

# 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 Concepción”**

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

PABLO CESAR SÁEZ OBREQUE.

Concepción, Agosto del 2016

## **DEDICATORIA**

Memoria dedicada a mi madre 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 Concepción

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

## **ACTUALIZACIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN LA COMUNA DE CONCEPCIÓN**

**Pablo Cesar Sáez Obreque**

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

**Pabsaez@alumnos.ubiobio.cl**

**Carmen González Labbé**

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

**Cgonzal@ubiobio.cl**

### **RESUMEN**

En la comuna de Concepción actualmente se proyectan y construyen edificaciones en altura en zonas definidas por el Plan regulador de la comuna para este propósito, sin embargo, estas zonas no contemplan la calidad de los subsuelos, sirviendo sólo como instrumento de planificación urbana, además, no se cuenta con información preliminar del subsuelo, desconociendo, si el subsuelo en cuestión, es de características apropiadas para fundar.

Este trabajo presenta una segunda aproximación a la realizada por Inostroza (2011), basándose en una recopilación de 451 sondajes realizados hasta la fecha por diferentes empresas de la zona dedicadas al rubro. Esta base de datos obtenida se implementó utilizando el programa ArcView (Sistema de Información Geográfica), en el cual se definió la zonificación de acuerdo al material predominante de los suelos y un modelo estratigráfico para cada sector creado, 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 del plan regulador en contraste con la zonificación establecida en este estudio, estableciendo su vinculación de acuerdo al suelo presente en cada sector.

Con los resultados obtenidos se obtiene un mapa de Concepción zonificado según el suelo característico e información de interés para cada sector, la cual puede visualizarse con las herramientas del programa (ArcView), además, se obtienen del análisis realizado del plan regulador profundidades aproximadas de fundación para zonas destinadas a edificación.

Palabras claves: Zonificación, estratificación, Concepción.

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

**Pablo Cesar Sáez Obreque**

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

**Pabsaez@alumnos.ubiobio.cl**

**Carmen González Labbé**

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

**Cgonzal@ubiobio.cl**

### **ABSTRACT**

Currently in the city of Concepción, high rise buildings are designed and built in defined areas by the commune Master Plan of this for this purpose, notwithstanding, this zones does not include the subsoils quality, serving only as purpose of urban planification. Additionally, there is not have preliminary information of the subsoils, without knowing this way, if the subsoil at issue, have appropriate characteristics to found.

This paper is a second aproximation to the one made by Inostroza (2011), based on the compilation of 451 boreholes carried out to date by different companies of the zone dedicated to the field. This obtained data base was classified and implemented using the ArcView program (Geographic Information System), in which the zonification was defined according to the predominant material of soils and stratigraphic model for each sector created, further, relevant information is incorporated into the seismic soil classification defined by the regulations in force at the date (Supreme decree N° 61, November 2th, 2011).

Moreover, an analysis of the Master Plan is performed in contrast with zoning established in this study, setting up its link according to the zoning present on each sector.

A map of Concepción zoning according to the predominant soil was obtained, with relevant information for each area, which can be viewed with the aid of ArcView software tools. In addition, from the Master Plan analysis carried, approximate depths for foundations were obtained for zones where edification of high rise buildings is allowed.

## ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| DEDICATORIA.....                                  | ii  |
| NOMENCLATURA.....                                 | iii |
| RESUMEN.....                                      | v   |
| ABSTRACT.....                                     | vii |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                              | 3   |
| 2. OBJETIVOS.....                                 | 4   |
| 2.1 Objetivo General.....                         | 4   |
| 2.2 Objetivos Específicos.....                    | 4   |
| 3. ANTECEDENTES GENERALES.....                    | 5   |
| 3.1 Antecedentes Geográficos.....                 | 5   |
| 3.2 Antecedentes Hidrográficos.....               | 5   |
| 3.3 Antecedentes Geomorfológicos.....             | 6   |
| 3.4 Antecedentes Sísmicos.....                    | 7   |
| 3.5 Antecedentes Previos.....                     | 8   |
| 4. METODOLOGÍA.....                               | 10  |
| 4.1 Recopilación de la Información.....           | 10  |
| 4.2 Organización de la Información.....           | 11  |
| 4.3 Implementación Normativa.....                 | 12  |
| 4.4 Zonificación y Modelación Estratigráfica..... | 14  |
| 4.5 Análisis Plan regulador v/s Zonificación..... | 17  |
| 4.6 Resultados.....                               | 18  |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                    | 19  |
| 6. CONCLUSIONES.....                              | 26  |
| 7. RECOMENDACIONES.....                           | 28  |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                | 29  |

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Comuna de Concepción, 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.

Producto de los reiterados sismos, es de vital importancia conocer la composición, características y comportamiento de los suelos de la Comuna de Concepción, ya que sobre este, se apoyan y apoyarán todas las estructuras de uso habitacional, escuelas, locales comerciales, hospitales, etc.

El año 2004, Gastón Inostroza E, realiza una primera aproximación de estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna, donde clasifica los suelos de acuerdo al material predominante, y vincula la calidad de los suelos presentes con alturas de edificación dispuestas en la Ordenanza Local Comunal de Concepción.

El 27 de febrero de 2010 una amplia zona del país fue afectada por un sismo de gran intensidad, que causo grandes daños en distintas comunas del país. Es por lo anterior que el año 2011 se crea el Decreto Supremo N°61 (D.S. N°61), el cual adecua y complementa las normativas anteriores, ajustando factores de seguridad y estándares de diseño sísmico de edificios.

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.

Dado que existe un Plano regulador Comunal, que zonifica Concepción de acuerdo a los distintos usos de suelo, se busca contrastar las zonas de edificación en comparación con la calidad del suelo en estudio.

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

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Actualizar la zonificación y estratificación de los suelos de la comuna de Concepción, y establecer su vinculación con el Plan regulador de la comuna.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Zonificar y estratificar los suelos presentes en las distintas zonas de Concepción, implementando lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 61.
2. Vincular calidades de los suelos presentes en la comuna de Concepción en relación a las diferentes zonas establecidas en el plan regulador destinadas a edificación.
3. Actualizar la base de datos en formato digital mediante la aplicación de ArcView (sistema de información geográfica, SIG) para fines académicos y de investigación.

### 3. ANTECEDENTES GENERALES

#### 3.1 Antecedentes Geográficos

Concepción es una ciudad ubicada en el hemisferio sur de Sudamérica, específicamente en la Zona Centro sur de Chile, a  $36^{\circ}46'22''$  S de latitud y  $73^{\circ}03'47''$  O de longitud, con una elevación promedio de 12 msnm, la ciudad se encuentra emplazada en el denominado Valle de la Mochita, entre las planicies litorales y la Cordillera de la Costa.

Concepción limita al norte con Hualpén, Talcahuano y Penco, al sur con Chiguayante y Hualqui, al este con Florida y al Oeste con el río Biobío y San Pedro de la Paz.

A continuación la figura 1 indica la ubicación geográfica de Concepción:

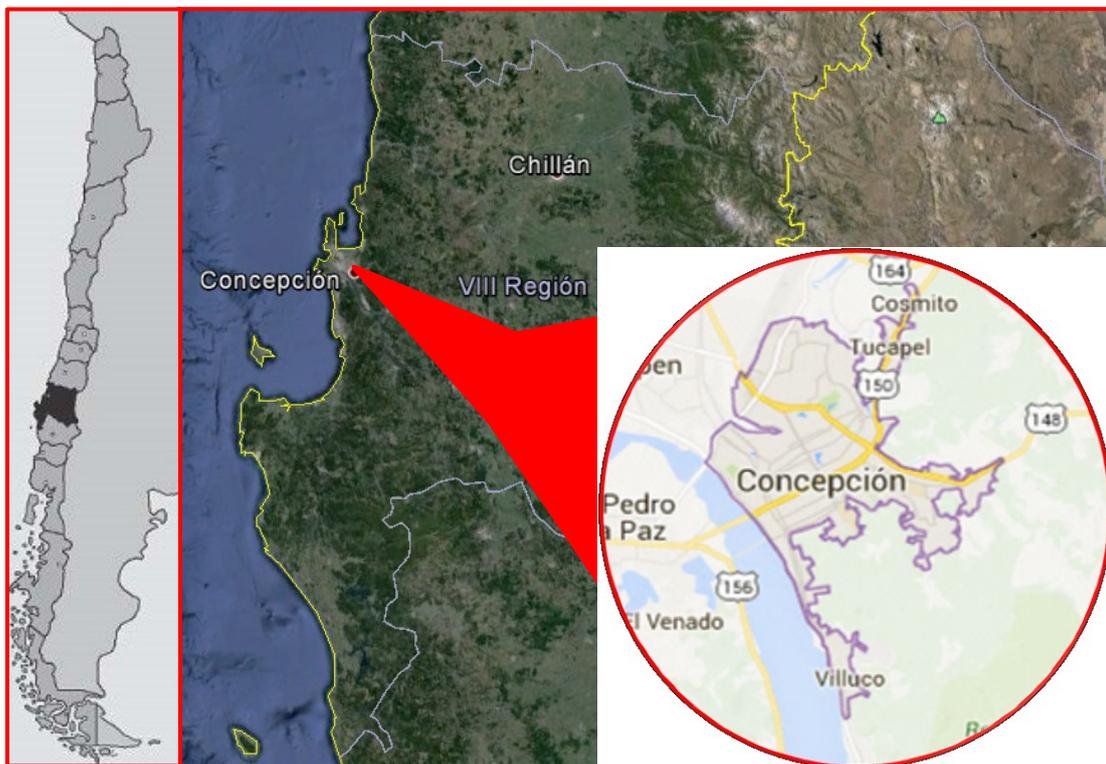


Figura 1. Ubicación geográfica de Concepción

#### 3.2 Antecedentes Hidrográficos

La ciudad es limitada geográficamente por dos importantes ríos: el Biobío al oeste y el Andalién al norte, estos cuerpos demarcan geográficamente a la ciudad, además existe el Estero Nonguén el cual atraviesa una parte de la ciudad y a su vez aporta el flujo del río Andalién.

Además de los ríos mencionados anteriormente, existen cinco lagunas urbanas: Lo Méndez, Lo Custodio, Lo Galindo, Las Tres Pascualas y Laguna Redonda.

### **3.3 Antecedentes Geomorfológicos**

Concepción se encuentra emplazada en el fondo del valle de la mochita (al oeste de la Cordillera de la Costa), estas llanuras están conformadas por sedimentos del río Biobío acarreados desde la Cordillera de los Andes, se encuentra ubicada entre la ribera Norte del río Biobío y la ribera occidental del río Andalién.

Desde la planicie emergen diversos cerros, tales como El Chepe, Lo Galindo, Amarillo y Chacabuco, los cuales corresponden a unidades geológicas de bloques tectónicos basculados, limitados por fallas normales en el sur.

Galli (1967) ha diferenciado cuatro unidades geológicas fundamentales:

- a) Rocas metamórficas, que constituyen el basamento cristalino del área; de edad precámbrica. Se presentan algunos afloramientos reducidos.
- b) Rocas intrusivas, que forman parte de una gran masa plutónica (batolito) de edad paleozoica. Presentan distribución continua en los faldeos occidentales de la Cordillera de la Costa (Cerro Caracol y Lo Pequén) y en afloramientos aislados como los cerros La Pólvara, Chepe, Chacabuco y Lo Galindo. El batolito paleozoico del área presenta como roca característica al granito, la que normalmente presenta un manto meteorizado, que puede alcanzar espesores de hasta 50 m. La meteorización del granito da origen a un material poco cohesivo, conocido localmente como Maicillo.
- c) Rocas sedimentarias, de edad cretácica a cuaternaria, que yacen sobre las unidades anteriores. La más reciente de ellas es la formación Huachipato, destacándose, ya que corresponde a los sedimentos distribuidos por toda la llanura, denominándose como “Arena Biobío”. Estos sedimentos corresponden fundamentalmente a arenas basálticas, en general limosas, con estratificaciones alternadas de limo y/o arcilla.
- d) Depósitos superficiales, incluyen arenas de dunas, limo, barro, turba, otros materiales pobremente drenados, materiales coluviales, fragmentos de rocas, rellenos artificiales, etc.

### 3.4 Antecedentes Sísmicos

Concepción se encuentra en una de las regiones más sísmicas de Chile, donde en reiteradas ocasiones se han perdido vidas humanas y sufrido daños materiales importantes dentro de la Ciudad, siendo el último terremoto de gran intensidad el del 27 de febrero de 2010 (magnitud 8.8 Richter).

La mayoría de los sismos que ocurren en el territorio chileno, es debido a la subducción de la placa de Nazca (Oceánica) sobre la placa Sudamericana (Continental). Ambas placas tienen sentido de movimiento opuesto, la placa de Nazca se mueve hacia el Este, y la Sudamericana al Oeste.

Los sismos producidos en la región pueden ser debido a la subducción de las placas anteriormente mencionadas o a la fracturación de una de las placas, generalmente la de Nazca.

La figura 2 muestra los principales sismos de gran magnitud ocurridos en la región en el último siglo:

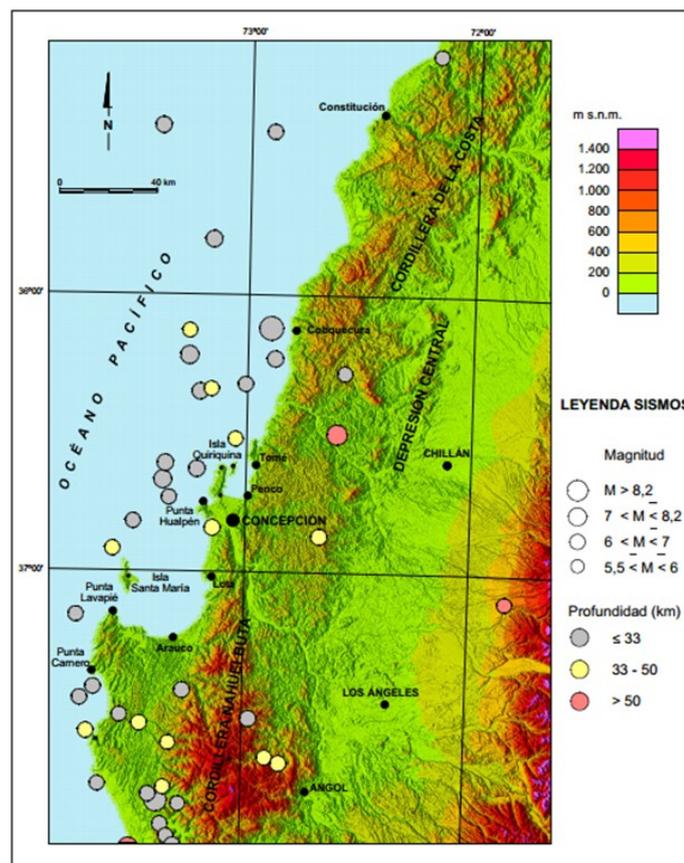


Figura 2. Principales sismos en la Región del Biobío, Vivallos, J. et al (2010)

### 3.5 Antecedentes Previos

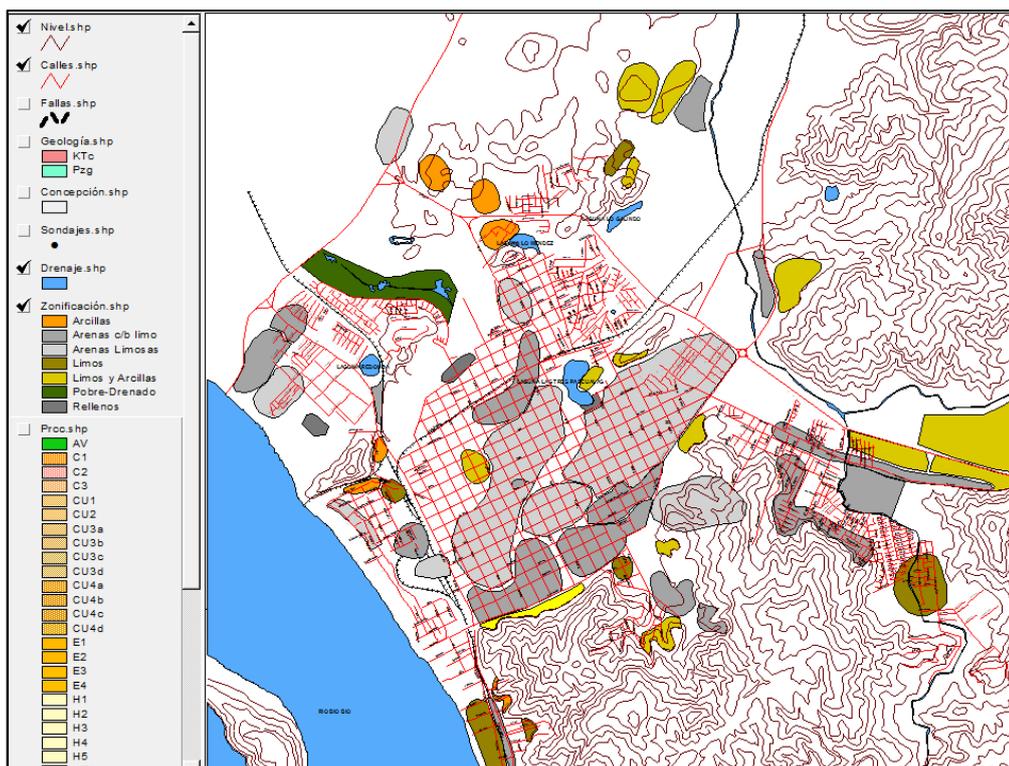
La realización de este trabajo, toma como principal base el estudio de estratificación y zonificación realizado por Inostroza (2004), el cual con una base de 327 sondajes dispersos por Concepción, logra zonificar y estratificar los suelos de la Comuna, según las características de los mismos, generando modelos estratigráficos en profundidad para cada sector, para posteriormente comparar la calidad de los suelos existentes con las alturas de edificación dispuestas por el plan regulador.

La clasificación realizada por Inostroza (2004) se divide en las siguientes zonas:

- Zonas arcillosas: Corresponden a sectores con clasificación U.S.C.S: CH, CL, y SC.
- Zonas de arenas con bastante limo: Corresponde a sectores con clasificación U.S.C.S: SM(ML), ML.
- Zonas de limos: Corresponde a sectores con clasificación U.S.C.S: ML y MH.
- Zonas de limos y arcillas: Corresponde a sectores con clasificación U.S.C.S: ML, MH, CL y CH
- Zonas de materiales pobremente drenados: Corresponde a sectores donde se encuentran terrenos pobremente drenados, barro y turba.
- Zonas de rellenos: Corresponde a sectores donde los rellenos artificiales superan los 4 m.

La Figura 3 presenta la zonificación realizada por Inostroza (2004).

Los modelos estratigráficos de cada sector poseen un gráfico del rango N<sub>spt</sub>, una columna estratigráfica representativa, clasificación visual y su respectiva clasificación U.S.C.S.



**Figura 3. Zonificación de los suelos de Concepción realizada por Inostroza (2004)**

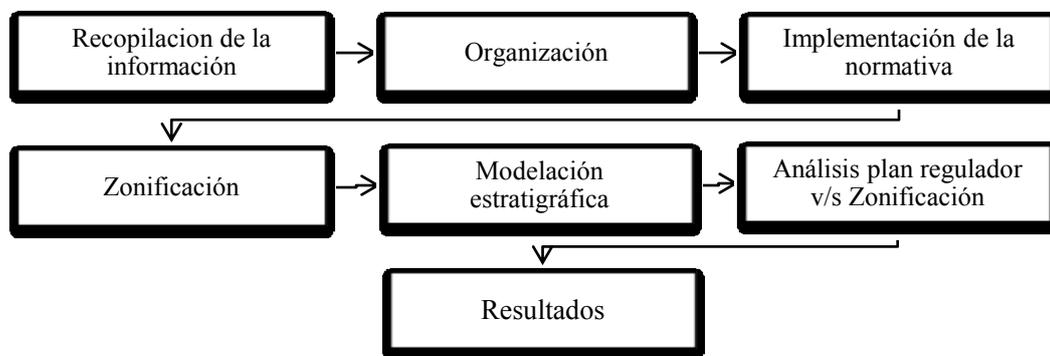
#### 4. METODOLOGÍA

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) 451 Sondajes
- e) 4 Estudios Geofísicos de propagación de Ondas de Corte, proporcionados por empresas de la Zona.

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

Para llevar a cabo la Estratificación y Zonificación de los sectores en estudio, se realizó la metodología de la siguiente manera, ver Figura 4:



**Figura 4. Esquema metodología**

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

##### 4.1 Recopilación de la Información

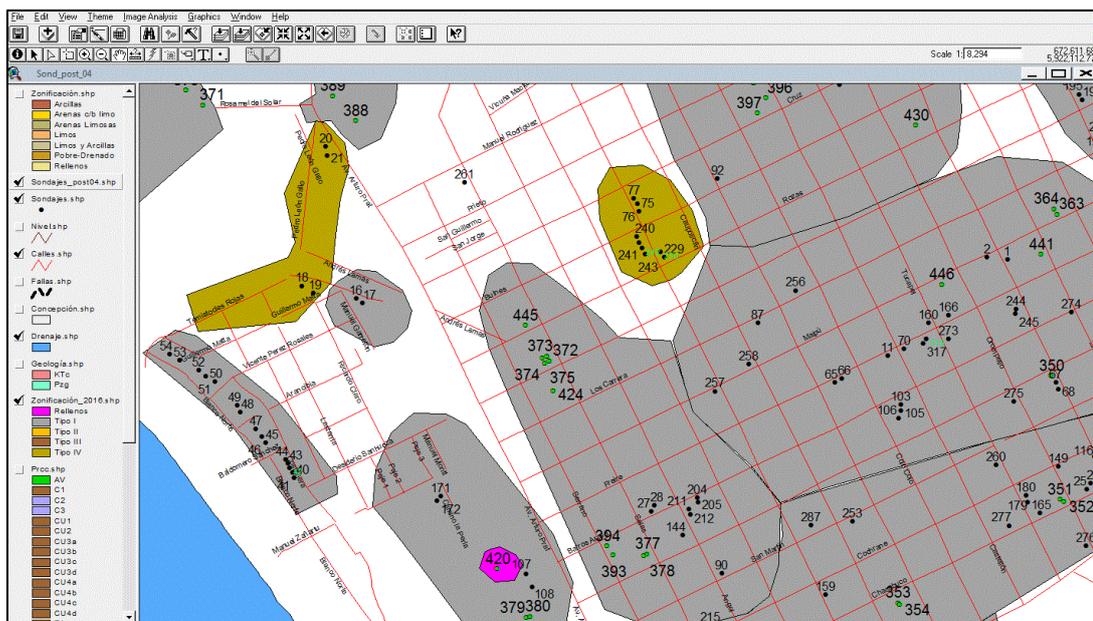
La base de este trabajo, utiliza 124 sondajes realizados en el periodo 2004 y 2015, 327 sondajes realizados en el periodo entre 1967 y 2003, obteniendo un total de 451 sondajes.

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

- Liem Ltda.
- Aragón Ingeniería de Suelos Ltda.
- Terrasonda
- Dirección de Obras Municipales (D.O.M.)

#### 4.2 Organización de la Información

Con la información de las prospecciones disponible, se procede a enumerar cada uno de los sondeos y a ubicarlos aproximadamente en el plano de Concepción. Cabe destacar que la numeración realizada se hizo continuando con la propuesta por Inostroza (2004). Como se puede apreciar en la Figura 5, cada punto representa un sondeo, y tiene su numeración correspondiente.



**Figura 5. Ubicación de algunos Sondajes en el Plano de Concepción con su respectiva numeración**

ArcView, trabaja incorporando información por capas o temas, los cuales se encuentran en la columna izquierda del programa. En este caso la capa denominada *Sondajes\_post2004*, es la que contiene la información correspondiente a las prospecciones reunidas para este estudio, realizadas posteriores al año 2004.

Utilizando la herramienta “Identify” , se puede obtener la información respectiva a cada sondeo efectuado, tales como: estratigrafía, profundidad, nivel freático y clasificación USCS.

En la Figura 6 se puede apreciar la descripción del sondaje utilizando la herramienta “Identify”.

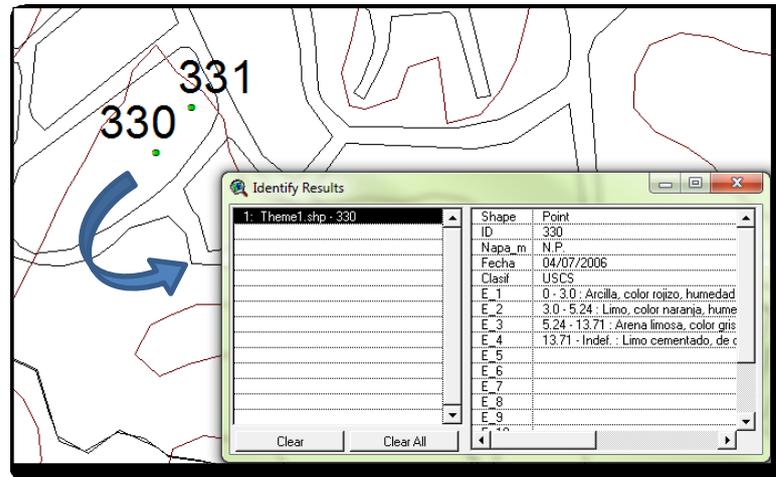


Figura 6. Descripción de sondaje utilizando la herramienta Identify

Donde:

- **Id:** Corresponde al número asignado a cada sondaje
- **Napa\_m:** Corresponde a la profundidad de la napa en metros.
- **Fecha:** Fecha de ejecución del sondaje.
- **Clasif:** Correspondiente al tipo de clasificación utilizado (USCS / ASHTOO)
- **E\_\*:** Corresponde al estrato, donde se describe la profundidad, clasificación y color del mismo.

#### 4.3 Implementación Normativa

El D.S. N°61, nace de la necesidad de adecuar y complementar las normativas de años anteriores (NCh433 y sus modificaciones, Decreto Supremo N°117, etc.), con el objeto de ajustar factores de seguridad y estándares de diseño sísmico de edificios.

La experiencia empírica y teórica indica que el mejor comportamiento sísmico de los suelos, se observa en aquellos de afloramiento rocoso y por el contrario, el mayor daño en suelos con contenido alto de finos en estado blando. Consecuentemente 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.

De acuerdo al comportamiento sísmico esperado, se han definido distintos tipos de suelos, los cuales poseen propiedades geotécnicas de requisito mínimo para cada caso. La tabla 3 define la clasificación sísmica propuesta en el D.S. N° 61.

Para poder implementar los parámetros exigidos por el D.S. N°61, es necesario corregir el Índice de penetración estándar (Nspt) entregado por el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), este valor debe corregirse por una presión de confinamiento de 0,1 MPa, donde esta corrección sólo es aplicable a suelos que clasifican como arenas.

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 1. Clasificación sísmica del terreno de fundación dispuesto en DS 61**

| Suelo tipo |   | $V_{s30}$<br>(m/s) | RQD          | $q_u$<br>(Mpa) | $(N_1)$ (golpes/pie) | $S_u$<br>(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                                     | *                  | *            | *              | *                    | *              |

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

La velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) puede ser medida por los ensayos Down-hole, Cross-hole o sonda de suspensión o a partir de mediciones de ondas superficiales (Rayleigh), por métodos como SASW, MASW o ReMi.

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 González, 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% comparándolos con  $V_{s30}$  determinados a partir de ensayos down-hole.

Cabe mencionar que las correlaciones del SPT, se han hecho para suelos de otros lugares del mundo, por lo que se debe tener cuidado en su uso.

La correlación utilizada en este estudio, corresponde a la determinada por Kiku et al. (2001). González (2011) estima que esta correlación es la que posee un factor de seguridad más alto en comparación a otras, comparando los resultados con mediciones obtenidas por Down-hole en dos sectores de Concepción.

Debido a la poca cantidad de información obtenida por González (2011), es que sus resultados no pudieron ser validados, es por esto mismo, que se escoge la correlación con un factor de seguridad más alto.

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

#### **4.4 Zonificación y Modelación Estratigráfica**

Para la generación de las distintas zonas, se procedió de la siguiente manera:

- a) Se agruparon todos los sondajes que contienen estratigrafía de similares características.

- b) Se definieron los bordes de las zonas, aplicando una influencia radial sobre cada punto de los sondeos.
- c) Se comparó la composición general de los sondeos que componen la zona, observando el suelo predominante hasta profundidades aproximadas hasta los 10 metros de profundidad, sin tomar en cuenta rellenos superficiales de poca profundidad (3 – 4 metros).
- d) Se procede a clasificar la zona según la Tabla 2.

**Tabla 2, Clasificación empleada en Zonificación**

| <b>Clasificación</b> | <b>Descripción</b>                     | <b>Color</b>  |
|----------------------|--|---|
| Tipo I               | Arenas limosas                         |  |
| Tipo II              | Arcillas                               |  |
| Tipo III             | Limos                                  |  |
| Tipo IV              | Limos y Arcillas                       |  |
| Rellenos             | Rellenos mayores a 5 m. de profundidad |  |

Nota: La clasificación definida en la Tabla 2, se realizó considerando los tipos de suelos más característicos en los suelos de la Comuna de Concepción.

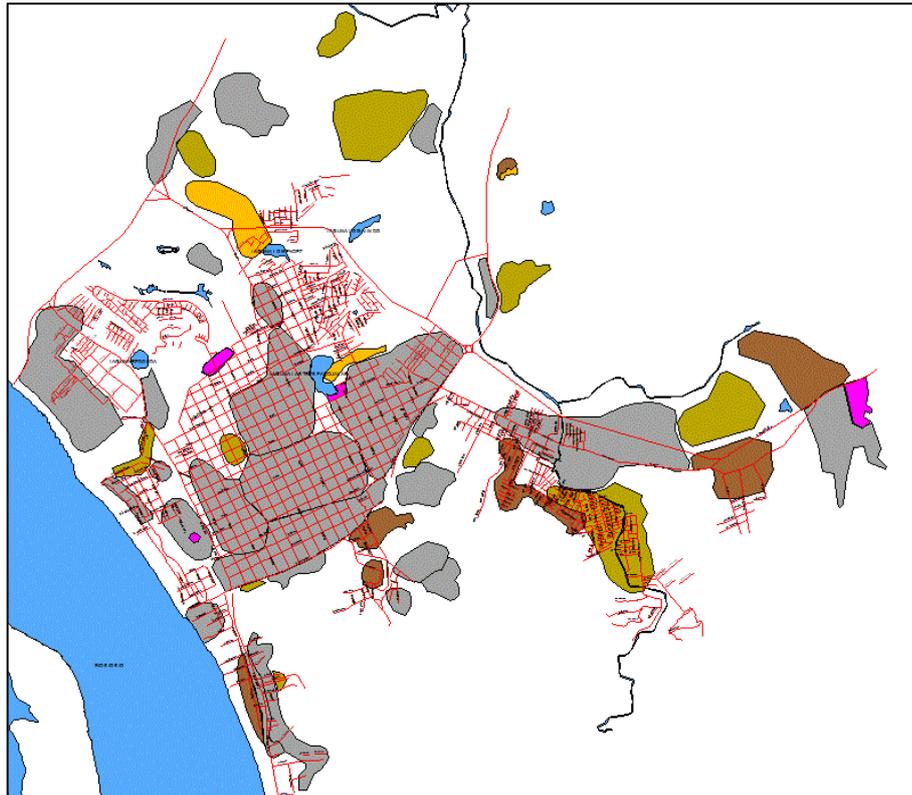
Una vez definidas las zonas y su clasificación, se procedió a realizar los modelos estratigráficos, los cuales se construyeron utilizando los siguientes pasos:

- a) Realización de un corte A-B, el cual es aplicado en la dirección donde existe mayor densidad de sondeos de cada zona definida.
- b) Proyección de los sondeos y/o modelos estratigráficos existentes al corte A-B
- c) Observar y planificar la relación estratigráfica entre los sondeos proyectados
- d) Modelar estratigráficamente en profundidad los sondeos, implementado gráfico N<sub>spt</sub> y V<sub>s30</sub>

De esta manera se generan modelos estratigráficos para cada zona con similitud estratigráfica, los cuales contienen información respectiva a profundidad, estratigrafía, clasificación USCS, nivel freático, N<sub>spt</sub> en profundidad y V<sub>s30</sub>.

En la figura 7, se puede apreciar la Zonificación realizada y su respectiva leyenda.

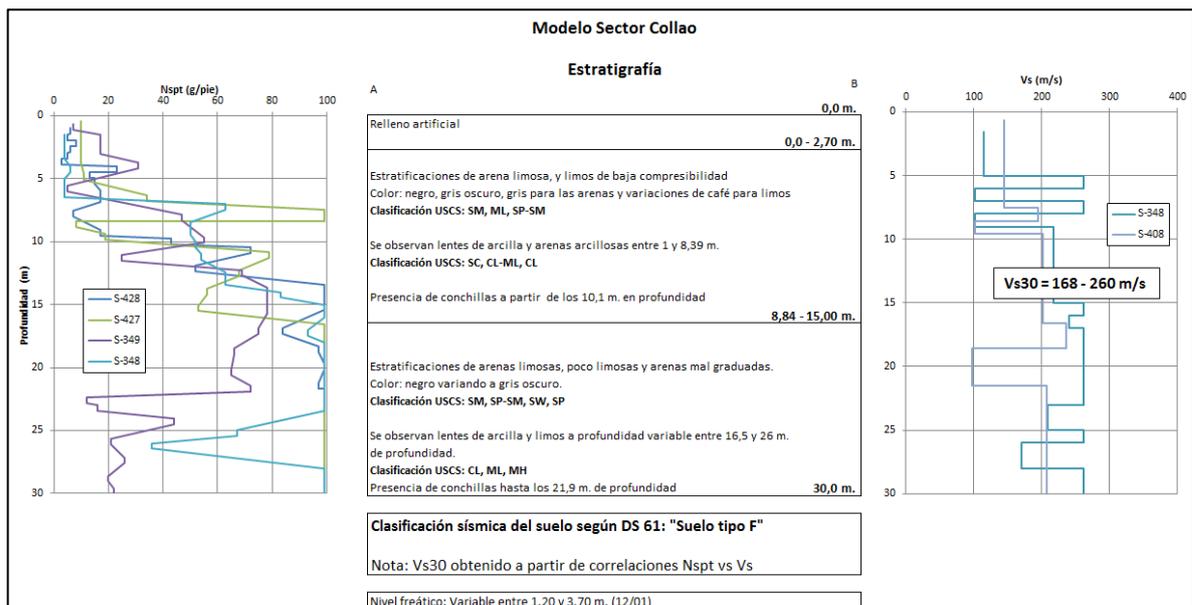
Para ingresar a los modelos estratigráficos, es necesario seleccionar en el panel de la izquierda el tema *Zonificación\_2016*, y luego seleccionar con la herramienta Hot-link  el sector que se desea observar.



**Figura 7. Zonificación de los suelos de Concepción**

La Figura 8, representa un ejemplo de modelo estratigráfico para el sector de Collao.

La modelación de cada sector posee un gráfico Nspt, una columna estratigráfica representativa, un gráfico Vs en profundidad con su respectivo Vs30, Clasificación USCS, Clasificación sísmica del suelo según D.S. N°61 y Nivel Freático.



**Figura 8. Ejemplo modelo estratigráfico correspondiente al sector de Collao.**

Las modelaciones estratigráficas de cada sector, se describen en el Anexo E: “Modelaciones estratigráficas”.

#### **4.5 Análisis Plan regulador v/s Zonificación**

El análisis del Plan Regulador Comunal de Concepción v/s zonificación se desarrolló en base al análisis de la calidad de los suelos presentes en las áreas normadas por el PRCC que permiten edificaciones en altura y que se encuentran dentro de las zonas definidas en el capítulo 4.4 de este trabajo.

Para llevar a cabo este trabajo, se analizará cada modelo estratigráfico y en base a las características de los mismos, se definirá una profundidad donde exista un estrato adecuado en el que se pueda fundar, realizando observaciones pertinentes en cada análisis.

El análisis del Plan Regulador v/s Zonificación se presenta en el Anexo B: “Análisis Zonificación v/s Plan regulador”, donde se expone una tabla resumen (ver Tabla B1), que contiene la siguiente información:

- El N° del sector en análisis
- Zona PRCC a la que corresponde
- Usos de suelo
- Observaciones

Además, se cuenta con dos tablas de las zonas definidas en la Ordenanza Local del PRCC que permiten edificaciones en altura, ver Tabla B2 y B3.

Para el desarrollo de este trabajo, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El “rechazo” (más de 50 golpes en 15 cm.), se asumió con un valor de 100 golpes.
- Los sondajes están referenciados a cota terreno.
- El análisis Plan regulador v/s Zonificación, solo se aplicara a aquellos modelos que puedan clasificarse según las exigencias del D.S. N° 61, contrariamente los modelos que no cuentan con los parámetros de  $N_1$  y  $V_{s30}$  exigidos por el decreto, quedan fuera de este análisis.

#### **4.6 Resultados**

Los resultados obtenidos del trabajo realizado correspondiente a la zonificación y estratificación de los suelos de la Comuna de Concepción, serán agrupados en tablas de acuerdo a sus características más relevantes como: Tipo de zona, Clasificación según D.S. N° 61, clasificación U.S.C.S., descripción general del suelo, y observaciones de mayor importancia. Adicional se presentará, el plano correspondiente a la Zonificación realizada en los suelos de Concepción.

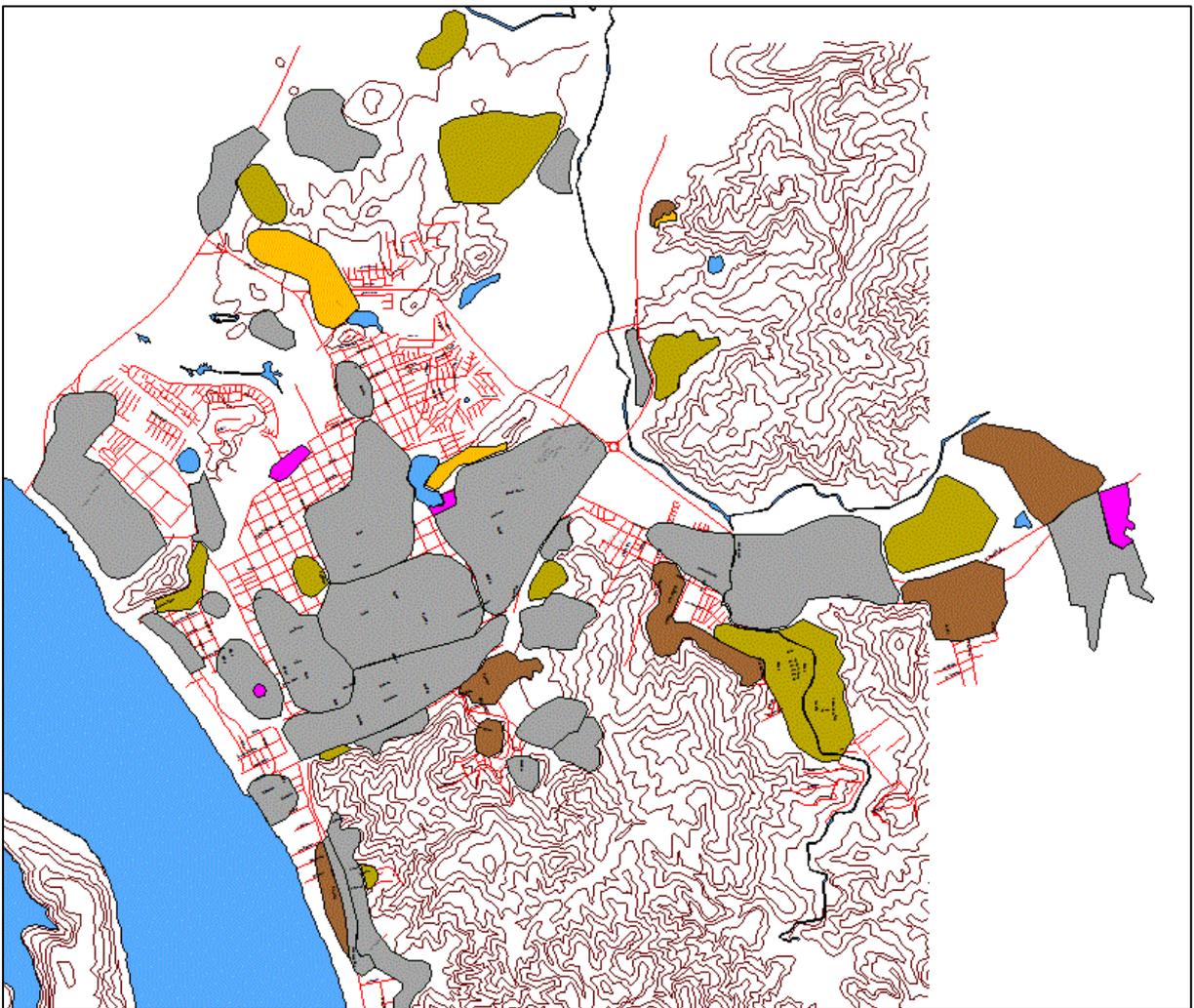
Los resultados correspondientes al análisis del Plan Regulador v/s Zonificación serán agrupados en una tabla de acuerdo a lo siguiente: N° Modelo sector en estudio, zona PRCC, Uso de suelo permitido (según Ordenanza Local del PRCC) y profundidad del estrato portante. Del análisis realizado a los resultados obtenidos se definirá, cual es la vinculación existente entre el Plan Regulador y la Zonificación.

Dado que existen modelos de sectores que clasifican como Tipo F (suelos especiales) según D.S. N° 61, es necesario realizar un análisis de potencial de licuación, el análisis realizado se encuentra en el Anexo D: “Análisis del Potencial de Licuación”. Los resultados obtenidos del análisis del Potencial de Licuación serán agrupados en una tabla de acuerdo al sector correspondiente en análisis, potencial de licuación y profundidad en la que puede ser potencialmente licuable.

Después de definir cada tabla, se procederá a describir la información más relevante y a interpretar los resultados obtenidos.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base al trabajo de zonificación y estratificación realizado en la Comuna de Concepción, donde se clasifican las distintas zonas obtenidas del análisis de datos de los sondeos recopilados en función del tipo de suelo predominante en profundidad y del análisis de los modelos estratigráficos generados para cada zona, se obtiene la Tabla de “Resultados Zonificación y Estratificación de los suelos en la comuna de Concepción”, Ver Tabla C1 del Anexo C: “Resultados Zonificación” y el mapa de Concepción con su Zonificación realizada para este estudio en la Figura 9.



**Figura 9: Zonificación de los suelos de Concepción realizada en este estudio.**

Los suelos tipo I (según clasificación establecida en Capítulo 4,4) constituyen en gran parte los suelos de Concepción. Estos suelos 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. (Ver Tabla C1)

En los sectores correspondientes a las laderas de los cerros existentes, es posible encontrar depósitos coluviales inconsolidados, correspondientes a arenas limosas provenientes de la erosión del granito (localmente conocido como Maicillo). (Ver Tabla C1)

Estos tipos de suelos presentan  $V_{s30}$  entre 160 y 348 m/s, además presentan Índices de Penetración Estándar mayores a 20 (golpes/pie) desde los 5,0 metros de profundidad, lo que permite clasificar estos suelos generalmente como tipo E, D y F según D.S. N°61. (Ver Tabla C1)

Los suelos clasificados como Tipo II, corresponden principalmente a arcillas arenosas y arenas arcillosas. Estos suelos se encuentran principalmente en las laderas de los cerros presentes en la comuna y alcanzan profundidades de hasta 11 metros, adicionalmente, presentan Índices de penetración estándar mayores a 20 (golpes/pie) desde los 6 metros de profundidad y clasifican según U.S.C.S. como CH, CL y SC. (Ver Tabla C1)

Los suelos tipo III, corresponden a estratificaciones de limos con porcentajes variables de arena. Estos estratos presentan distintas tonalidades de color gris (gris claro, gris oscuro, gris café) y alcanzan profundidades de hasta 12,0 metros, además en algunos sectores se observan estratificaciones intermedias de arenas limosas a profundidades variables. Estos suelos clasifican según U.S.C.S. como ML y MH. (Ver Tabla C1)

En cuanto al Índice de Penetración Estándar se obtienen valores mayores a 20 (golpes/pie) desde los 6,0 metros en profundidad. (Ver Tabla C1)

Estos suelos presentan  $V_{s30}$  entre 170 a 200 m/s e Índices de Penetración Estándar mayores a 20 (golpes/pie) desde los 5,0 m. en profundidad, obteniendo sectores que clasifican generalmente como tipo E y F según D.S. N° 61. (Ver Tabla C1)

Los suelos correspondientes al tipo IV, están conformados por estratificaciones de arcillas y limos, con algunas inclusiones de arenas arcillosas en menor proporción, presentan colores que varían desde amarillos, distintas tonalidades de café y grises. Se encuentran en profundidades de hasta 30,0 metros. (Ver Tabla C1)

Estos suelos presentan valores de  $V_{s30}$  entre 170 a 200 m/s e Índices de Penetración Estándar mayores a 20 golpes/pie desde los 5,0 metros de profundidad, lo que implica que estos tipos de suelos califiquen generalmente como tipo E y F según D.S. N° 61. (Ver Tabla C1)

Hay sectores donde se presentan rellenos no controlados de más de 4,0 metros de profundidad, los que clasifican como “Rellenos”, en estos sectores las prospecciones realizadas son de poca profundidad. (Ver Tabla C1)

Dado que existen zonas que los suelos califican como tipo F: “Suelos especiales” (según D.S. N° 61), los que pueden ser potencialmente licuables, colapsables, orgánicos, entre otros, es que se hace necesario realizar análisis especiales en dichos suelos, para fines de este estudio y en consideración que la gran parte de los suelos de Concepción corresponden a arenas, es que sólo se realizarán análisis de potencial de licuación a dichos suelos. Ver tabla C3: Resultados análisis potencial de licuación” del Anexo C: “Análisis de licuación”.

De la tabla C3, se obtiene que existen zonas que son potencialmente licuables en Concepción, estas corresponden a los sectores: Cementerio, Cerro La Virgen, Collao, Lomas San Andrés. (Ver Tabla C3)

Del análisis realizado al sector Cementerio, se obtiene que sea potencialmente licuable entre 4,0 a 10,0 metros y 21,0 a 26,0 metros en profundidad. Considerando que presenta Índices de penetración ( $N_1$ ) mayores a 20 (golpes/pie) se descarta que sea potencialmente licuable (D.S. N°61, 2011). (Ver Tabla C3)

Para el modelo correspondiente al sector Cerro La Virgen, el suelo en este sector es potencialmente licuable entre 4,0 a 8,0 metros. Bajo los 8 metros presenta  $N_1 > 20$  (golpes/pie), por lo que se descarta que sea potencialmente licuable bajo esta profundidad (D.S. N°61, 2011). (Ver Tabla C3)

Para el sector correspondiente a Collao, el suelo es potencialmente licuable entre 26,0 y 28,0 metros de profundidad. Sobre los 25,0 metros se presentan  $N_1$  mayores a 20 (golpes/pie) por lo que se descarta que resulte potencialmente licuable sobre esta profundidad. (Ver Tabla C3)

Para el sector de Lomas San Andrés, el suelo resulta potencialmente licuable hasta los 7,0 metros. (Ver Tabla C3)

El sector correspondiente a Nonguén resulta potencialmente licuable entre los 4,75 y 6,55 metros de profundidad. (Ver Tabla C3)

En base a los resultados obtenidos de la estratificación y zonificación realizados en este trabajo, se puede determinar que los suelos de fundación de Concepción están constituidos principalmente por suelos del tipo I (estratificaciones de arenas limosas) y los sectores

aledaños a cerros corresponden a tipo II, III y IV (limos y arcillas) en menor medida, existiendo casos puntuales de rellenos no controlados de profundidad importante.

Superficialmente hasta profundidades aproximadas de 10,0 metros, se encuentran suelos de propiedades mecánicas deficientes, lo que implica que los mismos califiquen como tipo D, E y F (según D.S. N° 61).

De los análisis de licuación realizados se obtiene que todos los sectores que califican como tipo F sean potencialmente licuables en alguno de sus estratos.

Con respecto al nivel freático, este se ha observado en la mayoría de los sondajes, fluctuando entre 0,5 y 10,0 metros de profundidad, dependiendo de la variación estacional y las precipitaciones anuales.

Del trabajo realizado correspondiente al Análisis del Plan Regulador v/s Zonificación se realizó una comparación entre los usos de suelos que permiten edificaciones en altura (habitacional, corredores urbanos, servicios y equipamiento) en contraste con la profundidad a la que se encuentran los estratos adecuados para fundar.

De los resultados obtenidos se obtiene:

La zona correspondiente al Modelo Andalién está constituida por zona habitacional y el estrato portante se encuentra bajo los 12,5 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Cementerio está constituida por zonas de equipamiento habitacional y corredores urbanos. El estrato portante se encuentra bajo los 10,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Centro Norte está constituida por zonas de equipamiento habitacional y corredores urbanos. El estrato portante se encuentra bajo los 9,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Centro Oeste está constituida por zonas del tipo habitacional, servicios y equipamiento. El estrato portante se encuentra bajo los 19,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Centro Sur está constituida por zonas del tipo corredor urbano, servicios y equipamiento. El estrato portante se encuentra bajo los 6,8 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Cerro Caracol está constituida por zonas del tipo corredor habitacional, protección de paisaje y ecológica. El estrato portante se encuentra bajo los 7,0 metros de profundidad. Cabe señalar que en la zona definida por el PRCC como protección ecológica está prohibido edificar. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Cerro La Virgen está constituida por zonas del tipo habitacional. El estrato portante se encuentra bajo los 11,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Collao está constituida por zonas del tipo corredor urbano, habitacional y equipamiento. El estrato portante se encuentra bajo los 12,25 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Centro Nor-este está constituida por zonas del tipo corredor urbano, habitacional y equipamiento. El estrato portante se encuentra bajo los 12,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Centro está constituida por zonas del tipo habitacional, servicio y equipamiento. El estrato portante se encuentra bajo los 10,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Condominio Aire Mediterráneo está constituida por zonas del tipo habitacional, y corredor urbano. El estrato portante se encuentra bajo los 23,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Ebenezer está constituida por zonas del tipo habitacional, y corredor urbano. El estrato portante se encuentra bajo los 6,18 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Lo Pequeño está constituida por zonas del tipo habitacional. El estrato portante se encuentra bajo los 10,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Lomas San Andrés está constituida por zonas del tipo habitacional. El estrato portante se encuentra bajo los 19,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Nonguén está constituida por zonas del tipo habitacional y equipamiento. El estrato portante se encuentra bajo los 17,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Pedro de Valdivia Alto está constituida por zonas del tipo habitacional, corredor urbano y protección de paisaje. El estrato portante se encuentra bajo los 4,7 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

La zona correspondiente al Modelo Valle Escondido está constituida por zonas del tipo habitacional. El estrato portante se encuentra bajo los 7,0 metros de profundidad. (Ver Tabla C2)

De los resultados observados se puede determinar que el uso de suelo determinado en el PRCC no está vinculado con el tipo ni calidad de los suelos presentes, solo pretende generar una planificación territorial de la comuna, por lo tanto, para cualquier proyecto de edificación en altura que se desee edificar en las zonas permitidas por el PRCC, ya sean habitacional, corredores urbanos, protección ecológica, servicios y protección, es necesario realizar los estudios de mecánica de suelos pertinentes definidos en las normativas.

Para la realización de este trabajo, fue necesario implementar grandes volúmenes de información en ArcView (sistema de información geográfica), en el cual se agregaron datos de sondajes y sus estratigrafías, se definieron las zonificaciones, se crearon modelos estratigráficos y se analizaron datos. En la Figura C1, se puede visualizar el mapa obtenido como resultado de la zonificación utilizando ArcView, y en el Anexo E: “Modelaciones Estratigráficas”, los modelos estratigráficos implementados en el programa, que se pueden visualizar utilizando las herramientas del mismo (ver Capítulo 4,4).

Adicionalmente, se realizaron 3 perfiles estratigráficos en AutoCad correspondientes a las calles que presentan una mayor concentración de sondajes y un menor desnivel, las calles son: Chacabuco, Collao y una proyección entre Maipú y Freire.

En cada perfil se describe la estratigrafía en profundidad caracterizada mediante la clasificación U.S.C.S, además de la profundidad del nivel freático.

Los 3 perfiles estratigráficos realizados presentan las mismas características: estratificaciones de arenas limosas y lentes de limos a profundidad variable, el nivel freático se ve afectado por la variación estacional y las precipitaciones anuales.

Cabe mencionar que se trabajó con los niveles del nivel freático correspondientes a las fechas de ejecución de los sondajes.

Como resultado se obtiene que cada perfil estratigráfico realizado se condice con la zonificación y el modelo estratigráfico realizado para esa zona.

## 6. CONCLUSIONES

- La investigación realizada en este trabajo, utiliza como base la realizada por Inostroza G. (2004), a modo de actualizar y complementar la información existente hasta ese momento, siendo este trabajo una segunda aproximación para una adecuada estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Concepción, donde se ha implementado el último reglamento vigente hasta la fecha que fija las bases para el adecuado diseño sísmico de edificios en nuestro país (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 Concepción.
- 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 Concepción, además, de servir para investigaciones académicas
- Los sondeos obtenidos de las distintas fuentes de información se encuentran referenciados a cota terreno, por lo que no existe un punto de referencia en común de los mismos, implicando en imperfecciones de las modelaciones estratigráficas construidas en este trabajo.
- 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 17 de las Zonas establecidas en este estudio.
- Los suelos de la Comuna de Concepción están constituidos en gran parte por arenas limosas del tipo Biobío (sedimentadas por antiguos causes del río con el mismo nombre), 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 los cuales clasifican principalmente como: MH y ML.
- En los sectores correspondientes a las laderas de los cerros existentes, es posible encontrar depósitos coluviales inconsolidados, los cuales clasifican como SM (Maicillo), MH, ML, SC, CL y CH. Estos depósitos se originan debido a la meteorización y erosión de las rocas graníticas y sedimentarias de las cuales están constituidos los cerros en sus basamentos rocosos.

- La clasificación sísmica de los suelos presentes en la Comuna de Concepción, califican generalmente según D.S. N°61 como suelos tipo: D, E y F (Suelos especiales). Presentan velocidad de propagación de ondas de corte hasta los primeros 30 m. de profundidad ( $V_{s30}$ ) en valores aproximados a los 200 m/s, con valores mínimos de 145 m/s obtenida en el sector correspondiente al modelo estratigráfico: Condominio Aire Mediterráneo, y valores máximos de 348 m/s obtenidos en el sector Cerro Caracol.
- Concepción presenta sectores potencialmente licuables, los cuales corresponden a las zonas definidas como: Cementerio, Cerro La Virgen, Collao, Lomas San Andrés y Nonguén.
- La profundidad del Nivel freático en la mayoría de los sectores de Concepción fluctúa entre 0,5 y 10 m de profundidad, dependiendo de la variación estacional y las precipitaciones anuales.

## 7. RECOMENDACIONES

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

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aoki, N., Esquivel, E. R., Neves, L. F., & Cintra, J. C. A., (2007). The impact efficiency obtained from static load test performed on the SPT sampler. *Soils and foundations*, 47(6), 1045-1052.
- Decreto Supremo N°61, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Subsecretaria, Santiago, Chile, 02 Noviembre 2011.
- Galli, C., Geología urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Universidad de Concepción, 1967.
- Galli, C., y Lemke. R.W., El suelo de fundación de Concepción. Estudios Geotécnicos n°2, Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago, Chile 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 Concepción mod. Marzo 2005, Agosto 2006, Febrero 2009, Septiembre 2009 y mod. Vialidad 2015. Concepción, Chile, 2015.
- Plan Regulador Comunal de Concepción, 2015.
- 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.
- Vivallos, J., Ramírez, P., Fonseca, A., 2010, Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Concepción, Región del Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 12, 3 mapas en una hoja escala 1:20.000. Santiago, Chile.

- 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.