

# UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

P. patrocinante: Carmen González Labbé.

## **ACTUALIZACIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN LA COMUNA DE CHIGUAYANTE, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para  
obtener el título de Ingeniero Civil.

**PEDRO PATRICIO ARRIAGADA ROJAS.**

Concepción, Septiembre del 2018.

## **DEDICATORIA**

Memoria dedicada a mi Madre, Padre, Hermano y a todas las personas que me apoyaron durante mis estudios.

## 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

PRCC = Plan Regulador Comunal de Chiguayante.

SPT = Ensayo de Penetración Estándar

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

$N_1$  = Índice de penetración estándar corregido por presión de confinamiento de 0,1 MPa, aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas (golpes/pie)

$V_s$  = Velocidad de propagación de ondas de corte (m/s)

$V_{s30}$  = Velocidad de propagación de ondas de corte equivalente de los 30 metros superiores del terreno (m/s)

$q_u$  = Resistencia a la compresión simple del suelo (MPa)

$S_u$  = Resistencia al corte no-drenada del suelo (MPa)

$\sigma'_v$  = Tensión efectiva de confinamiento

$P_a$  = Presión atmosférica

CSR = Demanda sísmica del suelo para un sismo de diseño expresado en resistencia cíclica

CRR = Resistencia cíclica del suelo para oponerse a la licuación

## **ACTUALIZACION DE LA ESTRATIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN LA COMUNA DE CHIGUAYANTE**

**Pedro Patricio Arriagada Rojas**

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

**Pparriag@alumnos.ubiobio.cl**

**Carmen González Labbé**

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

**Cgonzal@ubiobio.cl**

### **RESUMEN**

En la Comuna de Chiguayante actualmente se proyectan y ejecutan edificaciones en altura en zonas definidas por el Plan regulador, pero no se tiene conocimiento o historial previo del subsuelo en donde se fundará dicha estructura. Por este motivo se hace necesario complementar el plan regulador con la zonificación y datos característicos del suelo, de esta manera se podrá contar con antecedentes que realmente confirmen o no si el suelo en cuestión es apto para fundar.

Este trabajo presenta una segunda aproximación en la comuna, basándose en una recopilación de 25 sondajes realizados hasta la fecha por diferentes empresas de la zona dedicadas al rubro. Esta base de datos obtenida se implementó utilizando el programa ArcGis (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, además, se incorpora información relevante respectiva a la clasificación sísmica de los suelos definida en la normativa vigente a la fecha (Decreto Supremo N° 61, 02 de noviembre del 2011).

Por otra parte, se realiza un análisis de zonas potencialmente licuables, estableciendo su vinculación de acuerdo al suelo presente en cada sector.

Con los resultados obtenidos se obtiene un mapa de Chiguayante zonificado según el suelo característico e información de interés para cada sector, la cual puede visualizarse con las herramientas del programa (ArcView).

Palabras claves: Zonificación, estratificación, Chiguayante.

Conteo de Palabras:  $7191 + 11 \text{ Figuras/Tablas} * 250 + 2 \text{ Figuras/Tablas} * 500 = 10.941$

## **UPDATING STRATIFICATION AND ZONING SOILS OF THE COMMUNE OF CONCEPCIÓN**

**Pedro Patricio Arriagada Rojas**

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

**Pparriag@alumnos.ubiobio.cl**

**Carmen González Labbé**

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

**Cgonzal@ubiobio.cl**

### **ABSTRACT**

In the Chiguayante commune is currently projecting and constructing buildings in height in areas defined by the Commune's Regulatory Plan for this purpose, however, these areas do not contemplate the quality of the subsoils, serving only as an urban planning tool, in addition, there is no preliminary information of the subsoil, ignoring, if the subsoil in question, is of appropriate characteristics to found.

This work presents a second approach in the commune, based on a compilation of 25 drilling carried out to date by different companies in the area dedicated to the field. This database was implemented using the ArcGIS (Geographical Information System) program, which defined the zoning according to the predominant material of the soils and a stratigraphic model for each sector created, in addition, relevant information is incorporated into the seismic classification of soils defined in the regulations in force to date (Supreme Decree No. 61, November 2, 2011).

On the other hand, an analysis of potentially liquefiable zones is carried out, establishing their linkage according to the soil present in each sector.

With the obtained results, a map of Chiguayante is obtained, zoned according to the characteristic soil and information of interest for each sector, which can be visualized with the tools of the program (ArcView).

**Keywords:** Zoning, stratification, Chiguayante.



## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>NOMENCLATURA</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
1.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	12
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>2. ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	<b>13</b>
2.1 ANTECEDENTES GEOGRÁFICOS .....	13
2.2 ANTECEDENTES HIDROGRÁFICOS .....	14
2.2.1 <i>Río Bío-Bío</i> .....	14
2.3 ANTECEDENTES CLIMÁTICOS.....	14
2.4 PLAN REGULADOR COMUNAL .....	15
2.5 POTENCIAL DE LICUACIÓN .....	16
<b>3. ESTRATIFICACION Y ZONIFICACION DE LOS SUELOS DE LA COMUNA DE CHIGUAYANTE</b> .....	<b>18</b>
3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	19
3.2 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	19
3.3 SISTEMA SIG.....	20
3.4 MODELACIÓN ESTRATIGRÁFICA .....	23
3.5 ZONIFICACIÓN DEL SUELO.....	26
3.6 IMPLEMENTACIÓN NORMATIVA .....	28
<b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>30</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>63</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>64</b>

<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A: “ENSAYO SPT Y CORRECCIONES” .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO B: “MODELACIONES ESTRATIGRÁFICAS” .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO C: “ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN” .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO D: “ANÁLISIS PLAN REGULADOR V/S ZONIFICACIÓN” .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO E: “CARTA GEOAMBIENTAL SERNAGEOMIN ZONAS POTENCIALMENTE LICUABLES” .....</b>	<b>2</b>
<b>ANEXO F: “DEFINICION DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S.)” .....</b>	<b>6</b>
<b>ANEXO G: “PLAN REGULADOR COMUNAL DE CHIGUAYANTE” .....</b>	<b>7</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Comuna de Chiguayante, se encuentra en una de las regiones más sísmicas de Chile, motivo por el cual, se ha visto enfrentada desde sus inicios a grandes sismos, los cuales han provocado pérdida de vidas humanas y grandes daños en estructuras.

La Escasez de terrenos vacantes en conjunto con reiterados sismos, ha dificultado el desarrollo urbano en la comuna, es de vital importancia conocer la composición, características y comportamiento de los suelos ya que sobre este, se apoyarán todas las estructuras de uso habitacional, escuelas, locales comerciales, consultorios, etc. Por ello las autoridades han proyectado el crecimiento respecto a Chiguayante en la urbanización de los cerros y en la recuperación de terreno al río Bío-Bío. Conociendo esta realidad territorial, esta tesis apunta a analizar los suelos en cuestión, mediante una metodología apropiada.

Por medio del análisis de sondajes se establecen distintas zonas, con el fin de diferenciarlas, además de un estudio de licuación en zonas críticas, Esta será la primera gran labor para aproximarse a un modelo de suelos que podrá ser mejorado mediante una retroalimentación, en la que se podrá diferenciar cada zona, dependiendo del material que la constituya. Este proceso se hará en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S)

Junto con la zonificación, se entregara una estratificación, considerando que esta es la tendencia del suelo, puesto que al no estar en presencia de un medio homogéneo, podría aparecer una mayor cantidad de lentes en la estratigrafía.

Este trabajo busca integrar los parámetros exigidos en el D.S. N°61 en la zonificación de los suelos de la Comuna, de manera de obtener mayor información de los suelos y sus características, y conocer de manera preliminar su clasificación sísmica de acuerdo a lo especificado en el mismo.

Cabe destacar que 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 (ArcGIS), el cual permite trabajar con mapas y grandes volúmenes de información.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Actualizar mediante una modelación estratigráfica los suelos de la comuna de Chiguayante, de manera de aportar a la planificación urbana de la comuna y establecer su vinculación con el Plan regulador.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Elaborar una modelación estratigráfica de los suelos y zonificar las distintas partes de la comuna en las cuales su comportamiento geológico sea uniforme.

Estimar mediante el SPT la Velocidad de Ondas de Corte para cada zona ( $V_{s30}$ ).

Elaborar un análisis de Licuación de zonas representativas de la comuna.

Elaborar una base de datos en formato digital mediante la aplicación Arcview (Sistema de información geográfica, SIG) que sirva de apoyo para fines académicos, de investigación, y realización de proyectos y estudios geotécnicos para la comuna de Chiguayante.

## 2. ANTECEDENTES GENERALES

### 2.1 Antecedentes Geográficos

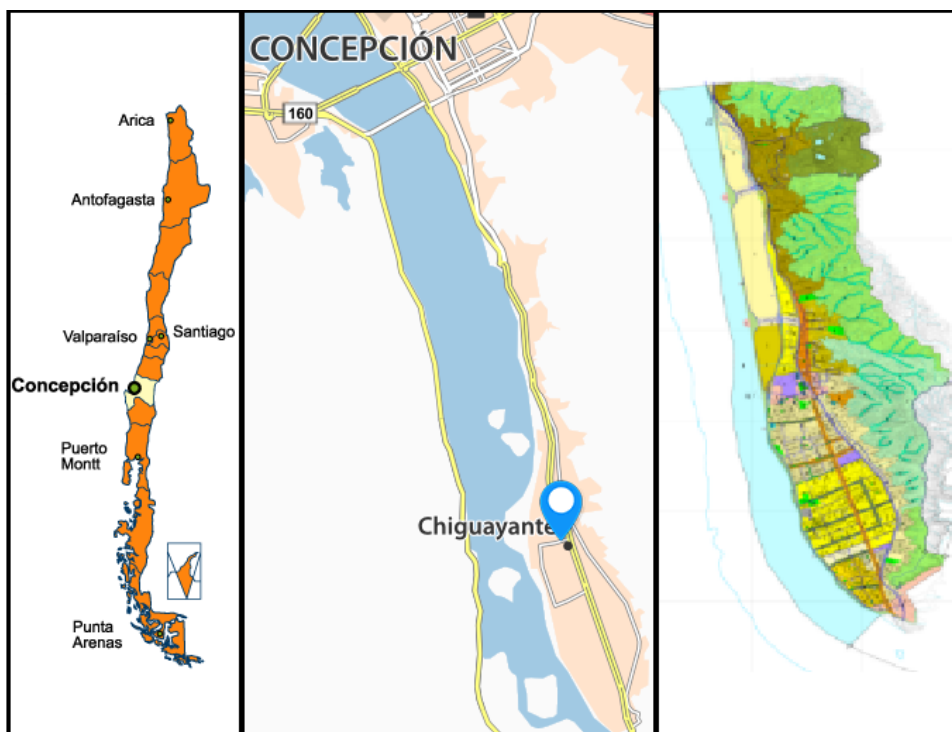
Chiguayante está ubicada a  $36^{\circ}58'00''$  Lat S y a  $72^{\circ}50'00''$  Long W. Posee una superficie de 44,5 kilómetros cuadrados, compuesto por un suelo de origen sedimentario y de tipo fluvial provenientes del río Bío-Bío.

Pertenciente al curso inferior del Río Bío-Bío, es una zona de valle, donde destacan laderas graníticas y metamórficas (230 msnm), las cuales dan origen a cuencas de recepción que drenan hacia el este y oeste del cordón principal, además de terrazas formadas por la erosión fluvial del río.

La calle Sanders es su límite Norte; por el Sur, la Población Leonera que la separa actualmente de la comuna de Hualqui; por el Oriente la Cordillera de la Costa en la cota 50 y por el Poniente, el eje del río Bío-Bío.

A continuación la Figura 1 indica la ubicación geográfica de Chiguayante:

Figura 1. Ubicación geográfica de Chiguayante.



Fuente: Arriagada, Pedro. Elaboración propia. Recuperado de Google Maps.

## **2.2 Antecedentes Hidrográficos**

### **2.2.1 Río Bío-Bío**

La ciudad es limitada geográficamente por este sistema fluvial de gran importancia para la zona el Bío-Bío al oeste el cual atraviesa toda la comuna.

La cuenca del Bío-Bío nace en las lagunas Galletue e Icalma (Novena Region) gran característica del río Bío-Bío, tomando una orientación global noroeste hasta su desembocadura en la Octava región. El río Bío-Bío es el cauce principal su longitud alcanza aproximadamente 380 km. Este río es el segundo más caudaloso de Chile después del Backer. Siendo además importante por su uso y potencial de aprovechamiento energético. Recordemos que es este río el que supe de agua a Chiguayante, entre muchas otras localidades. Los principales afluentes del Bío-Bío son: Laja, Vergara, Bureo, Duqueco, Lonquimay, Ranquil, Lolco y Queuco.

## **2.3 Antecedentes Climáticos**

Su importancia es fundamental, pues dependiendo del clima, se pueden estimar la cantidad de precipitaciones, causantes de la erosión y que transportan sedimentos desde los cerros a los valles y afectan la estabilidad de taludes, además de producir aluviones. Asimismo, el clima reviste importancia para el diseño de carreteras y urbanizaciones, debido a los caudales que serán recibidos por los colectores de aguas lluvias.

La Ciudad de Concepción y las comunas aledañas, como Chiguayante, están climáticamente situadas en la zona de tendencia mediterránea perhúmeda templada. Presentan claras influencias marítimas, con una escasa oscilación térmica que se traduce en un factor ecológico importante.

El tipo mediterráneo húmedo limita al sur con la zona de tendencia oceánica, entre ambos existe una amplia interpretación, configurando un potencial climático que es variable para elementos vegetales de origen esclerófilos y templados higrófilos los que han posibilitado evolutivamente una muy interesante y diversa flora original.

Se tienen temperaturas medias máximas anuales de 18,8°C y medias mínimas anuales de 7,2°C, con una humedad relativa de 87%. El índice Thomthwaite enfatiza el carácter mesotérmico de Concepción que se acentúe por el rol mitigador del mar, por lo que el frío no es un controlador principal.

Es importante notar que a pesar de lo dicho recientemente, dentro de Concepción existen microclimas, dependiendo de las comunas en que estemos. En Chiguayante, las temperaturas son más altas en relación con la sensación térmica y la neblina matinal a lo largo del río que se extiende a las llanuras junto al río a lo largo de este.

## **2.4 Plan Regulador Comunal**

El Plan Regulador vigente en la comuna de Chiguayante Modificado del año 2010, este corresponde a un instrumento de planificación que orienta, fomenta y regula el desarrollo urbanístico del territorio comunal, en especial de sus centros poblados y sus sistemas de espacios públicos.

Su alcance va referido a la estructuración del sistema de centros poblados de la comuna, el límite urbano de los mismos, la infraestructura, vialidad, sistema de aguas lluvias y cauces naturales, áreas verdes y equipamiento de nivel comunal, zonificación y el establecimiento de condiciones para la ocupación del territorio comunal, los usos del suelo, densidades, condiciones de subdivisión y demás normas urbanísticas aplicables a las zonas o sub-zonas de la comuna, las condiciones para los proyectos urbanos condicionados, los accesos a los bienes nacionales de uso público y la constructibilidad.

El plan regulador comunal, se divide la comuna de Penco en 29 zonas, las cuales poseen distintos usos de suelo según la actividad a desarrollar en este. Para cada una de estas zonas existe una altura máxima de edificación, detallada en la Ordenanza Local.

## **2.5 Potencial de Licuación**

La licuefacción es un proceso natural, mediante el cual determinados tipos de suelo pierden bruscamente su resistencia mecánica, ante una carga dinámica rápida como puede ser un sismo, la pérdida de resistencia mecánica del suelo implica que este se comporte de modo similar a un fluido capaz de migrar y generar importantes deformaciones en el sustrato.

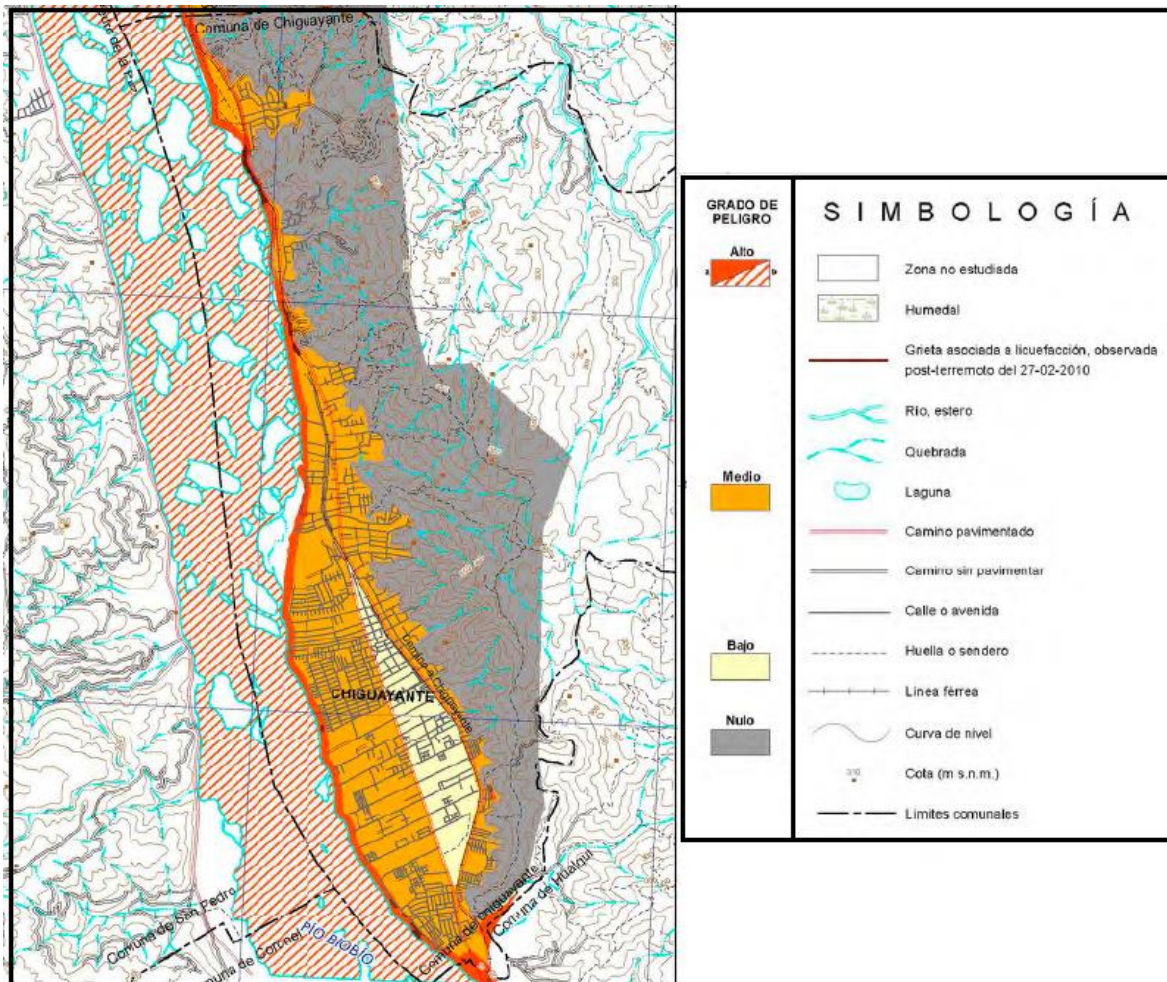
La licuefacción se genera principalmente en sedimentos arenosos y arena limosos saturados de agua, usualmente ubicados cerca de ríos, lagunas y borde costero u otros cuerpos de agua, o bien, en aquellos suelos donde existe un nivel freático muy superficial. Además sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas en especial sobre zonas de humedales.

Cuando ocurre un sismo, la vibración eleva la presión de agua en los poros del suelo y si esta llega a igualar o superar la fuerza de contacto entre los granos. La resistencia del suelo se reduce a cero, experimentando licuefacción, En este caso, la capacidad de carga del suelo es nula y efectivamente el suelo se comporta durante la sacudida como un líquido y cualquier estructura cimentada en él se hunde o sufre asentamientos diferenciales.

En la región se hizo un análisis de este fenómeno que se presentara a continuación:



Figura 2. Potencial de Licuación Chiguayante



Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería (2010).

En la Figura 2 se aprecia que la comuna en estudio si se encuentra con zonas de peligro las cuales son principalmente las que colindan con el “Río Bío-Bío”. Y a la vez las zonas que ya se alejan tiene un grado de peligro Medio y Bajo respectivamente.

Este informe se adjunta en el Anexo E, “Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables”.

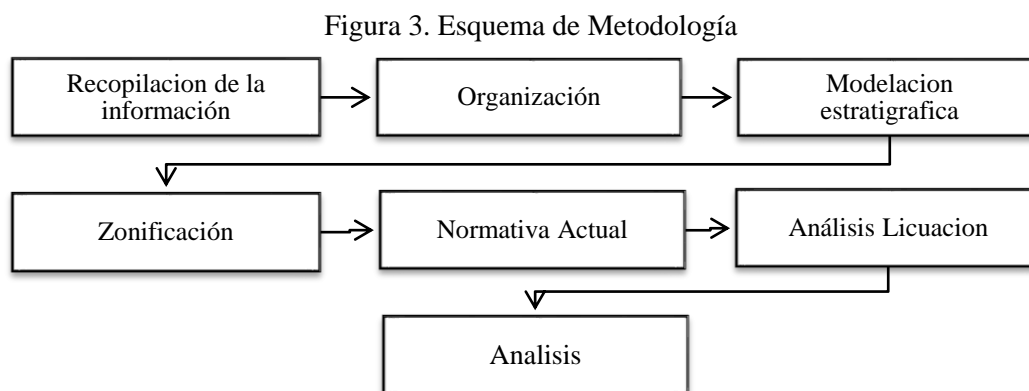
### 3. ESTRATIFICACION Y ZONIFICACION DE LOS SUELOS DE LA COMUNA DE CHIGUAYANTE

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

- a. Metodología de estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Concepción, mediante la aplicación de SIG, Proyecto de Título, Inostroza E., (2004)
- b. Decreto supremo N°61 MINVU 2011, reglamento que fija el diseño sísmico de edificios.
- c. NCh1508 Of.2014 Geotecnia, estudio de mecánica de suelo
- d. 25 Sondajes

Con los antecedentes mencionados anteriormente, se busca estratificar el suelo a mayor profundidad, generar sectores nuevos, cumplir con la normativa, etc. con el objeto de conocer las principales características y composición del suelo de Chiguayante.

Para llevar a cabo la Estratificación y Zonificación de los sectores en estudio, se realizó la metodología de la siguiente manera, ver Figura 3:



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Word 2013.

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

### 3.1 Recopilación de la Información

La base de este trabajo, utiliza 25 sondajes dichas prospecciones se encuentran en un periodo de tiempo entre los años 2004 y 2017.

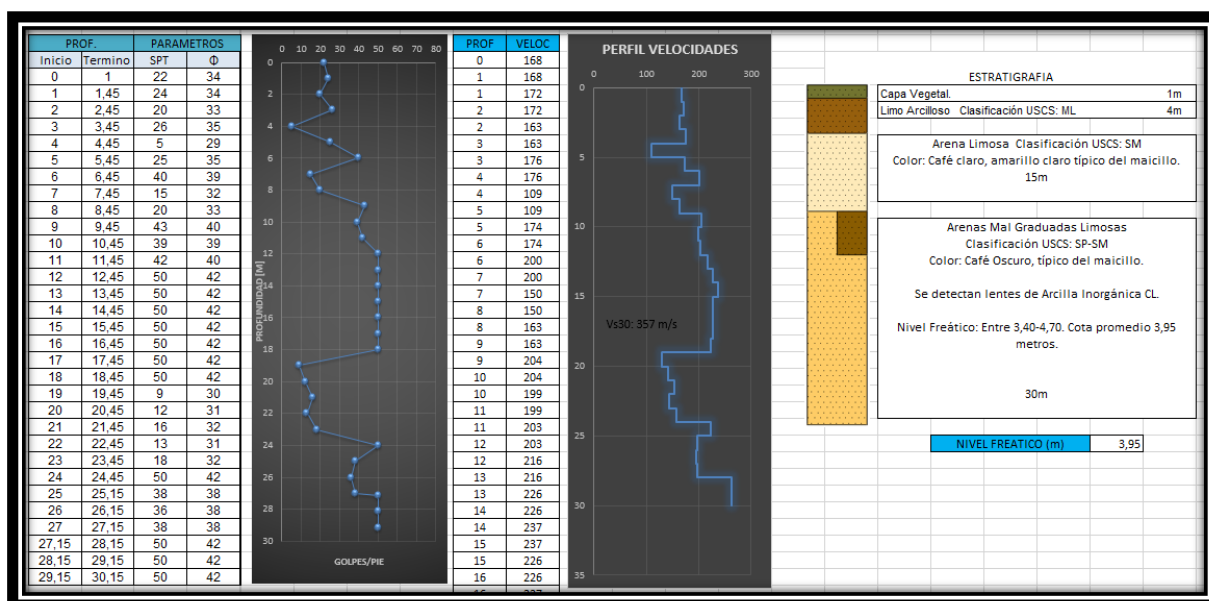
La información fue recopilada gracias al aporte de empresas dedicadas al estudio de mecánica de suelos, tales como:

- Aragón Ingeniería de Suelos Ltda.
- Terrasonda
- Dirección de Obras Municipales (D.O.M.)
- Secplan de la comuna de Chiguayante

### 3.2 Organización de la Información

Con el fin de poder relacionar más fácilmente la estratigrafía entre sondajes se creó una planilla Excel “tipo”, para estandarizar la información de cada uno de los sondajes utilizados, en esta se detalla los parámetros de Estratigrafía, Índice de penetración estándar, Velocidad de onda de corte , correlación de  $N_{spt}$  con  $V_{s30}$ . Ver Figura 4.

Figura 4: Estandarización de un sondaje en la hoja tipo.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

### 3.3 Sistema SIG.

El Software Arcgis 10.3, corresponde a un programa de Sistema de Información Geográfica (SIG), que permite la creación de mapas digitales, mediante los cuales se puede acceder a información ya sea en forma escrita (tablas, texto), y visuales (imágenes), etc.

El programa trabaja con distintos temas, los que son almacenados en archivos de formato “shapefile” (\*.shp), (Tabla N° 1).

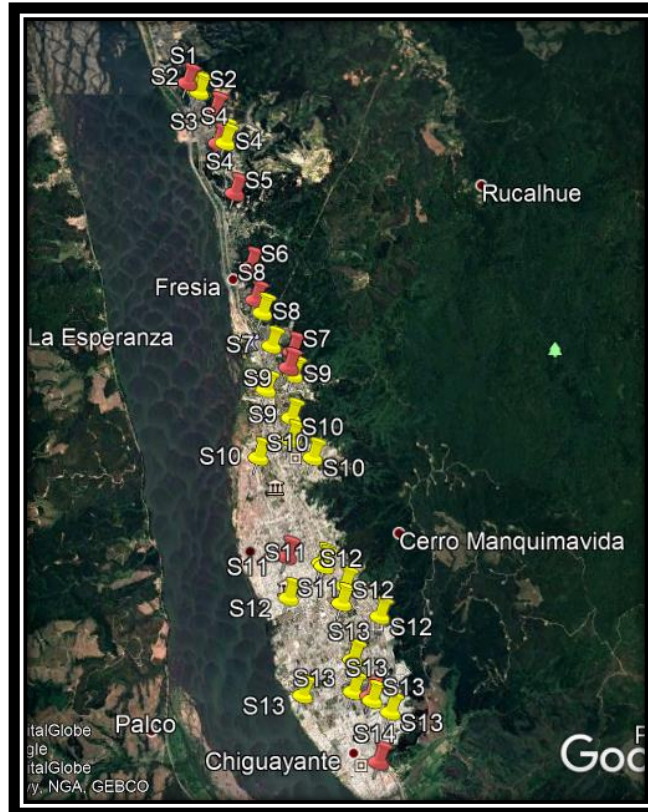
Tabla N° 1: Temas y archivos que conforma la base de datos

ITEM	TÍTULO ARCGIS
1. Delimitación Calles Comuna.	calles.dxf
2. Nombre de Calles Comuna.	nombrecalles.dxf
3. Limites Naturales.	limitecerro.dxf
4. Zonas Detectadas.	zonificacion_.shp
5. Estratigrafía	estratigrafia.shp
6. Parámetros Estratigráficos	estratigrafia.info.shp
7. Rango	rango.shp
8. Velocidades onda de corte	vs30.shp
9. Distribución Sondajes	distri.sondajes.shp
10. Estudio Sernageomin.	serna.shp

Fuente: Arriagada, P. (2018). Elaboración propia.

Con los datos de lo sondajes ordenados, se procedió a la georreferenciación de estas en un plano comunal de Chiguayante mediante el uso de ArcGis 10.3.

Figura 5: Disposición Geográfica de las prospecciones.

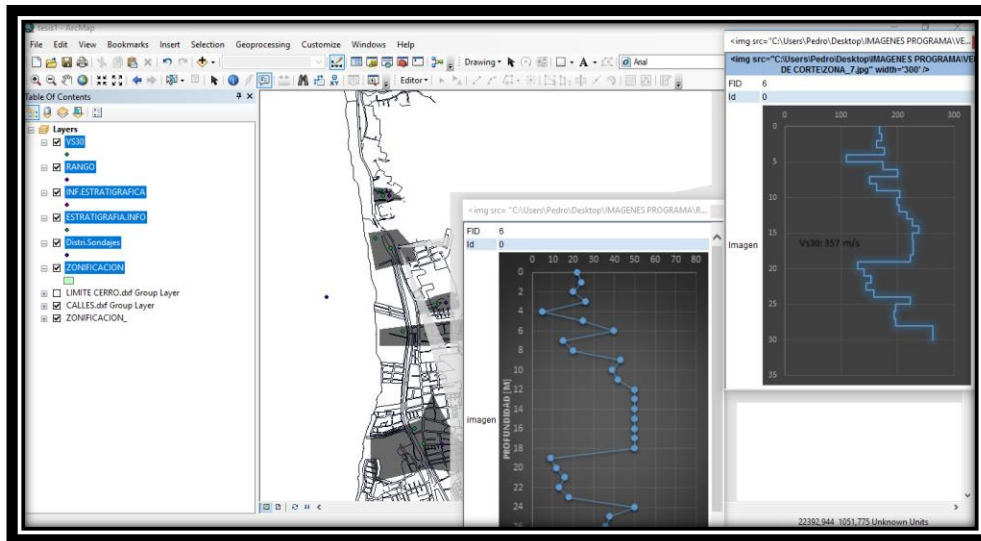


Fuente: Arriagada, Pedro. Elaboración propia. Recuperado de Google Earth Pro.

En los temas de ArcGis, se tiene la ubicación de cada una de las prospecciones utilizadas para el estudio dentro de cada zona. Los sondajes presentes en cada una de ellas están representados por marcadores amarillos y rojo las zonas representativas.

Para poder acceder a la información de cada zona, primero se debe activar el tema “Rango” en el menú de temas y para visualizar el contenido, se utiliza la herramienta “HTML”, 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 6.

Figura 6: Serie de Cuadros que especifica las características de las zonas.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

El cuadro de información de cada zona cuenta con los siguientes parámetros:

- Profundidad de la prospección.
- Grafico Velocidad de onda de corte (DS 61).
- Grafico NSPT.
- Información de Estratigrafía.



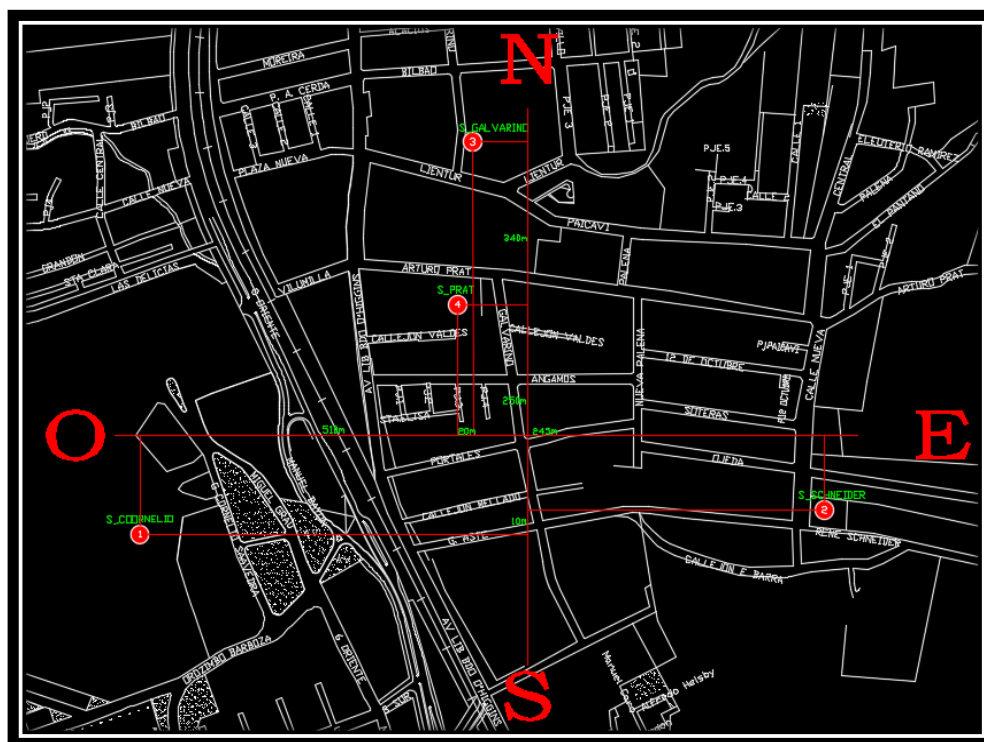
### 3.4 Modelación Estratigráfica

Una vez ingresada la información para cada uno de los sondajes, y conociendo su ubicación geográfica, se realizó la modelación estratigráfica.

Para el desarrollo de esta se siguió la siguiente metodología:

- Visualización y análisis de grupos de sondajes cercanos.
- Trazados de ejes en dirección Norte-Sur, Este-Oeste a través de los grupos de interés.
- Proyección de los sondajes sobre los ejes mencionados en el punto anterior, considerando las distancias entre ellos y su estratigrafía.

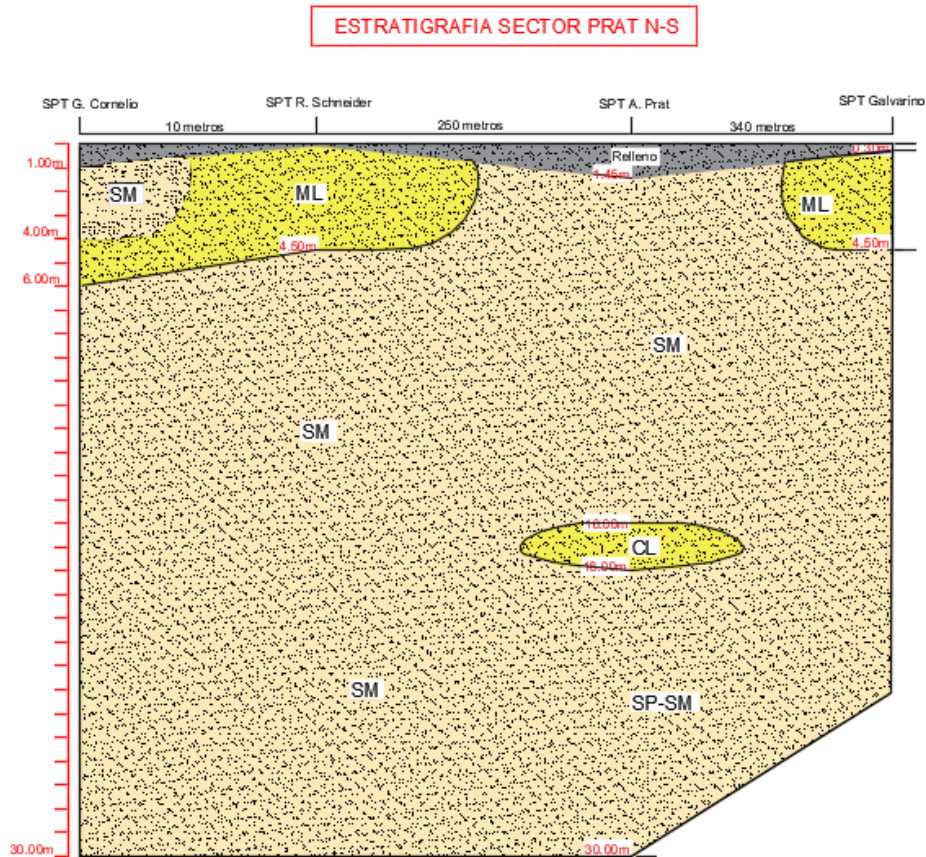
Figura 7: Proyección sondajes sobre eje con orientación Norte-Sur/ Este- Oeste, por calle O'Higgins, Sector Prat.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de AutoCAD 2014.

- Usando los ejes planteados, se procedió a la creación de perfiles en AutoCAD 2014, que reflejan la estratigrafía de cada prospección.

Figura 8: Relación Estratigráfica Calle O'Higgins N-S.

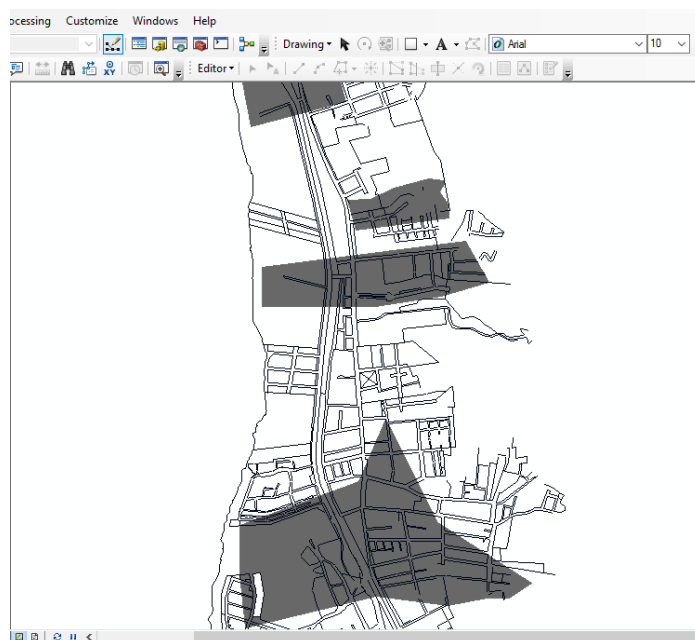


Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de AutoCAD 2014.

- e. Análisis de la estratigrafía creada, estudiando si hay relación entre los estratos de cada sondaje.
- f. Si la relación estratigráfica entre el grupo de prospecciones es continua, se procede a la creación de una “zona”. Empleando como criterio para delimitar la zona lo siguiente:
  - Límites acotados por la topografía del sector y su información geológica.
  - Entre zonas colindantes se propuso una metodología que consiste en el cálculo de un punto medio, el cual se obtiene al tomar los sondajes más cercanos pertenecientes a cada zona.



Figura 9: Representación de la zonificación creada en la Comuna, en ArcMap



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

En cada sector creado, se tomó la información individual de cada sondaje, logrando una modelación estratigráfica representativa, clasificación USCS, una gráfica promedio N<sub>spt</sub>. El Rechazo en el ensayo SPT, más de 50 golpes en 15 (cm), se asumió con un valor de 100 golpes para el gráfico.

Para ver las modelaciones estratigráficas de cada sector, se activa el tema “Zonificación” y utilizando la herramienta HTML, se presiona sobre el área deseada logrando visualizar un cuadro de imagen donde muestra las características del sector.

Figura 10: Modelo Zona N°1, Colegio Concepción.



Fuente: Arriagada, Pedro. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

Cada modelación cuenta con un gráfico del rango N<sub>spt</sub>, Gráfico y Velocidad de onda de corte (DS 61), una columna estratigráfica representativa, una especificación visual de cada estrato y su respectiva clasificación USCS para cada estrato.

### 3.5 Zonificación del suelo.

Luego de determinar los sectores, estos se zonificaron de acuerdo al material predominante en la estratificación. Se siguió la metodología expuesta por Inostroza, G.E. (2004). Metodología de estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Concepción, mediante la aplicación de SIG. Tesis de pregrado. Universidad del Bío-Bío, Concepción.

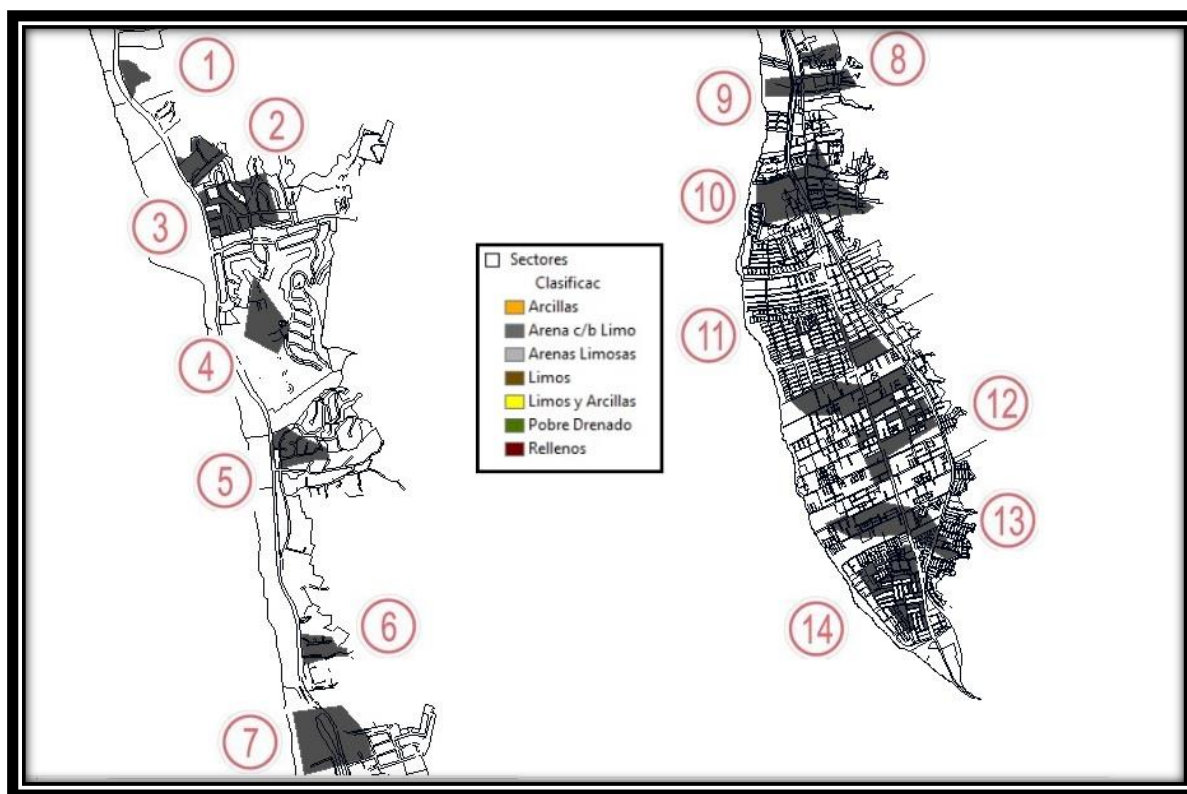
Para la clasificación de los diferentes estratos se empleó la clasificación de suelos USCS, descrita en el Anexo F.

Los sectores se dividen en función de sus estratos en:

- a. *Sectores Arcillosos*: Sectores con clasificación USCS: CH, CL, SC.
- b. *Sectores de arenas con bastante limo*: Sectores con clasificación USCS: SM (ML),ML.
- c. *Sectores de limos*: Sectores con clasificación USCS: ML, MH.
- d. *Sectores de limos y arcillas*: Sectores con clasificación USCS: ML, MH, Cl, CH.
- e. *Sectores materiales pobremente drenados*: Corresponde a sectores donde se encuentran pobremente drenados, barro y turba.
- f. *Sectores de Rellenos*: Sectores donde los rellenos superficiales superan los 2 m.

Cada sector, además de tener un color representativo, posee una modelación estratigráfica correspondiente a los suelos que lo conforman. Así pueden existir varios sectores con la misma clasificación, pero cada uno de ellos posee un modelo estratigráfico propio.

Figura 11: Representación de Zonificación del suelo.



Fuente: Arriagada, P. (2018).Elaboración propia. Recuperado de ArcGis 10.3

### 3.6 Implementación Normativa

El D.S. N° 61 define la clasificación sísmica del terreno de fundación en niveles, que van desde los de mejor comportamiento (Roca: Suelo tipo A) al de mayor exigencia sísmica (suelo tipo E: suelo de compacidad o consistencia mediana), existiendo suelos con características especiales (Suelos orgánicos, susceptibles a licuación, etc.), los cuales clasifican como tipo F.

La corrección del Índice de penetración estándar por presión de confinamiento ( $N_1$ ), se encuentra definida en el anexo A: “Ensayo SPT y Correcciones”.

Tabla 2. Clasificación sísmica del terreno de fundación dispuesto en DS 61

Suelo tipo		$V_{s30}$ (m/s)	RQD	$q_u$ (Mpa)	$(N_1)$ (golpes/pie)	$S_u$ (MPa)
<b>A</b>	Roca, suelo cementado	$\geq 900$	$\geq 50 \%$	$\geq 10$		
<b>B</b>	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	$\geq 500$		$\geq 0,40$	$\geq 50$	
<b>C</b>	Suelo denso o firme	$\geq 350$		$\geq 0,30$	$\geq 40$	
<b>D</b>	Suelo medianamente denso, o firme	$\geq 180$			$\geq 30$	$\geq 0.05$
<b>E</b>	Suelo de compacidad, o consistencia mediana	$< 180$			$\geq 20$	$\geq 0.05$
<b>F</b>	Suelos especiales	*	*	*	*	*

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2011).

Otro parámetro importante exigido en el D.S. N°61 es la velocidad de ondas de corte promedio de los 30 metros superiores del terreno ( $V_{s30}$ ), este parámetro es en el cual se ha centrado la clasificación sísmica definida en el decreto, y se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s-1}}}$$

Donde:

$V_{s-1}$  : velocidad de ondas de corte del estrato i, en m/s

$h_i$  : espesor del estrato i, en metros.

n : número de estratos en los 30 metros superiores del terreno

En base a la poca información reunida de estudios geofísicos, para este estudio, se aplicaran correlaciones que permiten obtener  $V_s$  de manera indirecta. González, G. (2011) realiza un estudio de validación de correlaciones de distintos autores, enfocadas a determinar el valor de  $V_s$  a través del ensayo de penetración estándar.

Del estudio realizado por Gonzáles, G. (2011), se concluye que los autores Sisman y Kiku, poseen las correlaciones más efectivas para todo tipos de suelos, además de márgenes de error menores al 20%.

La correlación determinada por Kiku et al (2001) se define con la siguiente expresión:

$$V_s = 68.3 * N_1^{0.292}$$

Dónde:

$V_s$  : Velocidad de ondas de corte determinada a partir de  $N_1$

$N_1$  : Índice de numero de golpes corregido

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo al estudio que se desarrolló en la comuna de Chiguayante, a través del análisis de sondaje, se encontraron distintas zonas, diferenciadas por el tipo de material base constituyente y por las propiedades mecánicas, a continuación se presenta un resumen de las características de cada zona creada con su modelación representativa. Además de recomendaciones para el uso de los suelos, lo cual complementa lo establecido en el plano regulador. Los criterios se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Relación SPT y Altura de Edificación.

Altura Edificación	Rango Nspt
3 – 5 Pisos	20-28
6 – 9 Pisos	29-35
Más de 10 pisos	> 35

Fuente: Saez, G., (2004). Concepción, Chile.

Dentro de la comuna de Chiguayante se pudieron diferenciar las siguientes Zonas (Tabla 4).

Tabla 4. Enumeración zonas creadas

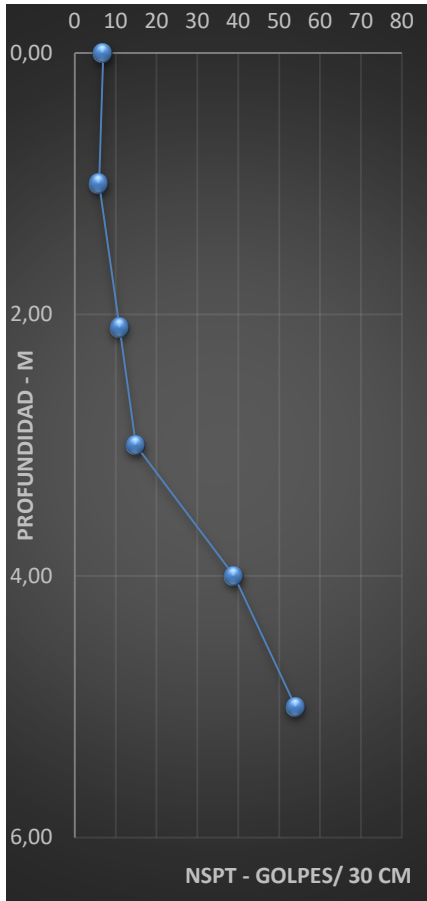
ZONA	SECTOR
1	Cerro Colegio Concepción
2	Cerro Punta del Este
3	Lonco Ray
4	Cerro Lonco Parque
5	Cerro Villúco
6	Cerro Las Palmas
7	Rivera Entrada
8	Cerro Manantiales
9	Colon
10	Prat
11	Chiguayante Sur
12	Los Castaños
13	Indama
14	Leonera

MODELO SECTOR 1: "CERRO COLEGIO CONCEPCION"

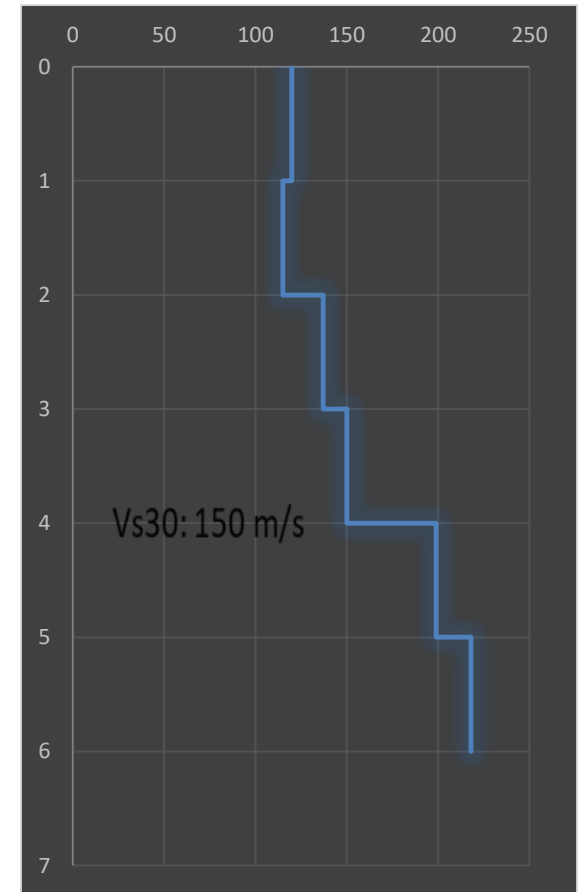
Figura 12.1 Modelación Zonal

Estratigrafía Cerro Colegio Concepción

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Arenas Limosas  
 Clasificación USCS: SM  
 Color: Café claro, amarillo claro, típico del maicillo.  
 Se detectan lentes de Arena arcillosa SC y Arena limosas.  
 Limo inorgánico SM-ML.  
 Nivel Freático: No Observado.  
 6.03 m (indef.)



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Colegio Concepción
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 5,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3,4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 4,00 metros. Se podría mejorar solo hasta los 3.00 m, previa verificación de asentamiento.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

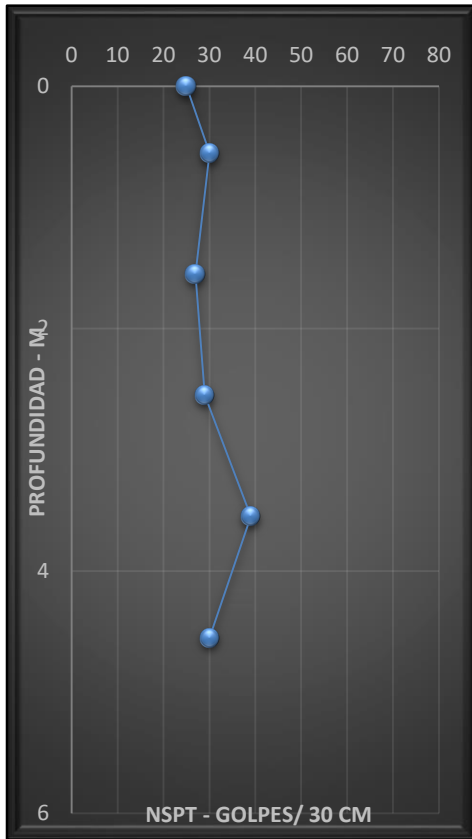


MODELO SECTOR 2: "CERRO PUNTA DEL ESTE"

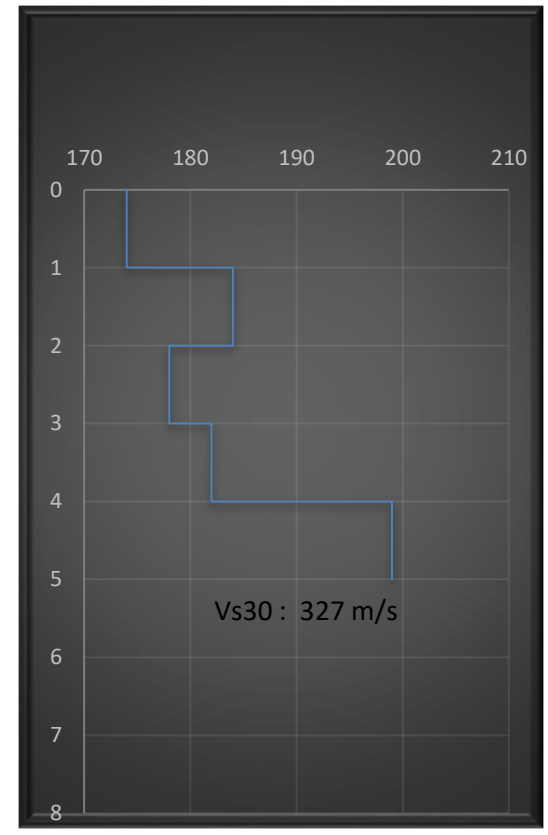
Figura 12.2 Modelación Zonal

Estratigrafía Cerro Punta del Este

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Arenas Limosas  
 Clasificación USCS: SM  
 Color: Al principio tiende a un gris debido a la alta humedad detectada pero luego en profundidad se aprecia un café claro, amarillo claro, típico del maicillo.  
 Se detectan una leve Capa Vegetal en el inicio del estudio.  
 Nivel Freático: No Observado.  
 5,00 m (indef.)



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Punta del Este.
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Si bien el terreno tiene buenas propiedades mecánicas, la cantidad de estudios es muy baja siendo opción realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 4,00 metros o realizar fundaciones profundas.  Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 4,00 metros.  Se podría mejorar solo hasta los 3.00 m, previa verificación de asentamiento.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

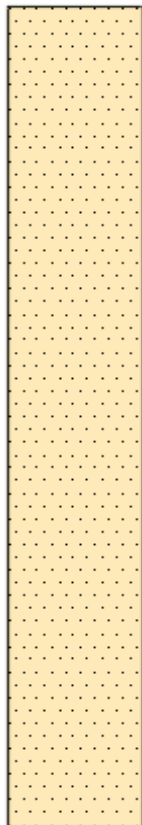
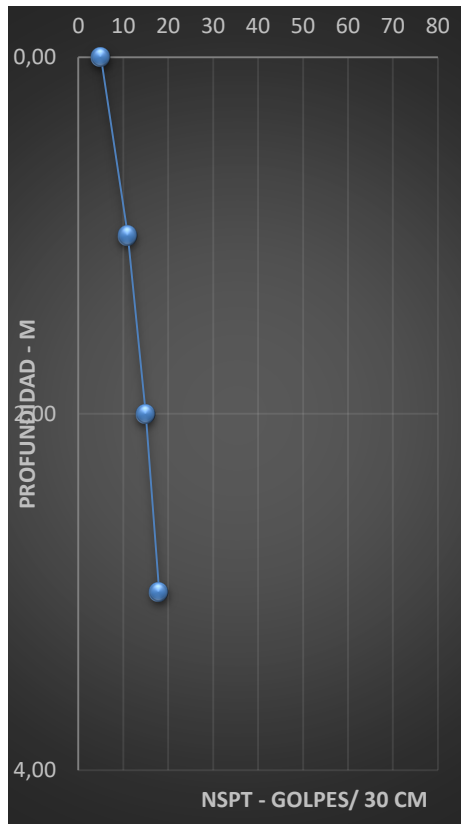
(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

MODELO SECTOR 3: "LONCO RAY"

Figura 12.3 Modelación Zonal

Estratigrafía Lonco Ray

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$

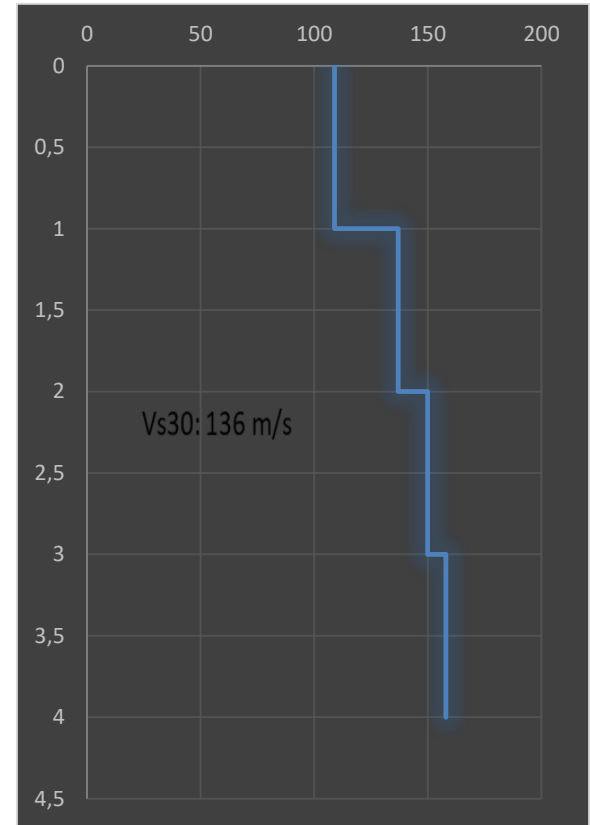


Arenas Limosas Limo Inorgánico  
 Clasificación USCS: SM-ML  
 Color: Café claro, amarillo claro, típico del maicillo.

No se detectan lentes de ningún tipo hasta esta profundidad, lo que no se descarta que existan.

Nivel Freático: No Observado.

4,05 m (indef.)



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Lonco Ray
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno superior a 4,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, implica un mejoramiento. Se podría mejorar solo hasta los 3.00 m, previa verificación de asentamiento.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

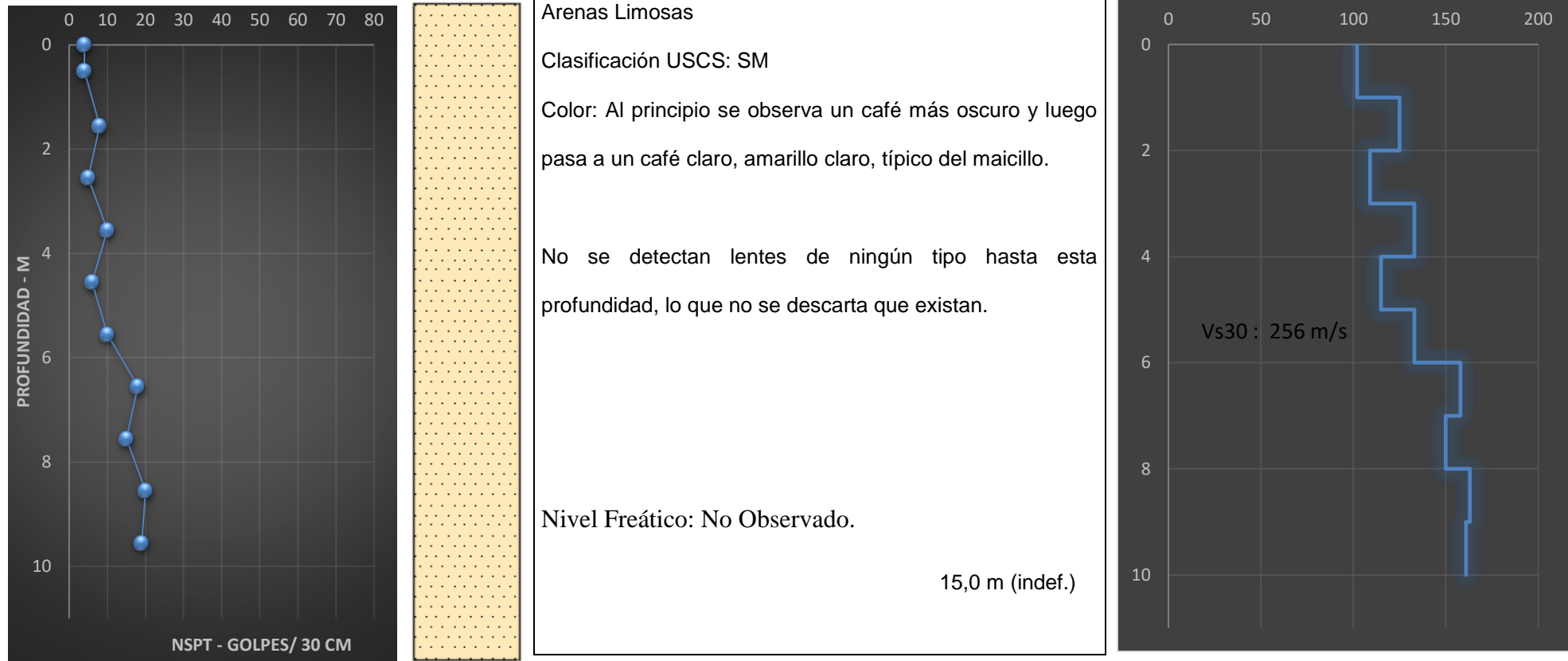
(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

MODELO SECTOR 4: "LONCO PARQUE"

Figura 12.4 Modelación Zonal

Estratigrafía Lonco Parque

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Lonco Parque
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 9,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3,4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 8,00 a 9,00 metros. Se podría mejorar solo hasta los 4.00 m, previa verificación de asentamiento.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

MODELO SECTOR 5: "VILLUCO"

Figura 12.5 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Villuco

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Villúco.
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 8,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, se necesita mejoramiento, se podría mejorar solo hasta los 7.00 m, previa verificación de asentamiento.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

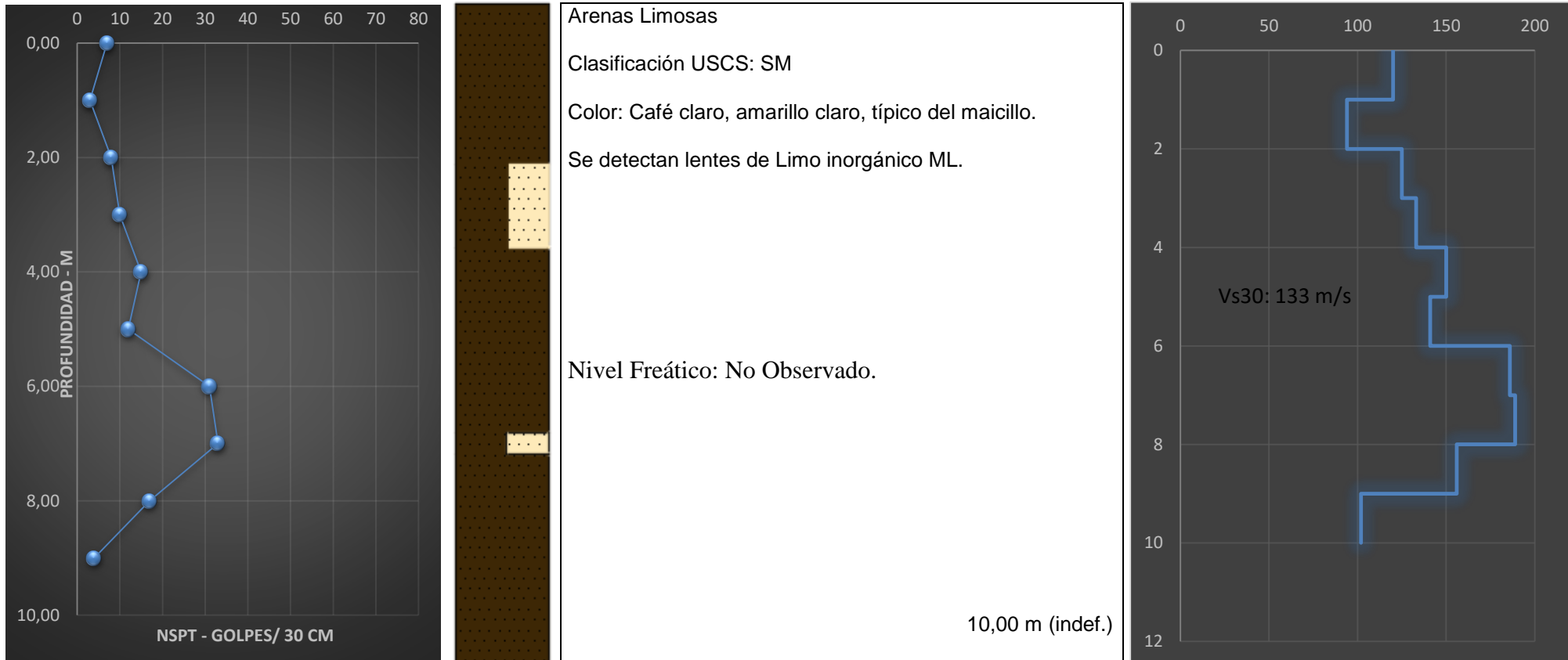


MODELO SECTOR 6: "CERRO LAS PALMAS"

Figura 12.6 Modelación Zonal

Estratigrafía Cerro Las Palmas

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Las Palmas.
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno superiores a 10,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3,4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 6,00 metros.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

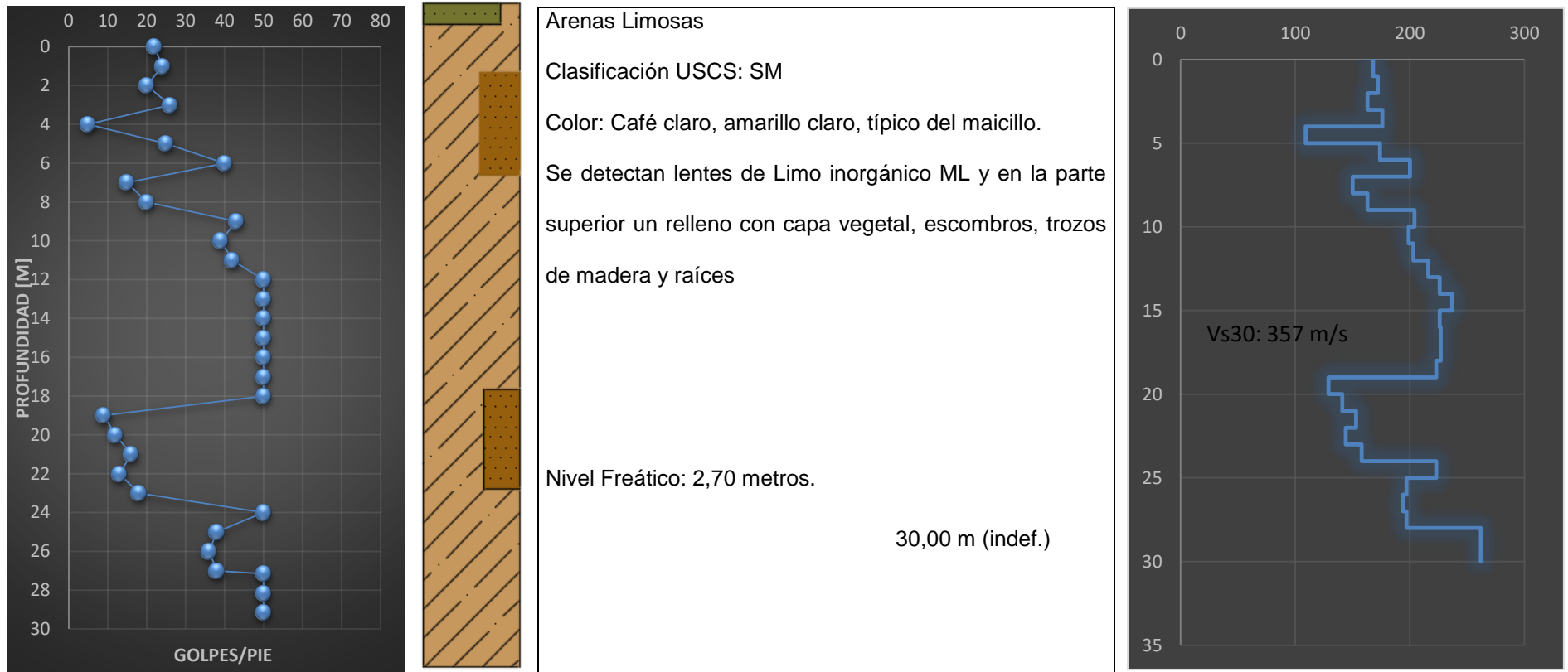
(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

MODELO SECTOR 7: "RIVERA ENTRADA"

Figura 12.7 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Rivera Entrada

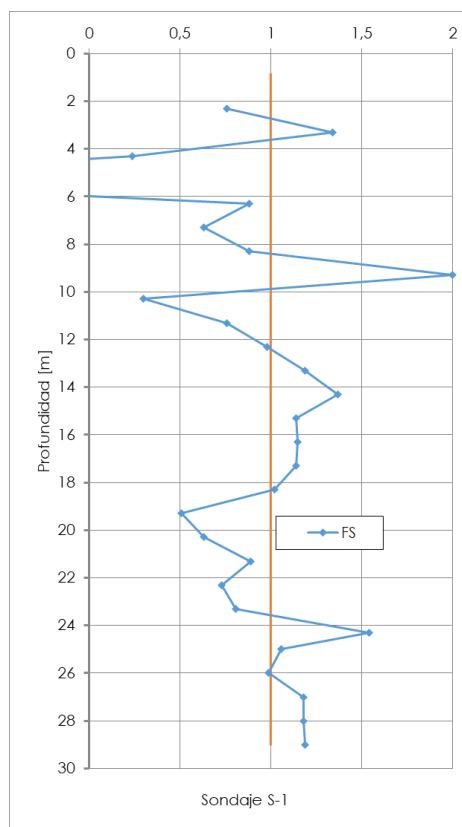
Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU2A, ZU3B,ZU7
Zona Propuesta	Rivera Entrada Chiguayante.
Altura Edificación	(ZU2-A) libre, (ZU7) depende de los deslindes se proyectan sobre 25,00 metros, (ZU3-B) 24 metros.
Recomendación	Si bien el terreno tiene buenas propiedades mecánicas, la cantidad de estudios es muy baja siendo opción realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 8,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 8,00 metros.

➤ Análisis de Licuación: *Modelo sector Entrada Rivera*

Figura 12.7.1 Factor de seguridad del análisis de potencial de licuación - sector Entrada Rivera.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

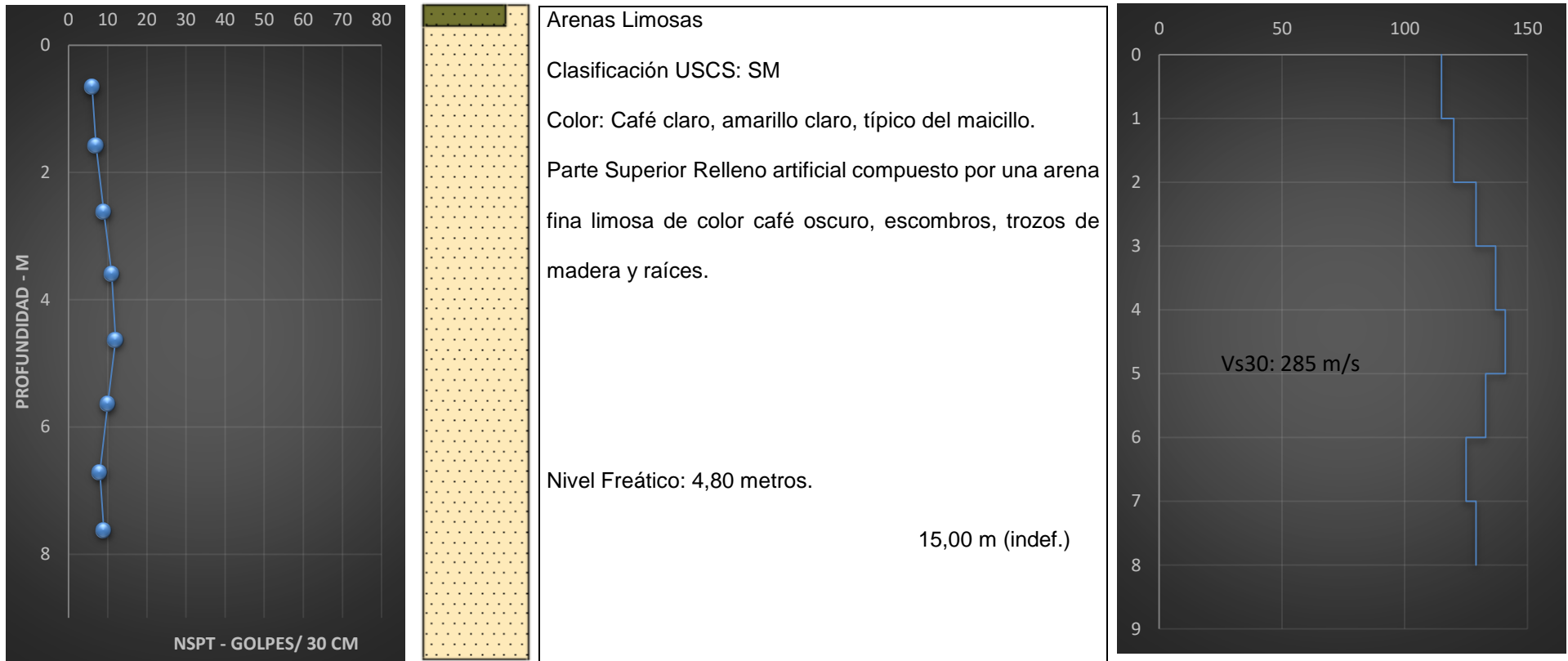
De la Figura 12.7.1, se observa que con la información obtenida, el suelo en este sector es potencialmente licuable entre los 3 y 8.5 metros de profundidad. Bajo los 8.5 metros el suelo presenta índices de penetración mayores a 30 (golpes/30cm), por lo que se descarta que sea potencialmente licuable.

MODELO SECTOR 8 CERRO MANANTIALES

Figura 12.8 Modelación Zonal

Estratigrafía Cerro Manantiales

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU2A
Zona Propuesta	Cerro Manantiales.
Altura Edificación	No Existe Limitantes de altura, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 6,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3,4 o 5 pisos, Mejorar de 2,00 a 3,00 metros.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

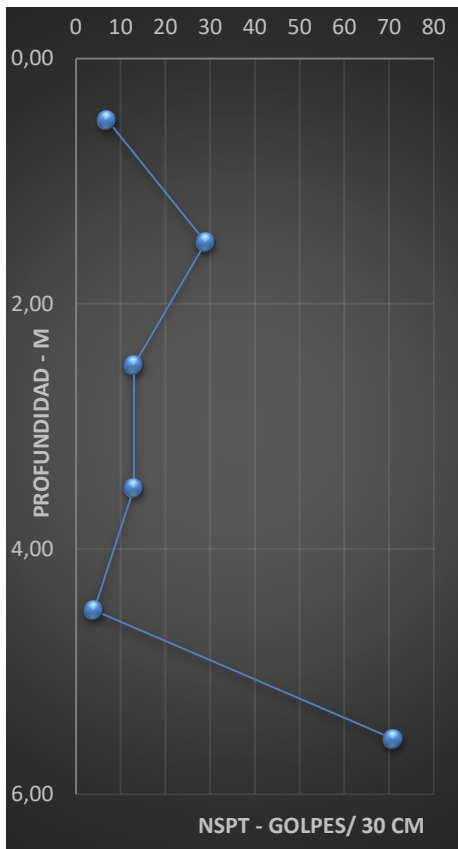
(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

**MODELO SECTOR 9 COLON**

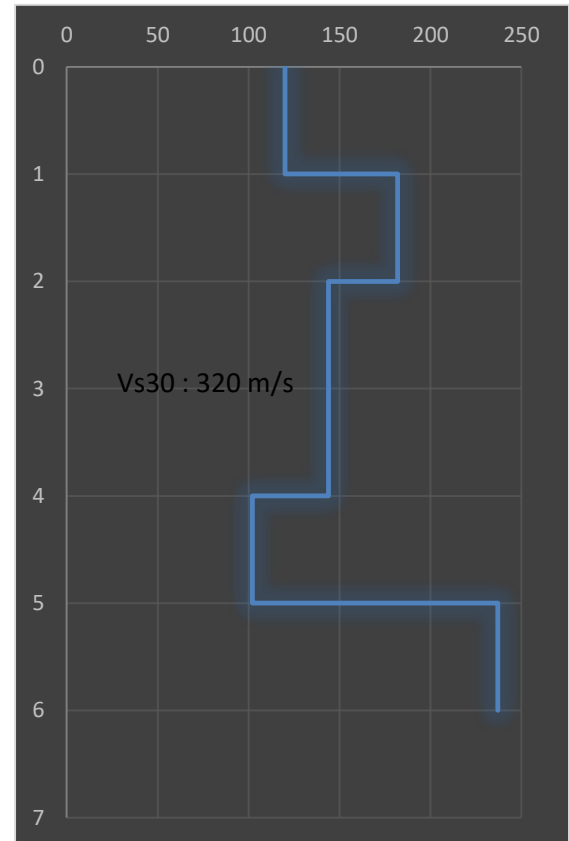
Figura 12.9 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Colon

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Capa Vegetal.	0,5m
Arena Bien Graduada	Clasificación USCS: SW 1,5m
Arenas Mal Graduadas Limosas	Clasificación USCS: SP-SM Color: Café Oscuro, típico del maicillo. 3m
Arena Limosa	Clasificación USCS: SM Color: Café claro, amarillo claro típico del maicillo.  No se detectan lentes de ningún tipo hasta esta profundidad, lo que no se descarta que existan.  Nivel Freático: Entre 3,00 metros.  6,00 m (indef.)



Plan Regulador	ZU2B
Zona Propuesta	Colon
Altura Edificación	(ZU2B) 36,00 metros.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 15,00 metros o realizar fundaciones profundas. Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 6,00 a 7,00 metros.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

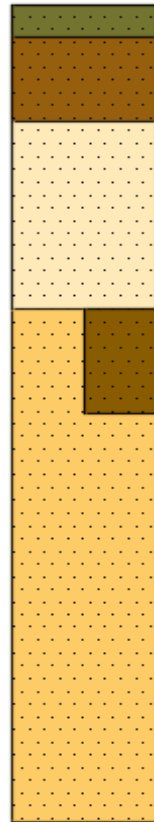
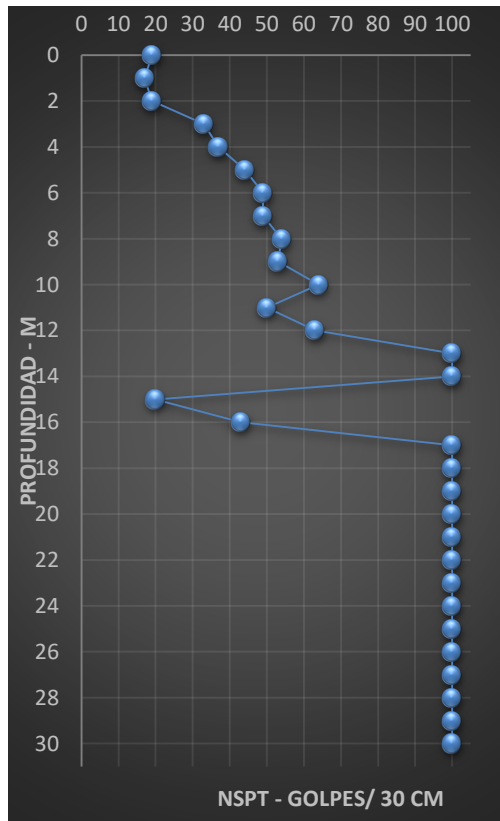


**MODELO SECTOR 10 PRAT**

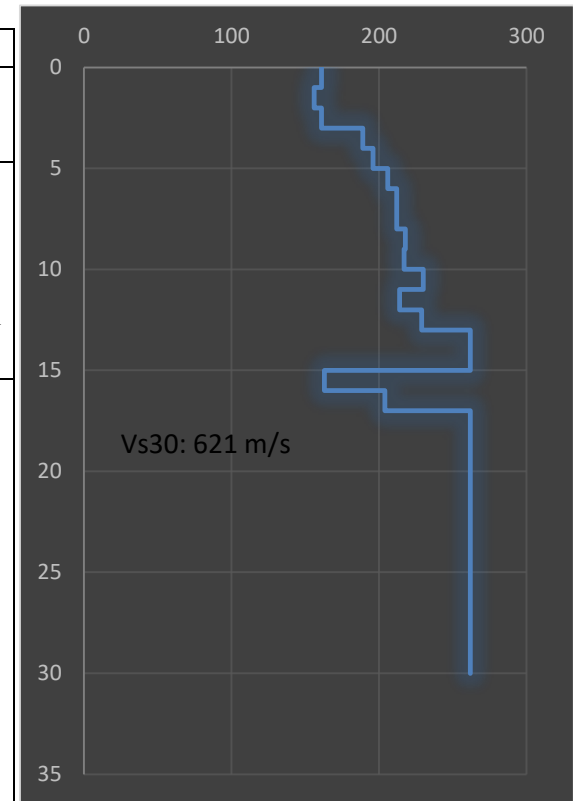
Figura 12.10 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Prat

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



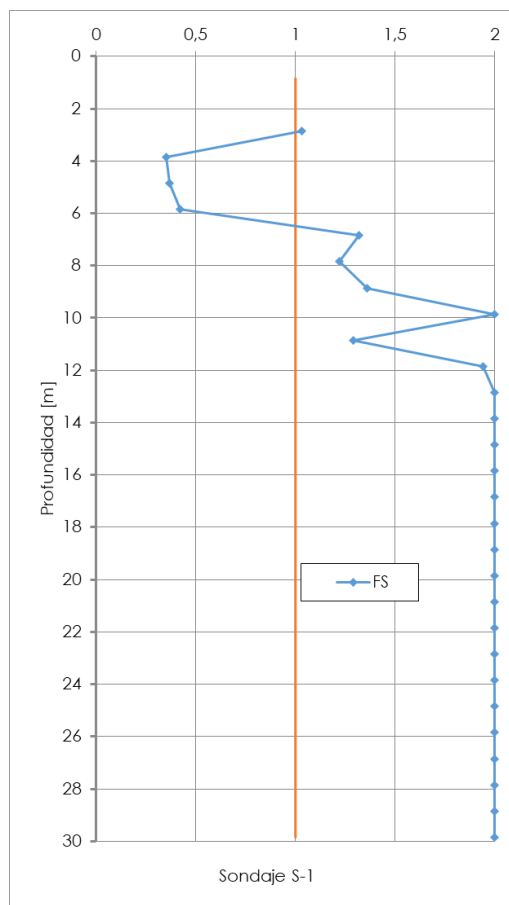
Capa Vegetal.	1m
Limo Arcilloso Clasificación USCS: ML	4m
Arena Limosa Clasificación USCS: SM	15m
Color: Café claro, amarillo claro típico del maicillo.	
Arenas Mal Graduadas Limosas	30,00 m (indef.)
Clasificación USCS: SP-SM	
Color: Café Oscuro, típico del maicillo.	
Se detectan lentes de Arcilla Inorgánica CL.	
Nivel Freático: Entre 3,40-4,70. Cota promedio 3,95 metros.	



Plan Regulador	ZU3-A, ZU2-B
Zona Propuesta	Prat
Altura Edificación	(ZU2B), (ZU3-A) depende de los deslindes se proyectan sobre 36,00 metros.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 4,00 metros.

➤ Análisis de Licuación: *Modelo sector Prat*

Figura 12.10.1 Factor de seguridad del análisis de potencial de licuación - sector Prat.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

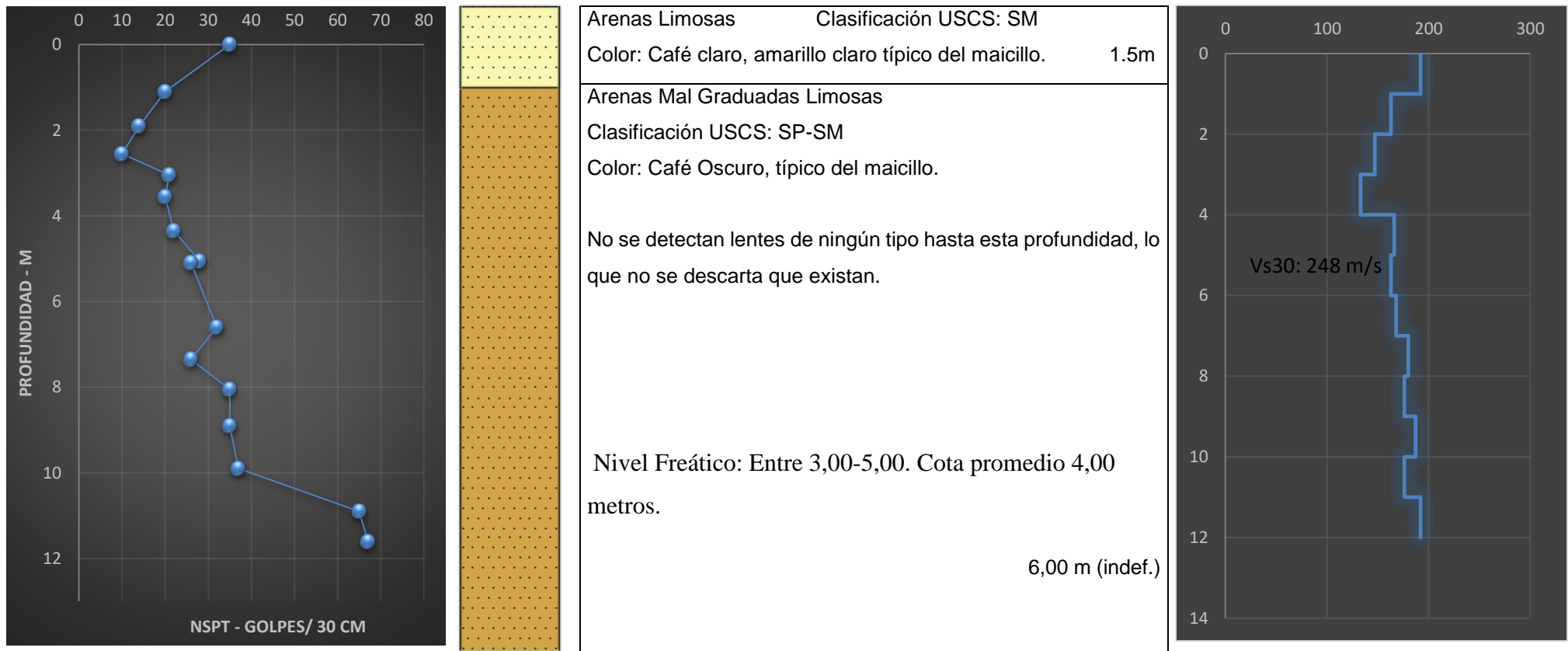
De la Figura 12.10.1, se observa que con la información obtenida, el suelo en este sector es potencialmente licuable entre los 3 y 7 metros de profundidad. Bajo los 7 metros el suelo presenta índices de penetración mayores a 30 (golpes/30cm), por lo que se descarta que sea potencialmente licuable.

MODELO SECTOR 11: "CHIGUAYANTE SUR"

Figura 12.11 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Chiguayante Sur

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU3-A
Zona Propuesta	Chiguayante Sur
Altura Edificación	(ZU3-A) depende de los deslindes se proyectan sobre 36,00 metros.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 5,00 metros o realizar fundaciones profundas Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar de 3,00 a 4,00 metros.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

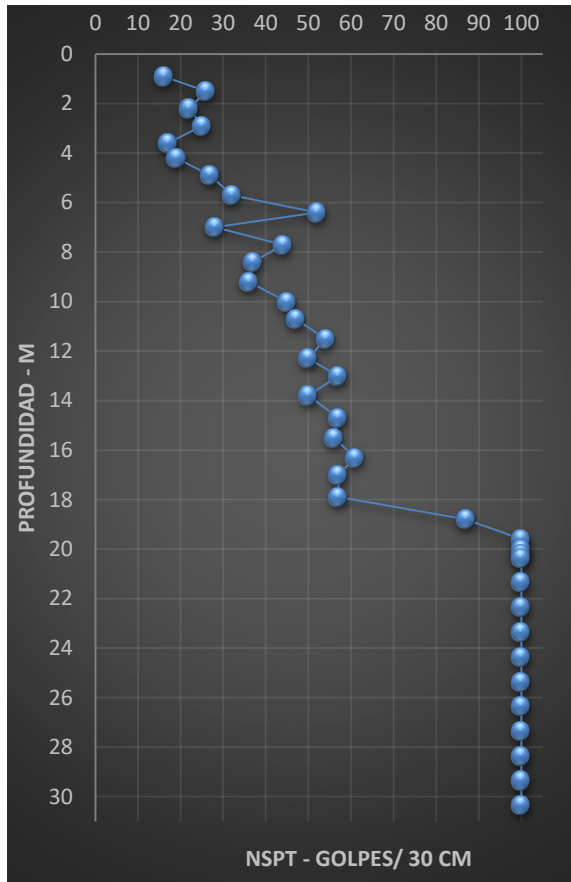
(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

MODELO SECTOR 12 LOS CASTAÑOS

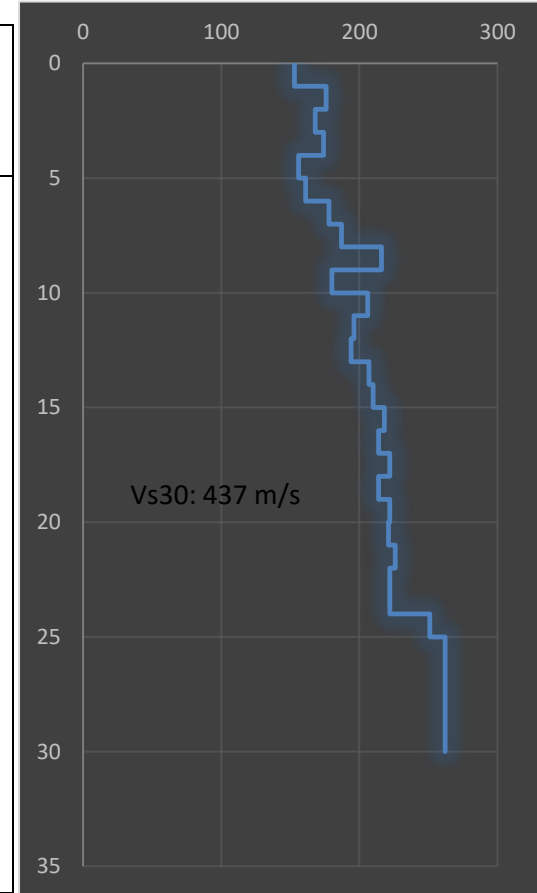
Figura 12.12 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Los castaños

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



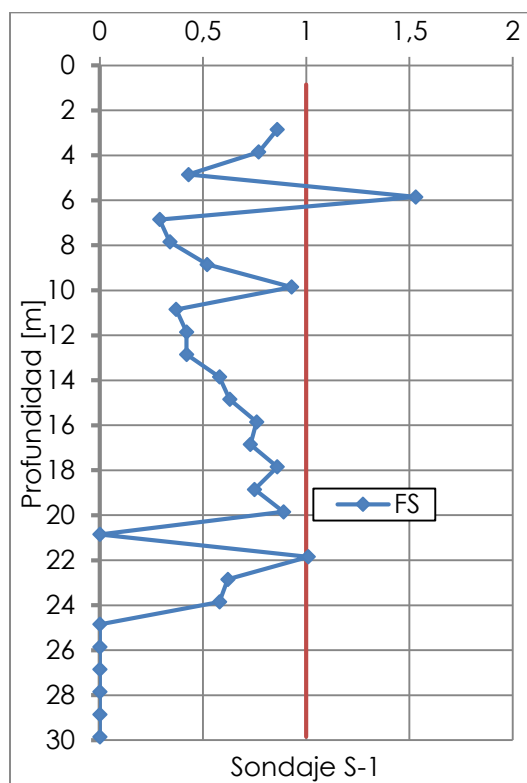
Arenas Limosas	Clasificación USCS: SM
Color: Café claro, amarillo claro típico del maicillo.	3,00m
Arenas Mal Graduadas Limosas	
Clasificación USCS: SP-SM	
Color: Café Oscuro, típico del maicillo.	
Se detectan lentes de Arena Limosa SM.	
Nivel Freático: Entre 5,90-10,70. Cota promedio 8,30 metros.	
30,00 m (indef.)	



Plan Regulador	ZU1-A
Zona Propuesta	Los castaños
Altura Edificación	Sobre 16,00 metros. Dependiendo coeficiente Constructibilidad y densidad.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 7,00 metros o realizar fundaciones profundas Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 7,00 metros.

➤ Análisis de Licuación: *Modelo sector Los Castaños*

Figura 12.12.1 Factor de seguridad del análisis de potencial de licuación - sector Los castaños.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

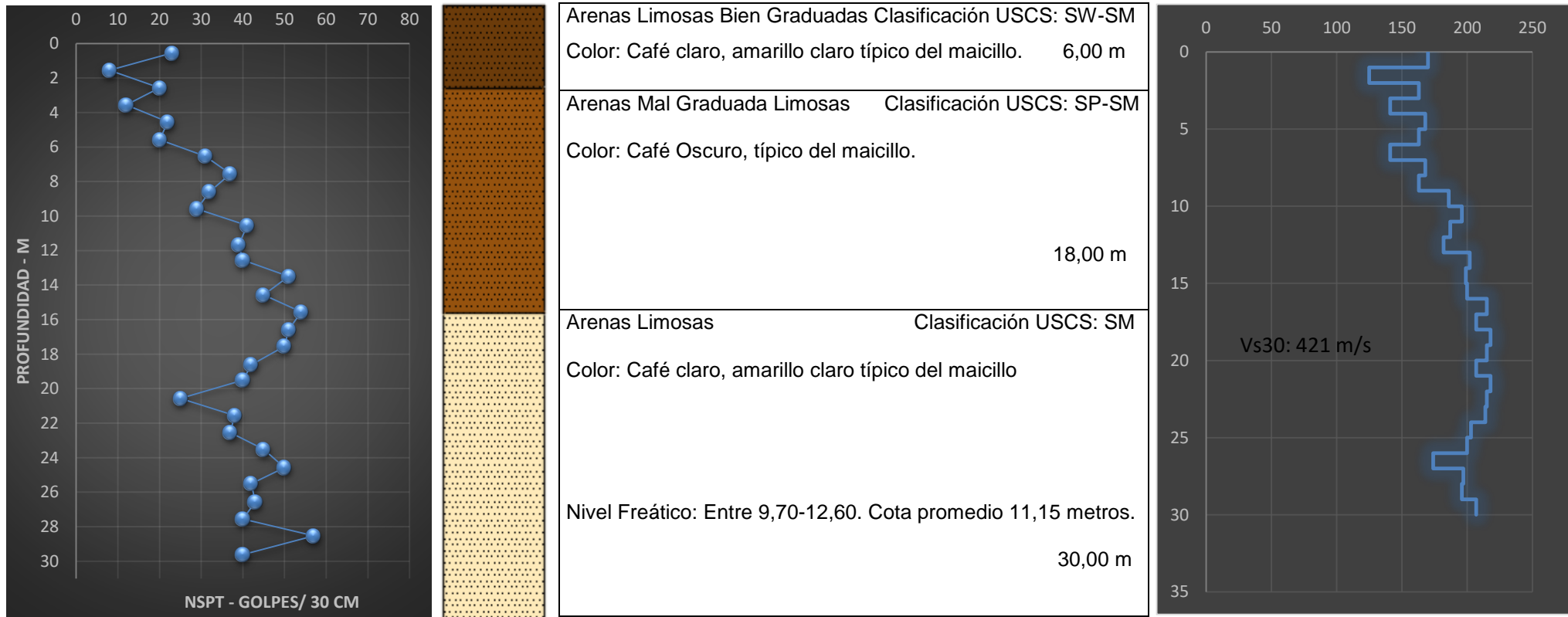
De la Figura 12.12.1, se observa que con la información obtenida, el suelo en este sector es potencialmente licuable en su gran mayoría, pero bajo los 6 metros el suelo presenta índices de penetración mayores a 30 (golpes/30cm), por lo que se descarta que sea potencialmente licuable.

MODELO SECTOR 13: "INDAMA"

Figura 12.13 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Indama

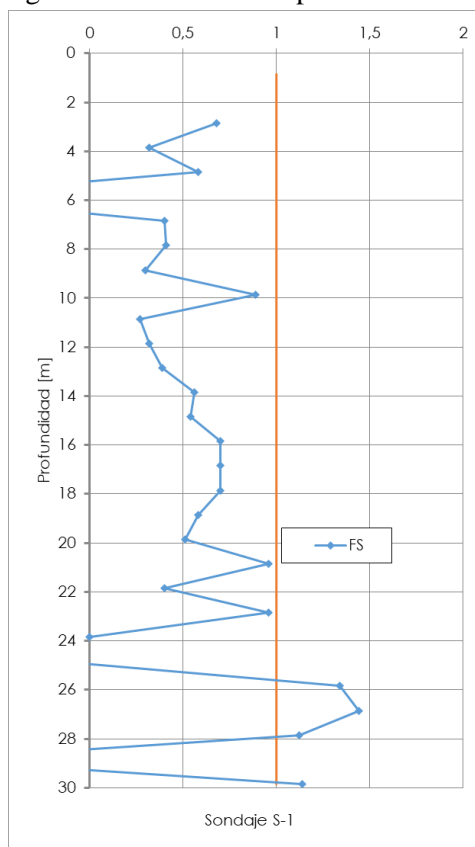
Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Plan Regulador	ZU1-A, ZU1-B, ZU3-A
Zona Propuesta	Indama
Altura Edificación	(ZU1-A) Usos no habitacionales máxima altura 16,00 metros, (ZU1-B) y (ZU3-A) No hay limitante altura
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 6,00 metros o realizar fundaciones profundas Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar hasta los 7,00 metros. Se podría mejorar solo hasta los 4,00 metros, previa verificación de asentamiento.

➤ *Análisis de Licuación:* Modelo sector Indama

Figura 12.13.1 Factor de seguridad del análisis de potencial de licuación - sector Indama.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

De la Figura 5, se observa que con la información obtenida, el suelo en este sector es potencialmente licuable en su gran mayoría, pero bajo los 6 metros el suelo presenta índices de penetración mayores a 30 (golpes/30cm), por lo que se descarta que sea potencialmente licuable.

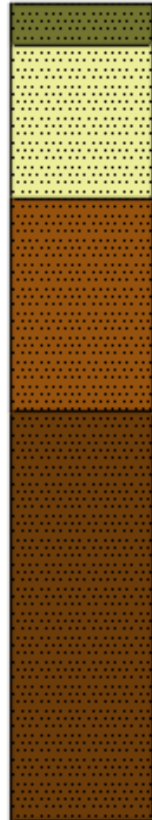
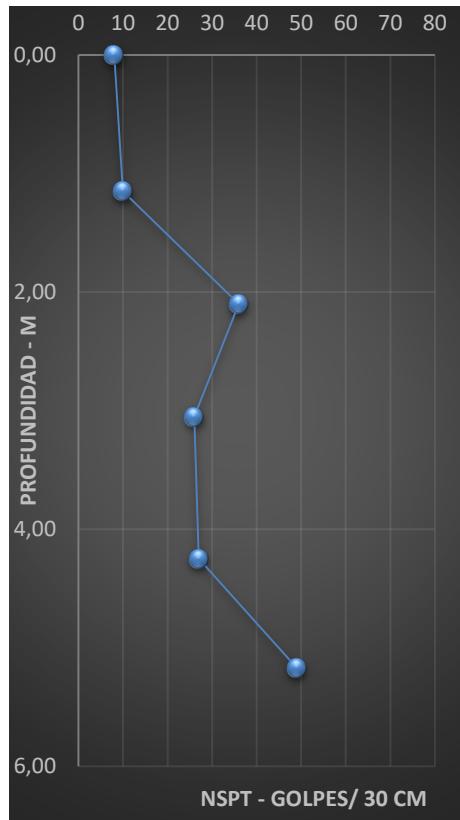


MODELO SECTOR 14: "LEONERA"

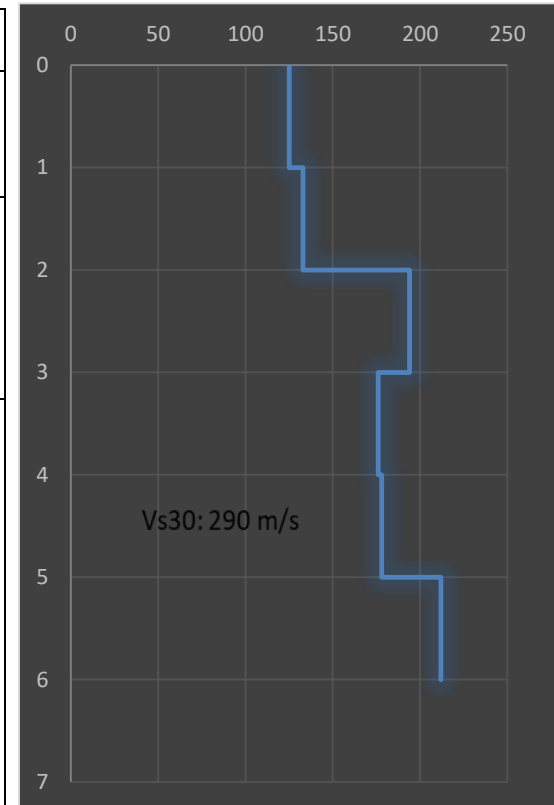
Figura 12.14 Modelación Zonal

Estratigrafía Sector Leonera

Grafico Perfil de Velocidades  $V_{s30}$



Capa Vegetal.	0.25m
Limo inorgánico Clasificación USCS: ML	
Color: Gris Oscuro.	1.8m
Arena Mal Graduada Arena Limosa	
Clasificación USCS: SP-SM.	
Color: Gris Oscuro.	2.9m
Arena Bien Graduada Arena Limosa	
Clasificación USCS: SW-SM.	
Color: Gris Oscuro.	
Podría ser producto de un relleno artificial, dado que no es típica de las riveras del río.	
Nivel Freático: 6,05 metros.	
6.05m (indef)	



Plan Regulador	ZU4
Zona Propuesta	Leonera
Altura Edificación	Edificación continua 2 pisos, edificación aislada y pareada, libre.
Recomendación	Realizar mejoramiento de terreno por lo menos hasta los 5,00 metros o realizar fundaciones profundas  Para edificios de 3, 4 o 5 pisos, Mejorar de 3,00 a 4,00 metros.

➤ Análisis de Licuación.

Observaciones en informe del Sernageomin.

(Anexo E, “*Carta geoambiental Sernageomin zonas potencialmente licuables*”).

**“TABLAS DE RESULTADOS”**

Tabla 5. Resultados análisis generales

Nº	Modelo sector	Zona PRCC	Clasif. U.S.C.S.	Vs (m/s)	Tipo de Suelo	Altura Edificación	Uso de suelo permitido	Nivel Freático (m)	Profundidad Estrato portante (m)
1	Cerro Colegio Concepción	ZU2A	SM	150	E	Libre	Habitacional, Educación	-	+4,00
2	Cerro Punta del Este	ZU2A	SM	327	D	Libre	Habitacional	-	+3,00
3	Lonco Ray	ZU2A	SM-ML	136	E	Libre	Habitacional	-	No Existe información.
4	Lonco Parque	ZU2A	SM	256	D	Libre	Habitacional	-	+9,00
5	Cerro Villuco	ZU2A	SM	120	E	Libre	Habitacional, Servicios, equipamiento Y Educación	-	+8,00
6	Cerro Las Palmas	ZU2A	SM	133	E	Libre	Habitacional, Educación	-	+7,00
7	Rivera Entrada	ZU2A ZU3B ZU7	SM	357	C	Libre 24 m 15 m	Habitacional	2,70	+9,00
8	Cerro Manantiales	ZU2A	SM	285	D	Libre	Habitacional	4,80	+2,00
9	Colon	ZU2B	SW SP-SM SM	320	D	36 m	Habitacional, Comercio, Educación	3,00	+6,00
10	Prat	ZU3A ZU2B	ML SM SP-SM	621	B	36 m 36 m	Habitacional, Servicio y Equipamiento	3,95	+3,00
11	Chiguayante Sur	ZU3A	SM SP-SM	248	D	36 m	Habitacional, Servicio y Equipamiento	4,00	+3,00
12	Los Castaños	ZU1A	SM SP-SM	437	C	16 m	Habitacional, Servicio y Equipamiento	8,30	+6,00
13	Indama	ZU1A ZU1B ZU3A	SW-SM SP-SM SM	421	C	16 m 16 m 36 m	Habitacional, Servicio y Equipamiento	11,15	+4,00
14	Leonera	ZU4	ML SP-SM SM	290	D	25 m	Habitacional, Actividades Productivas y Equipamiento	6,00	+2,00

Fuente: Arriagada, P. (2018). Elaboración propia.

**Tabla de resultados análisis Potencial de Licuación**

Tabla 6. Resultados Análisis Potencial de Licuación

<b>N°</b>	<b>Modelo sector</b>	<b>Potencial de Licuación</b>	<b>Profundidad. Licuación</b>
8	Rivera Entrada	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 3,0 y 8,5 m.</li> <li>• Entre 10,0 y 12,0 m.</li> <li>• Entre 18,0 y 23,0 m</li> </ul>
10	Prat	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 3,0 y 7,0 m.</li> </ul>
12	Los Castaños	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 3,0 y 5,0 m.</li> <li>• Entre 7,0 y 30,0 m.</li> </ul>
13	Indama	Si	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 3,0 y 25,0 m.</li> <li>• Entre 28,0 y 29,0 m.</li> </ul>

Fuente: Arriagada, P. (2018). Elaboración propia.

- Los demás modelos no se presentan en esta tabla ya que no se contaba con la información necesaria para evaluar, pero si en base al informe del Sernageomin se puede evaluar la zona en donde se encuentran.

- Los suelos que constituyen en gran parte los suelos de Chiguayante corresponden a estratificaciones de arenas limosas con porcentajes variables de finos limosos (sedimentadas por antiguos causes del Bío-Bío), estas arenas presentan distintas tonalidades de grises. Estos suelos clasifican según U.S.C.S. como SM, SM(ML), SP-SM y SP.
- Dado que existen zonas donde se encontraba con información para realizar un análisis de licuación y ver si existe relación con el estudio del Sernageomin, para fines de este estudio y en consideración que la gran parte de los suelos de Chiguayante corresponden a arenas, es que sólo se realizaron a los Sectores: Rivera entrada, Prat, Los Castaños, Indama.

Del análisis realizado al sector Rivera Entrada, se obtiene que sea potencialmente licuable entre 3,0 y 8,5 metros en profundidad. Considerando que presenta Índices de penetración ( $N_1$ ) mayores a 30 (golpes/pie) se descarta que sea potencialmente licuable (D.S. N°61, 2011).

Para el modelo correspondiente al Prat, el suelo en este sector es potencialmente licuable entre 3,0 a 7,0 metros. Bajo los 7 metros presenta  $N_1 > 30$  (golpes/pie), por lo que se descarta que sea potencialmente licuable bajo esta profundidad (D.S. N°61, 2011).

Para el sector correspondiente a Los Castaños, el suelo es potencialmente licuable entre 3,0 y 5,0 metros y 6,0 a 30 metros de profundidad. Sobre los 6,0 metros se presentan  $N_1$  mayores a 30 (golpes/pie) por lo que se descarta que resulte potencialmente licuable sobre esta profundidad.

Para el modelo correspondiente a Indama, el suelo es potencialmente licuable entre 3,0 y 24,0 metros y 28,0 a 29 metros de profundidad. Sobre los 6,0 metros se presentan  $N_1$  mayores a 30 (golpes/pie) por lo que se descarta que resulte potencialmente licuable sobre esta profundidad.

## 5. CONCLUSIONES

- Este Proyecto de Tesis, utiliza como base la investigación realizada por Sáez G. (2004), con el fin de actualizar y complementar la información existente en la actualidad, siendo este trabajo una segunda aproximación para una adecuada estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Chiguayante, donde se ha implementado el último reglamento vigente hasta la fecha D.S. N° 61, sin embargo, aún existen sectores donde falta información, por lo que es necesario que en futuras investigaciones se vaya incorporando y actualizando esta información, a modo de conocer a cabalidad las características mecánicas y composición de los suelos de la Comuna de Chiguayante.
- Los resultados obtenidos en este trabajo, pretenden servir de información preliminar para dar a conocer de manera anticipada las principales características y composición de los suelos de Chiguayante, además, de servir para investigaciones académicas
- No existe una vinculación directa entre el PRCC y la calidad de los suelos, ya que la zonificación que establece el PRCC solo pretende generar una planificación territorial de los suelos de la comuna, sin embargo, del análisis realizado en este estudio se pudieron establecer profundidades aproximadas de estratos adecuados para fundar para 14 de las Zonas establecidas en este estudio.
- En base a los Resultados obtenidos en este tema de memoria, la cual es una segunda aproximación a una estratificación y zonificación de la Comuna de Chiguayante estos suelos están constituidos en gran parte por Arenas limosas del tipo Bío-Bío, las que clasifican principalmente según clasificación USCS como: SM, SM(ML), SP-SM y SP, además, se encuentran lentes de limo de espesor y profundidad variable, y casos puntuales de rellenos no controlados siendo estos últimos en menor medida.
- La clasificación sísmica de los suelos presentes en la Comuna de Chiguayante, califican generalmente según D.S. N°61 como suelos tipo: B, C, D, E. Presentan velocidad de propagación de ondas de corte hasta los primeros 30 m. de profundidad ( $V_{s30}$ ) en valores aproximados a los 290 m/s, con valores mínimos de 120 m/s

obtenida en el sector correspondiente al modelo estratigráfico de sector Villuco, y valores máximos de 621 m/s obtenidos en el sector de Prat.

- En el análisis de licuación se expusieron cuatro sectores los cuales contaban con la información para elaborar dicho estudio, estos son: El sector Rivera Entrada, Prat, Los Castaños e Indama los cuales presentan estratos potencialmente licuables entre rangos de 3,0 a 30,0 metros pero luego al tomar el criterio que presenta el Índice de penetración siendo mayores a 30 (golpes/pie) se descartan que sean potencialmente licuables. Con respecto al Informe del Sernageomin podemos decir que las zonas potencialmente licuables se encuentran a las cercanías del río de la comuna, siendo el suelo más propenso las arenas y arenas limosas.
- La profundidad del Nivel freático en Chiguayante fluctúa entre 2.7 y 12.6 metros de profundidad, el sector Rivera Entrada posee la cota mínima (2.7 m), y a su vez la cota máxima el sector Indama (12.6 m), en los cerros en cambio no se observa nivel freático (Colegio Concepción, Punta del Este, Loncoray, Lonco Parque, Villuco, Las Palmas), todo esto dependiendo de su variación estacional y las precipitaciones anuales.
- La presentación de los resultados en el S.I.G permite que el usuario acceda de forma expedita a la información requerida, debido a la facilidad de uso y a que no requiere de un soporte computacional sofisticado, haciéndolo muy atractivo. Este trabajo es la segunda aproximación a un proyecto investigativo de mayor envergadura que retroalimentará la base de datos ya creada.

## **6. RECOMENDACIONES**

Ya que existe falta de información, especialmente entre sectores, es necesario que este trabajo sea actualizado constantemente con información de nuevos sondajes, para así, poder conocer el tipo de suelo que presentan sectores en los que hasta hoy no se cuenta con información, además de corroborar el tipo de material encontrado en sectores conocidos, denotando con mayor precisión, los límites de sectores y zonas de estratificación determinadas hasta ahora.

La información expuesta en la presente memoria no pretende reemplazar la ejecución de los estudios de exploración de suelos necesarios en un determinado proyecto, sino de servir de información preliminar para conocer anticipadamente el tipo de material en un determinado sector, además de determinar si el subsuelo presenta estratos adecuados, o si es necesario realizar alguna mejora pertinente.

La exactitud de los límites zonales propuestos puede mejorar a medida que se cuente con una mayor cantidad de sondajes cerca de ellos, lo que conduce a imprecisiones en la modelación de los sectores expuestos. Así mismo es posible que se encuentren nuevos lentes en las zonas, especialmente entre sondajes a mucha distancia, sin embargo, esto no debiese alterar sustancialmente la estratigrafía propuesta.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Arcgis User's Guide: *ArcGis Básico 10*. ArcGis, Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2011, pp.6-124.
- Alfaro, F., (2013), Comparación entre la metodología para evaluar el potencial de riesgo de licuefacción y los catastros realizados luego del terremoto de 2010 Concepción. Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Decreto Supremo N°61, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Subsecretaría, Santiago, Chile, 02 Noviembre 2011.
- Galli, C., Geología urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Universidad de Concepción, 1967.
- González, G., (2011), Análisis de correlaciones existentes entre ensayo SPT y ondas de corte, para sectores en estudio. 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.

- Norma Chilena Oficial 433.Of1996 Mod. 2009, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 27 noviembre 2009.
- Ordenanza Local del Plan Regulador Comunal de Chiguayante mod. Marzo 2010, y mod. Vialidad 2009. Concepción, Chile, 2015.
- Plan Regulador Comunal de Chiguayante, 2009.
- Skempton, A. W. (1986). Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and over consolidation, *Geotechnique*, 36(3), 425-447.
- Saez, G., (2004), Metodología de Zonificación y Estratificación de suelos aplicado a las comunas de San Pedro de la Paz y Chiguayante”. Proyecto de Título, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Youd, T., Idriss, I., (2001), Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, April 2001.

## **8. ANEXOS**

### **ANEXO A: “ENSAYO SPT Y CORRECCIONES”**

#### **Correcciones Parámetros Ensayo de Penetración Estándar (SPT)**

Los datos que entrega el (SPT), deben corregirse por múltiples factores, los cuales consideran parámetros tales como: diámetro de la perforación, uso de tubo guía, longitud de barras que penetran el suelo y nivel aplicado de energía durante el ensayo. Teóricamente, la energía aplicada durante el ensayo depende de la masa y altura de caída del martillo, pero estos valores se ven mermados debido a distintos factores tales como: la manipulación del operador, multiplicidad de equipos existentes, diferentes configuraciones del martillo de hinca, altura de control de caída, etc.

Para motivos de este estudio y para cumplir con las exigencias del D.S. N° 61, el índice de penetración estándar se corregirá solo por presión de confinamiento, el cual está definido por la siguiente expresión:

Es por estos motivos, que el índice de penetración estándar medido en terreno, debe corregirse por diferentes factores, los cuales se detallan a continuación, para de esta forma obtener el índice corregido  $(N_1)_{60}$ , el cual está definido por la siguiente expresión.

$$N_1 = N * C_N$$

Dónde:

$N_1$  : Índice de penetración estándar corregido por presión de confinamiento de 0,1 MPa

$N$  : Índice de penetración estándar

$C_N$  : Corrección confinamiento

### **Corrección por Confinamiento**

De acuerdo a lo establecido en el DS N°61 “Diseño Sísmico de Edificios” MINVU (2011), el Índice de penetración estándar debe ser normalizado por presión de confinamiento de 0,1 MPa. Aplicable sólo a suelos que clasifiquen como arenas. La expresión que define el factor de corrección por confinamiento, se detalla a continuación:

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a}}$$

Dónde:

$C_N$  : Factor de corrección por confinamiento, según Kayen et. Al (1992)

$P_a$  : Presión atmosférica

$\sigma'_v$  : Tensión efectiva de confinamiento

## **ANEXO B: “MODELACIONES ESTRATIGRÁFICAS”**

### Modelaciones Estratigráficas

**Tabla 1, Listado de modelaciones estratigráficas**

<b>1. MODELO SECTOR CERRO COLEGIO CONCEPCION.</b>
<b>2. MODELO SECTOR CERRO PUNTA DEL ESTE.</b>
<b>3. MODELO SECTOR LONCO RAY.</b>
<b>4. MODELO SECTOR LONCO PARQUE.</b>
<b>5. MODELO SECTOR CERRO VILLUCO</b>
<b>6. MODELO SECTOR CERRO LAS PALMAS.</b>
<b>7. MODELO SECTOR CERRO MANANTIALES.</b>
<b>8. MODELO SECTOR RIVERA ENTRADA.</b>

<b>9. MODELO SECTOR COLON.</b>
<b>10. MODELO SECTOR PRAT.</b>
<b>11. MODELO SECTOR CHIGUAYANTE SUR.</b>
<b>12. MODELO SECTOR LOS CASTAÑOS.</b>
<b>13. MODELO SECTOR INDAMA.</b>
<b>14. MODELO SECTOR LEONERA.</b>

1. SECTOR: CERRO COLEGIO CONCEPCION

Corresponde al sector de Colegio Concepción. No se percibe el nivel freático pero si presencia de agua en el sector del colegio concepción producto de la presencia de vertientes provenientes del cerro a una profundidad de 3.5m.

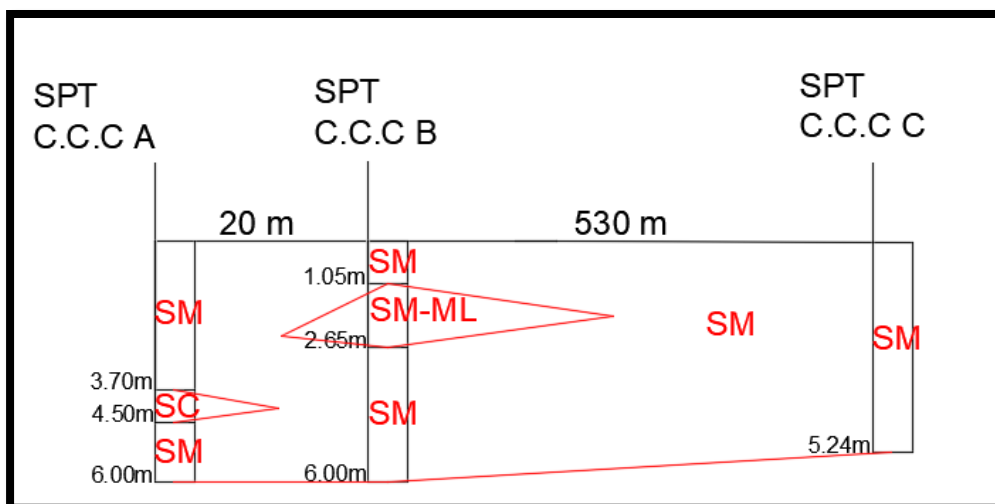
Tabla 1.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-6.03	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 6.03m de profundidad, se detectan lentes de Arena arcillosa <b>SC</b> y Arena limosa Limo inorgánico <b>SM-ML</b> , todo este material es producto del cerro y de su meteorización que ha llegado a estos lugares como depósitos coluviales.

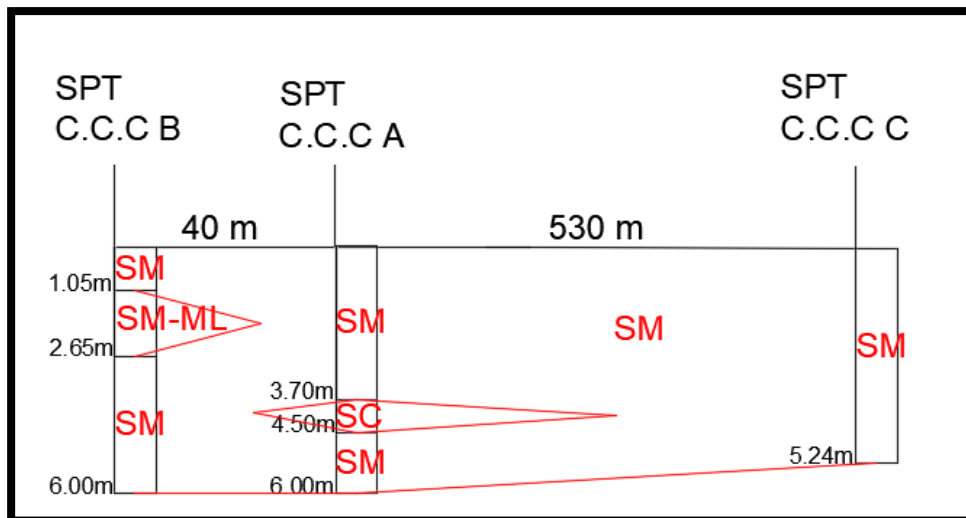
Tabla 1.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	7	30	S
1.0-2.0	6	29	S
2.0-3.0	11	30	S
3.0-4.0	15	31	M
4.0-5.0	39	38	C
5.0-6.0	54	41	C

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



2. SECTOR: CERRO PUNTA DEL ESTE

Corresponde al sector de Punta del Este. No se percibe el nivel freático.

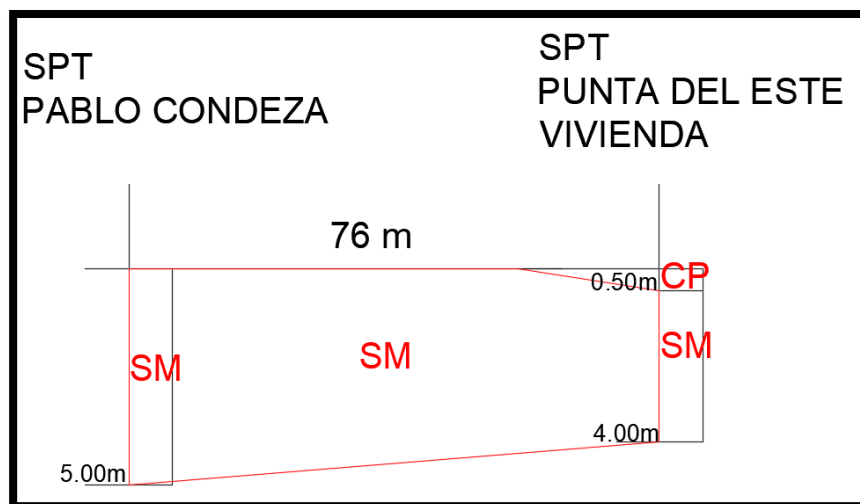
Tabla 2.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-5.00	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 5.00 m de profundidad, no se detectan lentes de otro material, lo que no descarta que existan, es principalmente maicillo, todo este material es producto del cerro y de su meteorización.

Tabla 2.2b

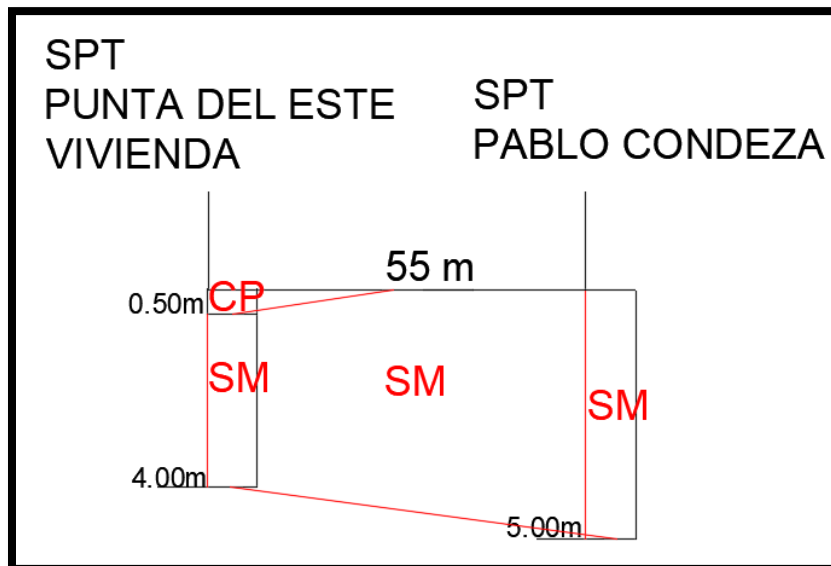
Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	27	35	M
1.0-2.0	28	36	M
2.0-3.0	28	35	M
3.0-4.0	35	36	M
4.0-5.0	36	39	D

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste





### 3. SECTOR: LONCORAY

Corresponde al sector de Lonco Ray. No se percibe el nivel freático.

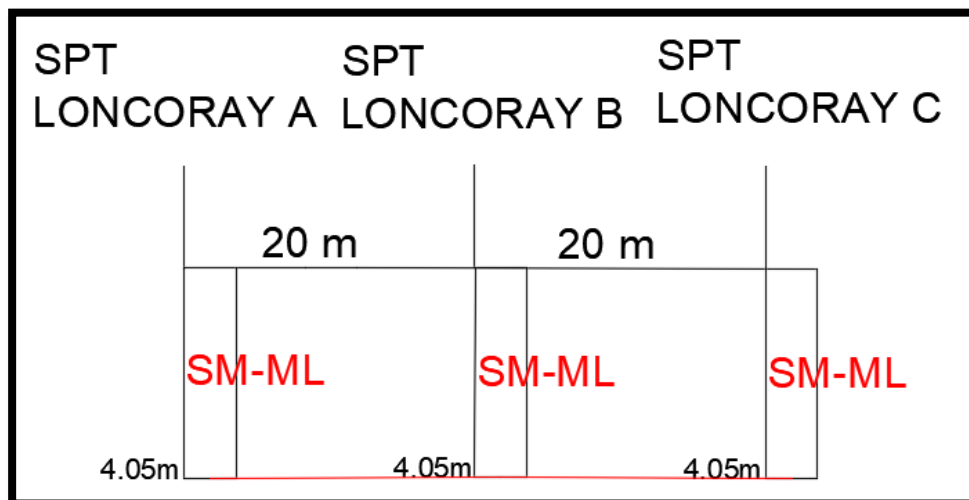
Tabla 3.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-4.05	Esta constituido principalmente por Arenas limosas Limo inorgánico <b>SM-ML</b> por lo menos hasta los 4.05m y no se detectan hasta esta profundidad lentes de ningún tipo, este sector presenta mayor meteorización que la zona 1.1. En este sector el material es producto del cerro y de su meteorización.

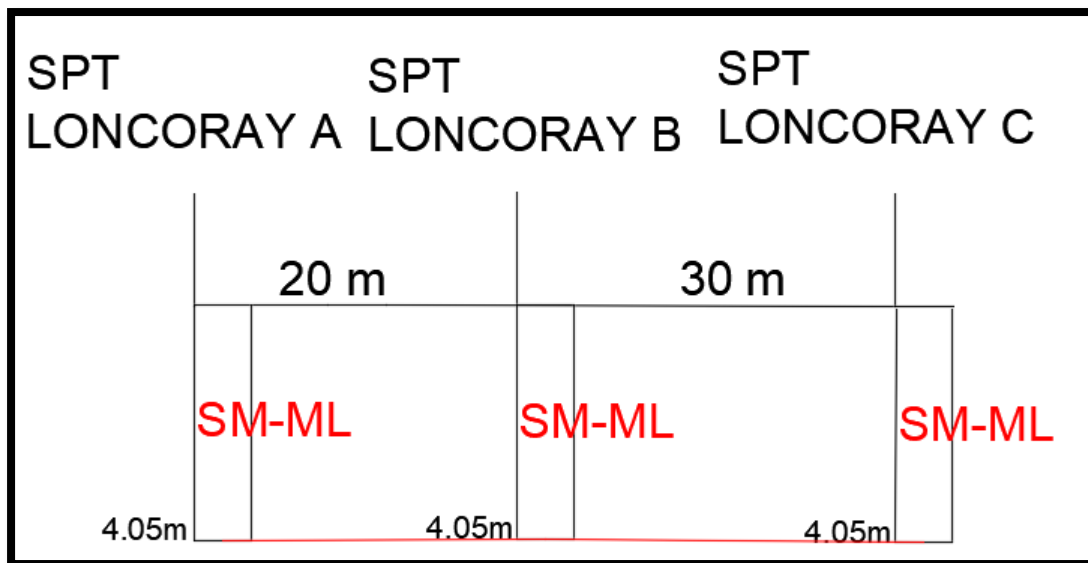
Tabla 3.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	5	29	S
1.0-2.0	11	30	S
2.0-3.0	15	31	M
3.0-4.0	18	33	M

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



4. SECTOR: LONCO PARQUE

Corresponde al sector de Lonco Parque. No se percibe el nivel freático.

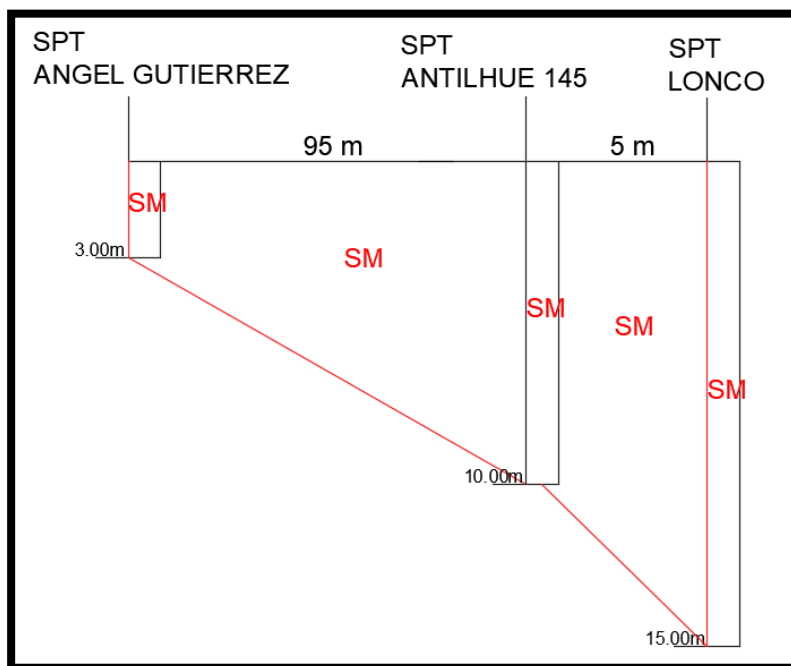
Tabla 4.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-15.16	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 15.16m de profundidad, no se detectan lentes de otro material, lo que no descarta que existan, es principalmente maicillo, todo este material es producto del cerro y de su meteorización.

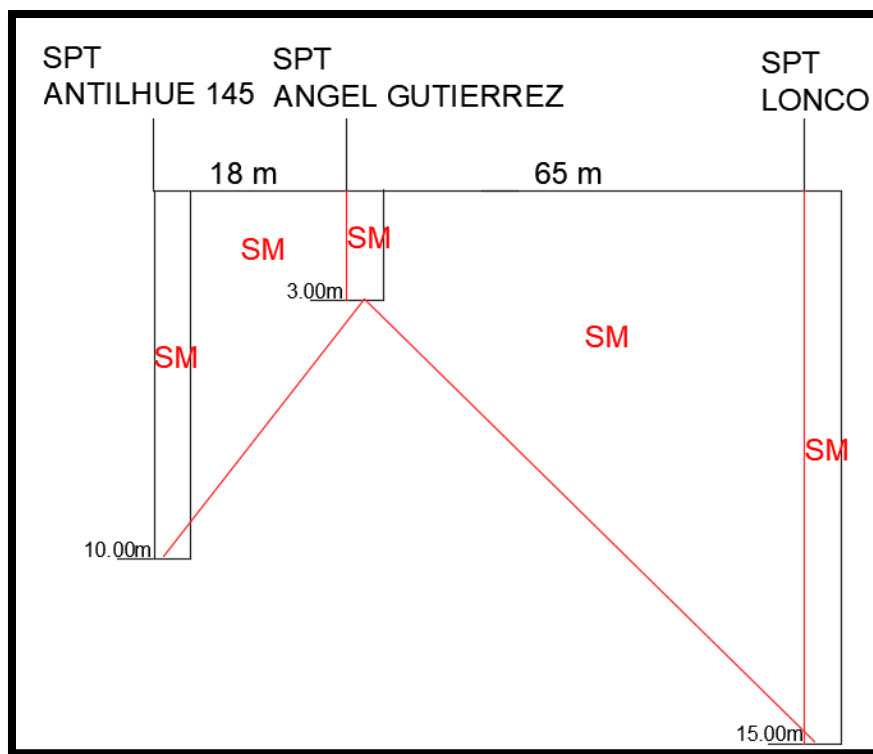
Tabla 4.2b

Profundidad	SPT representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	4	29	S
1.0-2.0	10	30	S
2.0-3.0	10	30	S
3.0-4.0	11	30	S
4.0-5.0	19	33	M
5.0-6.0	21	33	M
6.0-7.0	20	33	M
7.0-8.0	16	32	M
8.0-9.0	27	36	M
9.0-10.0	34	37	C
10.0-11.0	No Information	No Information	No Information
11.0-12.0	34	37	C
12.0-13.0	37	38	C
13.0-14.0	32	36	M
14.0-15.0	31	36	M

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



5. SECTOR: VILLUCO

Corresponde al sector de Villúco. No se percibe el nivel freático.

Tabla 5.1b

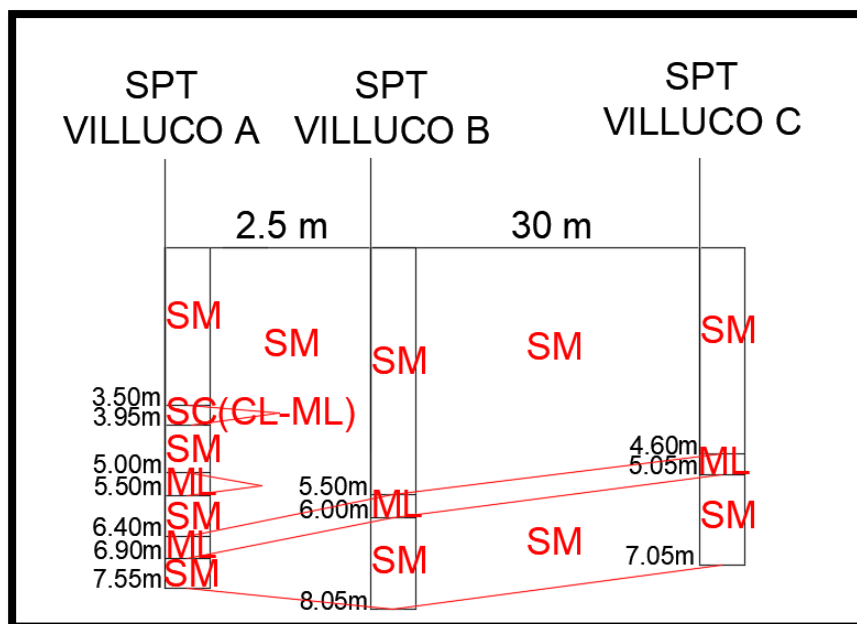
Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-8.05	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 8.05 m de profundidad, se detectan lentes de Arena arcillosa Arcilla inorgánica Limo inorgánico <b>SC(CL-ML)</b> . El material en el cerro es producto de diferentes estados de meteorización, en el valle es producto del cerro y de su

		meteorización que ha llegado a estos lugares como depósitos coluviales depositados en forma progresiva.
--	--	---

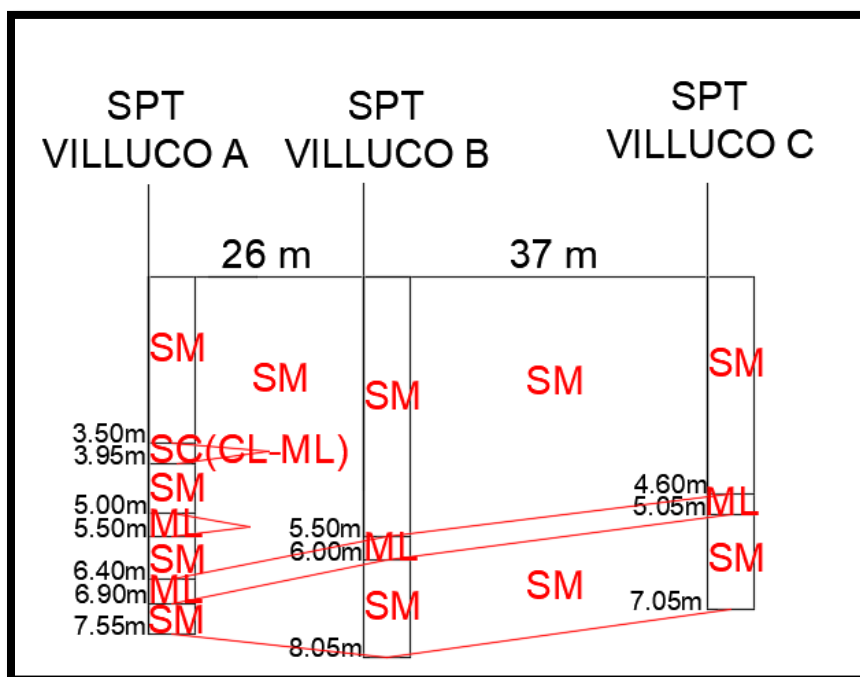
Tabla 5.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	8	30	S
1.0-2.0	4	29	S
2.0-3.0	4	29	S
3.0-4.0	4	29	S
4.0-5.0	5	29	S
5.0-6.0	10	30	S
6.0-7.0	14	31	M
7.0-8.0	24	35	M

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



6. SECTOR: LAS PALMAS

Corresponde al sector de Las Palmas. No se percibe el nivel freático.

Tabla 6.1b

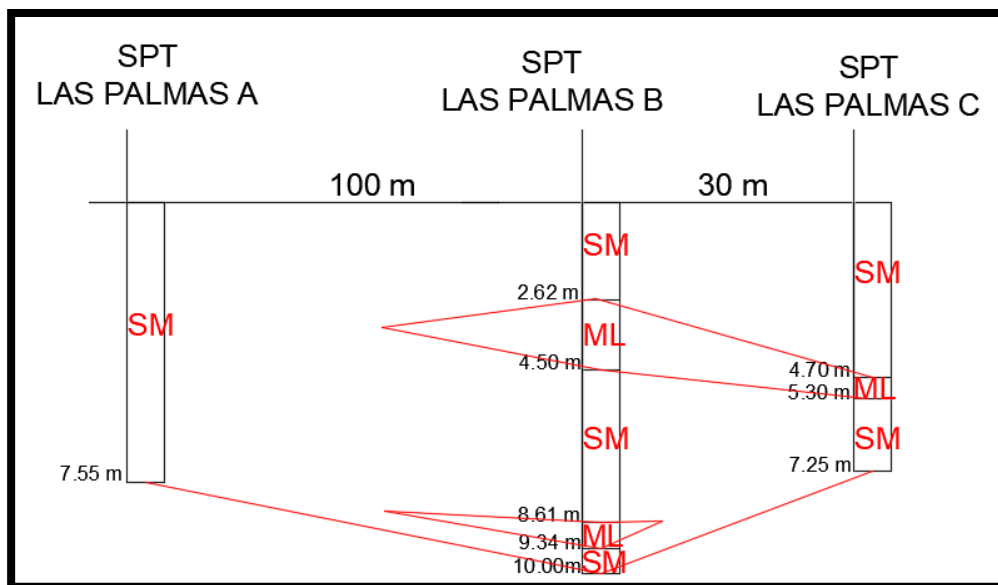
Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-10.03	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 10.03m de profundidad, se detectan lentes de Limo inorgánico <b>ML</b> , en el cerro el material es producto de la meteorización de la roca madre y en el valle, producto del cerro y de su meteorización que ha llegado a estos lugares como depósitos coluviales.

Tabla 6.2b

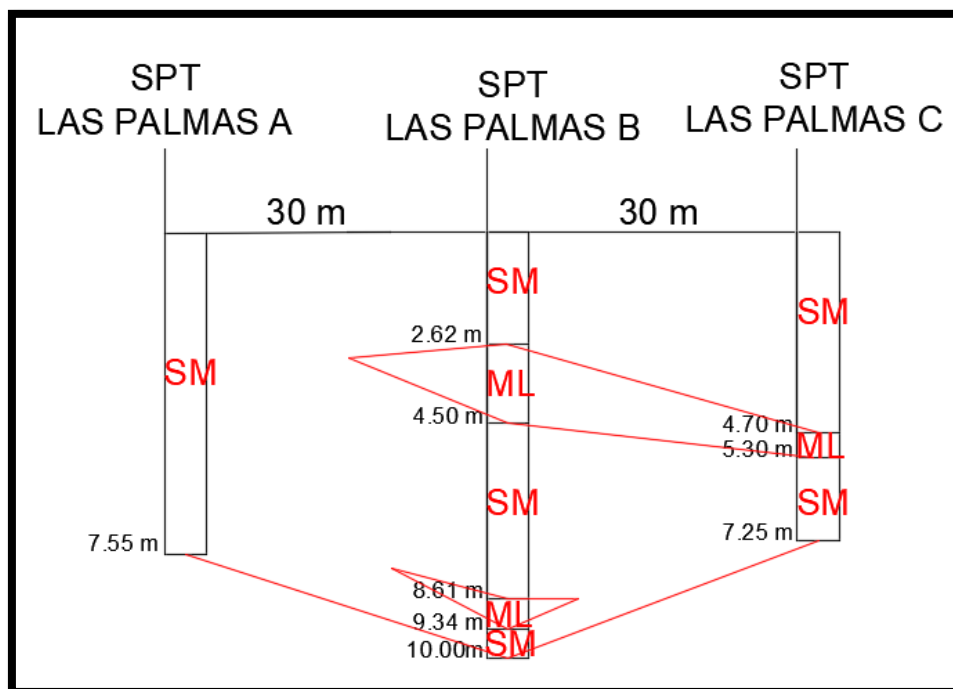
Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	7	29	S
1.0-2.0	3	28	M-S
2.0-3.0	8	30	S
3.0-4.0	10	30	S
4.0-5.0	15	31	S
5.0-6.0	12	30	S
6.0-7.0	31	36	M
7.0-8.0	33	37	C
8.0-9.0	17	32	M
9.0-10.0	4	28	M-S



Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



## 7. SECTOR: RIVERA ENTRADA

Corresponde a los terrenos que forman parte de la rivera del río a lo largo de toda la entrada, desde aproximadamente desde el paso sobre nivel. El nivel freático se encuentra aproximadamente a los 2.7 m de profundidad.

Tabla 7.1b

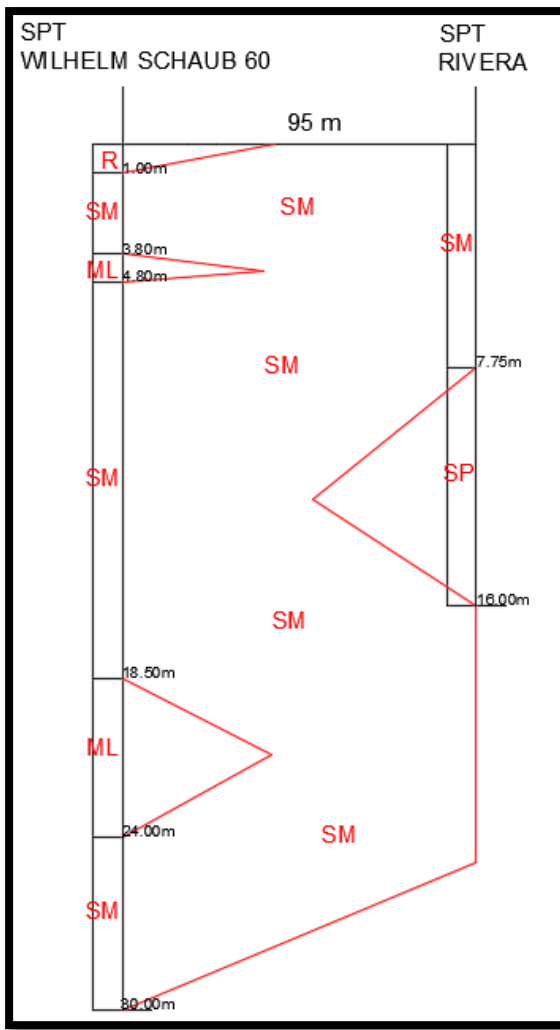
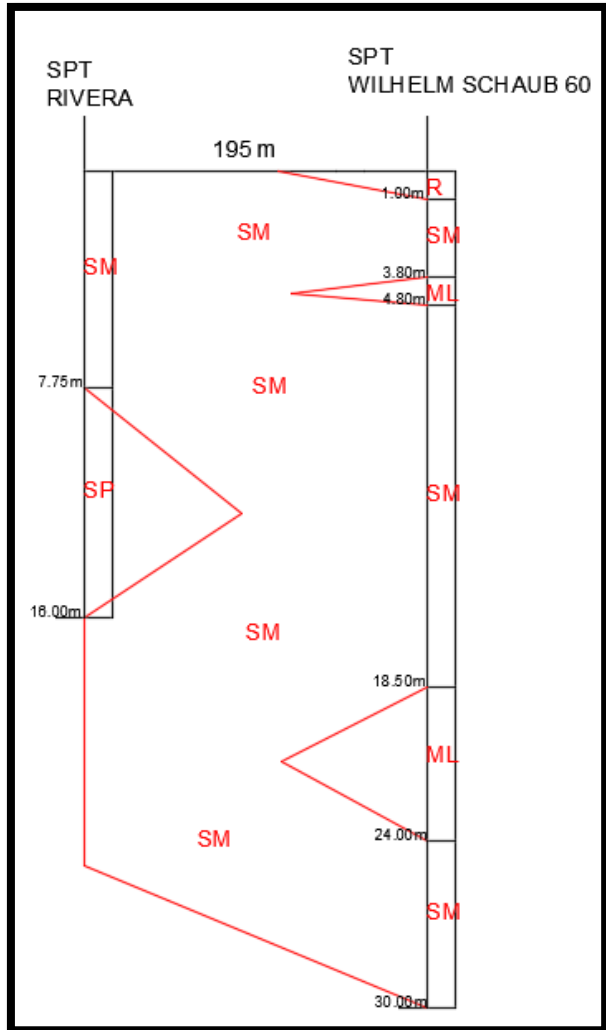
Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-7.75	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 5.8m de profundidad, se detectan lentes de Limos inorgánicos <b>ML</b> y Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> .
H-2	7.75-15.75	Estrato de Arena mal graduada <b>SP</b> típica arena Bio.Bio, pero ojo que en al pie del cerro se detectan lentes de Limos inorgánicos <b>ML</b> , Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> y en este sector no hay presencia de arena típica del Bio.Bio sino que al pie del cerro luego del estrato de <b>SM</b> le sigue Arena bien graduada Arena limosa <b>SW-SM</b> , pero solo aquí.
H-3	15.75- 30.	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 30 m de profundidad, se detectan lentes de Limos inorgánicos <b>ML</b> .

Tabla 7.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	22	34	M
1.0-2.0	24	34	M
2.0-3.0	20	33	M
3.0-4.0	26	35	M
4.0-5.0	5	29	D
5.0-6.0	25	35	D
6.0-7.0	40	39	D
7.0-8.0	15	32	M
8.0-9.0	20	33	M
9.0-10.0	43	40	D
10.0-11.0	39	39	D
11.0-12.0	42	40	D
12.0-13.0	52	43	D
13.0-14.0	61	45	D
14.0-15.0	71	48	D
15.0-16.0	61	45	D
16.0-17.0	71	46	D
17.0-18.0	62	46	D
18.0-19.0	62	46	D
19.0-20.0	58	44	M-D
20.0-21.0	9	30	M-D
21.0-22.0	12	30	M-D
22.0-23.0	16	32	M-D
23.0-24.0	13	31	M-D
24.0-25.0	18	32	D
25.0-26.0	58	44	D
26.0-27.0	38	38	D
27.0-28.0	36	38	D
28.0-29.0	38	38	D
29.0-30.0	100	43	D

Estratigrafía Norte – Sur

Estratigrafía Este – Oeste



8. SECTOR: MANANTIALES

Corresponde al sector de Manantiales. No se percibe el nivel freático.

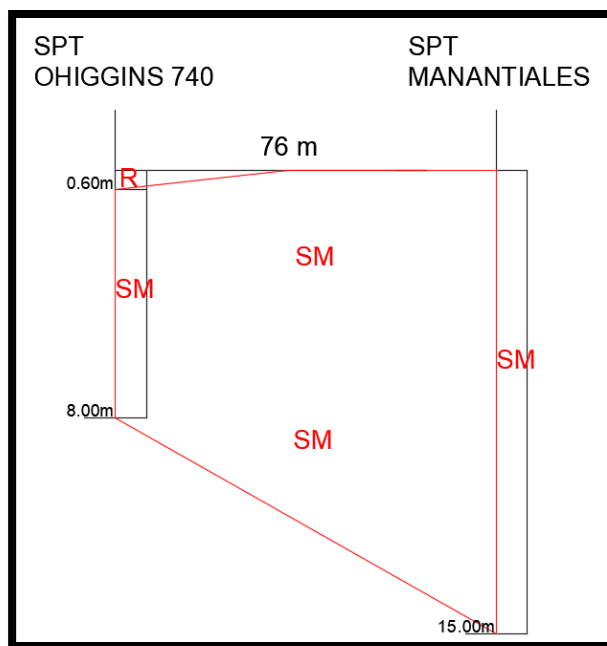
Tabla 8.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-15.5	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 15.5m de profundidad, no se detectan en su estratigrafía lentes de ningún tipo, lo que no descarta su existencia, todo este material es producto del cerro y de su meteorización, recibe el nombre común de Maicillo.

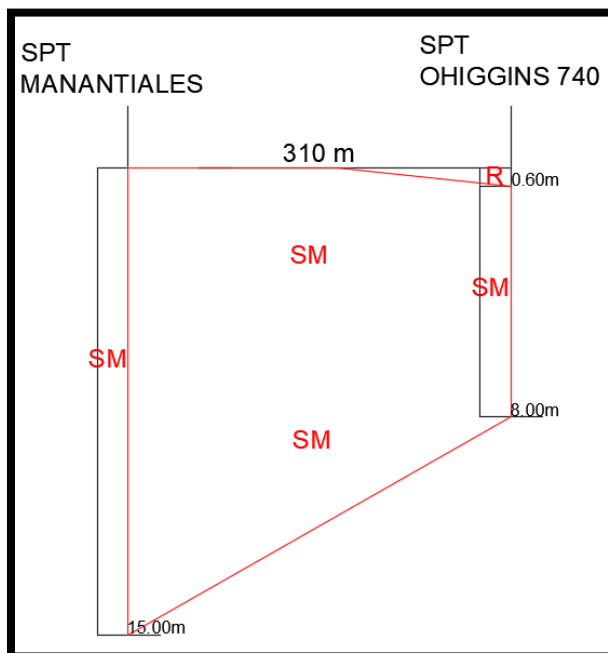
Tabla 8.2b

Profundidad	SPT Representativo	Φ	Compacidad
0.0-1.0	14	31	M
1.0-2.0	28	36	M
2.0-3.0	22	33	M
3.0-4.0	35	37	C
4.0-5.0	23	33	M
5.0-6.0	26	35	M
6.0-7.0	63	43	M-C
7.0-8.0	54	42	M-C
8.0-9.0	92	44	M-C
9.0-10.0	87	44	M-C
10.0-11.0	80	44	M-C
11.0-12.0	91	44	M-C
12.0-13.0	87	44	M-C
13.0-14.0	97	44	M-C
14.0-15.0	59	44	M-C
15.0-16.0	50	44	M-C

### Estratigrafía Norte – Sur



### Estratigrafía Este – Oeste



## 9. SECTOR: COLON

Corresponde a los sectores de Colon, la Alhambra y junto con Obispo san Miguel por la calle 8 oriente hasta la plaza de Chiguayante. Se percibe la napa e agua sobre los 2m de profundidad, ya que en las laderas del cerro y sectores aledaños a esta se pueden encontrar afloramientos casi superficiales o a poca profundidad, producto de vertientes que afloran.

Tabla 9.1b

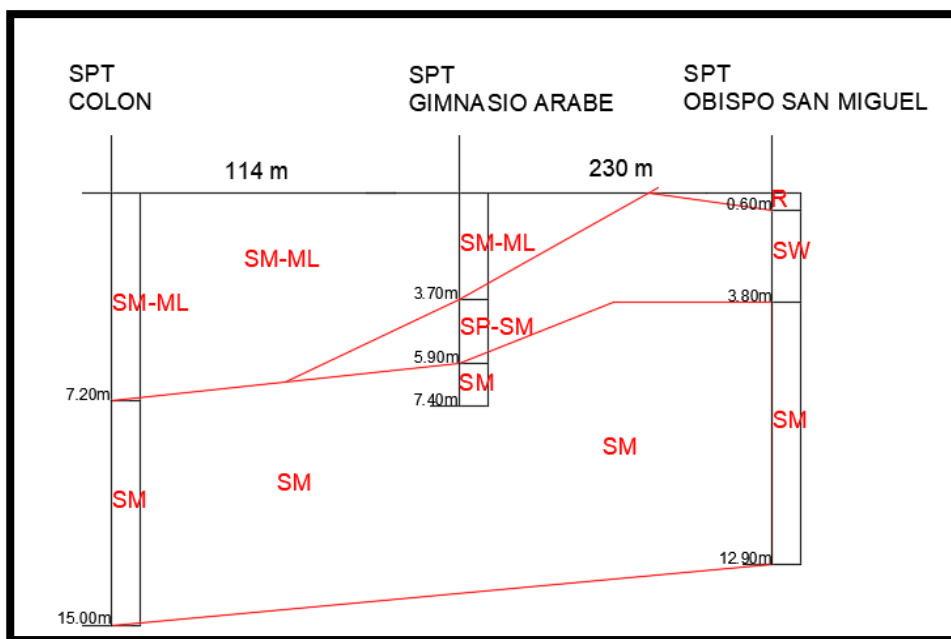
Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-7.20	Esta constituido principalmente por Arena limosa Limo inorgánico <b>SM-ML</b> se detectan en la parte superior lentes de Arenas limosas <b>SM</b> , Limo inorgánico <b>ML</b> , Arena mal graduada <b>SP</b> y Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> todo este material es producto del cerro y de su meteorización que ha llegado a estos lugares como depósitos coluviales y el posible aporte de materia por parte del río pero en los estratos más profundos.
H-2	7.20-15.15	Esta constituido principalmente por Arena limosa <b>SM</b> , se detectan lentes de Limo inorgánico <b>ML</b> y Arena mal graduada <b>SP</b> .

Tabla 9.2b

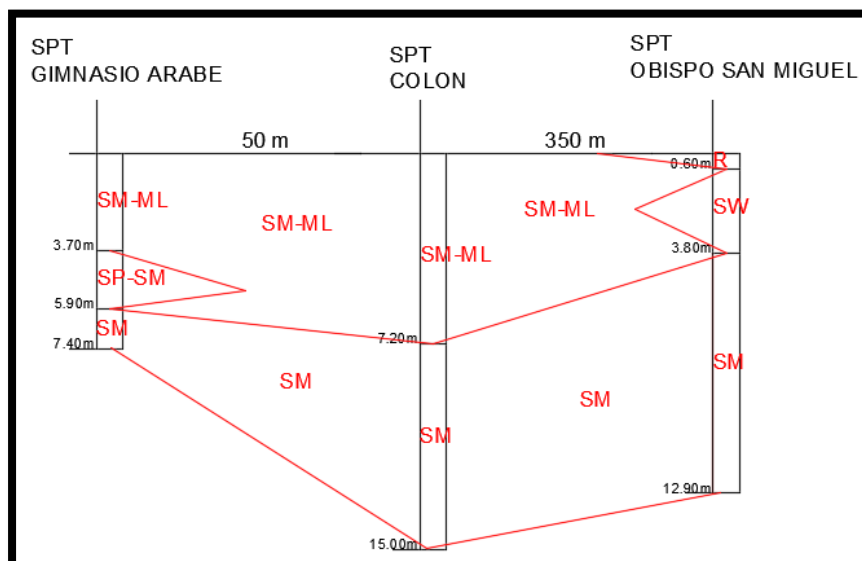
Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	5	29	S
1.0-2.0	4	28	M-S
2.0-3.0	5	29	S
3.0-4.0	12	30	S
4.0-5.0	12	30	S
5.0-6.0	19	33	M
6.0-7.0	25	35	M
7.0-8.0	31	36	M
8.0-9.0	25	35	M
9.0-10.0	27	35	M
10.0-11.0	12	30	S
11.0-12.0	15	31	M
12.0-13.0	19	33	M
13.0-14.0	20	33	M
14.0-15.0	9	30	S



Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



## 10. SECTOR: PRAT

Corresponde al sector de Prat su extensión va desde General Coornelio hasta calle Galvarino tomando mayoritariamente el sector O'higgins. El nivel freático se detecta a los 3.4 m de profundidad.

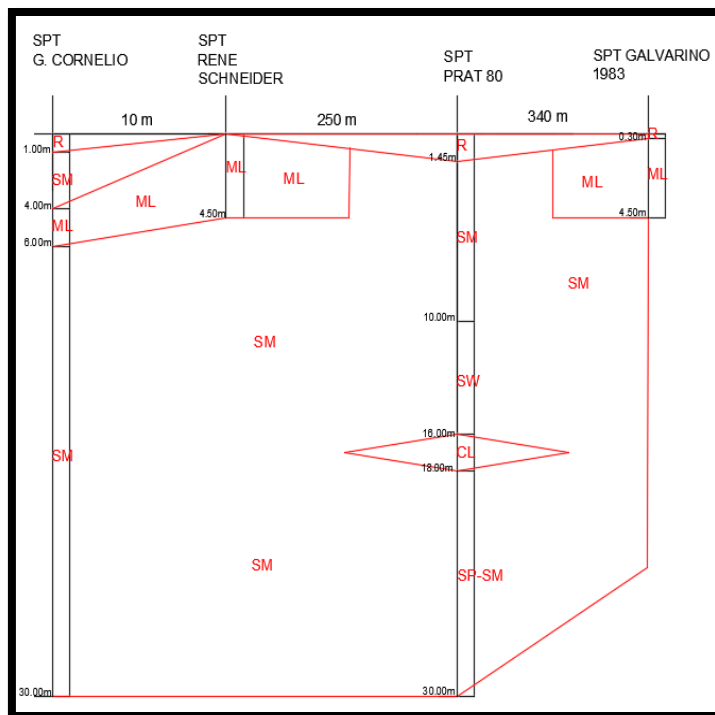
Tabla 10.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-1.00	Está constituido por un Relleno artificial conformado por arena fina, limosa, ladrillo y trozos de hormigón, humedad natural media.
H-2	1.00-5.00	Limo de plasticidad baja, de color gris claro, humedad natural alta y consistencia media. Este suelo clasifica como <b>ML</b> .
H-3	5.00-30.00	Este Horizonte está constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 30 m de profundidad, se detectan lentes de Limos inorgánicos <b>CL</b> y Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> .

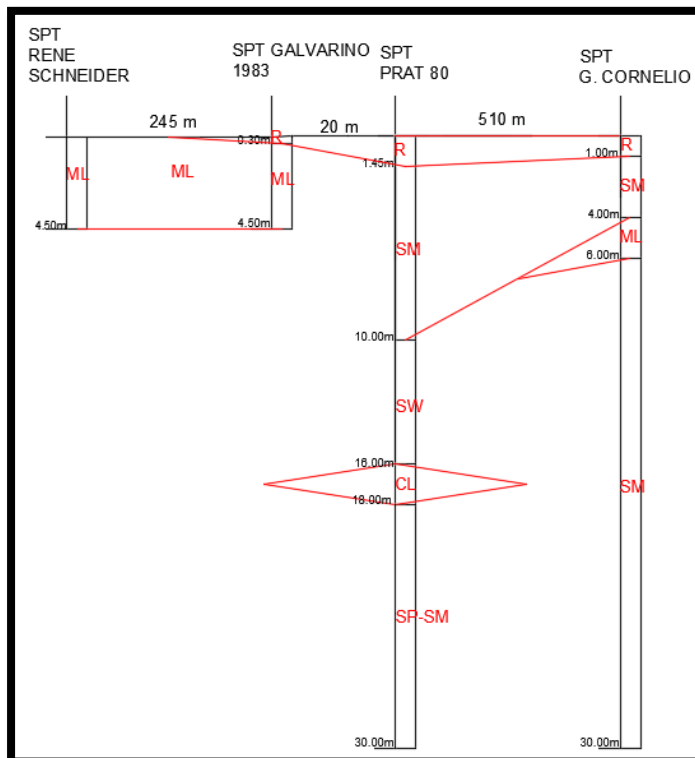
Tabla 10.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	19	33	A
1.0-2.0	17	32	A
2.0-3.0	19	33	A
3.0-4.0	33	37	A
4.0-5.0	37	38	A
5.0-6.0	44	40	D
6.0-7.0	49	42	D
7.0-8.0	49	42	D
8.0-9.0	54	43	D
9.0-10.0	53	43	D
10.0-11.0	64	46	D
11.0-12.0	50	42	D
12.0-13.0	63	46	D
13.0-14.0	100	57	D
14.0-15.0	100	57	D
15.0-16.0	20	33	D
16.0-17.0	43	40	D
17.0-18.0	100	57	D
18.0-19.0	100	57	D
19.0-20.0	100	57	D
20.0-21.0	100	57	D
21.0-22.0	100	57	D
22.0-23.0	100	57	D
23.0-24.0	100	57	D
24.0-25.0	100	57	D
25.0-26.0	100	57	D
26.0-27.0	100	57	D
27.0-28.0	100	57	D
28.0-29.0	100	57	D
29.0-30.0	100	57	D

### Estratigrafía Norte – Sur



### Estratigrafía Este – Oeste



## 11. SECTOR: CHIGUAYANTE SUR

Corresponde al sector de Chiguayante Sur y la extensión de calle Los Héroes. No se detecta nivel freático hasta los 3 m de profundidad.

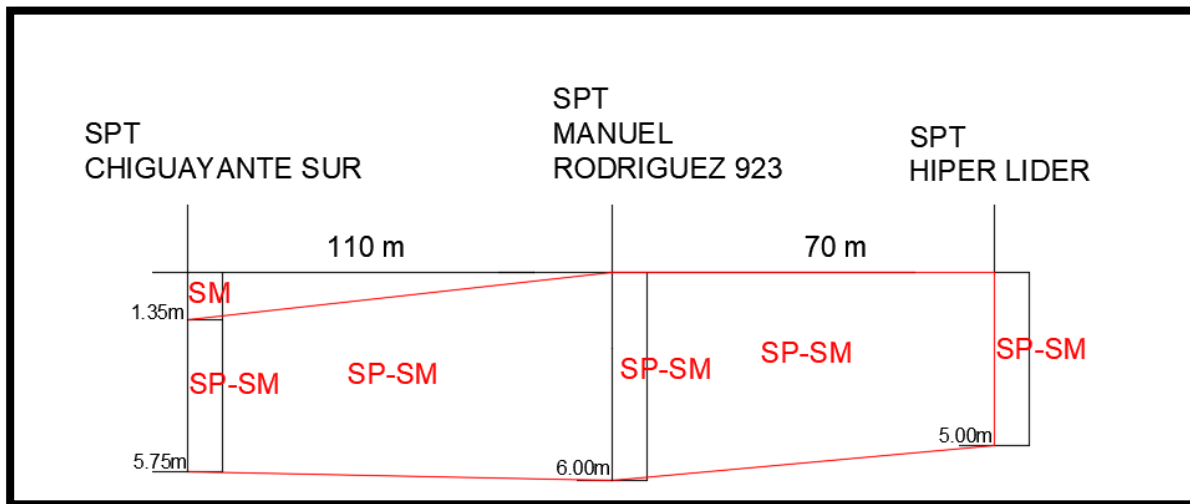
Tabla 11.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-1.35	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> .
H-2	1.35-6	Estrato de Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> , todo este material es producto de deposiciones progresivas de material transportado por el río y un posible aporte de material meteorizado del cerro que ha llegado a estos lugares como depósitos coluviales y la acción del viento.

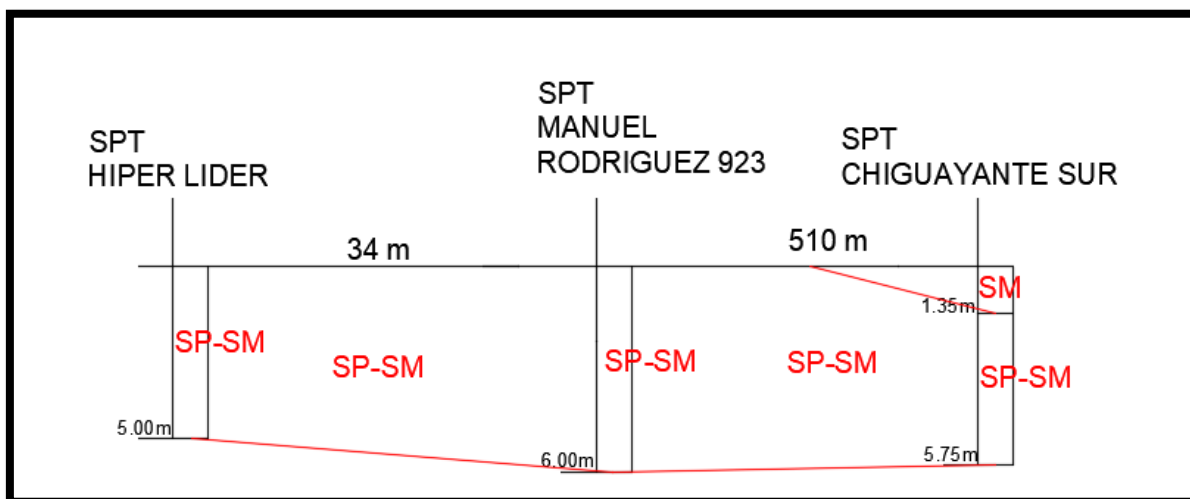
Tabla 11.2b

Profundidad	SPT representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	24	35	M
1.0-2.0	4	29	S
2.0-3.0	11	30	S
3.0-4.0	33	37	C
4.0-5.0	23	34	M
5.0-6.0	57	42	M-C

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



12. SECTOR: LOS CASTAÑOS

Corresponde al sector de Los castaños su extensión va desde calle Pinares hasta calle Los Aromos donde se ubica el Colegio IHC intersección Manuel Rodríguez. El nivel freático se detecta a los 6.5 m de profundidad.

Tabla 12.1b

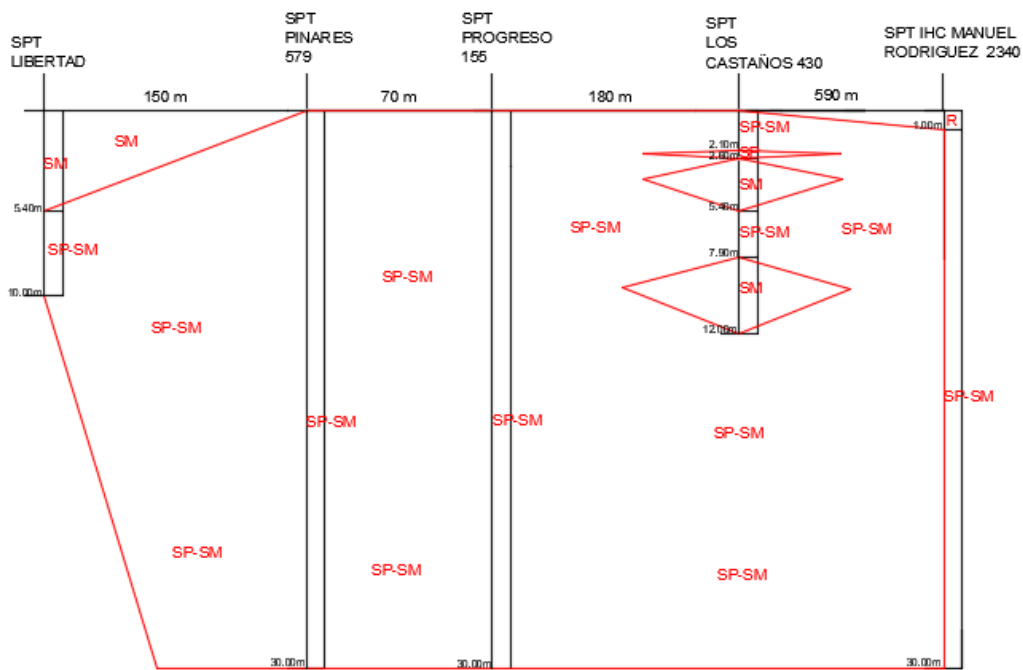
Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-5.60	Está constituido principalmente por estrato de Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> , todo este material es producto de deposiciones progresivas de material transportado por el río y un posible aporte de material meteorizado del cerro que ha llegado a estos lugares como depósitos coluviales y la acción del viento. También se detectaron lentes de estrato de Arena mal graduada <b>SP</b> típica arena Bío-Bío.
H-2	5.60-30.0	Le sigue el mismo estrato de Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b> .

Tabla 12.2b

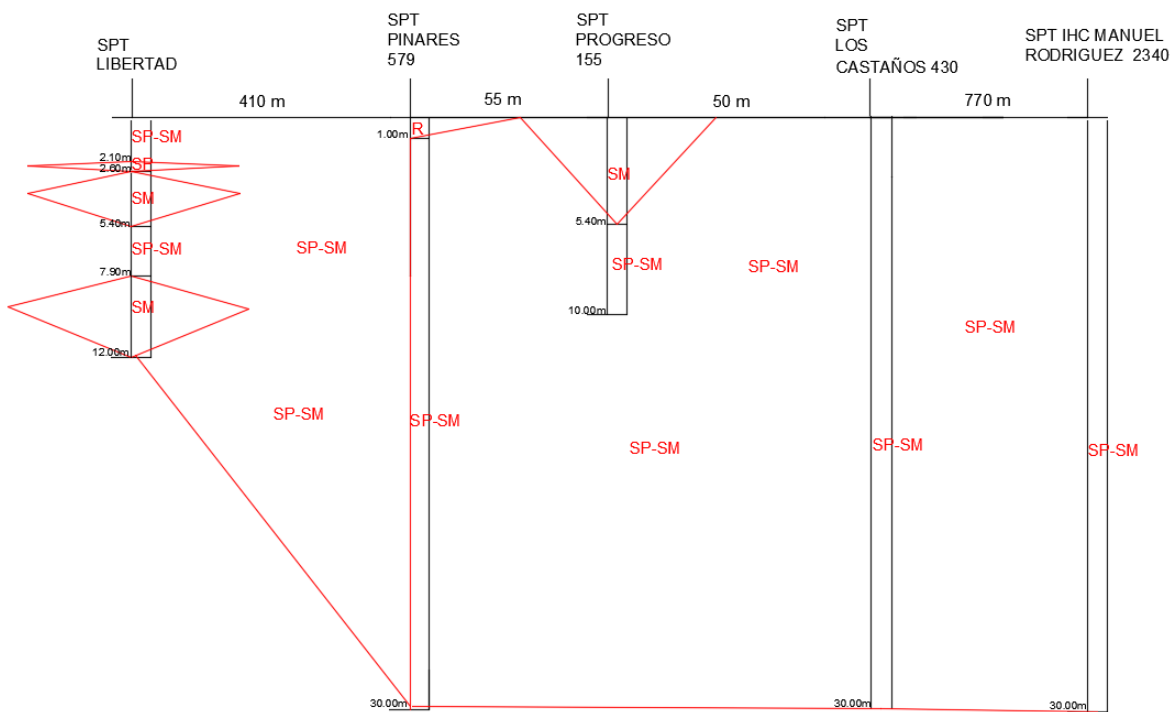
Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	16	32	M
1.0-2.0	26	35	M
2.0-3.0	22	34	M
3.0-4.0	25	34	M
4.0-5.0	17	32	M
5.0-6.0	19	33	M
6.0-7.0	27	35	D
7.0-8.0	32	37	D
8.0-9.0	52	43	D
9.0-10.0	28	35	D
10.0-11.0	44	40	D
11.0-12.0	37	38	D
12.0-13.0	36	38	D
13.0-14.0	45	41	D
14.0-15.0	47	41	D
15.0-16.0	54	43	D
16.0-17.0	50	42	D
17.0-18.0	57	44	D
18.0-19.0	50	42	D
19.0-20.0	57	44	D
20.0-21.0	56	44	D
21.0-22.0	61	45	D
22.0-23.0	57	44	D
23.0-24.0	57	44	D
24.0-25.0	87	53	D
25.0-26.0	100	57	D
26.0-27.0	100	57	D
27.0-28.0	100	57	D
28.0-29.0	100	57	D
29.0-30.0	100	57	D



### Estratigrafía Norte – Sur



### Estratigrafía Este – Oeste



## 13. SECTOR: INDAMA

Corresponde al sector de Indama su extensión va desde calle Esperanza hasta el complejo deportivo Anfa ubicado por O'higgins. El nivel freático se detecta a los 8.7m de profundidad.

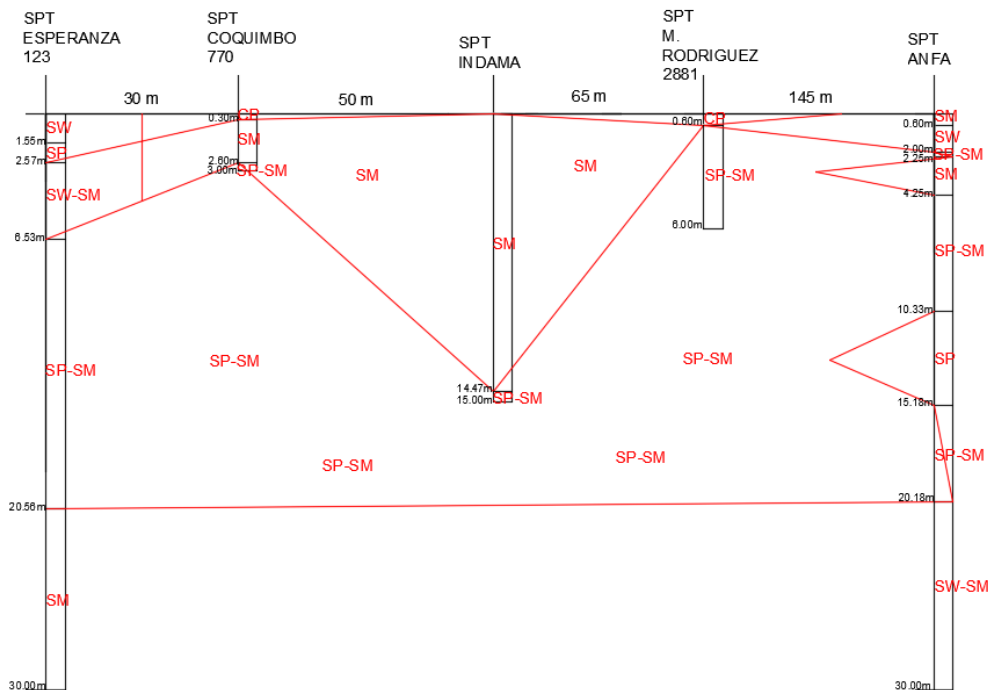
Tabla 13.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-2.57	Esta constituido principalmente de la mezcla en Arena mal graduada <b>SP</b> y <b>SW</b> .
H-2	2.57-6.53	Le sigue Arena bien graduada Arena limosa <b>SW-SM</b> , pero solo aquí.
H-3	6.53-20.56	Esta constituido principalmente por Arena mal graduada Arena limosa <b>SP-SM</b>
H-4	20.56- 30.00	Esta constituido principalmente por Arenas limosas <b>SM</b> por lo menos hasta los 30 m de profundidad.

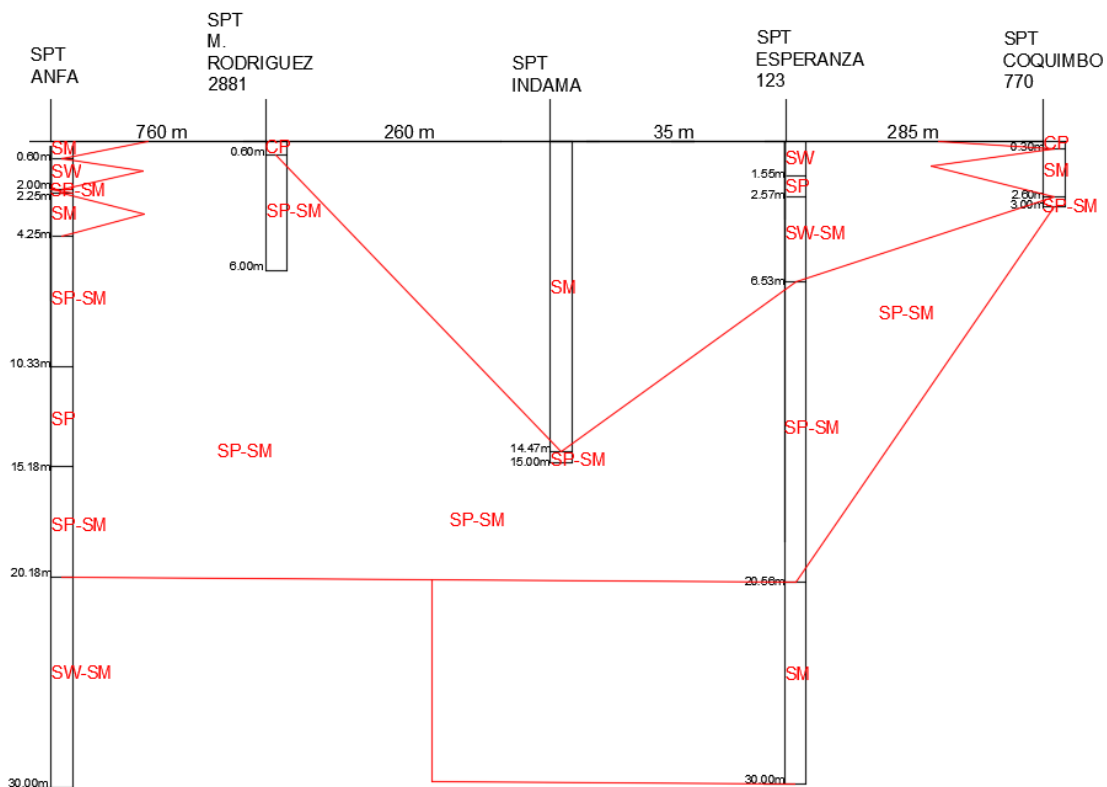
Tabla 13.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	Compacidad
0.0-1.0	23	34	A
1.0-2.0	8	30	A
2.0-3.0	20	33	A
3.0-4.0	12	31	A
4.0-5.0	22	34	B
5.0-6.0	20	33	B
6.0-7.0	31	36	B
7.0-8.0	37	38	A
8.0-9.0	32	37	A
9.0-10.0	29	36	A
10.0-11.0	41	39	A
11.0-12.0	39	39	A
12.0-13.0	40	39	A
13.0-14.0	51	42	A
14.0-15.0	45	41	A
15.0-16.0	54	43	A
16.0-17.0	51	42	A
17.0-18.0	50	42	A
18.0-19.0	42	40	A
19.0-20.0	40	39	A
20.0-21.0	25	34	A
21.0-22.0	38	38	A
22.0-23.0	37	38	A
23.0-24.0	45	41	A
24.0-25.0	50	42	A
25.0-26.0	42	40	A
26.0-27.0	43	40	A
27.0-28.0	40	39	A
28.0-29.0	57	44	A
29.0-30.0	40	39	A

### Estratigrafía Norte – Sur



### Estratigrafía Este – Oeste



## 14. SECTOR: LEONERA

Corresponde al sector de Leonera Viejo en la calle Escocia. No se detecta nivel freático hasta los 6.05m de profundidad.

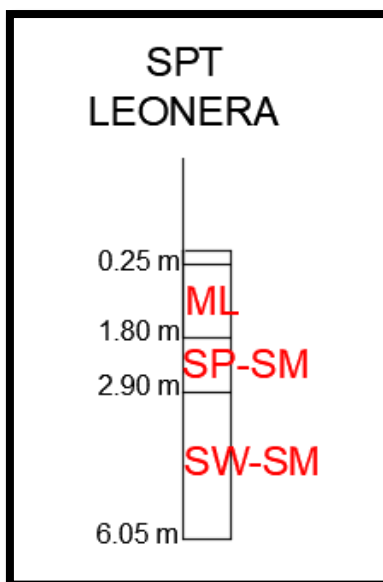
Tabla 14.1b

Horizonte	Espesor	Identificación
H-1	0.00-0.25	Capa vegetal.
H-2	0.25-1.80	Esta constituido principalmente por un estrato pequeño de Limo inorgánico <b>ML</b> .
H-3	1.80-2.90	Esta constituido principalmente por Arena mal graduada Arena Limosa <b>SP-SM</b> .
H-4	2.90-6.05	Esta constituido principalmente Arena bien graduada Arena limos <b>SW-SM</b> que podría ser producto de un relleno artificial por lo que no es típica de las riveras del río.

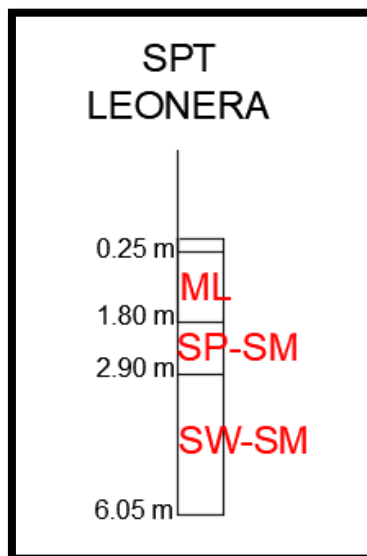
Tabla 14.2b

Profundidad	SPT Representativo	$\Phi$	compacidad
0.0-1.0	8	30	S
1.0-2.0	10	30	S
2.0-3.0	36	37	C
3.0-4.0	26	35	M
4.0-5.0	27	35	M
5.0-6.0	49	41	C

Estratigrafía Norte – Sur



Estratigrafía Este – Oeste



## ANEXO C: “ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN”

### Potencial de Licuación

Uno de los métodos más empleados hoy en día para realizar la evaluación del potencial de licuación, es el propuesto por Seed e Idriss (1971), cuyo procedimiento se basa en los datos obtenidos a partir del ensayo de penetración estándar (SPT).

Este método trabaja con dos variables, una de ellas corresponde a la demanda sísmica que se espera de un suelo durante un sismo de diseño, expresado en términos de resistencia cíclica (CSR), y la otra variable, corresponde a la resistencia cíclica del suelo para oponerse a la licuación (CRR).

Los autores formulan la expresión para el cálculo de la relación de esfuerzos cíclicos CSR como:

$$CSR = 0.65 \left( \frac{a_{m\acute{a}x}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d$$

Dónde:

$a_{m\acute{a}x}$  : Máxima aceleración de la superficie de suelo generada por un sismo

$g$  : Aceleración de gravedad

$\sigma_{v0}$  : Esfuerzo normal vertical total, referido a la superficie del suelo

$\sigma'_{v0}$  : Esfuerzo normal vertical efectivo, referido a la superficie del suelo

$r_d$  : Coeficiente de reducción de esfuerzos

La expresión que permite determinar la relación de resistencia cíclica CRR, se basa en métodos empíricos obtenidos a partir de eventos de licuación de suelos para terremotos de magnitud 7,5 en la escala de magnitud Richter. El autor Rauch (1998), formulo una expresión matemática que se ajusta de buena manera a las curvas asociadas para contenidos de finos mayores o igual al 5%, ver Figura 1.

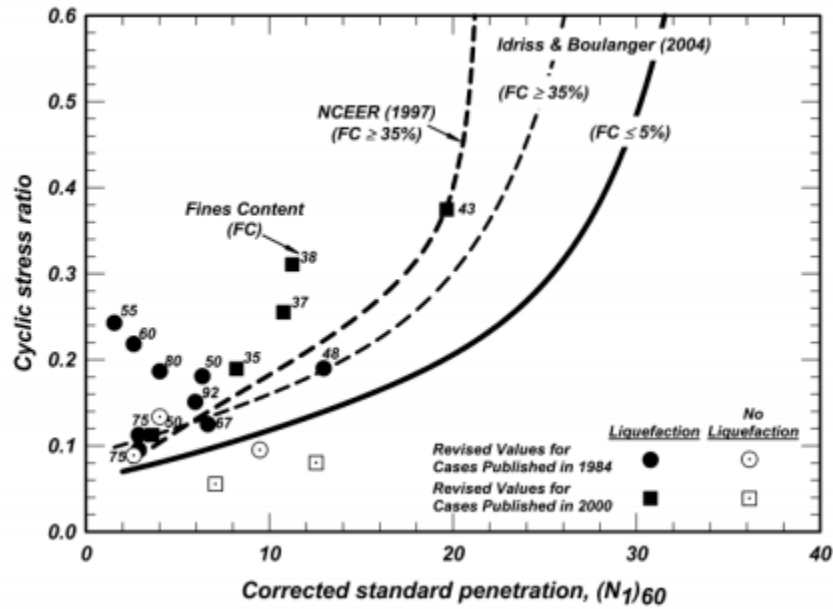


Figura 1: Tensión cíclica y  $(N_1)_{60}$ , Idriss and Boulanger (2008)

La expresión formulada por Rauch (1998):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10 * (N_1)_{60} + 45)^2} - 0.005$$

Con lo anterior, se puede obtener un factor de seguridad ( $FS_L$ ), que indica si el estrato analizado es potencialmente licuable o no, la expresión se define como:

$$FS_L = \frac{CRR_{7.5}}{CSR}$$

Para el análisis del potencial de licuación, se ocuparan los parámetros definidos en la Tabla 1.

**Tabla 1, Parámetros análisis potencial de licuación**

Parámetro	Valor
Aceleración máxima en superficie	0.4g
Magnitud sismo de diseño	7.5

A continuación se presenta la planilla que contiene todos los parámetros para la elaboración del gráfico que tendrán las zonas representativas.

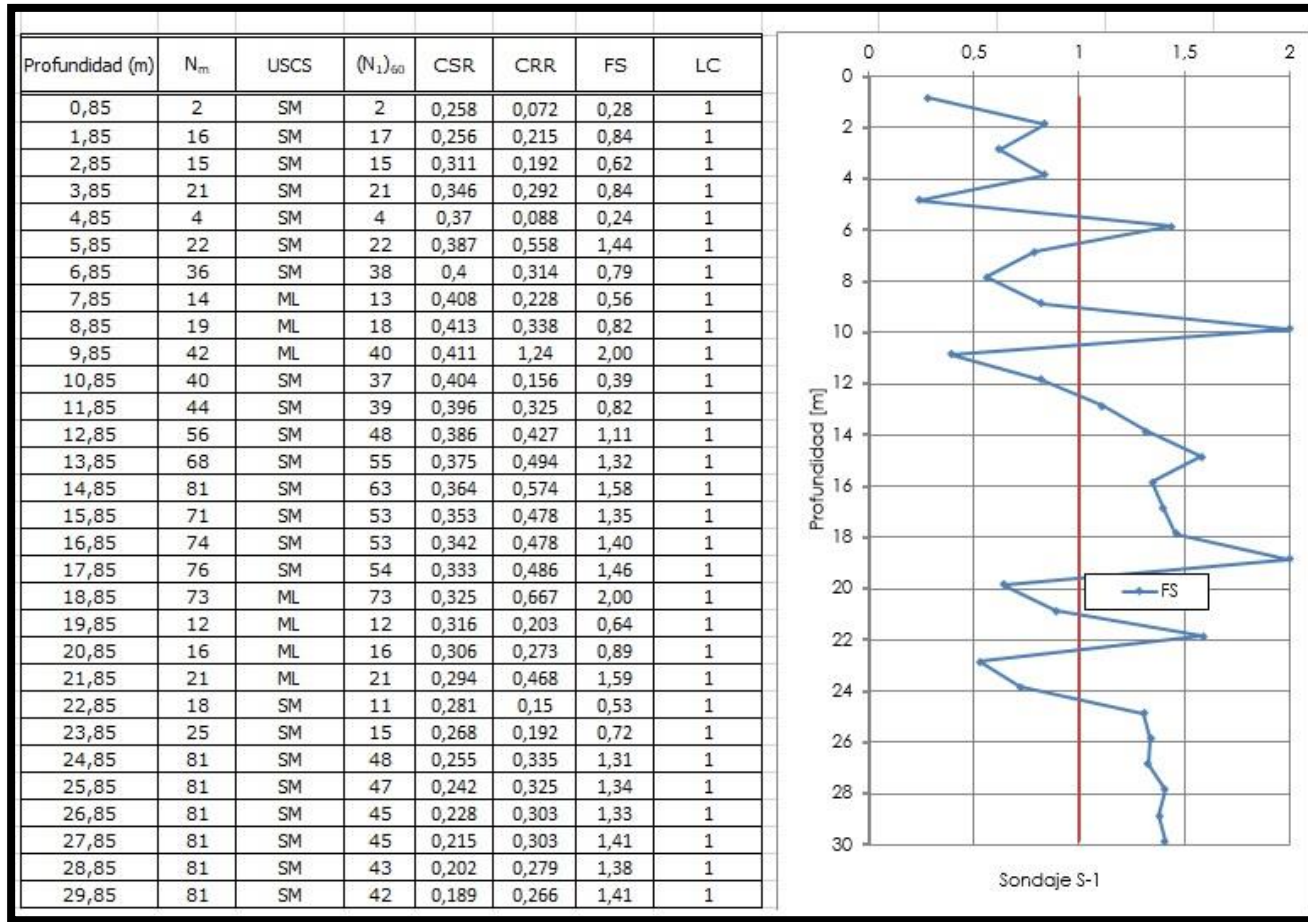


Figura 2: Planilla parámetros de análisis de licuación.

Parámetros de entrada																					
PGA (g)		0,4																			
Magnitud del terremoto, M		7,5																			
Profundidad de la napa (m)		2,7																			
Energía transferida ER (%)		60																			
Número de muestra SPT	Profundidad	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>m</sub>	USCS	Finos %	Código	Humedad %	Z (m)	S (%)	σ (kN/m <sup>2</sup> )	σ' (kN/m <sup>2</sup> )	C <sub>v</sub>	N <sub>i</sub>	(N <sub>i</sub> ) <sub>60</sub>	rd	CSR	CRR	FS	
M-1	0	1,00	1	1	1	<b>2</b>	SM	15	1	12,8	0,85	50,0	15,3	15,3	1,6	3	2	0,993	0,258	0,072	0,28
M-2	1,55	2,00	6	8	8	<b>16</b>	SM	15	1	12,8	1,85	68,5	35,5	35,5	1,4	23	17	0,986	0,256	0,215	0,84
M-3	2,55	3,00	10	9	6	<b>15</b>	SM	15	1	27,7	2,85	100,0	55	44,98	1,3	20	15	0,978	0,311	0,192	0,62
M-4	3,55	4,00	10	10	11	<b>21</b>	SM	15	1	32,5	3,85	100,0	73,9	53,88	1,3	27	21	0,971	0,346	0,292	0,84
M-5	4,55	5,00	2	2	2	<b>4</b>	SM	15	1	32,5	4,85	100,0	92,8	62,78	1,2	5	4	0,963	0,370	0,088	0,24
M-6	5,55	6,00	6	10	12	<b>22</b>	SM	15	1	33,3	5,85	100,0	111,6	71,58	1,2	25	22	0,955	0,387	0,558	1,44
M-7	6,55	7,00	14	18	18	<b>36</b>	SM	15	1	33,3	6,85	100,0	130,4	80,38	1,1	40	38	0,948	0,400	0,314	0,79
M-8	7,55	8,00	10	5	9	<b>14</b>	ML	55	2	27,8	7,85	100,0	149,9	89,84	1,0	14	13	0,940	0,408	0,228	0,56
M-9	8,55	9,00	9	9	10	<b>19</b>	ML	55	2	27,8	8,85	100,0	169,4	99,3	1,0	19	18	0,932	0,413	0,338	0,82
M-10	9,55	10,00	14	19	23	<b>42</b>	ML	55	2	27,2	9,85	100,0	189,1	109,02	1,0	42	40	0,911	0,411	1,240	3,02
M-11	10,55	11,00	17	20	20	<b>40</b>	SM	15	1	27,2	10,85	100,0	208,8	118,74	0,9	37	37	0,884	0,404	0,156	0,39
M-12	11,55	12,00	26	21	23	<b>44</b>	SM	15	1	22,9	11,85	100,0	229,3	129,25	0,9	39	39	0,858	0,396	0,325	0,82
M-13	12,55	13,00	25	26	30	<b>56</b>	SM	15	1	22,9	12,85	100,0	249,8	139,76	0,9	48	48	0,831	0,386	0,427	1,11
M-14	13,55	14,00	28	33	35	<b>68</b>	SM	15	1	17,6	13,85	100,0	271,2	151,17	0,8	55	55	0,804	0,375	0,494	1,32
M-15	14,55	15,00	35	40	41	<b>81</b>	SM	15	1	17,6	14,85	100,0	292,6	162,58	0,8	63	63	0,778	0,364	0,574	1,58
M-16	15,55	16,00	21	38	33	<b>71</b>	SM	15	1	19,8	15,85	100,0	313,5	173,45	0,8	53	53	0,751	0,353	0,478	1,35
M-17	16,55	17,00	25	37	37	<b>74</b>	SM	15	1	19,8	16,85	100,0	334,4	184,32	0,7	53	53	0,724	0,342	0,478	1,40
M-18	17,55	18,00	24	40	36	<b>76</b>	SM	15	1	54,2	17,85	100,0	350,7	190,6	0,7	54	54	0,697	0,333	0,486	1,46
M-19	18,55	19,00	25	38	35	<b>73</b>	ML	55	2	54,2	18,85	100,0	367	196,88	1,0	73	73	0,671	0,325	0,667	2,05
M-20	19,55	20,00	4	5	7	<b>12</b>	ML	55	2	57,1	19,85	100,0	383,1	202,95	1,0	12	12	0,644	0,316	0,203	0,64
M-21	20,55	21,00	5	8	8	<b>16</b>	ML	55	2	57,1	20,85	100,0	399,2	209,02	1,0	16	16	0,617	0,306	0,273	0,89
M-22	21,55	22,00	10	11	10	<b>21</b>	ML	55	2	24,5	21,85	100,0	419,1	218,89	1,0	21	21	0,591	0,294	0,468	1,59
M-23	22,55	23,00	8	9	9	<b>18</b>	SM	15	1	24,5	22,85	100,0	439	228,76	0,6	11	11	0,564	0,281	0,150	0,53
M-24	23,55	24,00	12	13	12	<b>25</b>	SM	15	1	21,7	23,85	100,0	459,7	239,48	0,6	15	15	0,537	0,268	0,192	0,72
M-25	24,55	25,00	34	41	40	<b>81</b>	SM	15	1	21,7	24,85	100,0	480,4	250,2	0,6	48	48	0,511	0,255	0,335	1,31
M-26	25,55	26,00	53	41	40	<b>81</b>	SM	15	1	21,7	25,85	100,0	501,5	261,26	0,6	47	47	0,484	0,242	0,325	1,34
M-27	26,55	27,00	52	41	40	<b>81</b>	SM	15	1	26,3	26,85	100,0	521,5	271,29	0,6	45	45	0,457	0,228	0,303	1,33
M-28	27,55	28,00	55	41	40	<b>81</b>	SM	15	1	26,3	27,85	100,0	541,5	281,32	0,6	45	45	0,430	0,215	0,303	1,41
M-29	28,55	29,00	55	41	40	<b>81</b>	SM	15	1	26,3	28,85	100,0	561,5	291,35	0,5	43	43	0,404	0,202	0,279	1,38
M-30	29,55	30,00	55	41	40	<b>81</b>	SM	15	1	26,3	29,85	100,0	581,5	301,38	0,5	42	42	0,377	0,189	0,266	1,41

Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

Figura: Resumen planilla análisis de potencial licuación con factor de seguridad para los distintos sectores.



Fuente: Arriagada, P. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

## ANEXO D: “ANÁLISIS PLAN REGULADOR V/S ZONIFICACIÓN”

El Plano regulador de Chiguayante, fue implementado en “ArcView”, tomando en consideración lo especificado en la Ordenanza Local del Plan regulador Comunal de Chiguayante (PRCC), la cual tiene por objeto establecer las normas referentes a límites urbanos, zonificación, usos de suelo, condiciones de subdivisión predial, de edificación, de urbanización y vialidad que deberán observarse dentro del área territorial del PRCC.

El capítulo IV de la Ordenanza Local del PRCC “Definición de la Zonificación del suelo y Normas específicas”, define las distintas zonas que componen el plano regulador: Zonas de servicios, equipamiento, protección y productivas, zonas de equipamiento y áreas verdes, de protección, productivas e infraestructura.



Figura 1. Plano regulador de la Comuna de Chiguayante.

### Análisis Plan Regulador v/s Zonificación

**Tabla 1. Resumen análisis plan regulador v/s Zonificación**

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
1	ZU2A	Habitacional Educación
<p><b>Observación:</b>  Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 4,00 m.  Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.  Suelo clasifica como tipo E.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
2	ZU2A	Habitacional
<p><b>Observación:</b>  Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 3,00 m.  Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.  Suelo clasifica como tipo D.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
3	ZU2A	Habitacional
<p><b>Observación:</b>  No alcanza el análisis dado la profundidad del estudio para encontrar un Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar.  Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.  Suelo clasifica como tipo E</p>		

<b>Nº Sector Modelación</b>	<b>Zona PRCC</b>	<b>Uso de suelo</b>
4	ZU2A	Habitacional
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 9,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo D.</p>		

<b>Nº Sector Modelación</b>	<b>Zona PRCC</b>	<b>Uso de suelo</b>
5	ZU2A	Habitacional Servicios y equipamiento Educación
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante a una profundidad de 8,00 m.                      En caso de fundar a menor profundidad se recomienda realizar mejoramiento de suelos, relleno masivo controlado compactado por capas y utilizar fundaciones superficiales.                      Suelo clasifica como tipo E.</p>		

<b>Nº Sector Modelación</b>	<b>Zona PRCC</b>	<b>Altura máx. de edificación</b>
6	ZU2A	Educación Habitacional
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante a una profundidad de 7,00 m.                      En caso de fundar a menor profundidad se recomienda realizar mejoramiento de suelos, relleno masivo controlado compactado por capas y utilizar fundaciones superficiales.                      Suelo clasifica como tipo E.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
7	ZU2A	Habitacional
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 2,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo C.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
8	ZU2A ZU3B ZU7	Habitacional
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 9,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo D.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
9	ZU2B	Comercio Habitacional Educación
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 6,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo D.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
10	ZU3A ZU2B	Habitacional Servicio y Equipamiento
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 3,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo B.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
11	ZU3A	Habitacional Servicio y Equipamiento
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 3,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo D.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
12	ZU1A	Habitacional Servicio y Equipamiento
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 6,00 m.                      En caso de fundar a menor profundidad se recomienda realizar mejoramiento de suelos, relleno masivo controlado compactado por capas y utilizar fundaciones superficiales.                      Suelo clasifica como tipo C.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
13	ZU1A ZU1B ZU3A	Habitacional Servicio y Equipamiento
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 4,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo C.</p>		

Nº Sector Modelación	Zona PRCC	Uso de suelo
14	ZU4	Habitacional Actividades Productivas y Equipamiento
<p><b>Observación:</b>                      Estrato portante con características mecánicas aptas para fundar a una profundidad de 2,00 m.                      Dado el costo que conlleva para cualquier proyecto fundar a esta profundidad, es recomendable realizar un mejoramiento de suelo a menor profundidad, o bien utilizar algún tipo de fundaciones profundas hasta alcanzar el estrato portante.                      Suelo clasifica como tipo D.</p>		



**ANEXO E:**

**“CARTA GEOAMBIENTAL SERNAGEOMIN ZONAS POTENCIALMENTE LICUABLES”**

Figura 1. Informe Peligro Licuefacción Área Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante.

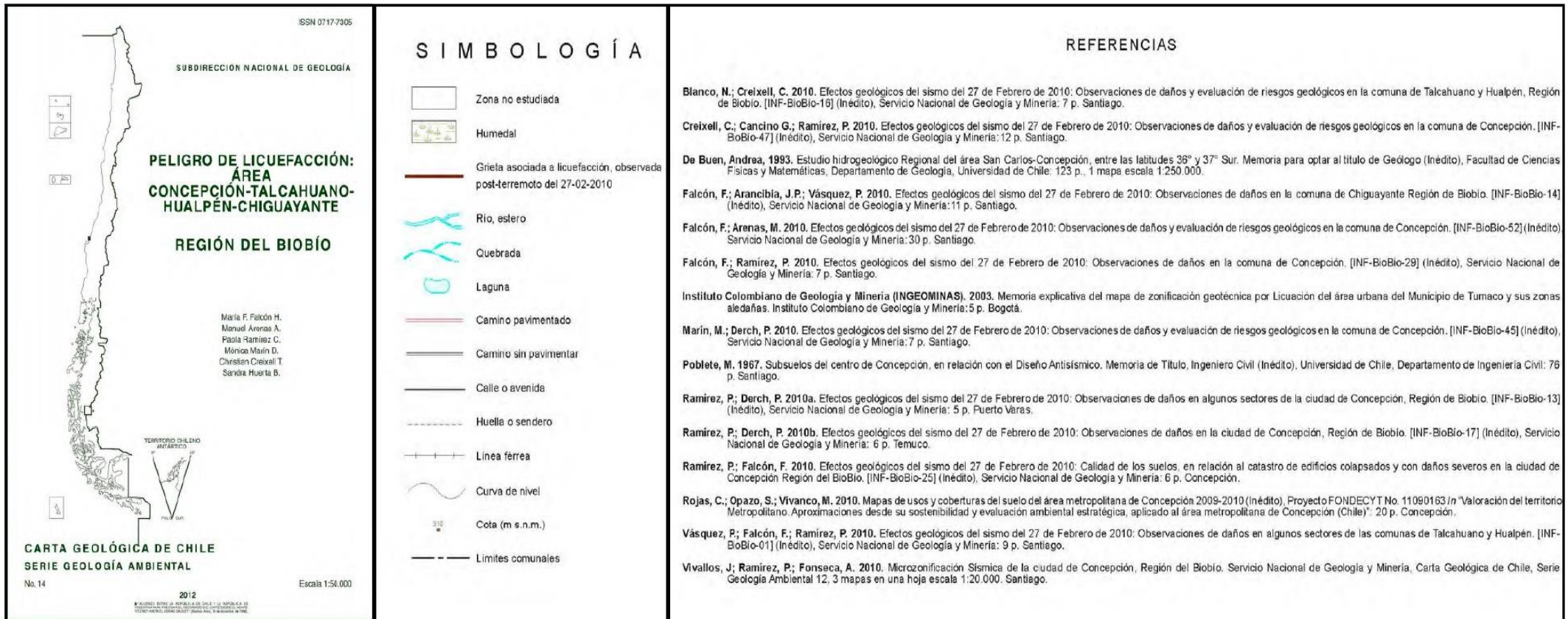


Figura 2. Informe Peligro Licuefacción Área Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante.

## CONSIDERACIONES GENERALES

### INTRODUCCIÓN

Este mapa presenta una zonificación del peligro de licuefacción en las comunas de Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante. Se identifican zonas con distinto grado de este peligro, indicando para cada una de ellas recomendaciones generales tendientes a orientar la planificación territorial comunal.

### DEFINICIÓN Y CAUSAS DE LA LICUEFACCIÓN

La licuefacción es un proceso natural, mediante el cual determinados tipos de suelo pierden bruscamente su resistencia mecánica, ante una carga dinámica rápida como puede ser un sismo o, en menor medida, una tronadura. La pérdida de resistencia mecánica del suelo implica que este se comporta momentáneamente de modo similar a un fluido y es capaz de migrar y generar importantes deformaciones en el sustrato.

El sismo de magnitud 8,8 Mw del 27 de febrero de 2010, provocó numerosos casos de licuefacción en el área de estudio, causando el colapso de construcciones, entre ellas viviendas, la red vial y parte del servicio de gas, agua potable y alcantarillado.

La licuefacción se genera, principalmente, en sedimentos arenosos y arenolimosos saturados de agua, usualmente ubicados cerca de ríos, lagunas y borde costero u otros cuerpos de agua, o bien, en aquellos suelos donde existe un nivel freático muy superficial. Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos subacuados donde antes existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente trabajados, en especial, sobre zonas de humedales.

Cuando ocurre un sismo, la vibración eleva la presión de agua en los poros del suelo y si esta llega a igualar o superar la fuerza de contacto entre los granos, la resistencia del suelo se reduce a cero, experimentando licuefacción. En este caso, la capacidad de carga del suelo es nula y, efectivamente, el suelo se comporta, durante la sacudida, como un líquido y cualquier estructura cimentada en él se hunde o sufre asentamientos diferenciales (INGEOMINAS, 2003).

Algunos factores que condicionan el fenómeno de licuefacción son:

- **Origen del suelo.** Los suelos generados por procesos fluviales, litorales y eólicos se sedimentan fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. Los depósitos glaciales, generalmente, ya son bastante densos y tienen menor probabilidad de licuarse. Suelos compuestos por roca no son en absoluto licuables.
- **Distribución del tamaño de los granos.** La arena uniformemente graduada, de grano muy grueso a medio, tiene mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas finas y las gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas.
- **Profundidad de las aguas subterráneas.** Mientras más cerca de la superficie se encuentre el nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción.
- **Edad del depósito.** Los suelos jóvenes (menos de 3.000 años) presentan estructuras intergranulares débiles y son no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse, comparado con aquellos más antiguos, en los cuales han actuado procesos de compactación y cementación natural. Dichos procesos incrementan su resistencia.
- **Amplitud y duración de la vibración del terreno.** La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto, aumenta con la magnitud y la duración de este. Por esta razón, sismos pequeños licuarán únicamente los suelos más próximos al epicentro, mientras que ante un sismo de magnitud mayor, será posible reconocer licuefacción a distancias muy grandes. En el caso del sismo del 27 febrero de 2010 se observó licuefacción entre la ciudad de Valparaíso, por el norte (Región de Valparaíso), y el lago Llanquihue por el Sur (Región de Los Lagos), lo que se traduce en un radio de 400 km del epicentro ubicado en Cobquecura, a 90 km al norte de la ciudad de Concepción.
- **Peso del recubrimiento y profundidad del suelo.** Las tensiones entre partículas aumentan a medida que crece la presión del recubrimiento (a mayor profundidad). Mientras mayor sea dicha tensión, menor será la probabilidad de que ocurra licuefacción. Por lo general, la licuefacción se produce a profundidades menores de 9 m, rara vez, a mayores de 15 m.

### EFFECTOS DE LA LICUEFACCIÓN

El fenómeno de licuefacción se manifiesta en la superficie del terreno por la formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, 'golpes de agua' (surpimiento de agua) y volcanes de arena. Los dos últimos son producto del súbito aumento de la presión de agua de poros, ocasionada por la vibración, lo que fuerza a que este fluido ascienda rápidamente a la superficie. Si el flujo asciende lo suficientemente rápido se generan 'golpes de agua'. Al mismo tiempo, el agua ascendente puede transportar partículas de arena hasta la superficie donde se depositan y forman montículos de arena, a los que por analogía se les denomina 'volcanes de arena'.

La pérdida de cohesión del suelo permite que este se pueda movilizar y que se diferencien varios tipos de desplazamientos asociados a la licuefacción:

- **Flejes de tierra:** Los materiales del suelo se desplazan rápidamente cuesta abajo, en un estado licuado, a veces causando coladas de barro o avalanchas.
- **Propagación lateral:** Tipo de remoción en masa en que se produce desplazamiento limitado de las capas superficiales del suelo, a favor de pendientes suaves o hacia superficies libres, como por ejemplo, en márgenes de ríos y taludes de terrazas fluviales. En este tipo de desplazamientos, a menudo ocurre que las capas subsuperficiales están revestidas de cubiertas antrópicas, como por ejemplo asfalto. Cuando las capas más profundas se licúan, las capas superficiales antrópicas, por lo general, se mueven lateralmente en bloques, tanto durante como después del sismo y provocan una deformación permanente del suelo y ruptura de las cubiertas.
- **Flotación:** Objetos enterrados en el suelo bajo licuefacción son desplazados. Es común que tanques, buzones o tuberías de alcantarillado asciendan a través del suelo y floten en la superficie.

• **Pérdida de resistencia de soporte:** Reducción de la capacidad de soporte de los cimientos, debido al debilitamiento del material del suelo subyacente o colindante. A menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen.

La licuefacción induce daños severos en estructuras, edificios y líneas vitales y afecta el transporte de personas, la distribución de mercancías, las telecomunicaciones y suministros básicos, lo que agrava más aún la situación posterior al evento sísmico. Por estas razones, la zonificación del peligro de licuefacción y su asimilación en las estrategias comunales de planificación territorial, es uno de los aspectos fundamentales para la reducción del daño sísmico.

### METODOLOGÍA Y ALCANCES DEL TRABAJO

Para la zonificación del peligro de licuefacción, se consideraron los antecedentes geológicos (Ramírez, en preparación, escala 1:50.000), las características geotécnicas de los suelos contenidas en la base de datos disponibles (Vivallos et al., 2010), mapas de uso del suelo (Rojas et al., 2010), la profundidad del nivel freático obtenida de información de sondajes (Vivallos et al., 2010, y en De Buen 1993), y las evidencias de licuefacción observadas en terreno producto del sismo del 27 de febrero 2010. Todos estos elementos fueron georreferenciados y trabajados en una plataforma SIG para, finalmente, ser integrados mediante un método semicuantitativo. En este último, cada variable geológica aporta a distinto peso al peligro de licuefacción para una determinada parte del terreno. El resultado, sintetizado en este mapa, indica zonas de alto, medio, bajo y nulo peligro de licuefacción.

Los límites de cada zona son aproximados, debido a los diferentes niveles de detalle y de certeza de los mapas originales utilizados. El potencial de licuefacción de un determinado lugar deberá ser cotejado mediante estudios de detalle, que incluyan estudios geotécnicos, al momento de proyectar una obra.

Se debe tener en cuenta que los daños generados por licuefacción, producto del evento sísmico del 27 de febrero de 2010, se vieron disminuidos debido a que el sismo ocurrió en uno de los meses más secos del año, y el nivel freático se encontraba, probablemente, en su nivel más profundo. Por esta razón, de producirse un sismo de similares características en estaciones del año en que el nivel freático se encuentre más alto, es esperable una mayor intensidad de la licuefacción y que esta se produzca en una mayor cantidad de lugares.

### GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La ciudad de Concepción presenta alturas promedio entre 12 m s.n.m. en la zona plana de la ciudad y 80 m s.n.m. en las laderas del cerro Caracó y cerros Islas (Cerro La Pólvora, Chepe, Estanque, San Miguel). La ciudad se ubica entre las planicies litorales y la Cordillera de la Costa, en una fosa tectónica sobre la cual el río Biobío ha fluído durante miles de años, y ha depositado, principalmente, arenas y, en menor proporción, material fino (limos y arcillas) en sus antiguas llanuras de inundación, quedando pequeños cerros islas en su interior. Actualmente, el río Biobío tiene su desembocadura al suroeste de la ciudad de Concepción. En esta ciudad, se reconocen, por lo tanto, depósitos fluviales formados principalmente por arenas finas, con espesores de hasta 130 m (Poblete, 1967). Hay sectores de la ciudad por los que antiguamente pasaban brazos del río, los que se convirtieron en zonas de humedales con posterioridad al abandono del río.

Estos sectores, muchos de ellos rellenados para construir viviendas, son los más afectados por inundaciones. Los cerros islas que están en la ciudad son de baja altura (menores a 100 m s.n.m.), y están formados, principalmente, por rocas sedimentarias estratificadas de edad terciaria, las que se encuentran, en algunos casos, en contacto por falla con rocas ígneas paleozoicas.

En la zona costera cercana a Concepción, se reconocen las penínsulas de Tumbes y de Hualpén, de alturas cercanas a 300 m s.n.m., con bordes acantilados, formadas por rocas ígneas y metamórficas de edades que varían entre el Paleozoico y el Triásico. Entre los acantilados se reconocen dos importantes planicies litorales donde se encuentran las bahías de Concepción y de San Vicente, y que se ubican en las comunas de Talcahuano y Hualpén respectivamente. En la Cordillera de la Costa (cerro Caracó), se observan afloramientos rocosos de rocas ígneas y metamórficas. La cordillera presenta alturas no superiores a 400 m s.n.m., lo que limita el crecimiento de las ciudades por el este y conforma lomas, colinas y cuencas de reducida tamaño y de baja altura. La comuna de Chiguayante se encuentra ubicada sobre angostos depósitos fluviales de río Biobío, acotados hacia el este por la Cordillera de la Costa.

### EFFECTOS OBSERVADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO PRODUCTO DE LICUEFACCIÓN

Producto del sismo se produjeron fenómenos asociados a licuefacción de suelos, debido a que, en gran parte del área urbana, se reconocen potentes espesores de suelos, formados, principalmente, por arenas, saturadas de agua, con niveles freáticos entre 0 y 15 m de profundidad.

El fenómeno de licuefacción se manifestó recurrentemente con desplazamientos laterales, limitados por juegos de grietas de abertura métrica, y fue observado en depósitos litorales, marinos y fluviales en los bordes de los ríos, océano, lagunas, humedales y canales. En algunos casos, este fenómeno se vio acompañado con la formación de volcanes de arena y golpes de agua, asociados a grietas.

Los sedimentos fluviales en las riberas del río Biobío experimentaron grandes desplazamientos laterales, tras una pérdida repentina de la resistencia del suelo, y quedaron severamente dañados los cuatro puentes que cruzan este río. En ellos se evidenciaron hundimientos diferenciales y torsión de cimientos y pilares, los que provocaron la caída de las estructuras y la inutilización de las principales vías de conexión con las comunas de San Pedro de la Paz, Lota y Coronel, ubicadas en la ribera sur del río. En este sector, se observaron juegos de grietas subparalelas a la ribera del río Biobío, volcanes de arena y golpes de agua. Similares fenómenos sufrieron las autopistas ubicadas en la costanera del río Biobío, en la ciudad de Concepción, el camino a Chiguayante y las vías del borde costero, principalmente en las rutas entre el puerto de San Vicente y calela Lengua, y en la carretera interportuaria. Esto provocó que la ciudad quedara con un tránsito muy restringido, debido a los daños en las vías de acceso por carreteras y autopistas, sobre todo aquellas que se construyeron en el borde de las terrazas fluviales. En las riberas del río Andalien y del estero Nonquén, este fenómeno estuvo acompañado de grietas subparalelas a los bordes de los mismos, los que provocaron un desplazamiento lateral hacia el cauce principal, acompañados de golpes de agua y volcanes de arena.

También se observó licuefacción en los primeros 100 m de terrenos que rodean las lagunas, humedales y canales de las ciudades, correspondientes, en su mayoría, a depósitos antrópicos.





En la ciudad de Chiguayante este fenómeno provocó asentamientos y daños de consideración en autopistas, viviendas y edificios construidos en las riberas del río Biobío, sobre antiguas terrazas de inundación fluvial.

En las comunas estudiadas, numerosos edificios emplazados sobre suelo húmedo (pantano) y/o sobre suelo correspondiente a rellenos antrópicos, con fundaciones poco profundas, sufrieron grandes daños por licuefacción.

Mayores detalles se describen en los informes elaborados durante la emergencia, en el período inmediatamente posterior al sismo, y que corresponden a los siguientes: Vásquez et al. (2010), Ramírez y Derch (2010a), Falcón et al. (2010), Blanco y Creixell (2010), Ramírez y Derch (2010b), Ramírez y Falcón (2010), Falcón y Ramírez (2010), Marín y Derch (2010), Creixell et al. (2010) y Falcón y Arenas (2010).



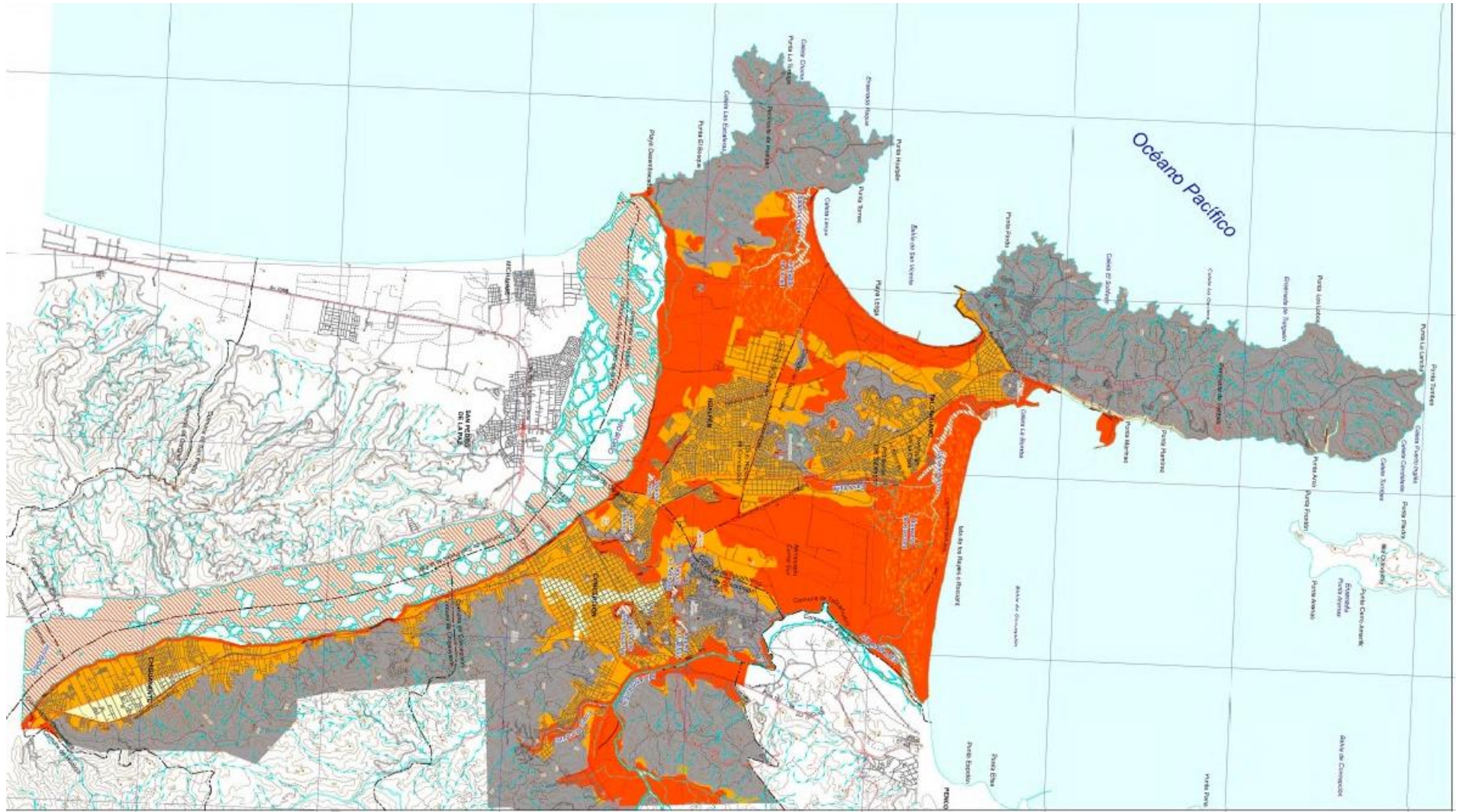
Figura 3. Informe Peligro Licuefacción Área Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante.

GRADO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIONES
<p><b>Alto</b></p> 	<p>Suelos y cuerpos de agua altamente susceptibles de experimentar licuefacción. a) Corresponden a suelos formados por sedimentos no consolidados de baja compactación y saturados de agua. En este mapa se trata, principalmente, de arenas depositadas en ambientes fluviales, eólicos, litorales y, en menor medida, aluviales. Una característica común que hace altamente licuable a estos depósitos es que se encuentran permanentemente saturados en agua, con un nivel freático muy somero, ubicado entre la superficie y hasta los 5 m de profundidad. En general, esta zona presenta grandes espesores de sedimentos propensos a ser licuados, por lo que la magnitud de la licuefacción puede ser mayor.</p> <p>En el área de estudio, estos suelos se encuentran en los humedales de Lengua, Paicavi, Andalién y Rocuant; en los bordes de las lagunas Las Tres Pascuales, Redonda, Lo Custodio, La Gaiñdo y Lo Méndez; en las planicies de inundación del río Biobío, en la ciudad de Concepción y la comuna de Chiguayante; en las planicies de inundación del río Andalién y del estero Nonguén, en Concepción, y en las planicies litorales del borde costero de la ciudad de Talcahuano y la comuna de Hualpén. Todos estos suelos tienen una muy alta susceptibilidad a licuarse frente a futuros sismos. La ciudad de Talcahuano, de acuerdo a la zonificación, presenta un alto porcentaje de suelos licuefactables, sobre los cuales se ha construido la ciudad. El terremoto del 27 de febrero de 2010, posiblemente, produjo licuefacción en muchos suelos, sin embargo el posterior tsunami eliminó las evidencias de este fenómeno. El Municipio de Talcahuano, en mayo de 2010, estimó que en la comuna habrían 6.600 viviendas destruidas o que debían ser demolidas, mientras que otras 15.000 tenían daños estructurales, que requerían reparaciones.</p> <p>b) Asociado a cuerpos fluviales actuales como río Biobío, río Andalién y canal El Morro.</p>	<p>No se recomienda la construcción de viviendas y servicios básicos y de emergencia en estas zonas. Los terrenos correspondientes a humedales deberían ser completamente descartados para los fines anteriores, puesto que además son inundados recurrentemente, ya sea por anegamiento y desborde de cauces o por tsunamis. Por otra parte, los humedales regulan el sistema hidrológico, controlando inundaciones y constituyen, además, parte vital de un ecosistema mayor, por lo cual se sugiere su protección.</p> <p>Las construcciones que deban ser forzosamente proyectadas en esta zona de alto peligro de licuefacción, como puentes y caminos de acceso, deben contar con un estudio de mecánica de suelos que apoye el diseño de ellas y estipule el tratamiento adecuado para reducir el riesgo de licuefacción. Esto último, dice relación con el mejoramiento de las condiciones geotécnicas del suelo, en especial asociadas a técnicas de aumento de densidad (INGEOMINAS, 2003). En caso de que no se pueda evitar construir en estas áreas, los cimientos de las estructuras deben colocarse por debajo de los niveles licuables. Esto no impide la ocurrencia del fenómeno, solo asegura la estabilidad de las estructuras. Para el caso de edificaciones pequeñas, se deben utilizar técnicas de construcción que eviten los asentamientos diferenciales de cierta intensidad, lo que no elimina totalmente la vulnerabilidad de las construcciones pero, al menos, evita el colapso de ellas (INGEOMINAS, 2003).</p>
<p><b>Medio</b></p> 	<p>Terrenos de susceptibilidad media de experimentar licuefacción. Corresponden a suelos naturales compuestos por sedimentos no consolidados, de baja a media compactación, consolidados por arenas y arenas limo arcillosas y, algunos de ellos, cubiertos por rellenos antrópicos. Se trata, en especial, de arenas depositadas en ambientes fluviales y eólicos interdigitadas con depósitos aluviales (escombros de falda principalmente). El espesor de estos suelos es variable y se caracterizan por presentar un nivel freático somero, en general, entre 5 y 10 m de profundidad. Se ubican, primordialmente, entre humedales, en los bordes de los cerros islas y en la Cordillera de la Costa, donde existe descarga de vertientes hacia antiguos humedales, que en la actualidad están rellenos con depósitos antrópicos. En esta zona se observa, agrietamiento del suelo y subsidencia del mismo. Respecto a las grietas, estas se concentran en los límites con las zonas de alto peligro. En la ciudad de Concepción, estos suelos corresponden al casco antiguo, el más densamente poblado, donde, debido al sismo, se produjeron daños en miles de viviendas. Al mes de mayo de 2010, se habían catalogado 2.733 (4%) destruidas, 3.575 (5%) con daños severos y otras 30.290 (38%) con daños moderados (Catastro Municipalidad de Concepción).</p>	<p>Si bien la construcción en esta zona no es recomendable, las obras proyectadas deben contemplar estudios de mecánica de suelos y tratamiento de suelos y rellenos (compactación, drenajes verticales, inyección de mezclas, entre otros) a fin de mitigar los efectos de la licuefacción. Es recomendable llevar los cimientos por debajo de los niveles licuables. Las obras lineales como acueductos, alcantarillado, gasoductos, entre otras, deben ser planificadas con materiales y uniones flexibles que permitan deformaciones importantes para evitar la ruptura de estos. El diseño y la construcción de viviendas deben evitar asentamientos diferenciales y el colapso de ellas (INGEOMINAS, 2003).</p>
<p><b>Bajo</b></p> 	<p>Terrenos de baja susceptibilidad de experimentar licuefacción. Corresponden a suelos de origen fluvial con un nivel freático entre 10 y 15 m de profundidad. Estas zonas se ubican en el centro de Concepción y en el borde oriental de la península de Tumbes. En este último caso, se debe al escaso espesor de los suelos licuefactables.</p>	<p>Estas zonas son aptas para construcción. Sin embargo, dada su posibilidad de experimentar licuefacción frente a futuros sismos, requieren de estudios de mecánica de suelos para un diseño acorde a las condiciones geotécnicas del sector.</p>
<p><b>Nulo</b></p> 	<p>Terrenos compuestos por roca y que, por tanto, poseen nula capacidad de licuefacción. Estas zonas corresponden a los cerros de la Cordillera de la Costa, las penínsulas de Tumbes y Hualpén, y a los cerros islas de las ciudades de Concepción y Talcahuano, como son los cerros La Pólvoa, Chepe, Lomas de San Andrés, San Miguel y David Fuentes, los dos últimos correspondientes a la ciudad de Talcahuano.</p>	<p>Estos terrenos son aptos para construcción, pues no experimentan licuefacción por efecto de futuros sismos.</p>

**NOTA:**

Para el análisis de riesgos deben ser considerados, además, otros peligros geológicos, entre ellos: remociones en masa, inundaciones por tsunami, desborde de cauces y anegamientos.

Figura 4. Informe Peligro Licuefacción Área Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante.





ANEXO F:

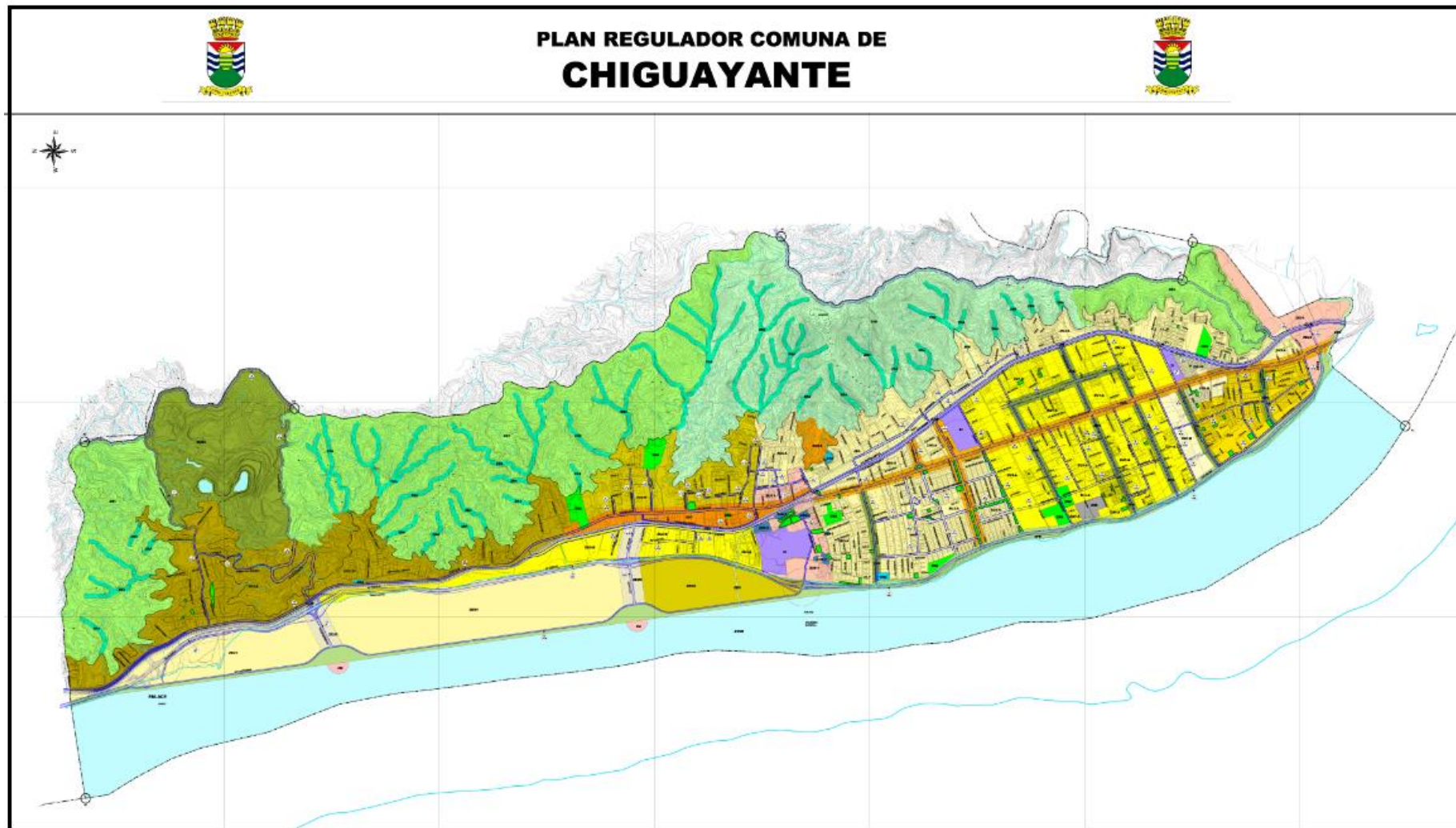
“DEFINICION DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (U.S.C.S.)”

Figura 1. Tabla Clasificación de Suelos (U.S.C.S).

Identificación en el campo (excluyendo las partículas más o sea de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)		Símbolo del grupo*	Nombres típicos		Información necesaria para la descripción de los suelos						
Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4 (Para la clasificación y el nombre ver el apartado 4 de la abstracción de la abstracción)	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos		Desarrollar el nombre típico; indiquen los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, estado superficial y dureza de los granos gruesos; el nombre local o geológico y cualquier otra información o descripción pertinente y el símbolo entre paréntesis						
	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos								
Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4 (Para la clasificación y el nombre ver el apartado 4 de la abstracción de la abstracción)	Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo		Para los suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje						
	Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla								
Menos de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4 (Para la clasificación y el nombre ver el apartado 4 de la abstracción de la abstracción)	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos		Ejemplo: Arenas limosas, con grava; aproximadamente un 20% de partículas de grava angulosas de 1.5 cm de tamaño máximo; arena gruesa a fina, con partículas redondeadas o subangulosas; alrededor del 15% de finos no plásticos, con baja resistencia en estado seco compacta y húmeda in situ; arena aluvial; (SM)						
	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos								
Menos de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4 (Para la clasificación y el nombre ver el apartado 4 de la abstracción de la abstracción)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas		Ejemplo: Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas						
	Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arenas y arcillas								
Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz No. 40.											
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50 (La abstracción de la abstracción No. 400 corresponde a promedio de la muestra)	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Dilatancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad	Desarrollar el nombre típico; indique el grado y carácter de la plasticidad, la cantidad y el tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor si lo tuviere, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis					
							Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras
							Media a alta	Nula a muy lenta	Media	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos sueltos o con diatomeas, limos elásticos	Para los suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia, tanto en estado inalterado como remoldeado, condiciones de humedad y drenaje					
							Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
							Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta
Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Ejemplo: Limos arcillosos, marrón; ligeramente plástico; porcentaje reducido de arena fina; numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco in situ; (ML)					

ANEXO G:

“PLAN REGULADOR COMUNAL DE CHIGUAYANTE”



**PLAN REGULADOR COMUNAL DE CHIGUAYANTE**

---

**MODIFICACION 2010** **PRCH - 5**

---

**APROBACION I. MUNICIPALIDAD DE CHIGUAYANTE**

El Alcalde que suscribe, previa aprobación por acuerdo del Concejo Municipal N° 09-04-2010, de fecha 14-01-2010, promulga la presente modificación del Plan Regulador Comunal de Chiguayante, 2009, por decreto alcaldicio N° \_\_\_\_\_ de fecha \_\_\_\_\_ de esta I. Municipalidad, de conformidad a lo establecido en la letra K (Agregada por Ley N° 19.778 de 2001) del Artículo 5 de la Ley N° 18.695 organica constitucional de Municipalidades y al artículo 2.1.11 del D.S. N° 75 (Vy U) de 25 de Junio 2001 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

---

Lisandro Tapia Sandoval  
Secretario Municipal  
Ministro de Fé
Tomás Solís Nova  
Alcalde I.M. de Chiguayante

---

**INFORME SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO, REGION DEL BIO BIO**

De acuerdo al Artículo 43 del DFL N° 458 (V y U) de 1975 Ley General de Urbanismo y Construcciones, Modificado por Ley N° 19.778 de 2001 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, la Secretaria Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Region del Bio Bio Informa Favorablemente el Proyecto de Plan Regulador Comunal, Modificación 2009

---

Miguel A. Hernández Aguayo  
Jefe Depto. Desarrollo Urbano  
e Infraestructura
Oswaldo Arenas Medina.  
Secretario Regional Ministerial  
Vivienda y Urbanismo

---

Hector Rodríguez Ortega  
Arquitecto

**ARCHIVO CONSERVADOR DE BIENES RAICES**

Archívese el plano del Plan Regulador Comunal de Chiguayante en el Conservador de Bienes Raíces de \_\_\_\_\_

---

**SIMBOLOGIA NORMATIVA**



- LIMITE URBANO
- LIMITE COMUNAL
- LIMITE ZONA
- LIMITE BORDE RIO BIO BIO
- CRUCE FERROVIARIO
- VALIDAD ESTRUCTURANTE PROPUESTA
- VALIDAD ESTRUCTURANTE
- VALIDAD ESTRUCTURANTE CON ENSANCHE
- VALIDAD SECUNDARIA PROPUESTA
- CODIGO VIA
- LINEA OFICIAL / LINEA EDIFICACION (Referencial ver Norme de Uso de Suelo)

---

**AREAS URBANAS CONSOLIDADAS**

- ZU1-A ZONA RESIDENCIAL
- ZU1-B ZONA RESIDENCIAL
- ZU2-A ZONA RESIDENCIAL
- ZU2-B ZONA RESIDENCIAL
- ZU3-A ZONA RESIDENCIAL
- ZU3-B ZONA RESIDENCIAL
- ZU4 ZONA RESIDENCIAL MIXTA
- ZU5 ZONA RESIDENCIAL MIXTA
- ZU6 ZONA RESIDENCIAL MIXTA
- ZU7 ZONA RESIDENCIAL MIXTA
- ZU8-1 ZONA CENTRO CIVICO

---

**AREAS DE EXTENSION URBANA**

- ZEU1 ZONA DE EXTENSION, Proy Costanera Rivera Norte
- ZEU2 ZONA DE EXTENSION, Proy Costanera Rivera Norte
- ZEU3 ZONA DE EXTENSION, Mixta Proy Costanera Rivera Norte
- ZEU4 ZONA DE EXTENSION, Residencial de Densidad Media y Equip. Turístico-Recreacional
- ZEU5 ZONA DE EXTENSION DE DESARROLLO CONDICIONADO

**AREAS ESPECIALES**

- ZUB-2 ZONA ESPECIAL DE EQUIPAMIENTO
- ZI ZONA ESPECIAL DE INDUSTRIA CONSOLIDADA
- ZR1 ZONA ESPECIAL DE PROTECCION DE LADERAS
- ZR2 ZONA ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA SANITARIA
- ZR3 ZONA ESPECIAL DE RESTRICCION POR INSTALACIONES DEL FERROCARRIL
- ZR4 ZONA ESPECIAL DE RESTRICCION POR QUEBRADAS
- ZR5 ZONA ESPECIAL DE RESTRICCION POR CANALES
- ZR6 ZONA ESPECIAL DE RESTRICCION CEMENTERIO
- ZPR ZONA ESPECIAL DE RESTRICCION PARQUE RIBEREÑO
- ZRD ZONA ESPECIAL DEPORTIVA
- ZVN ZONA ESPECIAL DE VALOR NATURAL
- ZVNR ZONA ESPECIAL DE VALOR NATURAL, RIO BIO BIO
- ZM ZONA ESPECIAL DE MIRADORES

---

**INFORMACION CARTOGRAFICA**  
Aerofotogrametrico I.G.M.  
Fecha :

**INFORMACION DEL PLANO**  
Escala : 1/10.000  
Fecha : Noviembre 2002

**AUTORES ESTUDIOS ORIGINALES**

**CEC LTDA.**  
Arquitectos

Francisco Otava  
Arquitecto  
Director del Estudio

