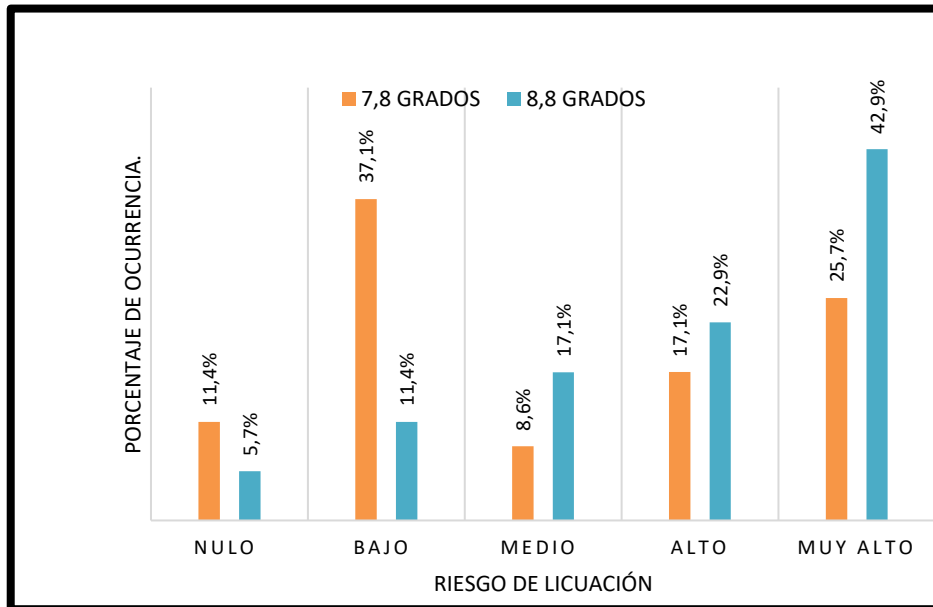
Los modelos fueron principalmente modificados en su rango SPT, ya que los sondajes post 2010 que se encontraban en esa zona, tenían SPT mayores a los definidos en el modelo original, por lo cual se realizó un ajuste para que así el nuevo modelo fuera representativo de todos los sondajes dentro de la zona.

La modificación de modelos, se describen en el Anexo C: “Nuevos modelos”

5.3. Verificación de licuación.

De la verificación realizada con el cambio de magnitud, se definió que esta influye de manera significativa en la susceptibilidad de los suelos de las comunas de Talcahuano y Hualpén. (Ver gráfico 1)

Grafico N°1. Riesgo de zonas a licuación



Al considerar la magnitud del terremoto ocurrido el 27 de febrero del 2010, se provoca un aumento del 17,2 % en las zonas con susceptibilidad muy alta y una disminución de 25,7% en las zonas con baja susceptibilidad.

- 5.3.1. *Sector Hualpen el Triángulo 1:* Este sector paso de riesgo medio, teniendo 2 metros licuables a riesgo muy alto, teniendo 5,75 metros licuables.
- 5.3.2. *Sector Terrenos Adyacente a Crispulo Gándara:* Este sector paso de riesgo bajo, teniendo 1,7 metros licuables a riesgo muy alto, teniendo 4,6 metros licuables.
- 5.3.3. *Sector Lan Price:* Este sector paso de riesgo nulo, teniendo 0 metros licuables a riesgo medio, teniendo 2,05 metros licuables.
- 5.3.4. *Sector Lan A3, A4 y A5:* Este sector paso de riesgo bajo, teniendo 1,6 metros licuables a riesgo alto, teniendo 3,65 metros licuables.
- 5.3.5. *Sector Población los boldos:* Este sector paso de riesgo bajo, teniendo 1,3 metros licuables a riesgo alto, teniendo 3,05 metros licuables.
- 5.3.6. *Sector Crispulo Gándara:* Este sector paso de riesgo alto, teniendo 3,9 metros licuables a riesgo muy alto, teniendo 4,55 metros licuables.

- 5.3.7. *Sector Calle Blanco Encalada*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,3 metros licuables a riesgo medio, teniendo 2,15 metros licuables.
- 5.3.8. *Sector San Vicente*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,55 metros licuables a riesgo medio, teniendo 2,75 metros licuables.
- 5.3.9. *Sector Estación Arenal*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,65 metros licuables a riesgo medio, teniendo 2,65 metros licuables.
- 5.3.10. *Sector Laminador Continuo CAP*: Este sector paso de riego alto, teniendo 3,3 metros licuables a riesgo muy alto, teniendo 7,1 metros licuables.
- 5.3.11. *Sector Interior CAP*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,05 metros licuables a riesgo alto, teniendo 3,15 metros licuables.
- 5.3.12. *Sector Gaete*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,3 metros licuables a riesgo medio, teniendo 2,55 metros licuables.
- 5.3.13. *Sector Simmons*: Este sector paso de riego alto, teniendo 3,6 metros licuables a riesgo alto, teniendo 5,1 metros licuables.
- 5.3.14. *Sector Liceo A-21*: Este sector paso de riego nulo, teniendo 0 metros licuables a riesgo bajo, teniendo 1,9 metros licuables.
- 5.3.15. *Sector Carriel Sur*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,04 metros licuables a riesgo alto, teniendo 3,21 metros licuables.
- 5.3.16. *Sector Lan C*: Este sector paso de riego bajo, teniendo 1,8 metros licuables a riesgo alto, teniendo 3,7 metros licuables.
- 5.3.17. *Sector Aeropuerto Carriel Sur*: Este sector paso de riego medio, teniendo 2,82 metros licuables a riesgo alto, teniendo 3,27 metros licuables.

En la figura 16 se muestra la modelación de susceptibilidad a licuación realizada el 2006 y en la figura 17 se observa la modelación actualizada y verificada en 2016, dejando a la vista los cambios provocados al aumentar la magnitud de estudio.

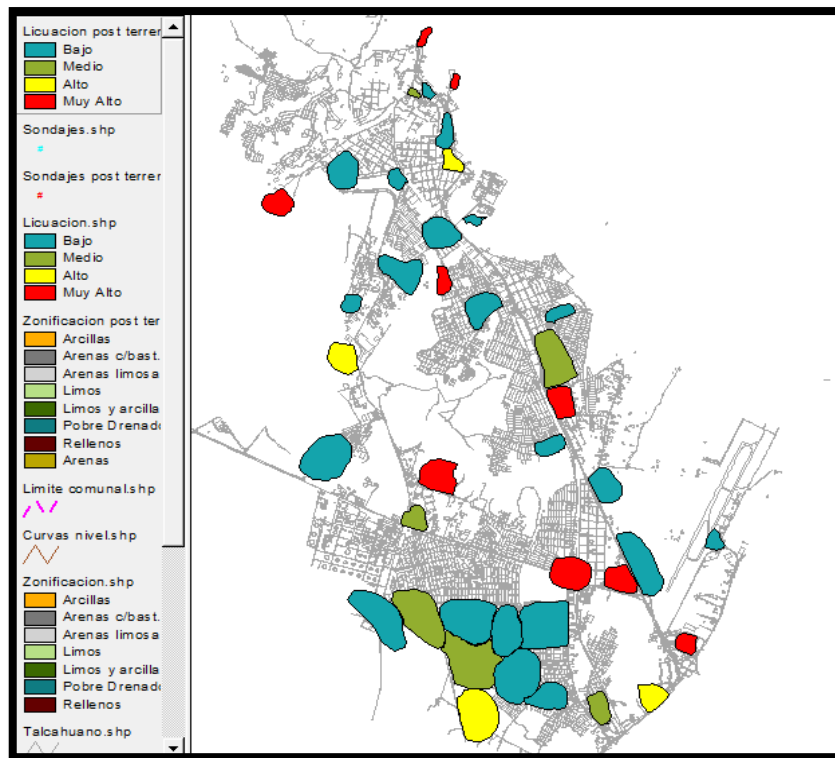


Figura N°16. Zonificación 2006.

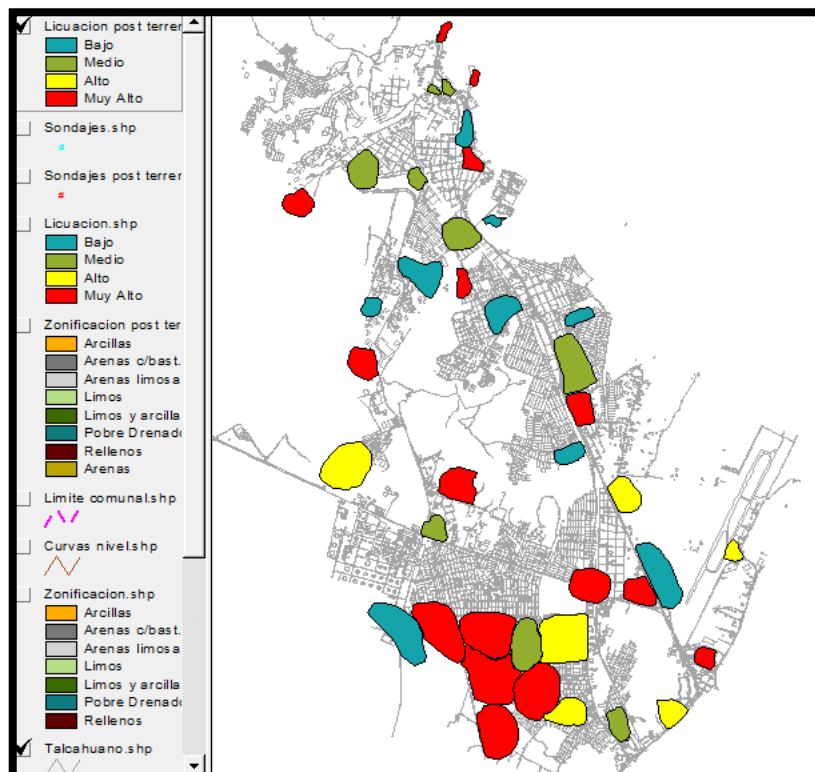


Figura N°17. Zonificación 2016.

5.4. Verificación del modelo realizado en 2006.

En base al trabajo de zonificación y estratificación realizado en la Comuna de Talcahuano y Hualpen , donde se clasifican las distintas zonas obtenidas del análisis de datos de los sondeos recopilados en función del tipo de suelo predominante en profundidad y del análisis de los modelos estratigráficos generados para cada zona, se obtiene el mapa de Talcahuano y Hualpen con su Zonificación realizada para este estudio en la Figura 19 contrastándola con la ya realiza en 2006 en la Figura 18, en donde se puede apreciar las nuevas zonas incorporadas.

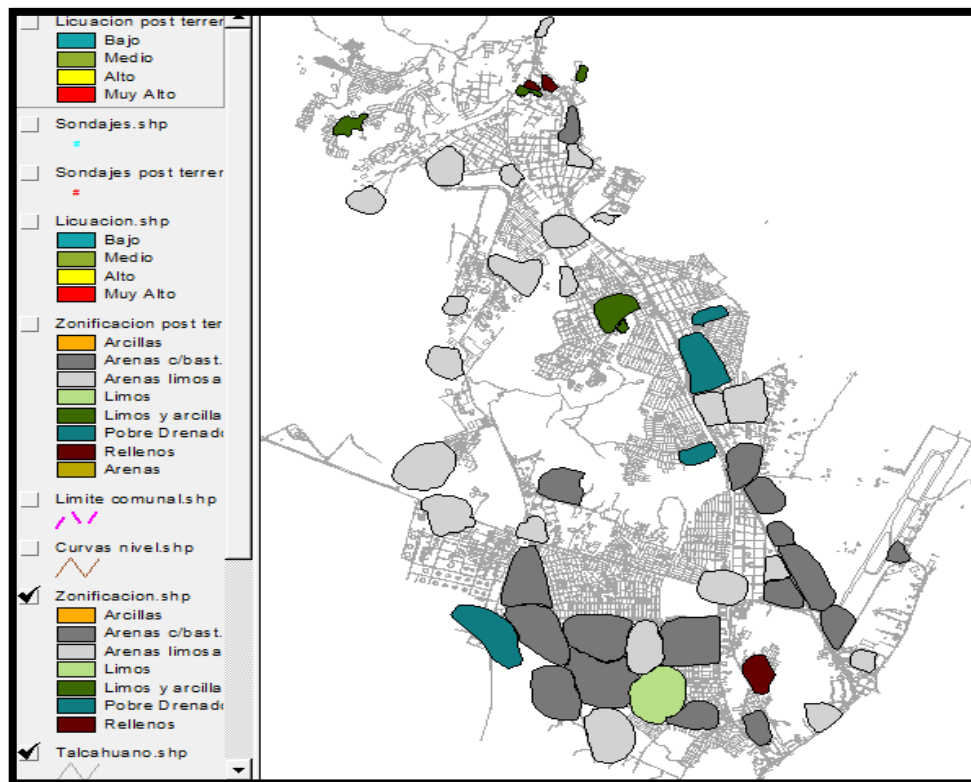


Figura N°18. Zonificación 2006.

En la zonificación de 2006 se modelaron 53 zonas, con una napa freática promedio de 1,67 m de profundidad y donde el 41,5% de las zonas fueron clasificadas como arena limosa

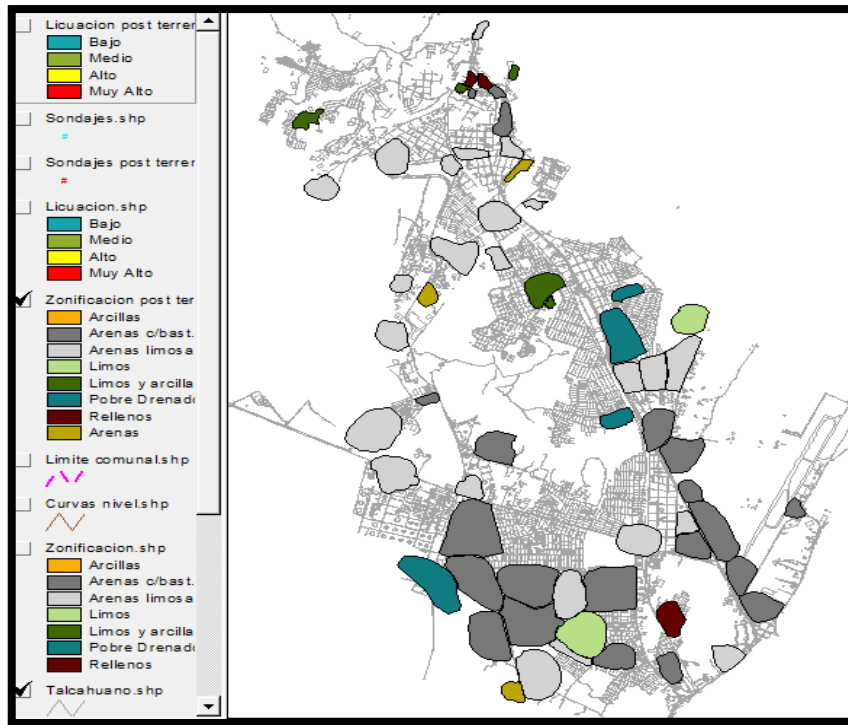


Figura N°19. Zonificación 2016.

En la zonificación de 2016 se modelaron 63 zonas, con una napa freática promedio de 2,25 m de profundidad y donde el 38,1% de las zonas fueron clasificadas como arena limosa.

6. CONCLUSIONES

- Al comparar los sondeos realizados antes del terremoto 2010 con los sondeos posteriores a esta fecha, se pudo determinar que existe una relación entre un sismo y la resistencia del suelo, en el caso de las arenas el aumento de magnitud sísmica generó un aumento en su resistencia, por el contrario, en los suelos limosos este aumento de magnitud generó una disminución en su resistencia.
- En la actualización de la modelación, se generaron 10 nuevas zonas y 8 modificaciones a modelos realizados en 2006, lo que en conjunto a los modelos que no sufrieron modificaciones, creó una base de datos de 63 zonas, donde el 38% corresponde a zonas clasificadas como Arenas Limosas.
- En relación a la susceptibilidad a la licuación, al realizar este análisis con la magnitud y aceleración máxima asociadas al terremoto del año 2010, se observó un aumento del 17% en las zonas que tenían una susceptibilidad muy alta y una disminución del 26% de las zonas con susceptibilidad baja.
- Del modelo realizado por Miguel Díaz en 2006, se puede decir que, si bien se produjeron cambios en la modelación, no fueron significativos para rechazar el modelo, si no que la actualización de la información sirvió para poder definir de mejor manera los límites y modelos de las zonas y ayudó a zonificar nuevos sectores de los cuales no había información.
- Referido al modelo estratigráfico, es importante dejar en claro que la información propuesta no pretende bajo ninguna circunstancia reemplazar la ejecución de los estudios de exploración de suelos insitu necesarios en un determinado proyecto, más bien cumple la finalidad de servir de información preliminar.
- Los sondeos obtenidos de las distintas fuentes de información se encuentran referenciados a cota terreno, por lo que no existe un punto de referencia en común de los mismos, implicando en imperfecciones de las modelaciones estratigráficas construidas en este trabajo.
- Los suelos de las comunas de Talcahuano y Hualpén están constituidos en gran parte por arenas limosas, las tiene clasifican USCS : SM, SP-SM y SP, además, se encuentran lentes de limo de espesor y profundidad variables los cuales clasifican como ML.

- La profundidad del Nivel freático en la mayoría de los sectores de Concepción fluctúa entre 0,5 y 9 m de profundidad, dependiendo de la variación estacional y las precipitaciones anuales.

7. RECOMENDACIONES

- Para la comparación de sondajes es necesario seguir abordando el tema y considerar para su estudio otros tipos de suelos.
- Verificar la susceptibilidad a licuación con diferentes magnitudes sísmicas.
- Es necesario que este trabajo sea actualizado constantemente con información de nuevos sondajes y mediciones de velocidad de ondas de corte, para así, poder conocer los tipos de suelos y sus características en sectores donde no se cuenta con información, además de, corroborar la información ya estudiada en este trabajo, definir los límites de las zonas con mayor precisión y mejorar los modelos estratigráficos realizados con mayor profundidad.
- Para las zonas que son potencialmente licuables, es recomendable llevar un control respectivo a estos eventos, especialmente después de cada sismo de magnitud considerable.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Diaz M., (2006), Estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Talcahuano y Hualpen, mediante la aplicación de SIG. Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Gonzales A., (2004), Susceptibilidad de los suelos de las comunas de Concepción a la licuación. Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Inostroza, G., (2004), Metodología de estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Concepción, mediante la aplicación de SIG. Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Vivallos, J., Ramírez, P., Fonseca, A., 2010, Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Concepción, Región del Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 12, 3 mapas en una hoja escala 1:20.000. Santiago, Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2010). Efectos Geológicos del Sismo del 27 de febrero 2010.
- Testani, C., & Guerra, P. (2010). Dinámica de Suelos y Susceptibilidad a Licuefacción. Barcelona.
- Norma Chilena Oficial 1508.Of2014, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 31 marzo 2014.
- Poblete, Mauro. (2004). Estimación de la historia de precarga cíclica de un suelo, con ayuda del potencial de licuación. 2004, de Universidad Austral de Chile, <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfcp739e/doc/bmfcp739e.pdf>. Acceso el 28 de marzo de 2017.
- Berry P., Reid D. Mecánica de Suelos. Editorial Mc Graw Hill. 1993.
- Galli, C., y Lemke. R.W., El suelo de fundación de Concepción. Estudios Geotécnicos n°2, Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago, Chile 1967.

UNIVERSIDAD DEL BÍO- BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROFESOR PATROCINANTE:

ING. CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ

ANEXOS

NICOLE CONTRERAS CASTILLO.

Concepción, abril de 2017

ÍNDICE

ANEXO A: “ENSAYO SPT Y CORRECCIONES”	41
1.1. PROCEDIMIENTO GENERAL.....	41
1.2.1. Sobrepresión.....	42
1.2.2. Energía transmitida las barras perforadoras	42
1.2.3. Frecuencia del número de golpes.	44
1.2.4. Diámetro y limpieza de la perforación.	45
1.2.5. Longitud y tipo de barras.	45
1.2.6. Factores humanos.....	47
ANEXO B: “ANÁLISIS DE SONDAJES”	49
2.1. FICHA DE SONDAJE.....	49
ANEXO C: “LISTADO DE MODELOS”	58
ANEXO D: “ACTUALIZACIÓN DE MODELACIÓN.....	60
4.1. NUEVOS MODELOS.	60
4.1.1. Modelo Sector Caleta El Morro.....	60
4.1.2. Modelo Sector Plaza Talcahuano.....	60
4.1.3. Modelo Sector Fosfoquim.	61
4.1.4. Modelo Sector Jaime Repullo 2.....	61
4.1.5. Modelo Sector Villa San Marcos.....	62
4.1.6. Modelo Sector Parque Potsdam.....	62
4.1.7. Modelo Sector Arenal 2.....	63
4.1.8. Modelo Sector Moly-Cop.....	63
4.1.9. Modelo Sector Cristóbal Colon entre Covadonga y Esmeralda.	64
4.1.10. Modelo Sector Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.....	64
4.2. MODIFICACIÓN DE MODELOS 2006.....	65
4.2.1. Modelo Sector Parque Industrial San Andrés.....	65
4.2.2. Modelo Sector Centro de Talcahuano.....	65
4.2.3. Modelo Sector Hospital Higuera.....	66
4.2.4. Modelo Sector Liceo A-21.....	66

	40
4.2.5. Modelo Sector Cruz del Sur.....	67
4.2.6. Modelo Sector Carriel Norte.....	67
4.2.7. Modelo Sector Parque Industrial Arucas.....	68
4.2.8. Modelo Sector el Triángulo 2.	68
ANEXO E: “PROGRAMA”	5869
ANEXO F: “PROGRAMA”.....	5879
ANEXO E: “MAPA DE ZONIFICACION”.....	80

ANEXO A: “ENSAYO SPT Y CORRECCIONES”

1.1.PROCEDIMIENTO GENERAL

El método de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) es tal vez el más conocido y usado en la exploración de suelos, tal vez por su sencillez de ejecución y sobre él existe una literatura muy abundante.

Se han planteado una serie de correlaciones entre los valores del S.P.T. y la Resistencia a la Licuación de suelos (por intermedio de gráficos), dando lugar a un camino para evaluar el Potencial de Licuación, donde se podrán diferenciar condiciones licuables y no-licuables del lugar afectado.

El método ha sido estandarizado desde 1958, con varias revisiones (ASTM D-1586) y consiste en hincar un toma muestras partido de 18" (≈ 45 cm) de largo colocado al extremo de una varilla AW, por medio de un peso (martillo) de 140 lb (≈ 63.5 kg) que se deja caer "libremente" desde una altura de 30" (≈ 76 cm), anotando los golpes necesarios para penetrar cada 6" (≈ 15 cm).

El valor normalizado de penetración N es para 12" (1 pie ≈ 30 cm) se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos valores registrados. El ensayo se dice que muestra "rechazo" si:

- N es mayor a 50 golpes/15 cm
- N es igual a 100 golpes/pie
- No hay avance luego de 10 golpes.

Aunque se denomina "estándar", el ensayo tiene muchas variantes y fuentes de diferencia, en especial a la energía que llega al toma muestras

1.2.FACTORES QUE AFECTAN EL SPT.

1.2.1. Sobrepresión

La sobrepresión influencia a la resistencia a la penetración ya que un mismo suelo a una profundidad pequeña su número de golpes es bajo, pero al aumentar la profundidad se presentará una resistencia a la penetración (N) más elevada.

Los investigadores, Gibbs y Holtz (1957), propusieron modificar el número de golpes cerca de la superficie de suelos sin cohesión para incluir el efecto de la reducida presión de confinamiento, mediante la siguiente relación:

$$N_{SP} = N \left(\frac{3.5}{\sigma_v + 0.7} \right) \quad (1.1)$$

Donde N: Número de golpes del S.P.T. medido en terreno.

NSP: Valor de N corregido por sobrepresión.

σ_v : Tensión vertical efectiva a la profundidad de estudio. No puede exceder de 2.8 Kg/cm².

1.2.2. Energía transmitida las barras perforadoras

La energía real transmitida a las barras perforadoras varía en distintas zonas de un país (EEUU) y más aún alrededor del mundo. Investigadores (Kovacs, 1983; Schmertman, 1976) han encontrado que estas variaciones pueden encontrarse dentro de un rango de 40% a 90% de la energía libre en teoría debiera transmitirse al martillo.

En la actualidad se utilizan principalmente dos tipos de martillo el Donut y el de Seguridad, básicamente su diferencia está en la eficiencia de entrega de energía sobre la barra, ya que existen variaciones en procedimientos para levantar y dejar caer el martillo (sistemas mecánicos, técnica de la cuerda y la polea, etc.), número de vueltas de la cuerda en la polea (técnica cuerda-polea) y otros factores.

El martillo de Seguridad, es más eficiente en la entrega de energía, logrando una razón entre la máxima entregada y la teórica de un 60%, en tanto el martillo Donut para las mismas condiciones alcanza una razón de energía de un 45%.

Se ha planteado una estandarización de la razón de energía en un 60%, los valores del S.P.T. corregidos de esta forma se designarán como N60, y se determinarán como:

$$N_{60} = N \frac{ER_m}{60} \quad (1.2)$$

Donde N: Valor del S.P.T. medido en terreno.

ERm: Razón de Energía transmitida a las barras por la técnica de caída usada.

N60: Valor de N corregido para una razón de energía del 60%.

En la tabla (A1) Seed, 1984 propone factores de corrección por energía para distintos países del mundo, también se incluye la corrección para el caso chileno.

PAÍS	TIPO DE MARTILLO	TIPO DE CAÍDA	ENERGÍA ESTIMADA %	FACTOR DE CORRECCIÓN
Japón	Donut	Caída Libre	78	78/60=1.30
	Donut	Cuerda-Polea	67	67/60=1.12
		Con impulso		
E.E.U.U.	Seguridad	Cuerda-Polea	60	60/60=1.00
	Donut	Cuerda-Polea	45	45/60=0.75
Argentina	Donut	Cuerda-Polea	45	45/60=0.75
Chile	Donut	Cuerda-Polea	45	45/60=0.75
China	Donut	Caída Libre	60	60/60=1.00
	Donut	Cuerda-Polea	50	50/60=0.83

Tabla A 1. Resumen de Razones de energía para distintos procedimientos de SPT.

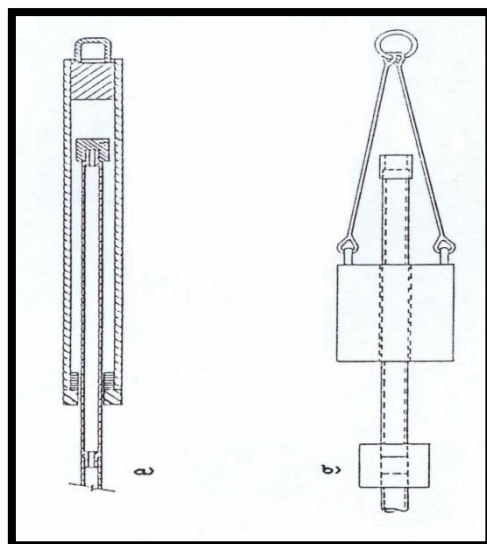


Figura A 1 Martillos utilizados en ensayos de penetración estándar.

a) Martillo de Seguridad b) Martillo Donut.

1.2.3. Frecuencia del número de golpes.

La frecuencia de golpes del martillo es significativamente menor en Japón que en E.E.U.U.; así, en E.E.U.U la frecuencia de golpes es típicamente de 30 a 40 por minuto, pero con el método "tonbi" japonés es del orden de 10 a 25 golpes por minuto y con la técnica de la cuerda-polea con impulso especial es sólo de 17 a 20 golpes por minuto.

Incluso si la Razón de Energía es la misma, se pueden esperar diferencias en los valores de N obtenidos de ensayos realizados con distintas razones de golpes aplicados.

Durante la penetración del muestreador en un suelo no cohesivo se desarrollan presiones de poros. Una frecuencia más baja en la aplicación de golpes, podría permitir que más de este exceso de presión de poros se disipe entre golpes que con una frecuencia más alta; resultando en una condición de tensiones efectivas más grandes y una correspondiente Resistencia a la Penetración, N , más elevada.

Por lo tanto, si una Razón de Energía de 60% fuera utilizada en E.E.U.U y en Japón, los valores de N podrían diferir, a causa de las distintas razones de golpes de martillo aplicadas, de acuerdo a:

$(NJ)_{60} > (NUS)_{60}$ Para arenas sueltas, con $(N1)_{60} < 20$

$(NJ)_{60} < (NUS)_{60}$ Para arenas densas, con $(N1)_{60} > 20$

1.2.4. Diámetro y limpieza de la perforación.

Los diámetros de los agujeros usados en Japón son más pequeños que los empleados en E.E.U.U. El diámetro estándar especificado en Japón es de 2.6" (6.604 cm), aunque diámetros de 3.4" (8.636 cm) y 4.6" (11.684 cm) son a veces usados. En E.E.U.U los diámetros usualmente no son menores a 4" (10.16 cm) y pueden llegar hasta 6" (15.24 cm).

Es razonable esperar que el uso de perforaciones cilíndricas de diámetros más pequeños tienda a incrementar la Resistencia a la Penetración de un depósito y que para Razones de Energía iguales, el efecto de este factor podría ser la causa de:

$$(NJ)_{60} > (NUS)_{60}$$

Se ha establecido apropiado considerar para arenas con $(N1)_{60} < 20$ que.

$$(NUS)_{60} \approx 0.9 (NJ)_{60}$$

Descripciones usuales del ensayo lo consideran asociado con perforaciones de 2 1/2" (6.35 cm) o 4" de diámetro (Fletcher, 1965), enfatizando la exclusión de diámetros superiores a 4".

Por otro lado, una limpieza inadecuada de la perforación puede variar los resultados del test por un aumento de la fricción, y principalmente por el lodo del fondo que es transportado hacia la válvula esférica superior (que permite la salida de azolve y evita que la muestra se salga fácilmente del tubo), incrementándose el número de golpes. Se tienen similares efectos al tapar las aberturas laterales, con un posible aumento del número de golpes de hasta un 50%.

1.2.5. Longitud y tipo de barras.

Ensayos realizados por Gibbs y Holtz indicaron que la longitud de la barra de perforación, a lo menos de 65 pies (≈ 20 m), no era demasiado importante. Fletcher (1965), también

señaló que esto no era un factor muy influyente. Sin embargo, para longitudes superiores a 200 pies (≈ 60 m), el valor de N puede llegar a ser muy elevado.

Amplios estudios del S.P.T. en la Universidad de Florida (Palacios, 1977; Schmertmann, 1977) han mostrado que cuando la longitud de las barras de perforación es menor que 10 pies (≈ 3 m), hay una reflexión de energía en las barras que reduce la energía disponible para impulsar el tubo muestreador dentro del suelo. De esta forma, la medida de la Resistencia a la Penetración es ficticia, por lo que se propuso que esta pérdida de energía impulsante, en barras cortas de longitud, sea corregida multiplicando los valores de N para profundidades entre 0-10 pies (≈ 3 m) por un factor de 0.75.

En cuanto al tipo de barras, aquí influye el uso de tubos más pesados que lo establecido y la flexibilidad de éstos, ya que absorben una parte de la energía entregada por el golpe del martillo (o martinete).

Se ha recomendado el uso de barras A o AW para perforaciones menores a 15 m y barras N, NW o BW para profundidades mayores.

Las barras AW y BW son equivalentes porque tienen un peso similar. Sin embargo, son preferibles las BW porque sufren menos pandeo al someterlas a los impactos del martillo.

En la tabla (A2) se muestran las principales características de estas barras.

tipo de barra	ϕ_e mm	ϕ_i mm	peso kg/ml	Recomendada usar en
EW	34.9	22.2	4.6	Cono Eléctrico
AW	44.4	30.9	6.5	Sondeo < 15m
BW	54.0	44.5	6.2	Sondeo > 15m
NW	66.7	57.2	8.0	Sondeo > 15m No usar para muestreo.

Tabla A 2 Medidas de las barras de perforación más usuales, donde ϕ_e diámetro exterior, ϕ_i diámetro interior.

1.2.6. Factores humanos.

Es evidente que en la ejecución del ensayo el factor humano tiene una influencia no despreciable. Por lo tanto, ejecutando el S.P.T. en condiciones normales y con cuidado, para evitar errores sistemáticos y al azar, nos puede proporcionar información muy importante. Algunos de estos errores son:

- a) Variación en la altura de caída libre (Método Cuerda-Polea) del peso desde 75 cm, puesto que se realiza usualmente al ojo.
- b) La caída libre de la masa puede ser trabada por cualquier objeto.
- c) Falta de cuidado en la cuenta de los golpes o la medida de la penetración.
- d) Uso de una cuerda demasiado larga o liviana.
- e) Error al asentar la cuchara partida en un material no distorsionado para el conteo de golpes.
- f) El estado de la superficie interior y exterior del tubo muestreador, donde las partes enmohecidas o abolladas pueden modificar considerablemente el rozamiento con las capas del suelo.
- g) La posición de la napa freática en relación al nivel del ensayo. Es importante que el nivel del agua en la perforación este por sobre el nivel de la napa. Una retirada rápida de las herramientas para perforar podría bajar el nivel del agua en la perforación con respecto a la napa y el agua que fluiría en el fondo desprendería el suelo, causando número de golpes bajo para la próxima penetración.
- h) Adecuado apriete en el ensamble de las barras. Coplas mal apretadas disipan energía por pandeo y flexión de las barras.

En la tabla (A3) se resumen los procedimientos de ejecución recomendados del S.P.T., para su uso en correlaciones empíricas de evaluación de Potencial de Licuación.

A. Perforación: De 4" (10cm) a 5" (12.5) de diámetro con barro bentonítico como perforador para estabilidad del agujero.
B. Taladro Perforador: Desviación hacia arriba del barro perforador.
C. Muestreador: $\phi_{ext.}=2"$ (5.08 cm) $\phi_{inte.}=1\frac{1}{8}"$ (3.5 cm) constante, sin revestimiento.
D. Barras Perforadoras: AW para sondeos < 15 m. NW o BW para sondeos mayores.
E. Energía entregada al Muestreador: 4800 kg-cm (60% de la máxima teórica)
F. Frecuencia del Número de Golpes: 30 a 40 golpes/min.
G. Conteo del Número de Golpes: Desde 15cm a 45cm.
H. Cuidado en la ejecución del ensayo.

Tabla A 3 Procedimientos del S.P.T. recomendados para usar en correlaciones de Licuación

Fuente: Seed, H.B., 1984.

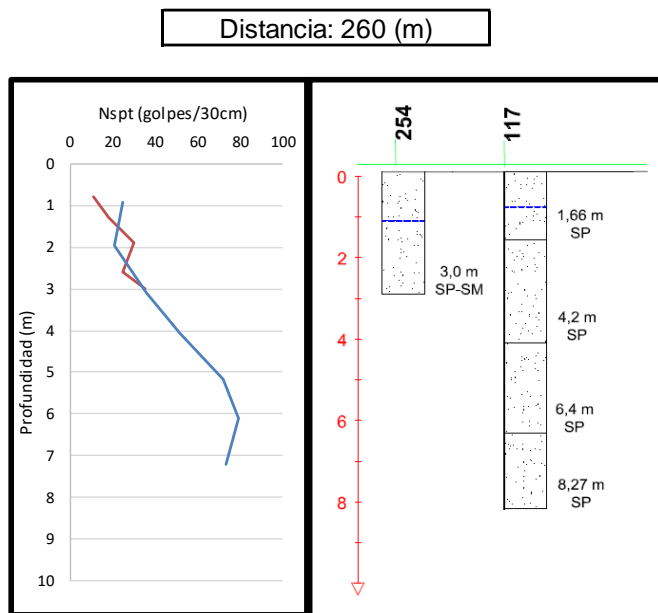
ANEXO B: “ANÁLISIS DE SONDAJES”

2.1.FICHAS DE SONDAJES.

2.1.1.

ID	254
NF	1.1 m
Fecha	16/05/2016

Profundida m	Penetració Nº de
Hasta	Nc
0,3	-
0,8	11
1,3	18
1,9	30
2,6	25
3	35



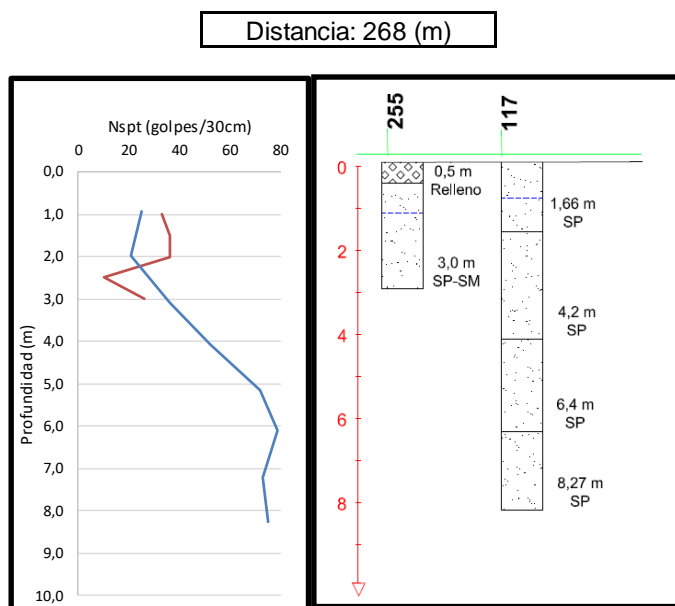
ID	117
NF	0.85 m
Fecha	24/06/1995

Profundida m	Penetració Nº de
Hasta	Nc
0,93	25
1,97	21
3,09	36
4,07	52
5,16	72
6,12	79
7,22	73
8,27	75

2.1.2.

ID	255
NF	1,1 m
Fecha	16/05/2016

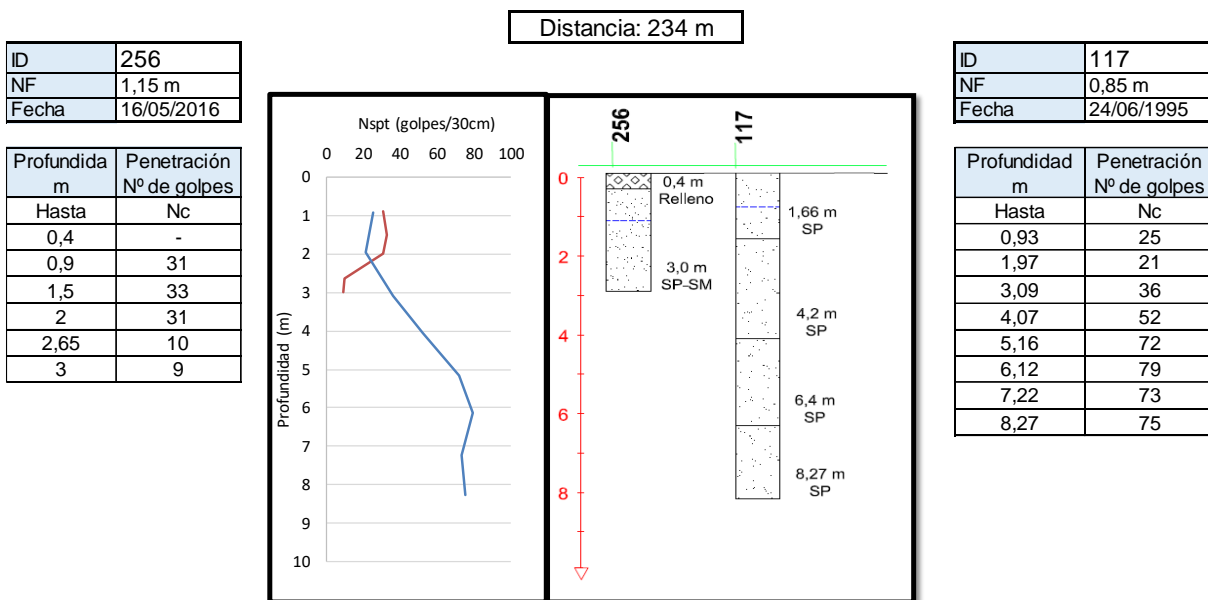
Profundida m	Penetració Nº de
Hasta	Nc
0,5	-
1,0	33
1,5	36
2,0	36
2,5	10
3,0	26



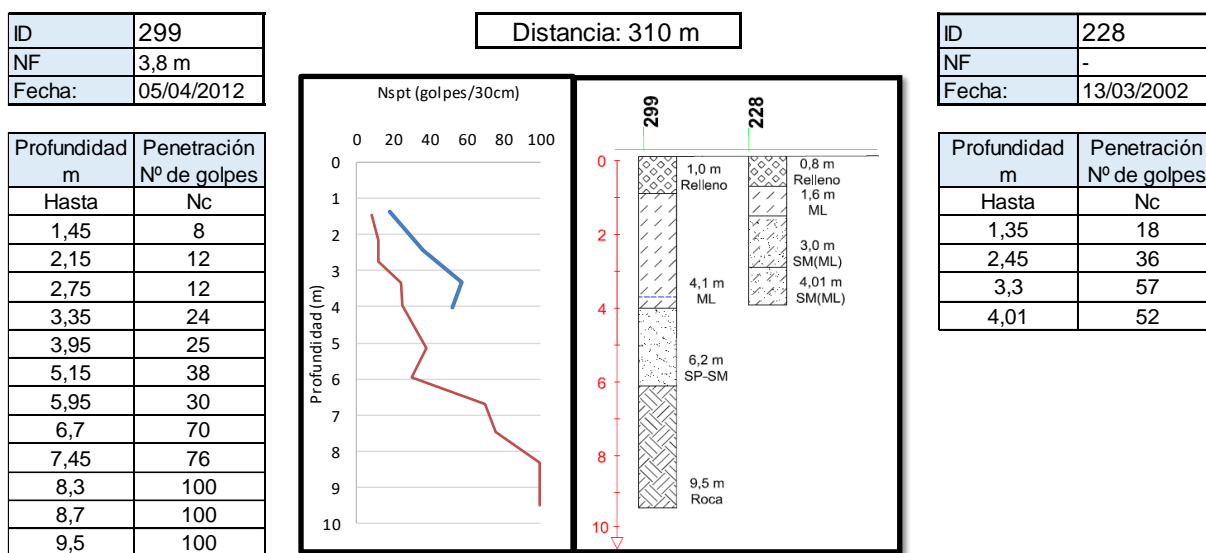
ID	117
NF	0.85 m
Fecha	24/06/1995

Profundida m	Penetració Nº de
Hasta	Nc
0,93	25
1,97	21
3,09	36
4,07	52
5,16	72
6,12	79
7,22	73
8,27	75

2.1.3.



2.1.4.

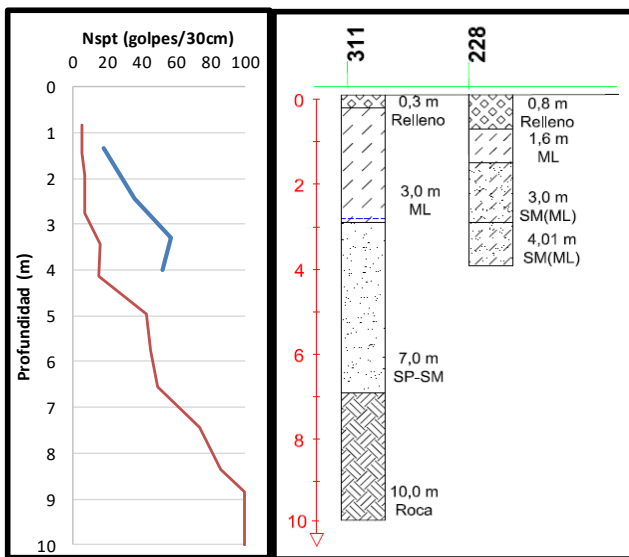


2.1.5.

ID	311
NF	2,9 m
Fecha:	07/09/2012

Profundida m	Penetración N° de
Hasta	Nc
0,85	5
1,45	5
1,95	7
2,75	7
3,45	16
4,15	15
4,95	43
5,75	45
6,55	49
7,45	74
8,35	86
8,85	100
10	100

Distancia: 320 m



ID	228
NF	-
Fecha:	13/03/2002

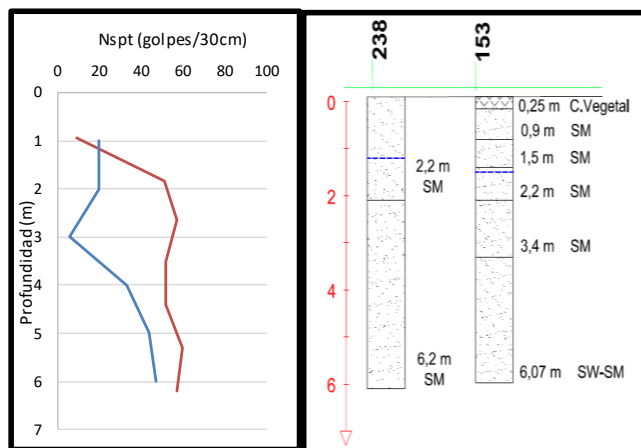
Profundida m	Penetración N° de
Hasta	Nc
1,35	18
2,45	36
3,3	57
4,01	52

2.1.6.

ID	238
NF	1,3 m
Fecha:	30/01/2015

Profundida m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,5	
0,95	9
1,85	51
2,65	57
3,5	52
4,4	52
5,3	60
6,2	57

Distancia: 135 m



ID	153
NF	1,6 m
Fecha:	25/07/2003

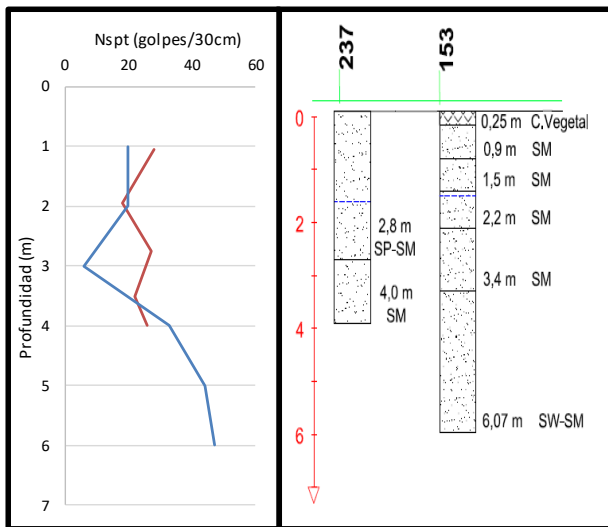
Profundida m	Penetración N° de
Hasta	Nc
1	20
2	20
3	6
4	33
5	44
6	47

2.1.7.

ID	237
NF	1,7
Fecha:	30/01/2015

Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,6	
1,05	28
1,95	18
2,75	27
3,5	22
4	26

Distancia: 130 m



ID	153
NF	1,6 m
Fecha:	25/07/2003

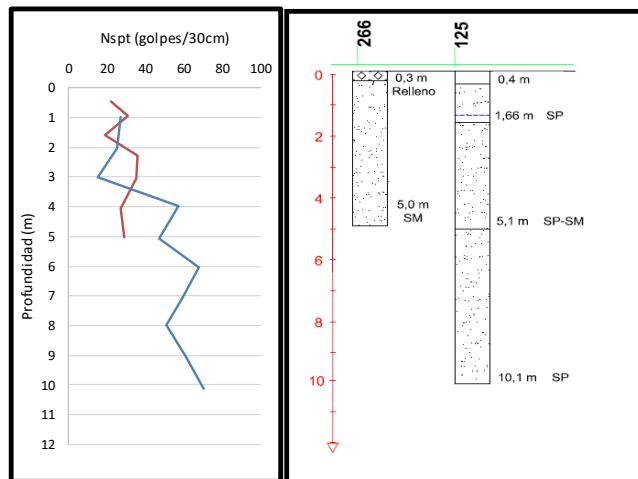
Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
1	20
2	20
3	6
4	33
5	44
6	47

2.1.8.

ID	266
NF	-
Fecha:	12/02/2011

Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,45	22
0,92	31
1,57	19
2,27	36
3,05	35
4,04	27
5,03	29

Distancia: 180 m



ID	125
NF	1,43
Fecha:	30/05/1997

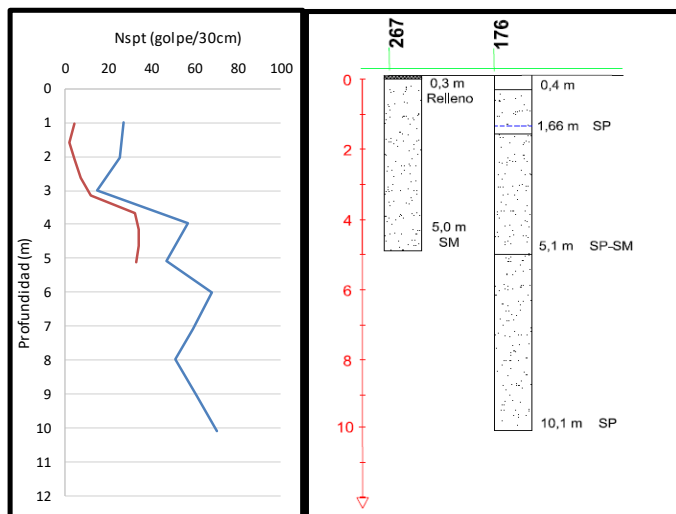
Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,99	27
2,05	25
2,99	15
3,96	57
5,07	47
6,02	68
7,09	59
7,98	51
9,05	61
10,11	70

2.1.9.

ID	267
NF	-
Fecha:	12/02/2011

Distancia: 124 m

Profund m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
1,03	4
1,58	2
2,08	4
2,64	7
3,16	12
3,65	32
4,14	34
4,64	34
5,13	33



ID	176
NF	1,43
Fecha:	30/05/1997

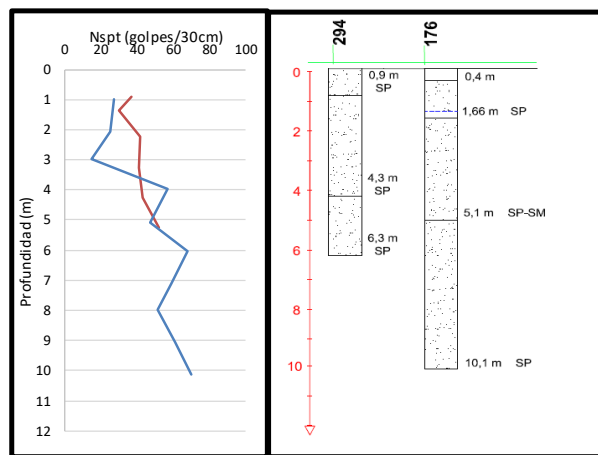
Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,99	27
2,05	25
2,99	15
3,96	57
5,07	47
6,02	68
7,09	59
7,98	51
9,05	61
10,11	70

2.1.10.

ID	294
NF	1,3
Fecha:	16/09/2014

Distancia: 218 m

Profund m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,9	
1,35	37
2,25	30
3,25	42
4,25	41
5,25	43
6,25	52



ID	176
NF	1,43
Fecha:	30/05/1997

Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,99	27
2,05	25
2,99	15
3,96	57
5,07	47
6,02	68
7,09	59
7,98	51
9,05	61
10,11	70

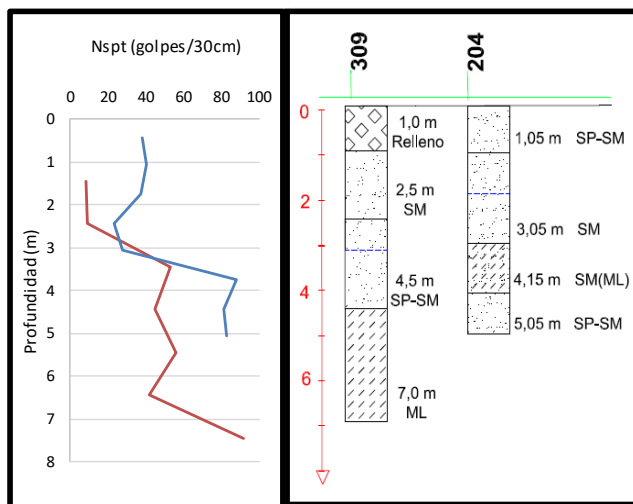
2.1.11.

ID	309
NF	3,2 m
Fecha:	12/09/2013

Distancia: 172 m

ID	204
NF	1,95
Fecha:	04/02/1972

Profundidad m	Penetración N° de
Hasta	Nc
0,45	-
1,45	8
2,45	9
3,45	53
4,45	45
5,45	56
6,45	42
7,45	92



Profundidad m	Penetración N° de
Hasta	Nc
0,45	38
1,05	40
1,75	37
2,45	23
3,05	28
3,75	88
4,45	81
5,05	83

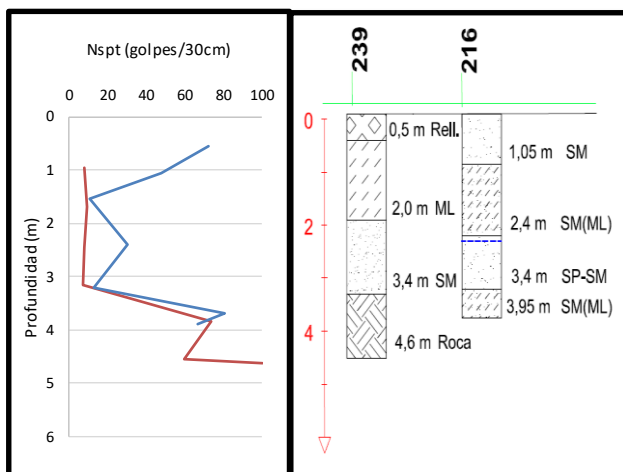
2.1.12.

ID	239
NF	-
Fecha:	26/02/2013

Distancia: 231 m

ID	216
NF	2,5
Fecha:	09/05/1975

Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,5	-
0,95	8
1,7	9
2,45	8
3,15	7
3,85	74
4,55	60
4,63	100



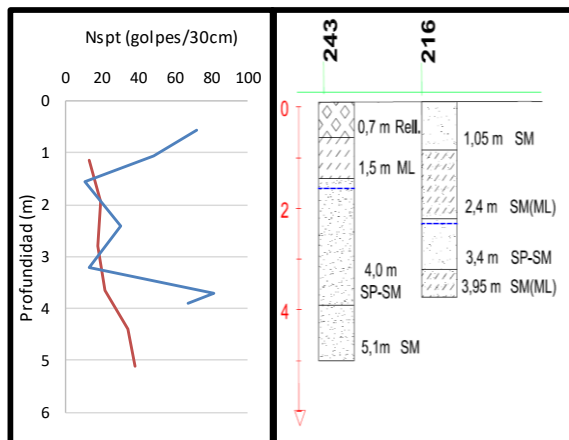
Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,55	72
1,05	48
1,55	11
2,4	30
3,2	13
3,7	81
3,9	67

2.1.13.

ID	243
NF	1,7 m
Fecha:	08/03/2013

Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,7	-
1,15	13
1,95	19
2,8	18
3,65	22
4,4	34
5,1	38

Distancia: 238 m



ID	216
NF	2,5
Fecha:	09/05/1975

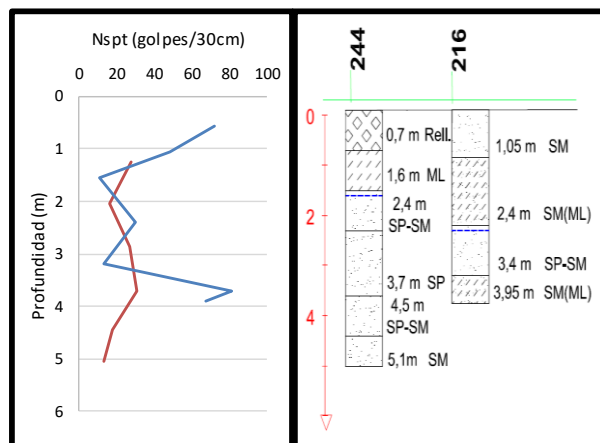
Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,55	72
1,05	48
1,55	11
2,4	30
3,2	13
3,7	81
3,9	67

2.1.14.

ID	244
NF	1,7 m
Fecha:	08/03/2013

Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,8	-
1,25	28
2,05	16
2,85	27
3,7	31
4,45	18
5,05	13

Distancia: 255 m



ID	216
NF	2,5
Fecha:	09/05/1975

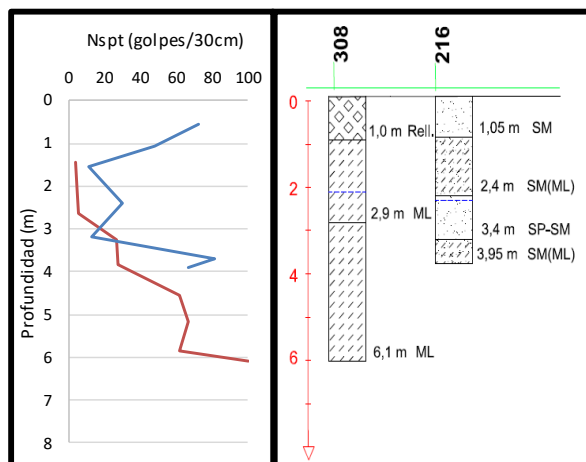
Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,55	72
1,05	48
1,55	11
2,4	30
3,2	13
3,7	81
3,9	67

2.1.15.

ID	308
NF	2,2
Fecha:	19/10/2011

Distancia: 278m

Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
1	-
1,45	4
2,05	5
2,65	6
3,25	27
3,85	28
4,55	62
5,15	67
5,85	62
6,1	100



ID	216
NF	2,5
Fecha:	09/05/1975

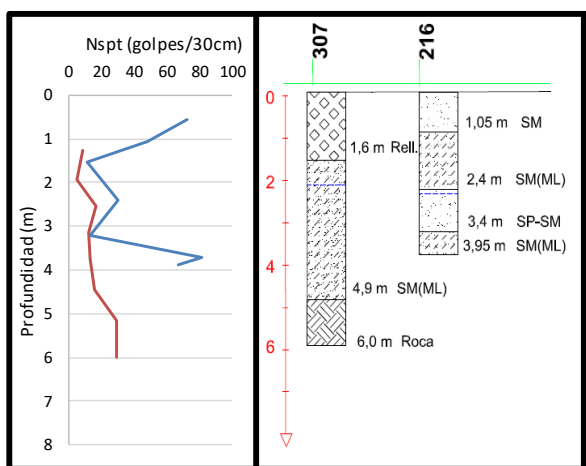
Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,55	72
1,05	48
1,55	11
2,4	30
3,2	13
3,7	81
3,9	67

2.1.16.

ID	307
NF	2,2
Fecha:	19/10/2011

Distancia: 268 m

Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
1,25	9
1,95	5
2,55	17
3,15	12
3,75	13
4,45	16
5,15	29
6	29



ID	216
NF	2,4
Fecha:	09/05/1975

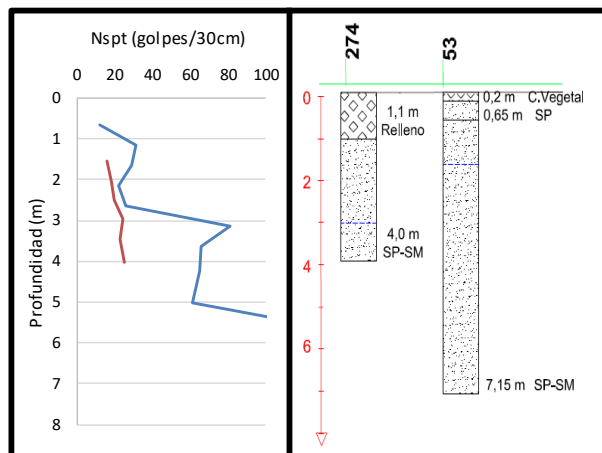
Profundidad m	Penetración N° de golpes
Hasta	Nc
0,55	72
1,05	48
1,55	11
2,4	30
3,2	13
3,7	81
3,9	67

2.1.17.

ID	274
NF	3,1
Fecha:	26/01/2010

Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
1,55	16
2,03	18
2,5	20
2,97	24
3,45	23
4,01	25

Distancia: 115 m



ID	53
NF	1,7 m
Fecha:	29/06/1978

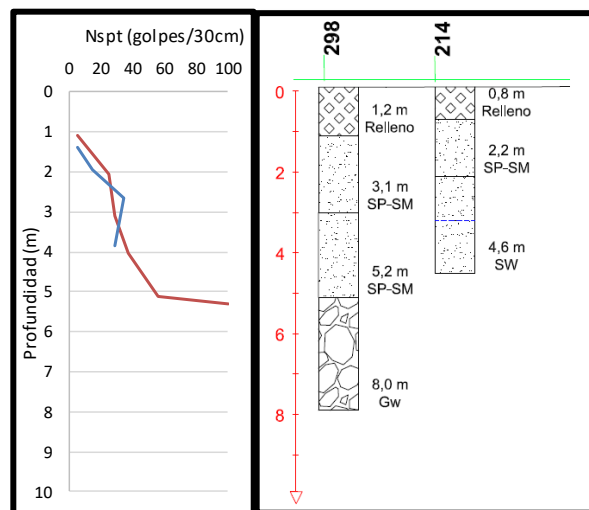
Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
0,65	12
1,15	31
1,65	29
2,15	22
2,65	26
3,15	81
3,65	66
4,25	65
5	61
5,6	127
6,15	126
6,65	140
7,15	135

2.1.18.

ID	298
NF	-
Fecha:	09/02/2011

Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
1,08	5
2,04	25
3,1	29
4,03	37
5,13	56
5,3	100

Distancia: 186 m



ID	214
NF	3,3 m
Fecha:	04/09/1969

Profundidad m	Penetración Nº de golpes
Hasta	Nc
1,4	5
1,95	15
2,65	34
3,85	29

ANEXO C: “LISTADO DE MODELOS”

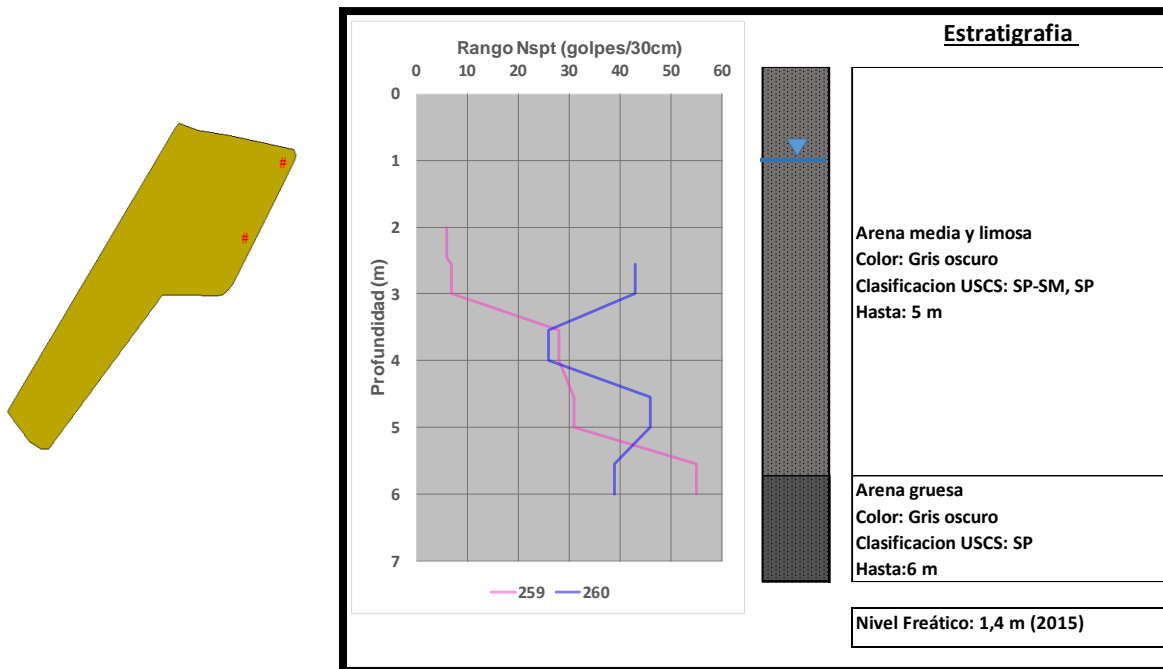
- 3.1. Modelo Sector Fundo Hualpen Peñuelas.
- 3.2. Modelo Sector Parque Industrial San Andrés.
- 3.3. Modelo Sector El Triángulo 1
- 3.4. Modelo Sector Calle O’Higgins Con Calle Colon.
- 3.5. Modelo Sector Parque Central.
- 3.6. Modelo Sector Villa Nueva Peñuelas.
- 3.7. Modelo Sector La Floresta III
- 3.8. Modelo Sector Terrenos Adyacentes a Pobl. Crispulo Gándara.
- 3.9. Modelo Sector Lan Price.
- 3.10. Modelo Sector Lan A-3
- 3.11. Modelo Población Los Boldos.
- 3.12. Modelo Población Crispulo Gándara.
- 3.13. Modelo Sector Cuatro Esquinas.
- 3.14. Modelo Sector Gran Bretaña
- 3.15. Modelo Sector Camino A Lengua
- 3.16. Modelo Sector Rompeolas San Vicente.
- 3.17. Modelo Sector Centro de Talcahuano.
- 3.18. Modelo Sector Escuela De Niñas.
- 3.19. Modelo Sector Blanco Encalada Entre Bulnes Y San Martin.
- 3.20. Modelo Sector San Vicente Puerto.
- 3.21. Modelo Sector Arenal.
- 3.22. Modelo Sector Laminador Continuo C.A.P
- 3.23. Modelo Sector Muelle C.A.P
- 3.24. Modelo Sector Interior C.A.P
- 3.25. Modelo Sector Rotonda Cementos Bío Bío.
- 3.26. Modelo Sector Gaete Y Canal El Morro.
- 3.27. Modelo Población Presidente Ríos.
- 3.28. Modelo Sector Hospital Higueras.
- 3.29. Modelo Sector Hospital Naval.
- 3.30. Modelo Sector Los Lobos.
- 3.31. Modelo Sector Simmons.

- 3.32. Modelo Sector Liceo A-21
- 3.33. Modelo Sector Base Naval.
- 3.34. Modelo Sector Villa Rualme.
- 3.35. Modelo Sector Perales.
- 3.36. Modelo Sector Jaime Repullo.
- 3.37. Modelo Sector Cruz Del Sur.
- 3.38. Modelo Sector Conjunto Verde Mar.
- 3.39. Modelo Sector Carriel Norte Lote
- 3.40. Modelo Sector Carriel Norte
- 3.41. Modelo Sector Brisas Del Sol.
- 3.42. Modelo Sector Lan C.
- 3.43. Modelo Sector Carriel Sur Lote 1.
- 3.44. Modelo Sector Parque Industrial Arucas.
- 3.45. Modelo Sector Copec Autopista.
- 3.46. Modelo Sector Conjunto Habitacional Colon.
- 3.47. Modelo Sector Conjunto Las Camelias.
- 3.48. Modelo Sector Espigón Emporchi.
- 3.49. Modelo Sector El Triángulo 2.
- 3.50. Modelo Sector Torre Medica Mall.
- 3.51. Modelo Sector Aeropuerto Carriel Sur.
- 3.52. Modelo Sector Comisaria Y Cuerpo De Bomberos Higueras.
- 3.53. Modelo Sector Caleta El Morro.
- 3.54. Modelo Sector Plaza Talcahuano.
- 3.55. Modelo Sector Fosfoquim.
- 3.56. Modelo Sector Jaime Repullo 2.
- 3.57. Modelo Sector Villa San Marcos.
- 3.58. Modelo Sector Parque Potsdam.
- 3.59. Modelo Sector Arenal 2.
- 3.60. Modelo Sector Moly-Cop.
- 3.61. Modelo Sector Cristóbal Colon Entre Covadonga y Esmeralda.
- 3.62. Modelo Sector Planta De Tratamiento de Aguas Servidas.

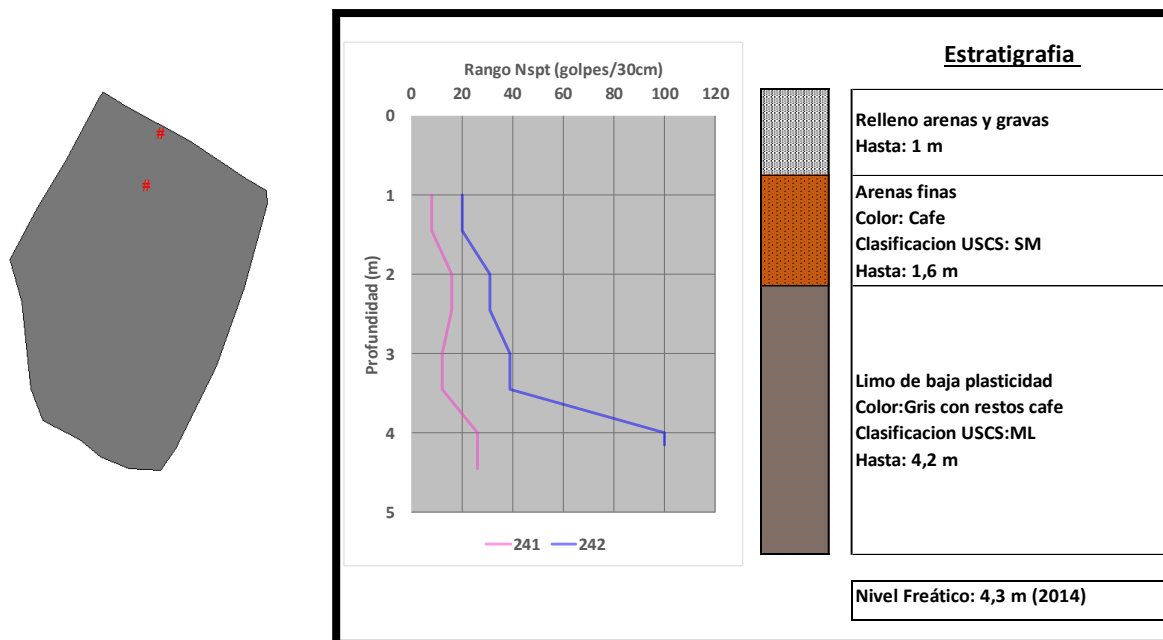
ANEXO D: “ACTUALIZACIÓN DE MODELACIÓN”

4.1.NUEVOS MODELOS

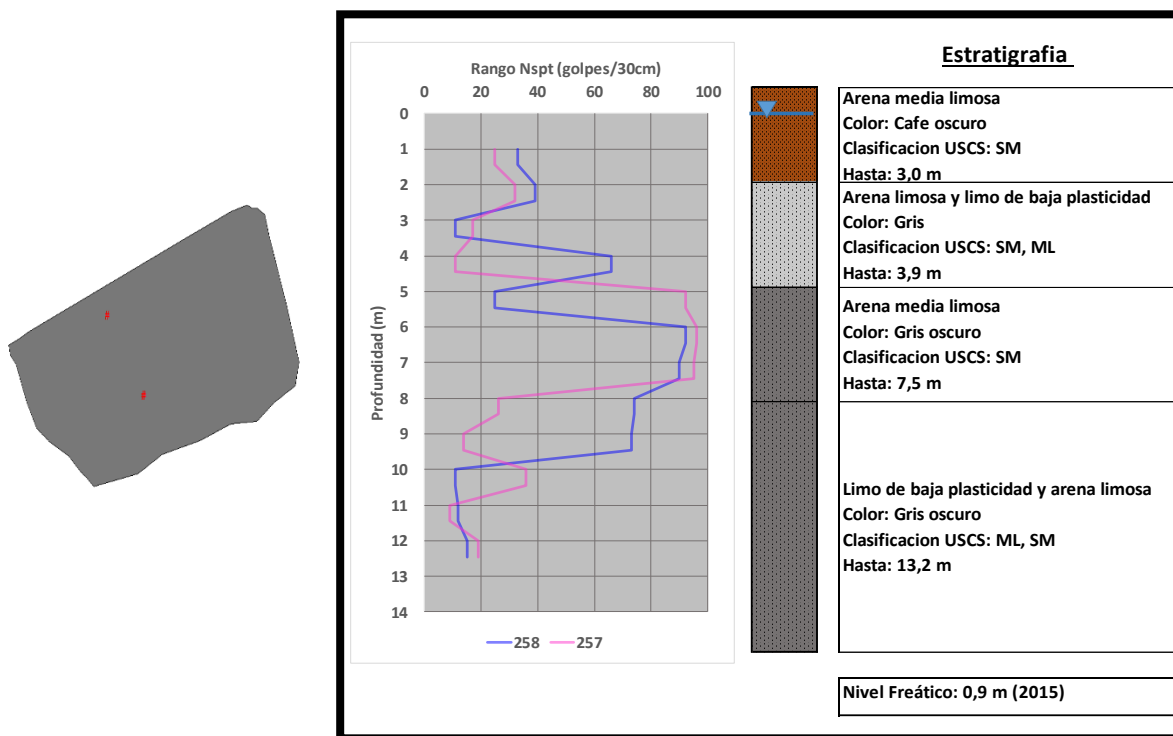
4.1.1. Modelo Sector Caleta El Morro



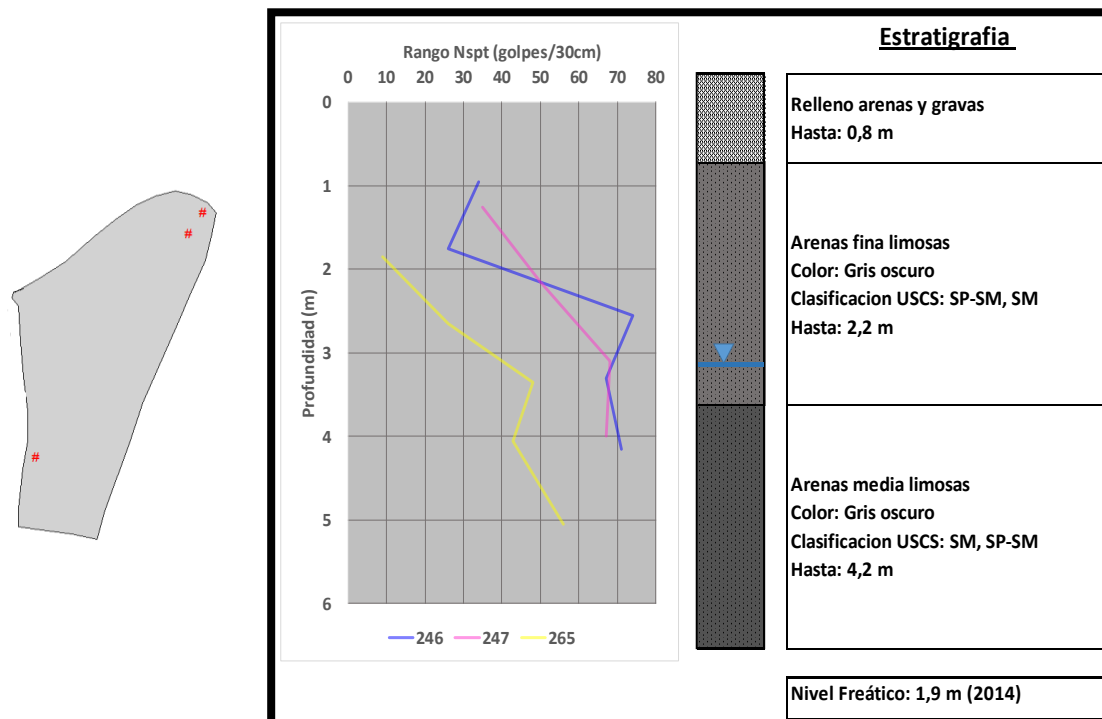
4.1.2. Modelo Sector Plaza Talcahuano



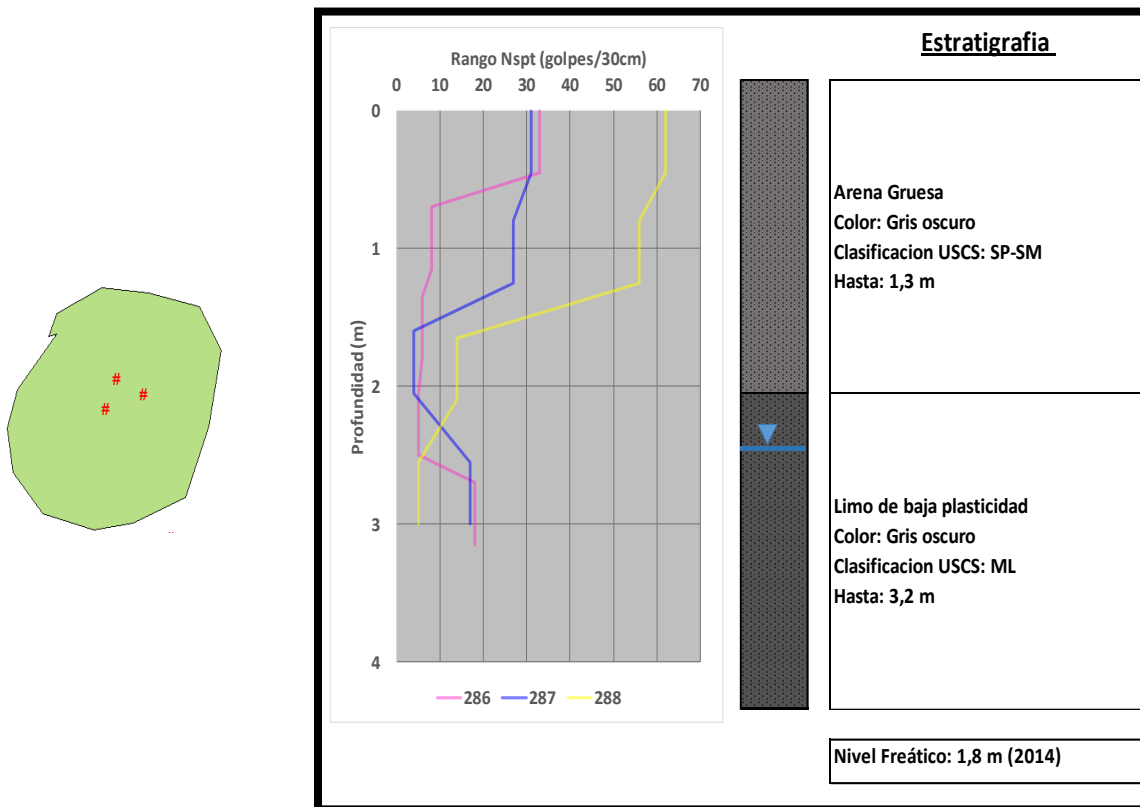
4.1.3. Modelo Sector Fosfoquim.



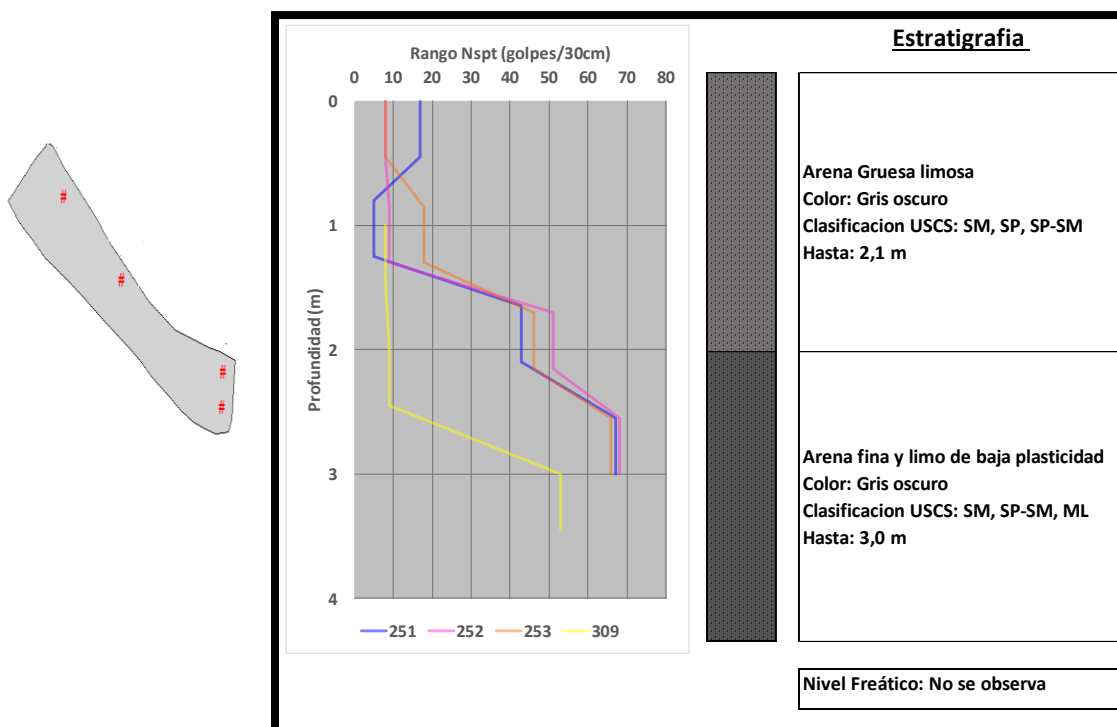
4.1.4. Modelo Sector Jaime Repullo 2.



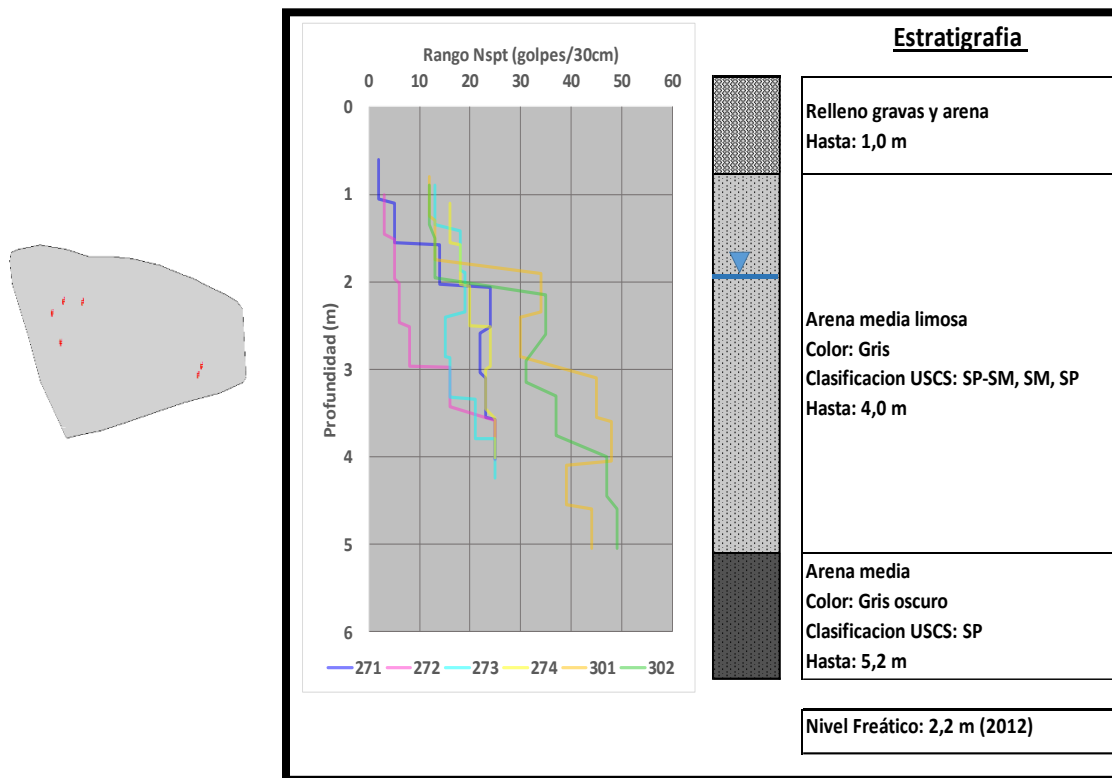
4.1.5. Modelo Sector Villa San Marcos.



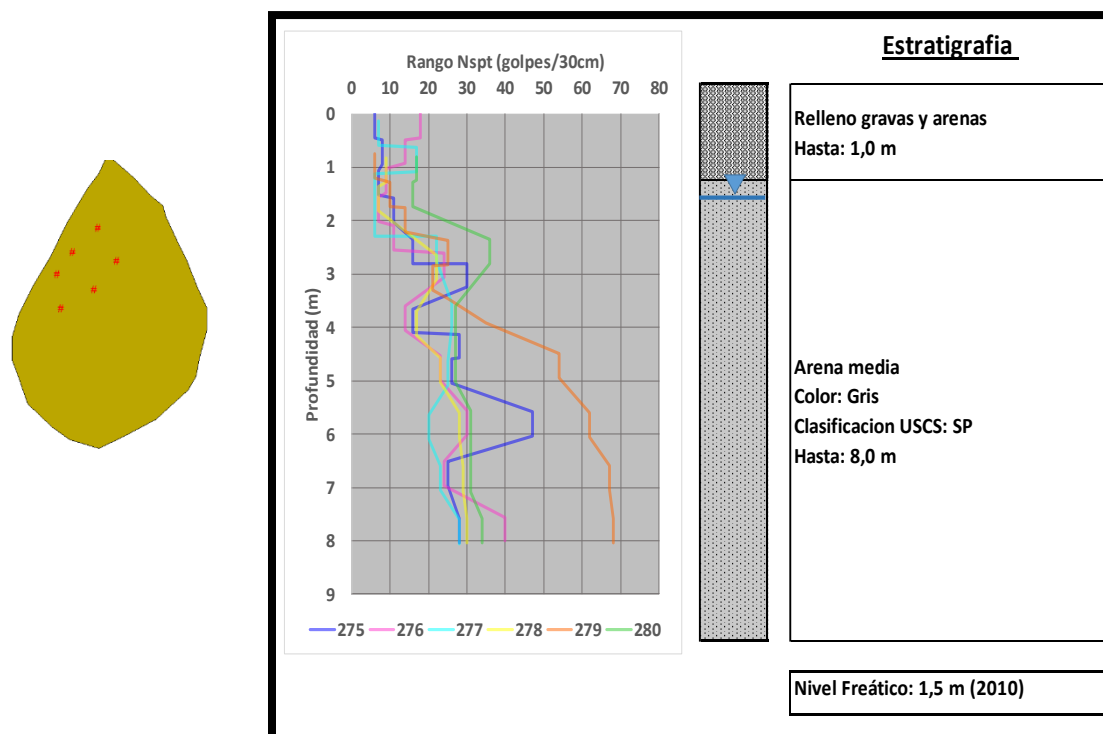
4.1.6. Modelo Sector Parque Potsdam.



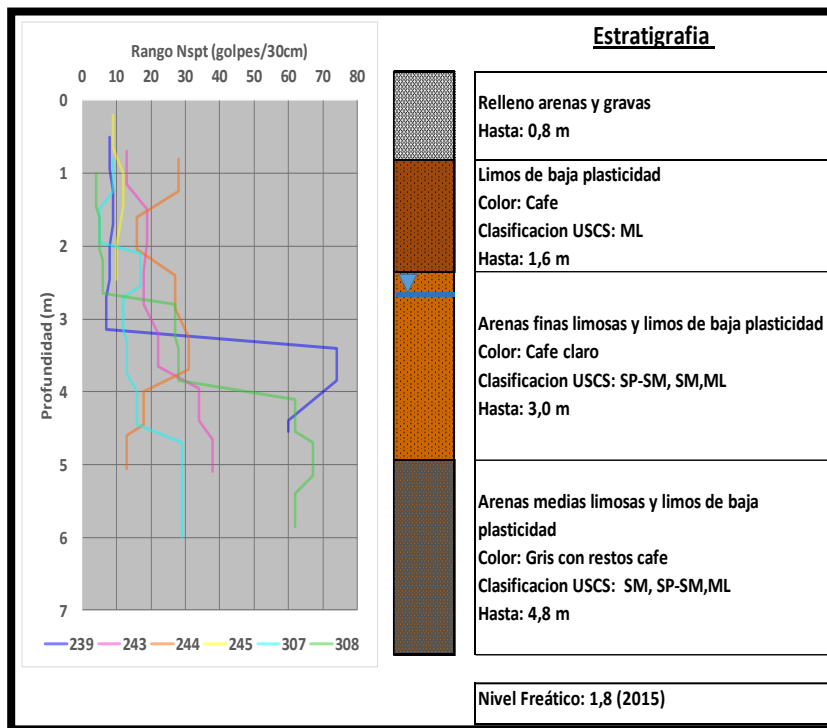
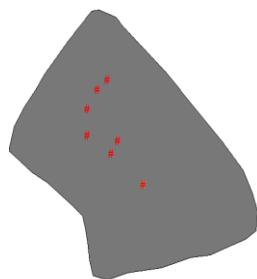
4.1.7. Modelo Sector Arenal 2



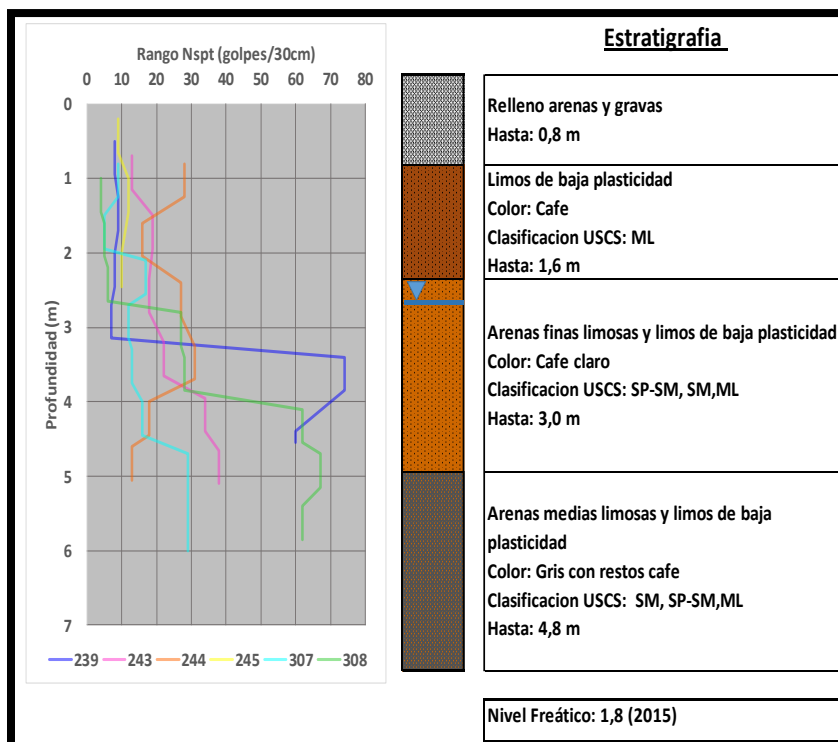
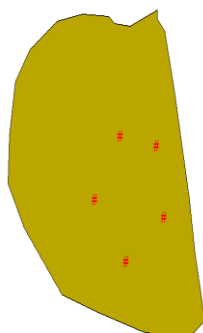
4.1.8. Modelo Sector Moly-Cop.



4.1.9. Modelo Sector Cristóbal Colón entre Covadonga y Esmeralda.

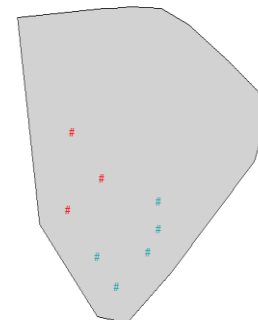
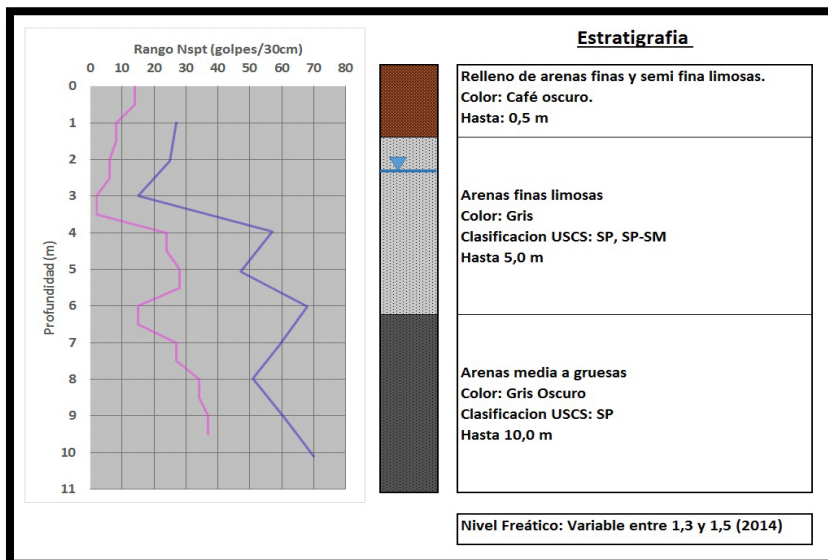


4.1.10. Modelo Sector Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

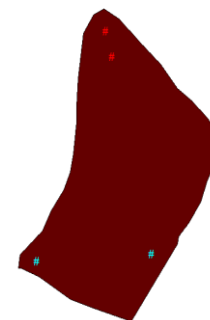
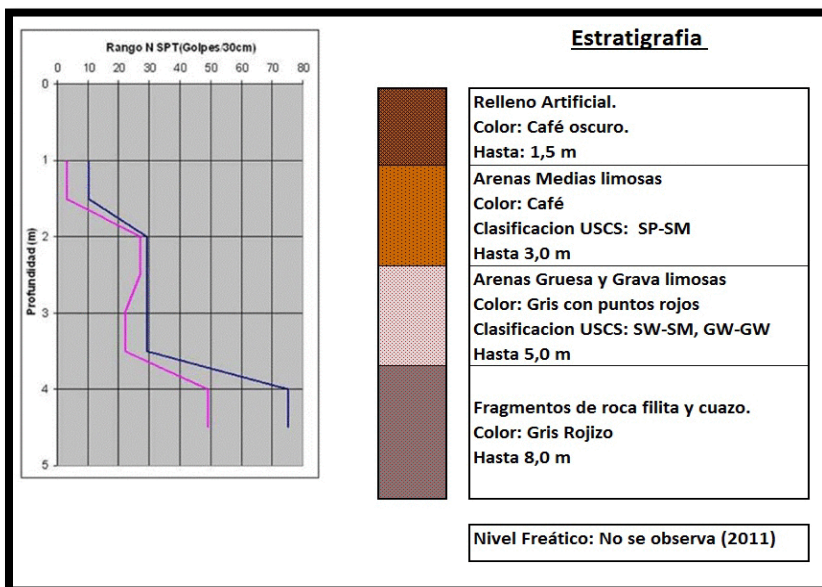


4.2.MODIFICACION DE MODELOS 2006.

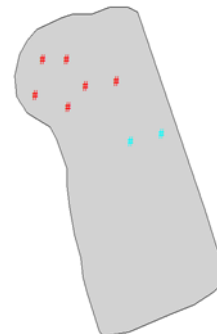
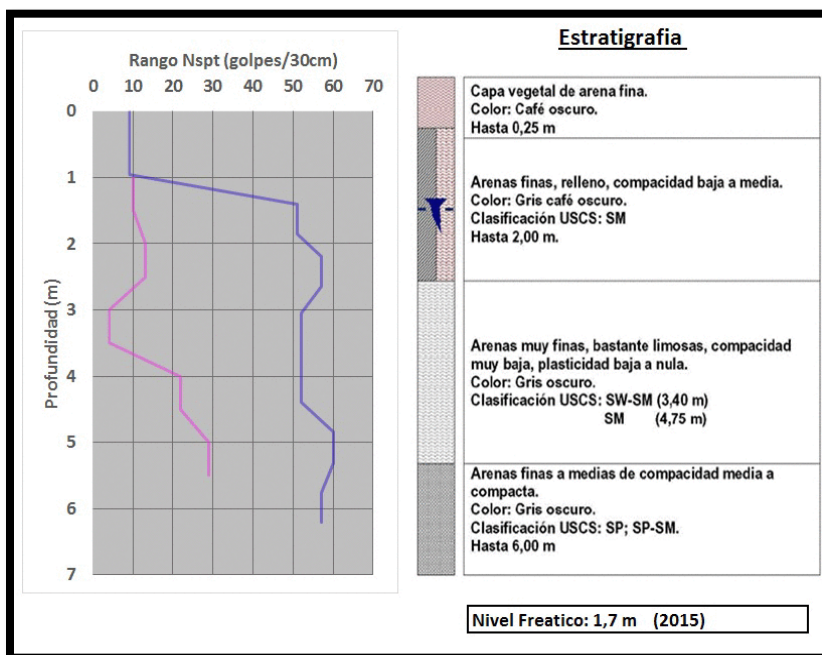
4.2.1. Modelo Sector Parque Industrial San Andrés.



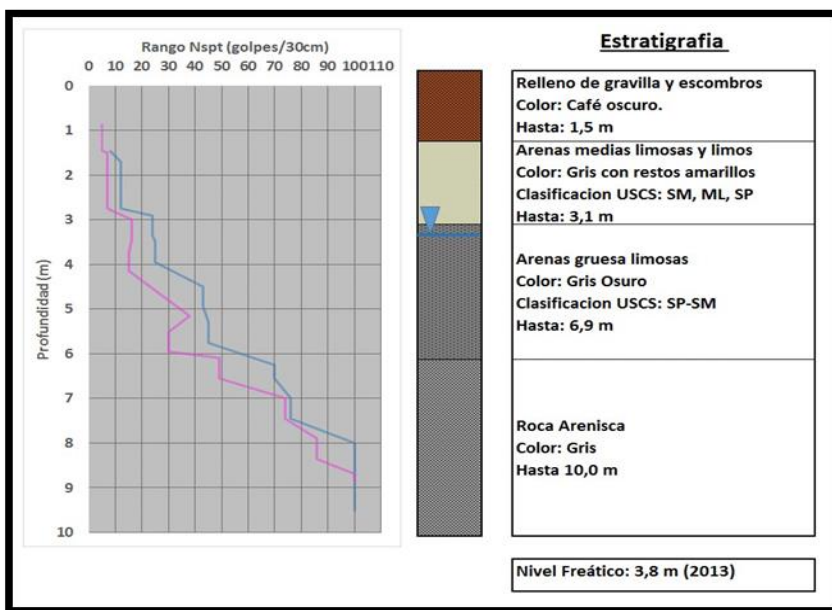
4.2.2. Modelo Sector Centro de Talcahuano



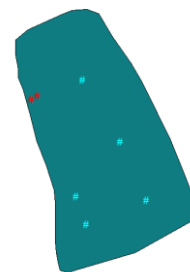
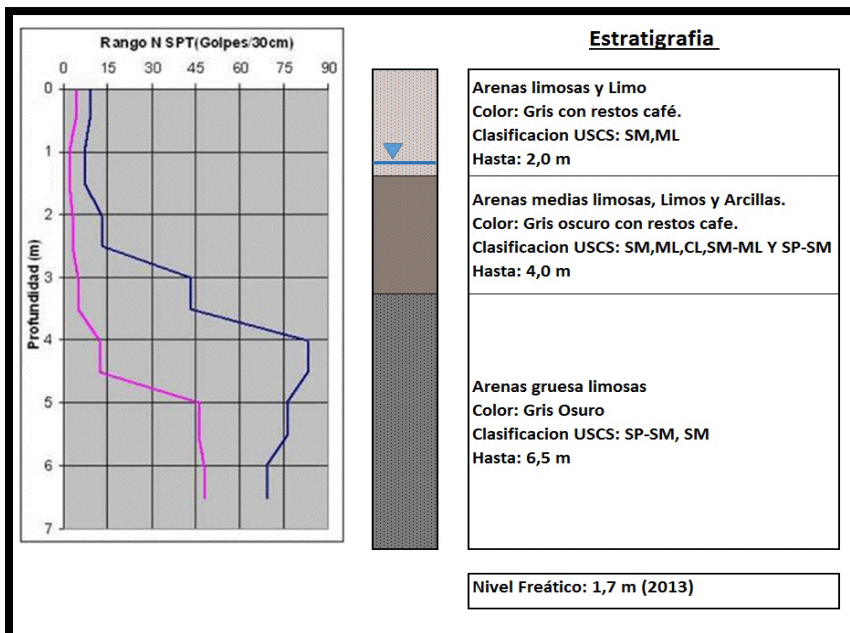
4.2.3. Modelo Sector Hospital Higueras.



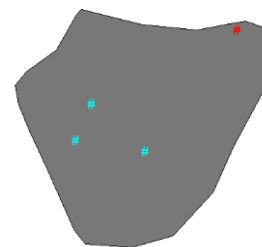
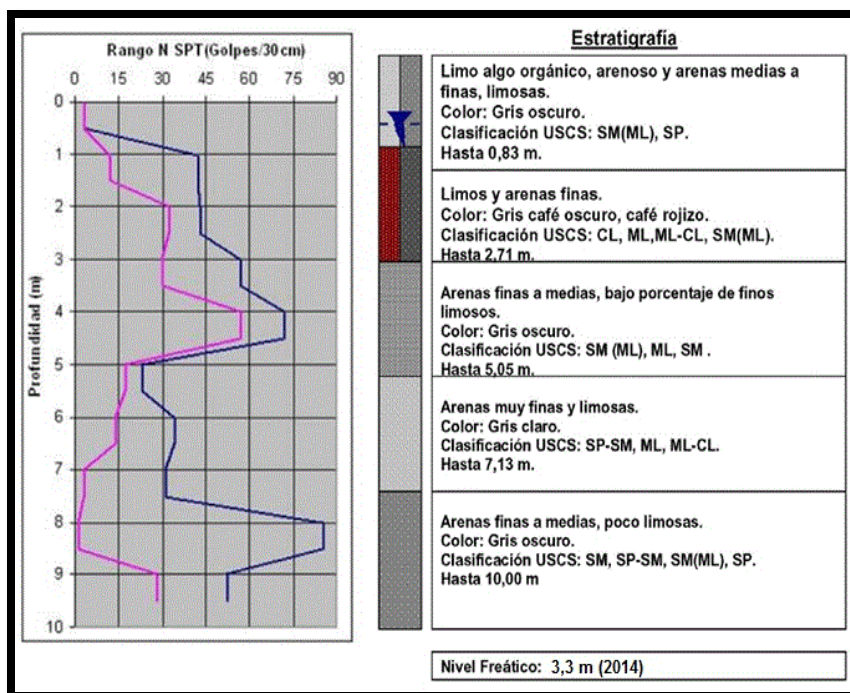
4.2.4. Modelo Sector Liceo A-21



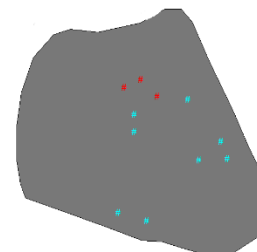
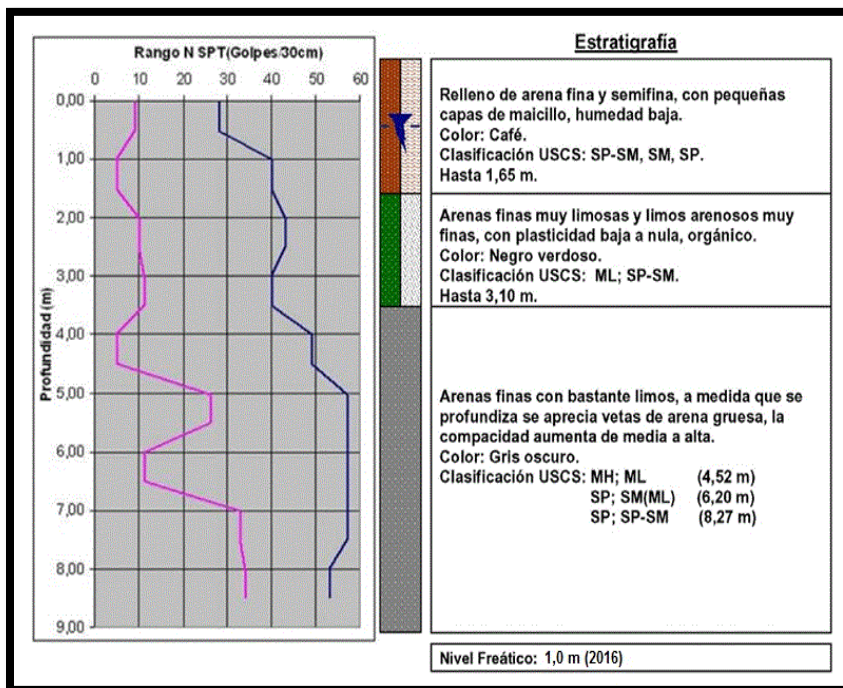
4.2.5. Modelo Sector Cruz del Sur.



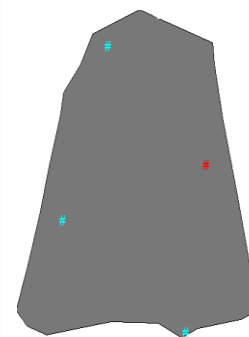
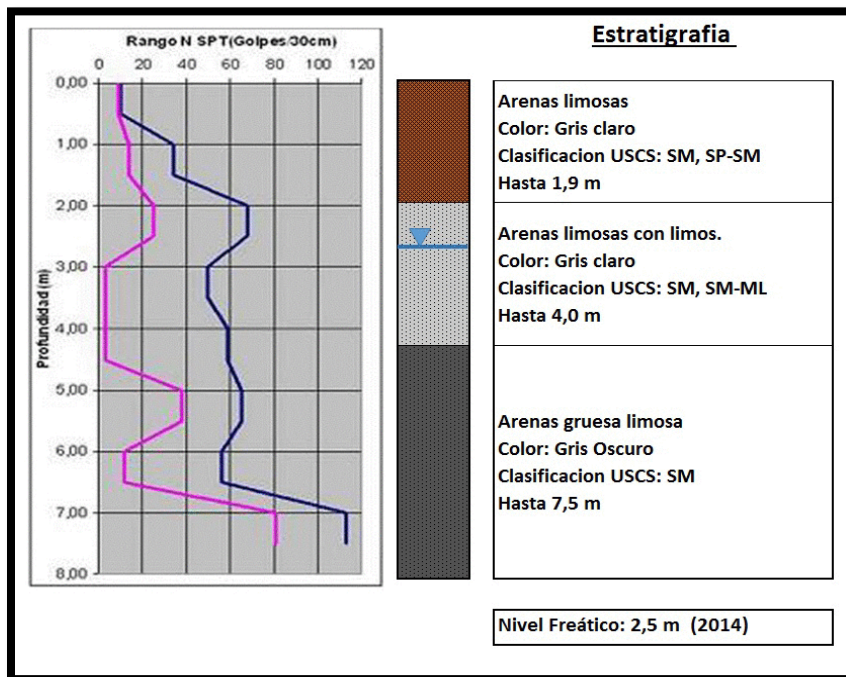
4.2.6. Modelo Sector Carriel Norte.



4.2.7. Modelo Sector Parque Industrial Arucas.



4.2.8. Modelo Sector el Triángulo 2.



ANEXO E: “PROGRAMA.”**5.1.PROGRAMA PARA CALCULAR LA LICUACIÓN (Acuña, 2004)**

```

#include <vcl.h>
#include <math.h>
#pragma hdrstop

#include "Licuacionfinal.h"
//
#pragma package(smart_init)
#pragma link "PERFGRAP"
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}

VALIDAR DATOS DE INGRESO

bool isNumber(AnsiString Texto){
bool isNumeric = True;
int NumeroPuntos = 0;

for(int i=1;i<=Texto.Length();i++){
if ((Texto[i]==',')|| (Texto[i]=='.'))
NumeroPuntos++;
else
if (!isdigit(Texto[i]))
isNumeric=False;
};

if (NumeroPuntos>1)
isNumeric=False;

if ((Texto[1]!='.')||(Texto[1]!='.')||(Texto[Texto.Length()]!='.')||(Texto[Texto.Length()]!='.'))
isNumeric=False;

return (isNumeric);
}
//
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
//String Grid 2
int i;

```

```

for(i=1;i<14;i++){
ComboBox1->Items->Add(i);
ComboBox1->ItemIndex = 0;
// StringGrid2->Cells[0][i]=i;
}

ComboBox2->Items->Add(5.5);
ComboBox2->Items->Add(6.0);
ComboBox2->Items->Add(6.5);
ComboBox2->Items->Add(6.75);
ComboBox2->Items->Add(7.5);
ComboBox2->Items->Add(8.0);
ComboBox2->Items->Add(8.5);

StringGrid2->RowCount=2;
StringGrid2->Height=42;
StringGrid2->Cells[0][0]="Ne";
StringGrid2->Cells[1][0]="Hspt";
StringGrid2->Cells[2][0]="Nspt";
StringGrid2->Cells[3][0]="FC";

/////String Grid 1

StringGrid1->RowCount=2;
StringGrid1->Height=42;
StringGrid1->Cells[0][0]="Ne";
StringGrid1->Cells[1][0]="Sigma";
StringGrid1->Cells[2][0]="Sigma´ ";
StringGrid1->Cells[3][0]="rd";
StringGrid1->Cells[4][0]="CSRpk";
StringGrid1->Cells[5][0]="CSReq";
StringGrid1->Cells[6][0]="Cn";
StringGrid1->Cells[7][0]="N1";
StringGrid1->Cells[8][0]="CSR*";
StringGrid1->Cells[9][0]="N1,60";
StringGrid1->Cells[10][0]="Licua";
}
//
//cambio de nombre CSRN=CSR*
void __fastcall TForm1::ComboBox1Change(TObject *Sender)
{
int i,j,m,tamano;
StringGrid2->RowCount=2;
StringGrid1->RowCount=2;
for(m=1;m<14;m++){
StringGrid2->Cells[0][m]="";
StringGrid1->Cells[0][m]="";
}
}

```

```

j=StrToInt(ComboBox1->Text);
StringGrid2->RowCount=j+1;
StringGrid1->RowCount=j+1;
tamano=21*(j+1);
StringGrid2->Height=tamano;
StringGrid1->Height=tamano;

for(i=1;i<j+1;i++){

StringGrid2->Cells[0][i]=i;
StringGrid1->Cells[0][i]=i;
}
}
//
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
//Transformar todos los valores en enteros
int i,ne,bandera;
float
n160,n1,csrpeak,siprima,hnf,rd,hspt,sigmaprima,sigma,gama,gamaprima,amax,mw,csreq,dwfm,cs
rn;
double cn,cn1;

VALIDAR CELDAS

bandera=0;

ne=StrToInt(ComboBox1->Text);
for(i=1;i<ne+1;i++){

if((StringGrid2->Cells[1][i]=="") || (StringGrid2->Cells[2][i]=="") || (StringGrid2->Cells[3][i]=="")){
bandera=1;
}
else{
if(!isNumber(StringGrid2->Cells[1][i]) || !isNumber(StringGrid2-
>Cells[2][i]) || !isNumber(StringGrid2->Cells[3][i]))
{
bandera=1;
}
}
}
//fin validar celdas
//validar
if ((Edit1->Text=="") || (Edit2->Text=="") || (Edit3->Text=="") || (Edit4->Text=="") || (Edit5-
>Text=="") || (Edit6->Text=="") ||
(Edit7->Text=="") || (Edit8->Text=="") || (Edit9->Text=="") || (ComboBox1-
>Text=="") || (ComboBox2->Text=="") ||
(bandera==1) )
{ //mostrar mensaje de error

```

```

ShowMessage("Error..\n Debe Ingresar un Número");
}
else
{
if ((!(isNumber(Edit1->Text)) || !(isNumber(Edit2->Text)) || !(isNumber(Edit3-
>Text)) || !(isNumber(Edit4->Text)) ||
(isNumber(Edit5->Text)) || !(isNumber(Edit6->Text)) || !(isNumber(Edit7-
>Text)) || !(isNumber(Edit8->Text)) ||
(isNumber(Edit9->Text)) || !(isNumber(ComboBox1->Text)) || !(isNumber(ComboBox2->Text)) )
{
ShowMessage("Error..\n No Es Un Número");

}
}
}
}

//end validar
amax=StrToFloat(Edit4->Text);
gama=StrToFloat(Edit5->Text);
gamaprima=StrToFloat(Edit3->Text);
hnf=StrToFloat(Edit2->Text);
ne=StrToInt(ComboBox1->Text);

Label13->Caption="xx";

CALCULAR EN FORMA DINAMICA SIGMA

//Sigma es la multiplicacion entre gama y hspt que esta en la grilla N2
for(i=1;i<ne+1;i++){
sigma=gama*StrToFloat(StringGrid2->Cells[1][i]);
StringGrid1->Cells[1][i]=sigma;

CALCULO SIGMA PRIMA

if(StrToFloat(StringGrid2->Cells[1][i])<=hnf){
StringGrid1->Cells[2][i]=sigma;
}else{
hspt=StrToFloat(StringGrid2->Cells[1][i]);
StringGrid1->Cells[2][i]=(gama*hspt)-(gamaprima*(hspt-hnf));
hspt=0;
}

CALCULO DE RD

hspt=StrToFloat(StringGrid2->Cells[1][i]);
StringGrid1->Cells[3][i]=1-(0.01*hspt);

CALCULO DE CSR PEAK

sigma=StrToFloat(StringGrid1->Cells[1][i]);
sigmaprima=StrToFloat(StringGrid1->Cells[2][i]);
rd=StrToFloat(StringGrid1->Cells[3][i]);

```

```
StringGrid1->Cells[4][i]=amax*(sigma/sigmaprima)*rd;
sigma=0;
sigmaprima=0;
```

CALUCLODE CSR EQ

```
csrpeak=StrToFloat(StringGrid1->Cells[4][i])*0.65;
StringGrid1->Cells[5][i]=csrpeak;
```

```
}
ASIGNACION DE FACTORES DE MAGNITUD DEL SISMO
```

```
if(ComboBox2->Text==5.5){
Edit1->Text=1.4;
}else{
if(ComboBox2->Text==6.0){
Edit1->Text=1.32;
}else{
if(ComboBox2->Text==6.5){
Edit1->Text=1.27;
}else{
if(ComboBox2->Text==6.75){
Edit1->Text=1.13;
}else{
if(ComboBox2->Text==7.5){
Edit1->Text=1.0;
}else{
if(ComboBox2->Text==7.8){
Edit1->Text=0.97;
}else{
if(ComboBox2->Text==8.0){
Edit1->Text=0.95;
}else{
if(ComboBox2->Text==8.5){
Edit1->Text=0.89;
} } } } } } }
```

CALCULO DE CSRN

```
for(i=1;i<ne+1;i++){
csreq=StrToFloat(StringGrid1->Cells[5][i]);
dwfm=StrToFloat(Edit1->Text);
csrn=csreq/dwfm;
StringGrid1->Cells[8][i]=csrn;
siprima=StrToFloat(StringGrid1->Cells[2][i]);
cn1=(1/(siprima/104.86));
cn=pow(cn1, 0.5);
```

```
StringGrid1->Cells[6][i]=cn;
```

```
CALULO DE N1
```

```
n1=cn*StrToFloat(StringGrid2->Cells[2][i]);
StringGrid1->Cells[7][i]=n1;
```

```
CALCULO N11.60
```

```
n160=n1*StrToFloat(Edit9->Text)*StrToFloat(Edit8->Text)*StrToFloat(Edit7-
>Text)*StrToFloat(Edit6->Text);
StringGrid1->Cells[9][i]=n160;
```

```
ASIGNAR A CELDA SI LICUA O NO
```

```
float fc,m;
fc=StrToFloat(StringGrid2->Cells[3][i]);
```

```
if(fc<=5.0)
{
n160=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
m=0.0373*exp(0.000362709*n160*n160+0.063594*n160);
if(m<=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i])){
StringGrid1->Cells[10][i]="Si";
}else{
StringGrid1->Cells[10][i]="No";
}
}
```

```
}else{
```

```
if(fc<=15.0){
n160=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
m=0.0366731*exp(0.00013821*n160*n160+0.07504019*n160);
if(m<=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i])){
StringGrid1->Cells[10][i]="Si";
}else{
StringGrid1->Cells[10][i]="No";
}
}
```

```
}else{
n160=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
m=0.0385085*exp(-0.00022022*n160*n160+0.0906623*n160);
if(m<=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i])){
StringGrid1->Cells[10][i]="Si";
}else{
StringGrid1->Cells[10][i]="No";
}}}
//fin licua o no
}
```

```
//parentesis de validacion del else
```

```
}  
//  
}  
}  
//  
  
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)  
{  
Form1->Close();  
}  
//  
  
void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender)  
{  
float temporalx,temporaly;  
int i,ne;  
float fc,x,n160;  
double m;  
  
VALIDAR GRAFICO  
  
if(Label13->Caption=="bn"){  
  
ShowMessage("Error..\n Debe Calcular Datos Para Grafico");  
} else{  
  
//  
ne=StrToInt(ComboBox1->Text);  
  
Series1->AddXY(2,0.04,5,clTeeColor);  
Series1->AddXY(4,0.05,10,clTeeColor);  
Series1->AddXY(6,0.055,15,clTeeColor);  
Series1->AddXY(10,0.075,20,clTeeColor);  
Series1->AddXY(12,0.085,25,clTeeColor);  
Series1->AddXY(14,0.095,30,clTeeColor);  
Series1->AddXY(16,0.115,30,clTeeColor);  
Series1->AddXY(18,0.136,30,clTeeColor);  
Series1->AddXY(20,0.155,20,clTeeColor);  
Series1->AddXY(22,0.18,22,clTeeColor);  
Series1->AddXY(24,0.21,24,clTeeColor);  
Series1->AddXY(26,0.25,26,clTeeColor);  
Series1->AddXY(28,0.28,28,clTeeColor);  
Series1->AddXY(30,0.33,30,clTeeColor);  
Series1->AddXY(32,0.4,30,clTeeColor);  
Series1->AddXY(34,0.5,30,clTeeColor);  
//Series1->AddXY(35,0.58,30,clTeeColor);  
  
Series2->AddXY(2,0.04,35,clTeeColor);  
Series2->AddXY(4,0.05,40,clTeeColor);
```

```
Series2->AddXY(6,0.06,45,clTeeColor);  
Series2->AddXY(8,0.07,50,clTeeColor);  
Series2->AddXY(10,0.08,55,clTeeColor);  
Series2->AddXY(12,0.09,60,clTeeColor);  
Series2->AddXY(14,0.11,65,clTeeColor);  
Series2->AddXY(16,0.127,clTeeColor);  
Series2->AddXY(18,0.15,clTeeColor);  
Series2->AddXY(20,0.17,clTeeColor);  
Series2->AddXY(22,0.2,clTeeColor);  
Series2->AddXY(24,0.235,clTeeColor);  
Series2->AddXY(26,0.28,clTeeColor);  
Series2->AddXY(28,0.32,clTeeColor);  
Series2->AddXY(30,0.38,clTeeColor);  
Series2->AddXY(32,0.5,clTeeColor);
```

```
Series3->AddXY(2,0.05,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(4,0.055,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(6,0.07,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(8,0.08,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(10,0.09,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(12,0.105,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(14,0.125,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(16,0.15,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(18,0.175,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(20,0.21,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(22,0.25,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(24,0.29,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(26,0.35,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(28,0.41,35,clTeeColor);  
Series3->AddXY(30,0.55,35,clTeeColor);
```

```
Series4->AddXY(0,0.3,0,clTeeColor);  
Series4->AddXY(5,0.4,5,clTeeColor);  
Series4->AddXY(10.8,0.5,10,clTeeColor);  
Series4->AddXY(15,0.3,15,clTeeColor);  
Series4->AddXY(20,0.4,20,clTeeColor);  
Series4->AddXY(25.8,0.5,25,clTeeColor);  
Series4->AddXY(30,0.3,30,clTeeColor);  
Series4->AddXY(35,0.4,35,clTeeColor);  
Series4->AddXY(40.8,0.5,40,clTeeColor);  
Series4->AddXY(45,0.3,45,clTeeColor);  
Series4->AddXY(50,0.4,50,clTeeColor);  
Series4->AddXY(55,0.4,55,clTeeColor);  
Series4->AddXY(60,0.5,60,clTeeColor);  
Series4->AddXY(5,0.3,65,clTeeColor);  
//  
//  
for(i=1;i<ne+1;i++){
```



```

temporalx=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
temporaly=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i]);
Series5->AddXY(temporalx,temporaly,50,clRed);

fc=StrToFloat(StringGrid2->Cells[3][i]);

if(fc<=5.0)
{
n160=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
m=0.0373*exp(0.000362709*n160*n160+0.063594*n160);
if(m<=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i])){
StringGrid1->Cells[10][i]="Si";
}else{
StringGrid1->Cells[10][i]="No";
}
}else{

if(fc<=15.0){
n160=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
m=0.0366731*exp(0.00013821*n160*n160+0.07504019*n160);
if(m<=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i])){
StringGrid1->Cells[10][i]="Si";
}else{
StringGrid1->Cells[10][i]="No";
}
}else{
n160=StrToFloat(StringGrid1->Cells[9][i]);
m=0.0385085*exp(-0.00022022*n160*n160+0.0906623*n160);
if(m<=StrToFloat(StringGrid1->Cells[8][i])){
StringGrid1->Cells[10][i]="Si";
}else{
StringGrid1->Cells[10][i]="No";
}}}}
Chart1->Visible=true;
Button3->Visible=false;
Button4->Visible=true;
//fin else grafico valida
}
}
//
void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject *Sender)
{
Chart1->Visible=false;
Button3->Visible=true;
Button4->Visible=false;
}
//
void __fastcall TForm1::Button5Click(TObject *Sender)
{

```

```
GroupBox3->Visible=true;
}
//
void __fastcall TForm1::Button6Click(TObject *Sender)
{
GroupBox3->Visible=false;
}
//
```

ANEXO F: “VERIFICACIÓN DE LICUACIÓN.”

SECTOR	NF (m)	7,8 GRADOS		8,8 GRADOS	
		METROS LIC.	RIESGO DE LIC.	METROS LIC.	RIESGO DE LIC.
Fundo Hualpen Peñuelas	0,8	0	Nulo	0	Nulo
Hualpen el Triangulo 1	3,5	2	Medio	5,75	Muy Alto
Colon (Altura Club Hipico)	0,97	8,8	Muy Alto	8,8	Muy Alto
Villa Nueva Peñuelas	1,35	5,1	Muy Alto	6,2	Muy Alto
Terrenos Adyacente a Crispulo G.	2,85	1,75	Bajo	4,6	Muy Alto
Lan Price	4,65	0	Nulo	2,05	Medio
Lan A3, A4 y A5	4,5	1,6	Bajo	3,65	Alto
Poblacion los Boldos	1,95	1,3	Bajo	3,05	Alto
Poblacion Crispulo Gandara	1,4	3,9	Alto	4,55	Muy Alto
Cuatro Esquinas	1,2	2,5	Medio	2,5	Medio
Gran Bretaña	0,98	1,65	Bajo	1,65	Bajo
Rompeolas San Vicente	1,01	6,65	Muy Alto	6,65	Muy Alto
Centro de Talcahuano	3,3	3	Alto	3	Alto
Calle Blanco Encalada	2,4	1,3	Bajo	2,15	Medio
San Vicente	1,45	1,55	Bajo	2,75	Medio
Estacion Arenal	1,7	1,65	Bajo	2,65	Medio
Laminador Continuo CAP	4,5	3,3	Alto	7,1	Muy Alto
Interior CAP	3,4	1,05	Bajo	3,15	Alto
Rotonda Cemento Bio Bio	0,2	1,05	Bajo	1,05	Bajo
Gaete	1,4	1,3	Bajo	2,55	Medio
Hospital Higueras	1,6	6	Muy Alto	6	Muy Alto
Remodelacion Simmons	1,65	3,6	Alto	5,1	Muy Alto
Liceo A-21	-	0	Nulo	1,9	Bajo
Base Naval	1,7	9,75	Muy Alto	10,35	Muy Alto
Villa Rualme	0,5	3,35	Alto	3,35	Alto
Conjunto Verde Mar	0,5	1,1	Bajo	1,1	Bajo
Carriel Sur	-	1,04	Bajo	3,21	Alto
Lan C	3,5	1,8	Bajo	3,7	Alto
Parque Industrial Arucas	0,85	4,07	Muy Alto	7,31	Muy Alto
Conjunto Habitacional Colon	0,36	3,02	Alto	3,02	Alto
Conjunto Habitacional las Camelias	1,7	5,65	Muy Alto	7,45	Muy Alto
Espigon de Atreque Emporchi	2,65	6,6	Muy Alto	6,6	Muy Alto
Sector Torre Medica, Mall	4,1	8,03	Muy Alto	11,05	Muy Alto
Aeropuerto Carriel Sur	0,95	2,82	Medio	3,27	Alto
Esuela Industrial CAP, Higueras	0,77	0	Nulo	0	Nulo

ANEXO E: “MAPA DE ZONIFICACION”

7.1. MAPA DE ZONIFICACION DE SUELOS DE LAS COMUNAS DE TALCAHUANO Y HUALPEN – ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACION 2016

Se encuentra en la carpeta “Zonificación” del cd. Para ejecutarlo, debe usarse el programa Arcview 3.1. Copiar la carpeta “Zonificación” en C:\ del computador y ejecutar el archivo “thno.apr” ubicado en la carpeta “AV” del proyecto.