

UNIVERSIDAD DEL BÍO- BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROFESOR PATROCINANTE:

ING. CARMEN GONZÁLEZ LABBÉ

**ESTRATIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE
LOS SUELOS DE LA COMUNA DE PENCO,
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG**

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

FELIPE GUIÑEZ CONTRERAS

Concepción, Abril de 2016

ESTRATIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA COMUNA DE PENCO, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG

Felipe Guíñez Contreras

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

feguinez@alumnos.ubiobio.cl

Ing. Carmen González Labbé

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

cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN

Hoy, 466 años después de su fundación, la comuna de Penco se enfrenta a la disyuntiva sobre una correcta alternativa de expansión. Ante esto, un importante factor corresponde a los suelos que componen la comuna, ya que no se tiene información preliminar del subsuelo, si este es apropiado, o si es necesario proyectar mejoramientos, sistemas de fundaciones más profundos y/o fundaciones especiales ante futuras construcciones, lo que encarece la ejecución de la obra. La propuesta desarrollada en esta memoria se presenta como una primera aproximación a una estratificación y zonificación de los suelos de la Comuna de Penco, desarrollada en base a una recopilación de 41 sondajes dentro de la comuna, en complemento con la creación de distintas bases en el programa SIG “ArcGis”, lo cual dio origen a la creación de 3 Modelos Estratigráficos de distintos sectores dentro de esta. Para cada sector se realizó un análisis de las alturas de edificación estipuladas por el Plan Regulador v/s la calidad del suelo en profundidad, planteando un lineamiento para el diseño de fundaciones en cada sector.

Palabras claves: Zonificación; Estratificación; Penco; sondajes.

Conteo de palabras: $6958 + 22 \text{ Figuras/Tablas} * 250 = 12458$ Palabras Totales.

STRATIFICATION SOIL AND ZONING OF THE BOROUGH OF PENCO, BY APPLYING GIS.

Felipe Guíñez Contreras

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío
feguinez@alumnos.ubiobio.cl

Ing. Carmen González Labbé

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío
cgonzal@ubiobio.cl

ABSTRACT

After 466 years of its foundation, the commune of Penco faces the dilemma over a right expansion alternative. Given this, an important factor correspond to the soils that compose the commune, since there's no preliminary information of the subsoil, if this is appropriate, or if is necessary to project improvements, deeper foundation systems and/or special foundations for future constructions, which increases the budget of the project. The proposal developed in this thesis is presented as a first approximation to a stratification and zoning of the soils from the commune of Penco, based in a recollection of 41 soil borings within the commune, in complement with the creation of different bases in the software SIG "ArcGis", which led to the creation of 3 stratigraphic models from different sectors within the commune. For each sector, an analysis of the building heights stipulated by the regulatory plan versus the soil quality in depth was made, posing a guideline for the foundations design in each sector.

Keywords: Zoning; Stratification; Penco; soundings.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una modelación estratigráfica de los suelos de la Comuna de Penco, de manera de aportar a la planificación urbana de la comuna.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Sistematizar información geológica y geotécnica de los suelos de la comuna de Penco, en relación al tipo de suelo y calidad de este en profundidad, incluyendo diversos estratos de subsuelo.
- 2) Sectorizar zonas, en las cuales su comportamiento geológico sea uniforme.
- 3) Elaborar una base de datos que sirva de apoyo para la realización de proyectos y estudios geotécnicos para la comuna de Penco.

ÍNDICE.

1	ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO.....	6
1.1.	Antecedentes Geográficos.	6
1.2.	Antecedentes Climáticos.....	7
1.3.	Características Hidrográficas.	7
1.3.1.	Rio Andalién.....	7
1.4.	Relieve.	8
1.5.	Aspectos Geológicos.....	8
1.6.	Plan Regulador Comunal.	10
2.	ESTRATIFICACION Y ZONIFICACION DE LOS SUELOS DE LA COMUNA DE PENCO.	11
2.1.	Recopilación de información.	11
2.2.	Organización de la Información.....	12
2.3.	Sistema SIG.	13
2.4.	Modelación Estratigráfica.....	16
2.5.	Zonificación del suelo.....	20
2.6.	Información Adicional.	21
2.6.1.	Mapa geológico.	21
2.6.2.	Fotografías Satelitales.	22
3.	ANÁLISIS.....	23
3.1	Presencia de la Roca Madre en Penco costero.....	24
3.2	Zonas Creadas.....	26
3.2.1	Zona 1.....	27
3.2.2	Zona 2.....	31
3.2.3	Zona 3.....	34
3.4	Análisis Calicatas.....	39
3.5	Posibles zonas a caracterizar.....	42
3.5.1	Zona Cerros.	42
3.5.2	Costa de Penco.	43
4.	CONCLUSIONES.	44

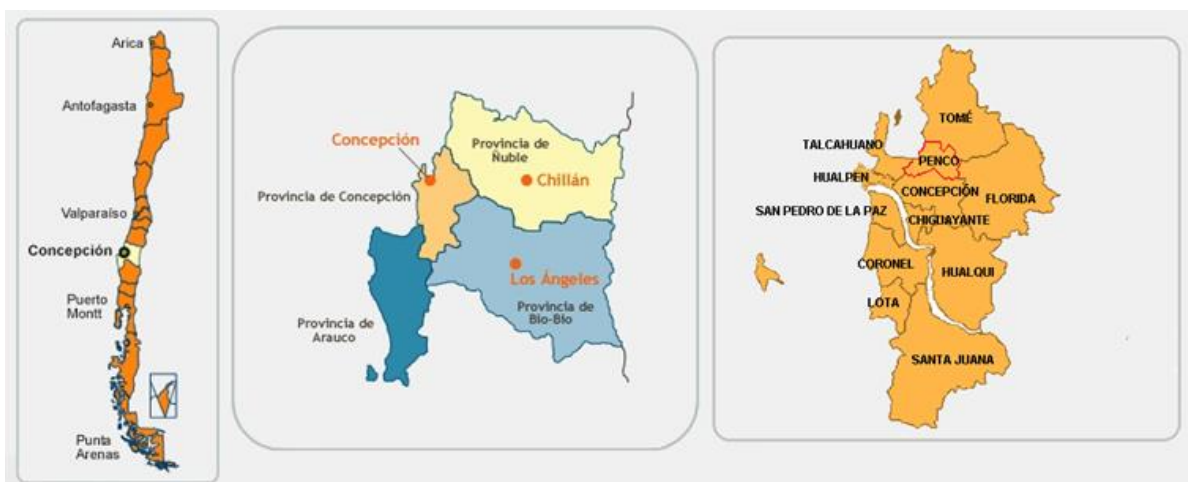
5. RECOMENDACIONES.....	46
6. REFERENCIAS.....	47

1 ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO.

1.1. Antecedentes Geográficos.

La Provincia de Concepción es una de las cuatro provincias que componen la Octava Región del Biobío, dentro de esta se encuentra la comuna de Penco, la cual limita al Norte con la Comuna de Tomé y el Océano Pacífico, al Oeste con las Comunas de Hualpén y Talcahuano, al Sur con la Comuna de Concepción y al Este con la Comuna de Florida. Sus coordenadas geográficas son 36°44'S y 72°59'W. Ver Figura N°1.

Figura N° 1: Ubicación geográfica comuna de Penco.



Fuente: Recuperado de <http://www.sjjara.wordpress.com>

La conectividad terrestre de la comuna de Penco con sus aledañas se realiza por medio de los siguientes accesos viales: Ruta 150, que conecta al Sur con la Comuna de Concepción y en su parte Norte con la Comuna de Tomé. Con el resto del país se establece mediante caminos que se conectan con la ruta panamericana 5 Sur, a través de la Ruta del Itata.

Con respecto a la conectividad marítima la comuna de Penco cuenta con dos terminales Portuarios, ubicados en el sector de Lirquén y los Muelles de Penco, los que permiten el desarrollo comercial, industrial, pesquero industrial artesanal y terminal petrolero que prestan servicios a toda la zona centro sur del Chile.

Para el transporte aéreo, a 12 kilómetros, se cuenta con el Aeropuerto Carrier Sur, único aeropuerto internacional de la Octava Región.

1.2. Antecedentes Climáticos.

Según la clasificación de Köppen, el clima de la comuna de Penco corresponde a un Clima Mediterráneo Oceánico de veranos secos o Csb. Este se caracteriza por poseer inviernos fríos o templados, donde la media del mes más frío se encuentra entre -3°C y 18°C , la mayor parte de las lluvias caen en invierno o en las estaciones intermedias. Los veranos son secos y frescos, en donde el mínimo de precipitaciones está bastante marcado y coincide con el periodo de temperaturas más altas, se cumple que la RR media mensual es menor a 30(mm). En el mes más cálido la temperatura media es menor a 22°C y existente cuatro meses con temperatura media mayor a 10°C .

1.3. Características Hidrográficas.

1.3.1. Rio Andalién.

Sistema fluvial de gran importancia para la zona, nace en la Cordillera de la Costa, cerca de la localidad de Florida, de la unión de los esteros Poñén, que proviene de la línea de despluvio del norte y el Curapalihue por el sur. El lecho de este sistema fluvial, pasa al Este de la ciudad de Concepción. Su trazado es del tipo meandriforme, aunque ha sido encauzado por el hombre en algunos sectores. Tiene su desembocadura en Playa Negra, perteneciente a la comuna de Penco.

Su gasto es muy variable y sensible a las lluvias que caen en la Cordillera de la Costa. El caudal medio en verano es de 10 [m³/s], mientras que en invierno y en épocas de crecidas extraordinarias, puede alcanzar los 700 [m³/s] a 1.500 [m³/s].

1.4. Relieve.

Dentro del relieve de la comuna de Penco destaca la presencia de dos de las cuatro macroformas del relieve chileno.

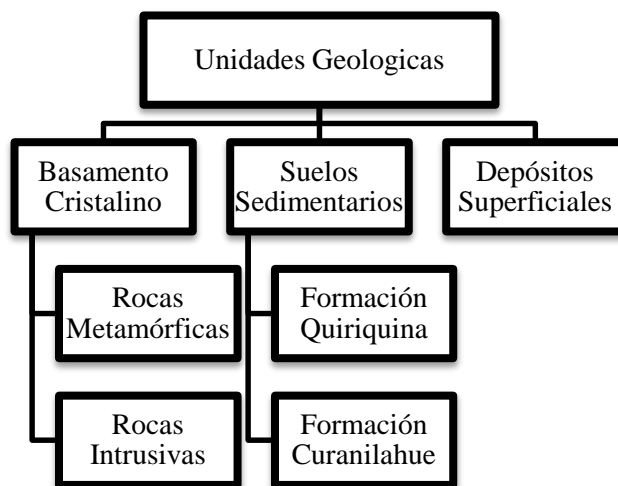
Las planicies litorales: Estas determinan una faja costera en la que están presentes, constituida por planicies de abrasión, formadas debido a la acción destructora del mar sobre las rocas, como por sedimentación marina o fluvio-marina, formada por efecto del depósito de material de origen tectónico, con relleno similar y organización lacustre de los materiales. Estas se extienden hasta la desembocadura del río Andalién.

La cordillera de la costa: Se encuentra fuertemente meteorizada, es decir, desintegrada y descompuesta. Se presenta como una serie de suaves lomajes alrededor de algunos cerros más altos. Dentro de esta aparecen algunas cuencas graníticas y otras de relleno aluvial, que le dan un carácter muy particular. Desciende gradualmente a la llanura desde alturas cercanas a los 200 m.

1.5. Aspectos Geológicos.

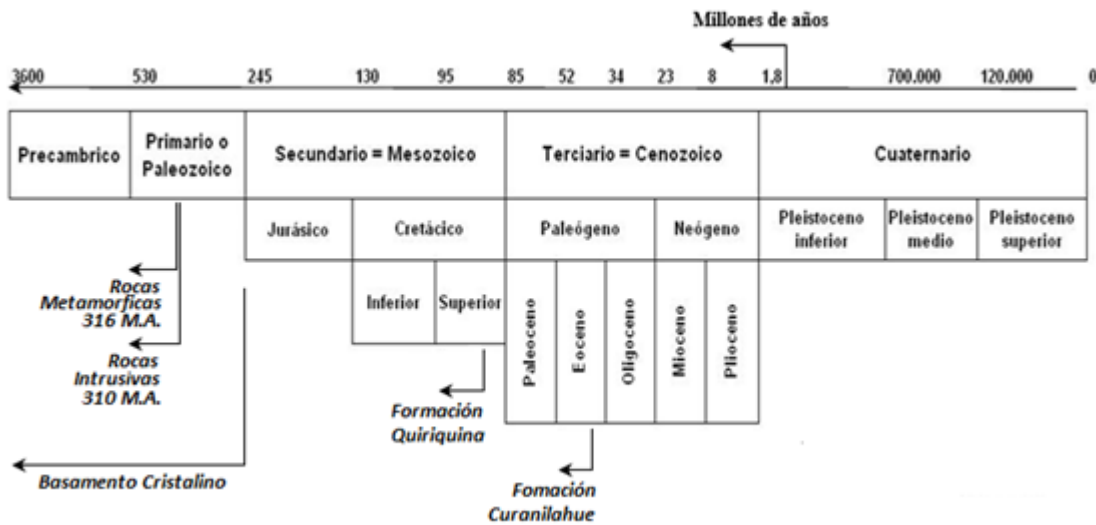
Las rocas y sedimentos presentes en el área de estudio han sido clasificados por Galli (1967), en tres grandes conjuntos estratigráficos, Figura N°2. Todas estas unidades geológicas se diferencian por su época de formación, Figura N°3.

Figura N° 2: Diagrama de unidades Geológicas presentes en la comuna de Penco



Fuente: Guíñez, F. (2016). Elaboración propia.

Figura N° 3: Distribución temporal de las Eras de formación de las distintas Unidades Geológicas presentes en la zona de estudio.



Fuente: Latini; Reyes (1999)

Como se aprecia en la Figura anterior, el Basamento Cristalino tiene su formación hace 542 M.a. y finalizado hace unos 251 M.a., de donde se desprenden las Rocas Metamórficas, la cual se componen principalmente por filitas y pizarras. También están presentes las Rocas Intrusivas que presentan una unidad geológica llamada Batolito Costero del Sur, conformado por Rocas graníticas granitoides, ricas en minerales cuarzo, feldspatos, micas y máficos. Todos éstos minerales menos el cuarzo, se alteran con el clima lluvioso generando un material de descomposición con distintos grados de cohesión, conocido genéricamente con el nombre de maicillo.

La segunda unidad geológica corresponde a los Suelos Sedimentarios formados entre unos 225 y 135 millones de años atrás, están formados por partículas derivadas de otras rocas preexistentes. Su material originario puede ser rocas de cualquier origen y que han sido depositadas después de un transporte por los ríos, océano, corrientes, vientos o hielos. En su estado original, los sedimentos son blandos, pero con el tiempo se endurecen formando rocas compactas, a consecuencia de ciertos procesos como la compactación, cementación y alteraciones químicas. Algunas rocas sedimentarias se caracterizan por la disposición en capas o estratos de los materiales que la componen. Dentro de los suelos sedimentarios se

encuentra la Formación Quiriquina, esta unidad fue definida por Steinmann (1895), la cual comprende una secuencia sedimentaria de origen marino, con abundante contenido fosilífero. Otra formación presente corresponde a la Formación Curanilahue, formada por una secuencia de areniscas amarillentas y mantos de carbón, que sobreyacen en discordancia de erosión a la Formación Quiriquina en la comuna.

Los Depósitos Superficiales corresponden a la última era geológica de la Tierra, se inició hace unos 65 M.a. y se extiende hasta la actualidad, corresponden a unidades geológicas inconsolidadas, dentro de las cuales se encuentran arenas de dunas y el limo, los cuales están distribuidos principalmente en áreas cercanas a la bahía de Penco. Adyacente a las dunas costeras se presenta barro y turba, manifestándose como arena con limo, arcilla, materiales orgánicos finos y turba.

Mayor información sobre la geología de la zona de estudio, ver Anexo N°1 Antecedentes Geológicos de Penco.

1.6. Plan Regulador Comunal.

El Plan Regulador vigente en la comuna de Penco data del año 2007, 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 50 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. Ver Anexos.

2. ESTRATIFICACION Y ZONIFICACION DE LOS SUELOS DE LA COMUNA DE PENCO.

Para el desarrollo de esta modelación estratigráfica de los suelos en profundidad y la posterior Zonificación de estos, se utilizó la siguiente metodología:

- a) Recolección de sondajes realizados en la comuna de Penco.
- b) Estandarización de los datos, considerando su estratigrafía, clasificación USCS, (Unified Soil Classification System en inglés), de los estratos, ubicación geográfica, nivel de la napa y Nspt.
- c) Incorporación de la información en ArcGis 10.3, mediante las coordenadas geográficas de cada prospección.
- d) Realización de la modelación estratigráfica de los suelos en profundidad, empleando los estratos de cada sondaje.
- e) Zonificación de los sectores creados, mediante su clasificación USCS.

Uso de información anexa: Mapa Geológico y curvas de nivel de la zona de estudio.

2.1. Recopilación de información.

La información empleada corresponde a sondajes y calicatas realizados en la comuna de Penco, dichas prospecciones se encuentra en un periodo de tiempo entre los años 1975 y 2015.

Los sondajes que se utilizaron poseen una profundidad mayor a 3.5 metros, mientras que las calicatas poseen una profundidad correspondiente a 3 metros.

La información de los sondajes que se utilizó fue adquirida en diversas empresas dedicadas a estudios de mecánica de suelos, las calicatas fueron realizadas con retroexcavadora proporcionada por el SECPLAN de la comuna de Penco.

- IDIEM.
- ARAGON Ingeniería de suelos LTDA.
- Municipalidad de Penco.
- SERVIU Concepción.
- TERRASONDA.

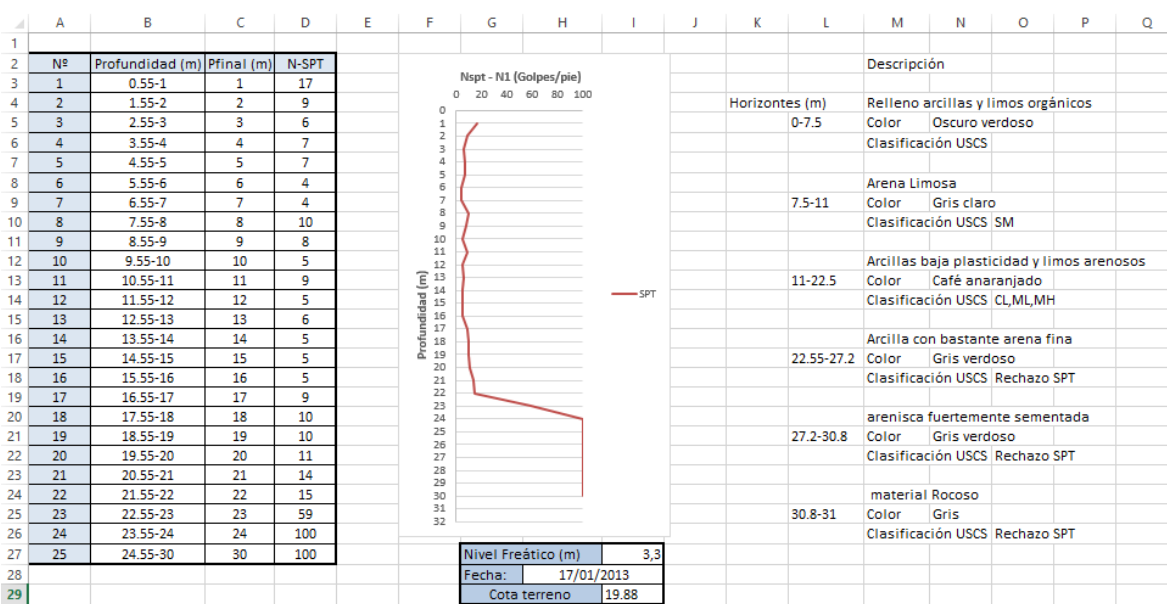
- Laboratorio Mecánica de Suelos Udec.
- PROFUND.
- Geólogo Jorge Quezada Flory.

El estudio está basado en 41 sondajes recolectados y 4 calicatas.

2.2. 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, clasificación USCS, Índice de Penetración Estándar, fecha de ejecución y nivel de la napa freática. Ver Figura N°4.

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



Fuente: Guíñez, F. Elaboración propia. Recuperado de Excel 2013.

2.3. 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
Comunas Octava Región.	cl_08comunas_geo.shp
Ubicación de los Sondajes	Sondajes.shp
Ubicación de las Calicatas	Calicatas.shp
Curvas de nivel.	Curvas_de_nivel.shp
Drenaje (ríos, lagunas, etc).	Drenaje.shp
Sectorización local de los sondajes	Sectores.shp
Línea de Alta Tensión comunal.	Linea_Alta_Tension.shp
Zonas Detectadas	Zonas.shp
Geología del área	Geología.shp
Línea Férrea comunal.	Linea_Ferrea.shp
Vías (Vías colectora, expresa, troncal y Pasajes).	Vias.shp

Fuente: Guíñez, F. (2016). Elaboración propia.

La descripción y uso de cada uno de los temas presentes en la base de datos, se realizó siguiendo el orden de la metodología expuesta anteriormente.

Con los datos de lo sondajes ordenados, se procedió a la georreferenciación de estas en un plano comunal de Penco mediante el uso de ArcGis 10.3, distinguiéndolas en sondajes y calicatas, Figura N°5.

Figura N° 5: Disposición Geográfica de las prospecciones.



Fuente: Guíñez, F. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

En los temas de ArcGis, llamados “Sondajes.shp” y “Calicatas.shp” se tiene la numeración y ubicación de cada una de las prospecciones utilizadas para el estudio. Los sondajes presentes en la zona están representados por marcadores amarillos, y las calicatas pueden ser identificados con marcadores negros.

Para cada uno de estas prospecciones se resume la información trabajada en el punto anterior. Para poder acceder a dicha información, primero se debe activar el tema “Sondaje” y “Calicatas” en el menú de temas y para visualizar el contenido, se utiliza la herramienta “identify”, para posteriormente con el puntero del mouse presionar sobre la prospección de interés, donde se despliega un cuadro con la información del punto, ver Figura N°6.

Figura N° 6: Cuadro que especifica las características de un sondaje determinado.

Field	Value
E1 (m)	0.0-7.5;Relleno Arcillas y Limos;Verdoso Oscuro
E2 (m)	7.5-11;Arena Limosa;Gris Claro;USCS:SM
E3 (m)	11-22.5;Arcillas y Limos;Cafe Naranja;USCS:CL,MH,ML
E4 (m)	22.5-27.2;Arcilla con Arena Fina;Gris Verdoso
E5 (m)	27.2-30.8;Arenisca Fuertemente Sementada,Gris
E6 (m)	30.8-31; Material Rocoso;Gris
Fecha	17/01/2013
FID	0
ID	0
Nivel Freatico (m)	3.3
NSondaje	S1
Shape	Point

Fuente: Guíñez, F. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

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

- Locación: Ubicación geográfica de la prospección.
- E_* (m): Corresponde a la caracterización del estrato. Incluye el rango de profundidades, composición, color del horizonte y clasificación USCS.
- Fecha: Fecha de ejecución de la prospección.
- Nivel Freático (m): Profundidad de la napa en metros.
- NSondaje o NCalicata: Numero de prospección seleccionada.

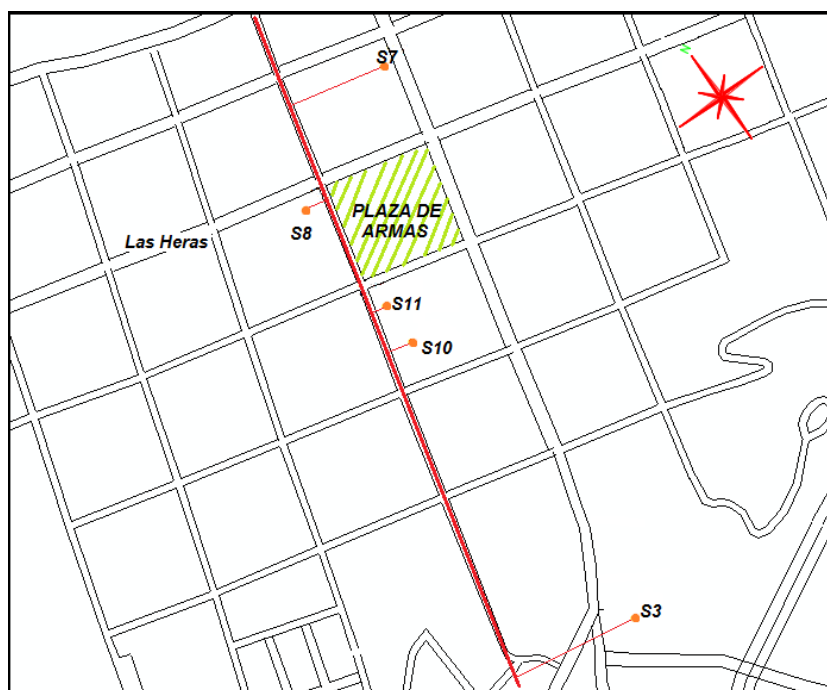
2.4. Modelación Estratigráfica

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:

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

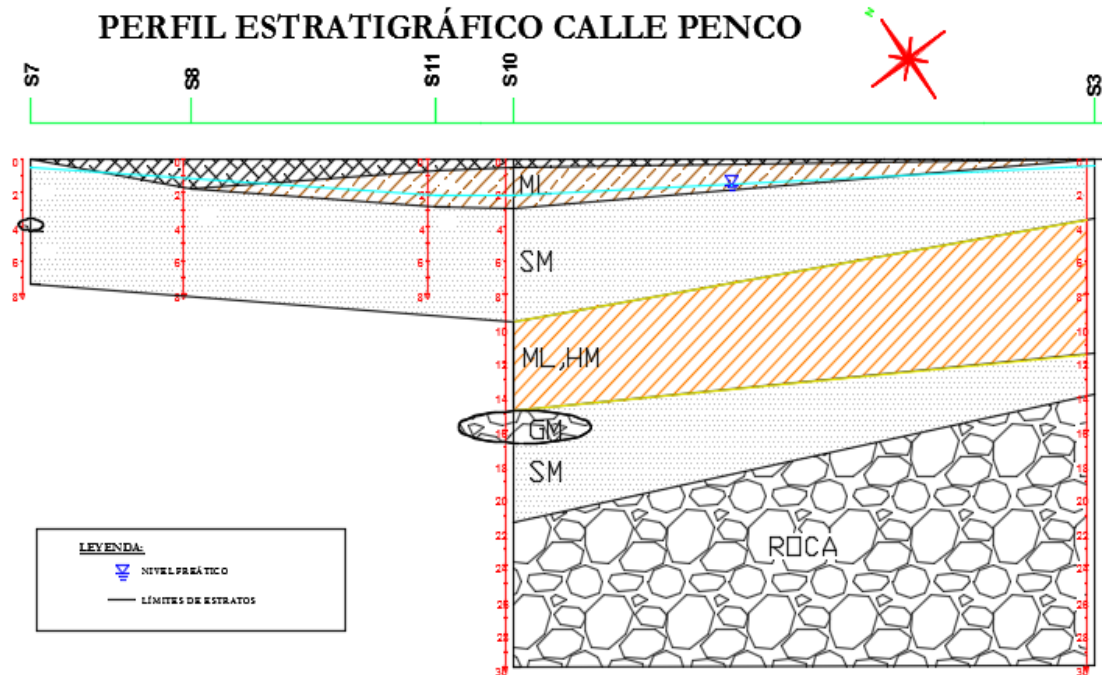
Figura N° 7: Proyección se sondajes sobre eje con orientación Norte-Sur, por calle Penco.



Fuente: Guíñez, F. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

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

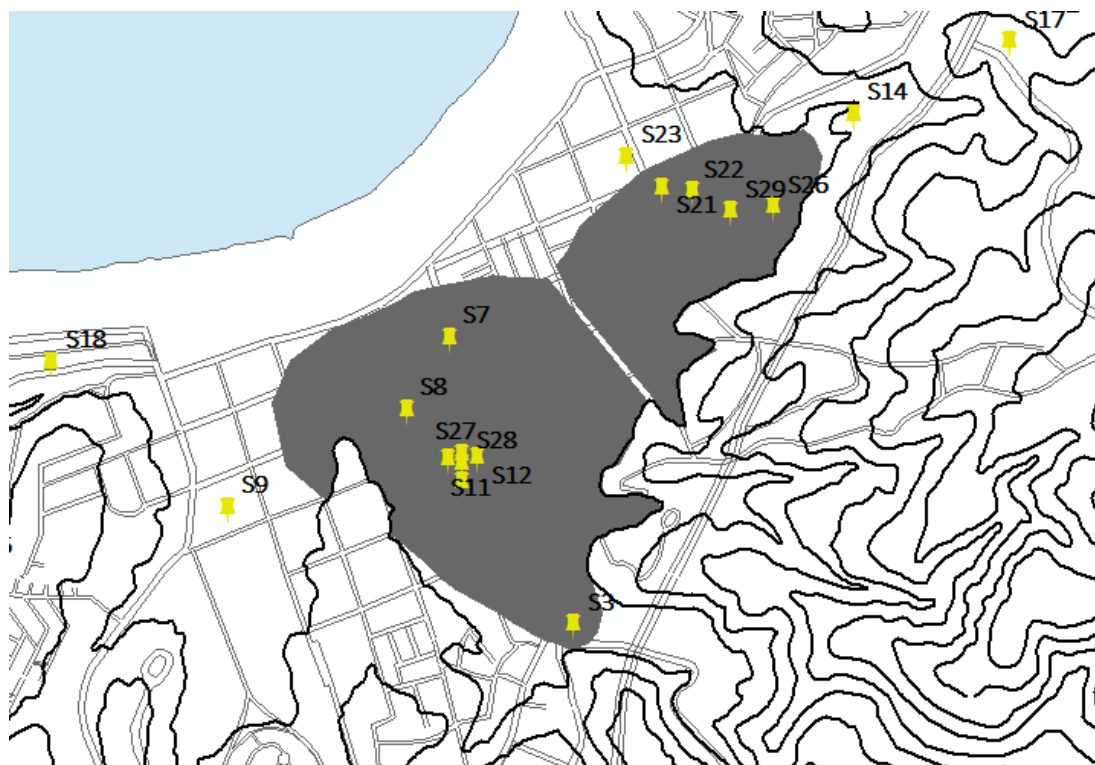
Figura N° 8: Relación Estratigráfica calle Penco.



Fuente: Guíñez, F. 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 N° 9: Representación de la zonificación creada en la Comuna, en ArcMap



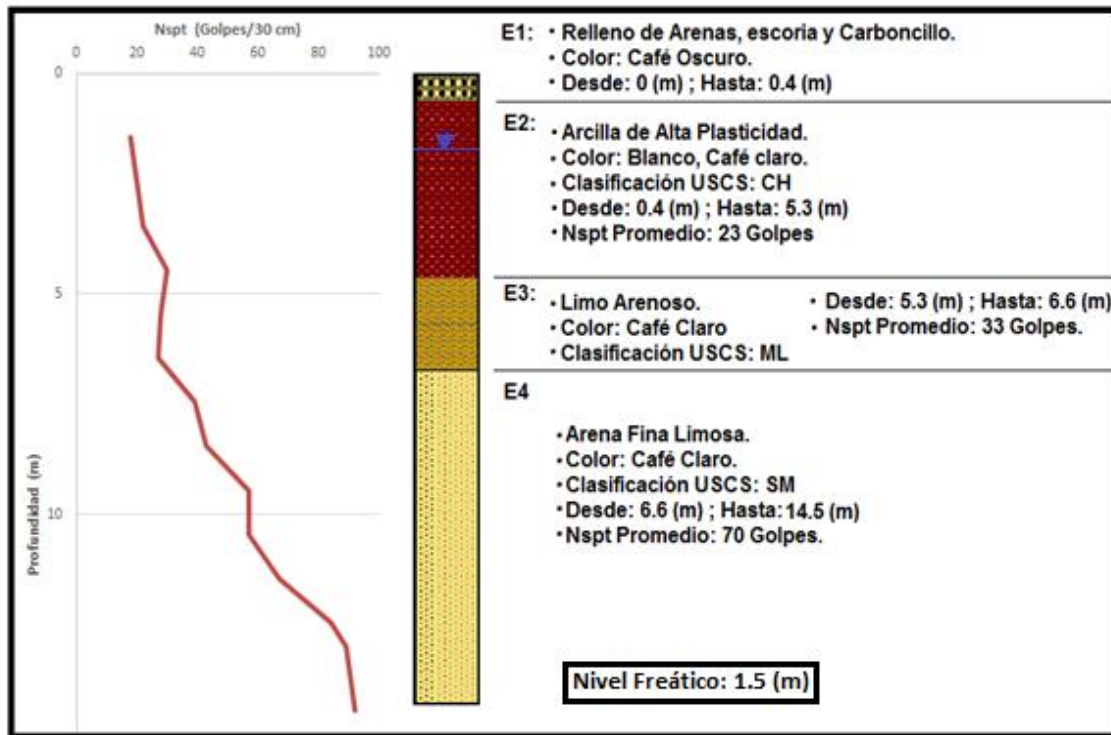
Fuente: Guíñez, F. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

En cada uno de los sectores creados, se tomó la información individual de cada sondaje que la compone, logrando una modelación estratigráfica representativa, correspondiente a su respectiva clasificación USCS, nivel promedio de la cota de la napa y un una gráfica promedio Nspt”.

Ante la presencia de Rechazo en el ensayo SPT, más de 50 golpes en 15 (cm), se asumió con un valor de 100 golpes para el gráfico rango SPT.

Para ver las modelaciones estratigráficas de cada sector, se debe activar el tema “Zonas” y utilizando la herramienta Hot- Link del programa, se presiona sobre el área deseada logrando visualizar un cuadro de imagen donde muestra las características del sector.

Figura N° 10: Modelo Primera zona N°1, Vidrios Lirquén.



Fuente: Guíñez, F. Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

Cada modelación cuenta con un gráfico del rango Nspt, una columna estratigráfica representativa, una especificación visual de cada estrato y su respectiva clasificación USCS para cada estrato.

2.5. 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.

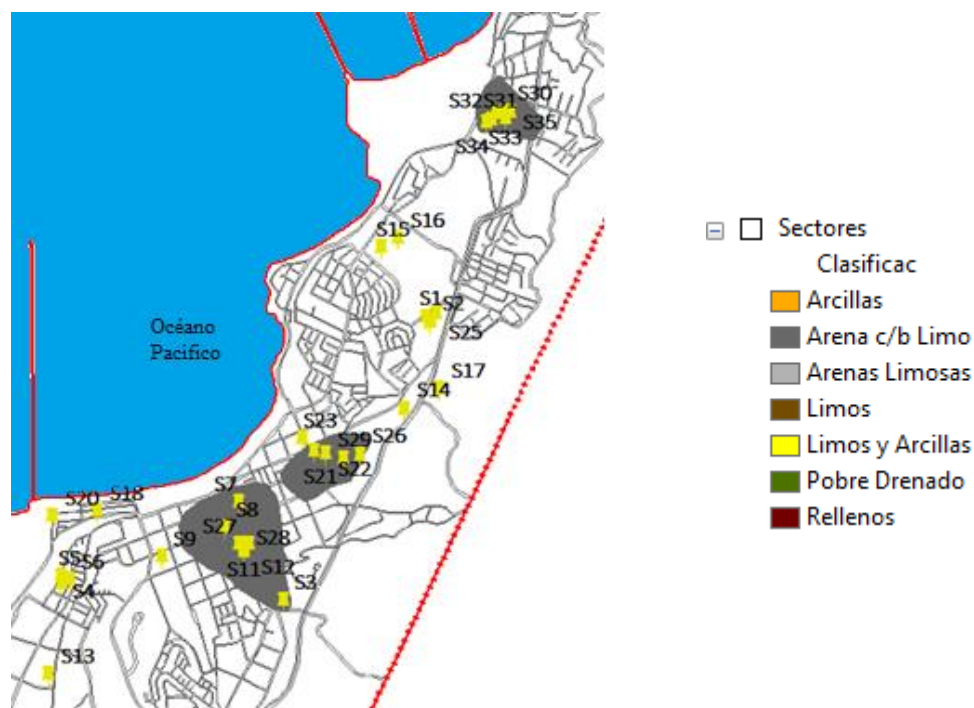
Para la clasificación de los diferentes estratos se empleó la clasificación de suelos USCS, descrita en el Anexo N°2.

Los sectores se dividen en función de sus estratos en:

- a) *Sectores Arcillosos*: Corresponden a sectores con clasificación USCS: CH, CL, SC.
- b) *Sectores de arenas con bastante limo*: Son 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, CI, 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 tipo de 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 N° 11: Representación de Zonificación del suelo.



Fuente: Guíñez, F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3

2.6. Información Adicional.

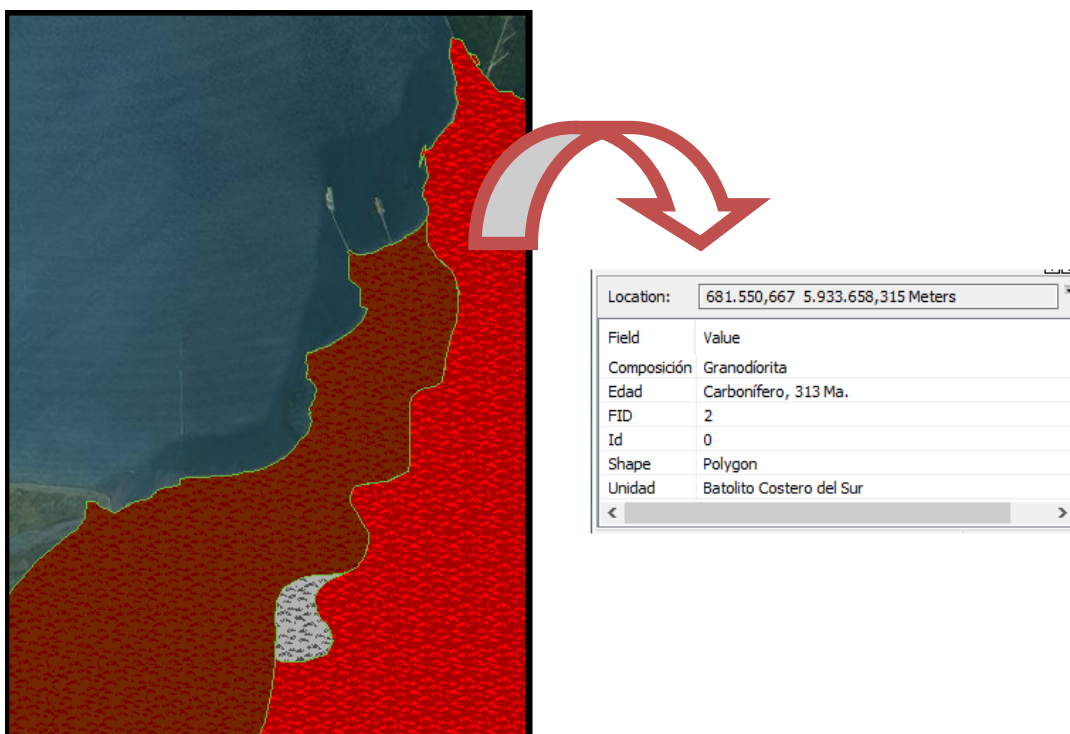
Dentro de la información anexada que se usó, se puede encontrar el mapa geológico y un hipervínculo de fotos satelitales de la zona de estudio.

2.6.1. Mapa geológico.


Dado que, actualmente no existe publicado material de carácter oficial, se empleó un mapa geológico de elaboración propia, basado en la valiosa contribución del docente del Departamento de Geología de la Universidad de Concepción, Dr. Jorge Quezada Flory.

Dicho archivo es de gran utilidad al momento de analizar y relacionar los sondajes en la zona de estudio, ya que el tipo de material presente en un punto va relacionado directamente con la formación geológica presente en la zona.

Figura N° 12: Descripción de las Granodioritas presentes en la zona de estudio.



Fuente: Guíñez, F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

En la figura N°12 se aprecia las diferentes unidades geológicas presentes en la zona de estudio. Para cada una de estas se muestra su descripción, que consta de las unidades geológicas que la conforman y su edad. El acceso a dicha información es mediante el uso de la herramienta “identify” .

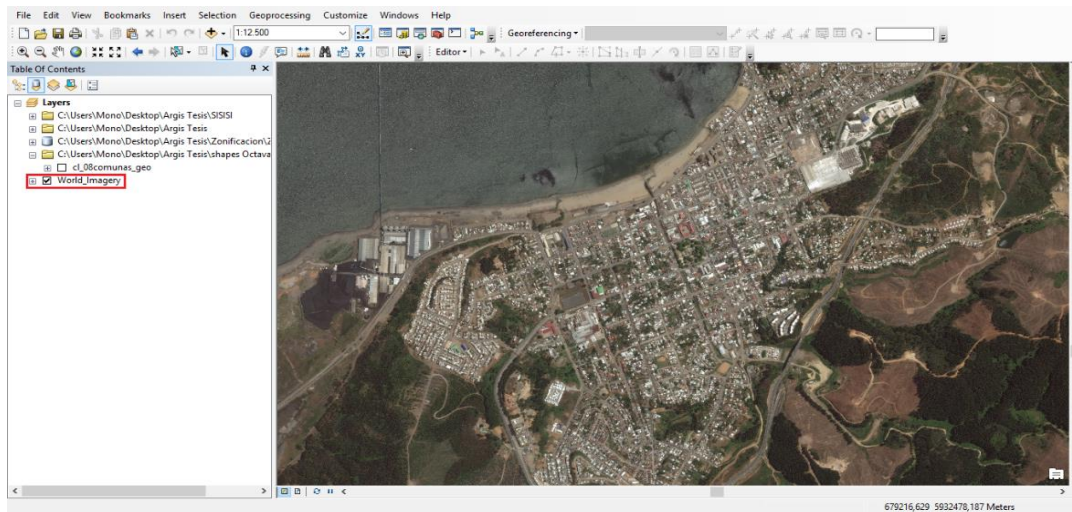
2.6.2. *Fotografías Satelitales.*

Para un mayor complemento y dinamismo de la base de datos creada, se implementó un hipervínculo el cual muestra un globo terráqueo virtual, que permite visualizar la cartografía, en base a fotografías satelitales. Para su utilización, el usuario debe contar con conexión a internet.

Esta herramienta es de gran ayuda, ya que permite un reconocimiento visual de la superficie de los suelos que componen la comuna, mediante la observación de las diferentes tonalidades presentes en las fotografías satelitales.

Para el uso de esta extensión, solo es necesario activar la casilla “Woeld_Imagery”.

Figura N° 13: Visualización satelital de la comuna de Penco.



Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

3. ANÁLISIS.

La realización de esta memoria no estuvo libre de limitantes, la más importante fue la recopilación de información para su confección, esta problemática puede ser atribuida a diversos factores. En primer lugar, la falta de disposición por parte de empresas privadas para facilitar la información necesaria. Un segundo punto a considerar son los importantes cambios que han sufrido las normativas chilenas en el campo de la mecánica de suelos, esto post terremoto ocurrido el año 2010. Ante de este hito el número de prospecciones obligatorias estaba estipulado proporcionalmente a un área para las calicatas, pero la realización de sondajes quedaba a criterio del ingeniero. Esto cambio con la entrada en vigencia del Decreto Supremo N°61, promulgado el año 2011, el que obliga a la realización de un sondaje de 30 metros para estructuras de 5 o más pisos, conjuntos de viviendas en terrenos de más de 8.000 metros cuadrados o edificios categoría III y IV. Dado que el emplazamiento del área de estudio no posee muchas edificaciones que calcen con la nueva normativa, sea por año de construcción o categoría de las construcciones, dificultó la recolección de sondajes en el área.

3.1 Presencia de la Roca Madre en Penco costero.

De los 41 sondajes recopilados, 15 de ellos, es decir 36.6 % presentan rechazo en el ensayo SPT, y 3 sondajes presentaban valores de N_{spt} muy cercanos a 100 y con una clara tendencia ascendente, los cuales no presentaban rechazo dado la finalización del ensayo. En la tabla N°3 se muestra la profundidad a la cual se alcanza el rechazo.

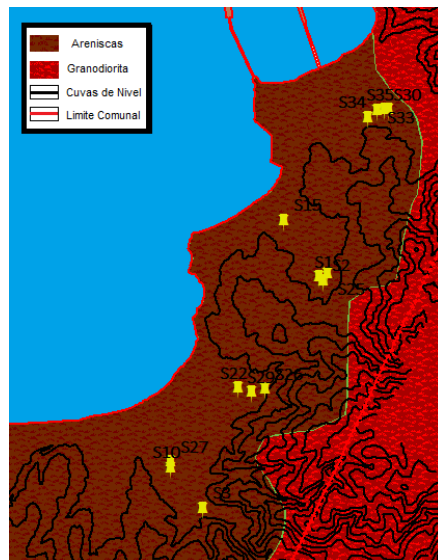
Tabla N° 2: Sondajes que presentaron rechazo en el ensayo SPT.

Sondaje	Profundidad sondaje (m)	Presencia Rechazo ensayo SPT.
S1	31	Rechazo a los 23 metros.
S2	31	Rechazo a los 17.5 metros.
S3	30	Rechazo a los 14 metros.
S10	30	Rechazo a los 17.45 metros.
S13	30	Rechazo a los 23 metros.
S15	17	Rechazo a los 16.55 metros.
S18	5	Rechazo a los 5 metros.
S19	6,3	Rechazo a los 6,3 metros.
S22	8.25	Rechazo a los 8 metros.
S25	30	Rechazo a los 19.7 metros.
S26	17,45	Rechazo a los 17 metros.
S27	17,45	Rechazo a los 17 metros.
S29	18,45	Rechazo a los 18 metros.
S30	14,45	Rechazo a los 14 metros.
S31	7,45	Rechazo a los 6 metros.
S33	10,45	89 golpes a los 10 metros, con tendencia ascendente.
S34	12.45	88 golpes a los 12 metros, con tendencia ascendente.
S35	14.45	92 golpes a los 14 metros, con tendencia ascendente.

Con todos los sondajes planteados, se obtiene como promedio de rechazo en el ensayo SPT una cota correspondiente a 18.4 metros.

En la Figura N°15 se muestra la ubicación geográfica de las prospecciones que alcanzan rechazo SPT en un mapa topográfico y geográfico correspondiente a la zona de estudio.

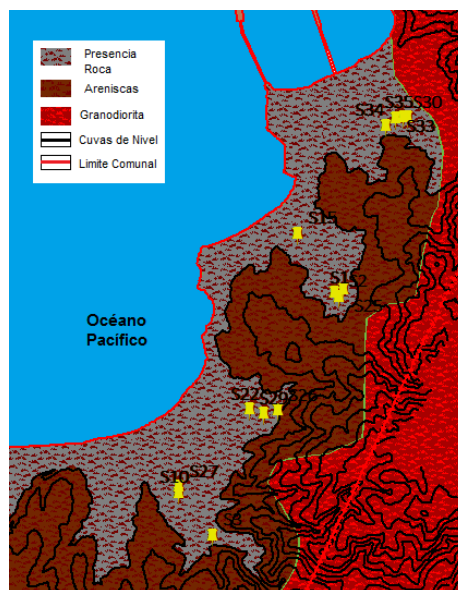
Figura N° 14: Ubicación sondajes con rechazo SPT.



Fuente: Guíñez,F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

Es importante notar que todos los sondajes mostrados se encuentran en la misma curva de nivel, como también pertenecen a la misma formación geológica. En la Figura N°16 se muestra la superposición de todos estos factores. El área achurada, corresponde al suelo donde se comparte las similitudes planteadas.

Figura N° 15: Ubicación sondajes con rechazo SPT.



Fuente: Guíñez,F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

3.2 Zonas Creadas.

Se caracterizaron tres zonas dentro de la comuna de Penco, para las cuales se caracteriza el suelo, se analiza su clasificación en el plan regulador comunal y se entregan lineamientos para el diseño de fundaciones, basados en la estratigrafía y gráfica SPT de la zona.

Es importante tener en cuenta la variabilidad del suelo como material, por lo tanto todo lo planteado en esta memoria referido al diseño de fundaciones son sólo orientaciones, dejando en claro que todas las decisiones deben ser tomadas por un profesional del área de la mecánica de suelos, y bajo ningún motivo sustituyen la necesidad de realizar los ensayos en terreno, evaluaciones de riesgo sísmico y riesgo por licuación.

Es importante mencionar que los índices de penetración que aparecen en el gráfico Rango SPT para cada zona no están corregidos, de esta manera, queda abierta la posibilidad de poder corregirlos posteriormente.

Desde el punto de vista de la cota de ejecución, no existe un punto de referencia en común para los sondajes utilizados en la creación de los modelos estratigráficos, sumado a que los

sondajes fueron ejecutados por distintas empresas de mecánica de suelos, esto conduce a imprecisiones en la modelación de los sectores expuestos.

3.2.1 Zona 1.

En la Figura N°15 se presenta ubicación de la Zona 1, correspondiente al sector de Lirquén, la cual posee un área de 0.11 Km². La acompaña un cuadro en la cual se muestra una referencia planimétrica, altimétrica y del nivel de la napa freática de la zona.

Figura N° 16: Visualización Zona 1



Coordenada Este (m)	680756,38
Coordenada Sur (m)	5934807,77
Espesor (m)	30
Nivel Napa (m)	1.5

Fuente: Guíñez,F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

3.3.1.1 Caracterización del Subsuelo.

De acuerdo con la información recabada de seis diferentes pozos de reconocimiento en la zona de estudio, el sub suelo está compuesto por cinco horizontes.

UNIDAD U1: Relleno.

Relleno compuesto por arenas, escoria y carboncillo. Presenta un color café oscuro. Se presenta entre el nivel de terreno y 0.4 (m).

UNIDAD U2: Arcilla de alta plasticidad.

Estrato compuesto por Arcillas de alta plasticidad con una humedad media. Presenta un color café claro con toques de blanco. Se presenta entre los 0.4 (m) y los 5.3 (m). Posee un NSPT promedio de 23 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo CH.

UNIDAD U3: Limo Arenoso Fino.

Estrato compuesto por Limos con arena fina, finos ligeramente plásticos, con una humedad alta. Presenta un color café claro. Se presenta entre los 5.3 (m) y los 6.6 (m). Posee un NSPT promedio de 33 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo ML.

UNIDAD U4: Arena fina Limosa.

Estrato compuesto por Arenas finas Limosas, con una humedad alta. Presenta un color café claro. Se presenta entre los 6.6 (m) y los 12 (m). Posee un NSPT promedio de 70 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo SM.

UNIDAD U5: Roca.

Estrato roca compuesto por Areniscas. Se presenta entre los 12 (m) y 30 (m). Al realizar el ensayo SPT arroja rechazo.

3.3.1.2 Especificaciones Plan Regulador Comunal.

Dentro del plan regulador comunal, el sector posee una clasificación ZAP-3, la cual está destinada para actividades productivas como lo son industria, almacenamiento y talleres. Dentro de sus condiciones de edificación, queda estipulado que la altura máxima de edificación es libre, según rasante y distanciamiento.

3.3.1.3 Lineamiento para el diseño de Fundaciones.

El plan regulador plantea para la zona caracterizada una libre altura de edificación. Dada la condición local y puntual de los datos que se tienen, se puede recomendar en la zona descrita dos casos:

- Construcciones de baja altura.

Siendo conservador, se denominara una construcción de baja altura a una estructura de no más de dos pisos de altura. Si la intención fuera construir algo de dichas dimensiones, una buena alternativa seria el uso de zapatas corridas para una estructura en base a muros, o zapata aislada en caso de tener estructuras en base a columnas. Tomando como consideraciones:

- Las prospecciones en la zona de estudio datan del mes de Septiembre, donde la napa se encuentra a un nivel de 1.5 (m). Es importante estudiarla pues se desconoce la variación estacional.
- Dado que en el primer estrato reina hasta una cota de 5.3 (m) un materia Arcilloso, es importante considerar que el sello de fundación debe quedar por debajo de la cota de variación de la napa, para así estar en presencia de un suelo estable del punto de vista volumétrico y no existan la presencia de expansiones de este.

- Construcción mayor altura.

Se considerará una estructura de mayor altura, una que posea más de dos pisos. Ante lo que se plantean como sistemas de fundaciones las siguientes opciones:

Rellenos Compactados: Retirando por completo el primer estrato dado sus malas cualidades mecánicas y realizando un relleno que debe cumplir con las siguientes recomendaciones:

- El material de mejoramiento debe ser granular, con no más de un 12% bajo malla N° 200, índice de plasticidad menor o igual a 6% y sin restos vegetales, ni orgánicos. Preferentemente, se utilizará arenas bien gradadas e inertes. Una alternativa podría ser material granular de arena proveniente del río Bío-Bío.
- El material de mejoramiento deberá ser confinado con un geotextil de por lo menos 200gr/m².
- El material deberá compactarse en capas confinadas de espesor suelto, no mayor a 30 cm., mediante equipo compactador de tambor liso o placa de peso estático superior a 300Kg.
- Cada capa deberá ser compactada hasta obtener una densidad relativa (D.R.) mayor a 80% o DMCS mayor o igual al 90%.
- El proceso de compactación deberá ser controlado por un laboratorio de mecánica de suelos acreditado ante el INN, el cual deberá controlar todas las capas que conforman el relleno.

Pilas de Grava Compactada: Fundar sobre un sistema de mejoramiento de suelos mediante este sistema, el cual consiste en la construcción de pilas de grava compactada bajo la estructura, formando una grilla, cuya función es densificar el suelo circundante mediante el incremento de la tensión lateral del suelo adyacente a la pila.

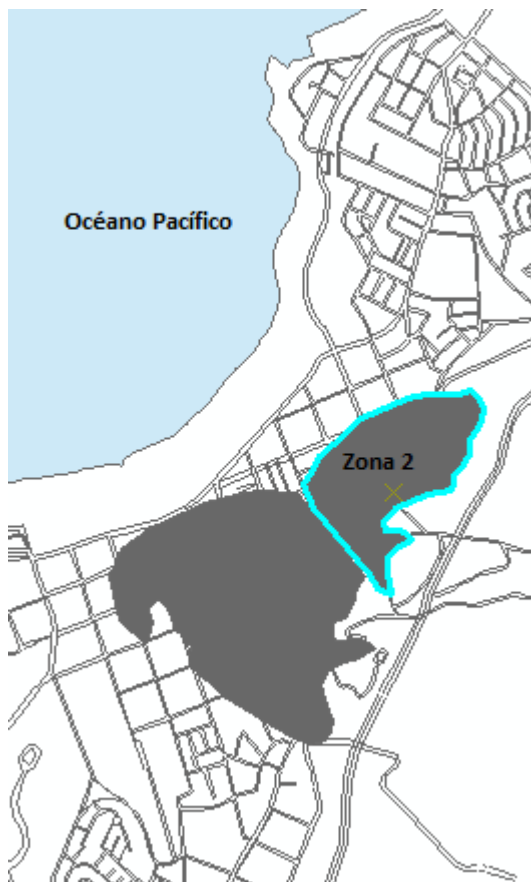
Pilotes de Hormigón Armado: Fundar la estructura sobre pilotes pre-excavados de hormigón, cuya función es traspasar las cargas de la estructura al estrato número tres, presente a una cota promedio de 6.6 (m), por lo que la longitud de los pilotes debe considerar por lo menos dos metros inmerso en dicho estrato.

- En el caso de del implementar Pilas de Grava Compactada o Pilotes de Hormigón Armado, se requiere el uso de una losa de fundación sobre cualquiera de las dos propuestas. La definición del espesor de la losa de fundación será cargo del ingeniero estructural del proyecto.

3.2.2 Zona 2.

En la Figura N°18 se presenta la ubicación de la Zona 2, la cual posee un área de 0.11 Km². A su lado se encuentra un cuadro, en el cual muestra una referencia planimétrica, altimétrica y del nivel de la napa freática de la zona.

Figura N° 17: Visualización Zona N°2



Coordenada Este (m)	679729,27
Coordenada Sur (m)	5932669,43
Espesor (m)	30
Nivel Napa (m)	0.4

Fuente: Guíñez,F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

3.3.2.1 Caracterización del Subsuelo.

De acuerdo con la información recabada de cuatro pozos de reconocimiento en la zona de estudio, el sub suelo está compuesto por cinco horizontes.

UNIDAD U1: Relleno.

Relleno compuesto por escombros. Presenta un color café oscuro. Se presenta entre el nivel de terreno y 0.5 (m).

UNIDAD U2: Arena Limosa y Limos Arenosos.

Estrato compuesto por Arena fina Limosa y Limos arenosos, con presencia de Limo Orgánico. Presenta un color gris verdoso. Se presenta entre los 0.5 (m) y los 8.7 (m). Posee un NSPT promedio de 6 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo SM,ML,SC.

UNIDAD U3: Arcilla.

Estrato compuesto por Arcilla de alta plasticidad, con humedad media. Presenta un color gris. Se presenta entre los 8.7 (m) y los 13.2 (m). Posee un NSPT promedio de 7 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo CH.

UNIDAD U4: Arena Limosa.

Estrato compuesto por Arenas Limosas. Presenta un color gris verdoso. Se presenta entre los 13.2 (m) y los 14.6 (m). Posee un NSPT promedio de 16 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo SM, ML.

UNIDAD U5: Roca.

Presente en una profundidad de 14.6 (m) y 30 (m). Al realizar el ensayo SPT arroja rechazo.

3.3.2.2 Especificaciones Plan Regulador Comunal.

Dentro del plan regulador comunal, el sector posee una clasificación ZAP-3, la cual está destinada para actividades productivas como lo son industria, almacenamiento y talleres. Dentro de sus condiciones de edificación, queda estipulado que la altura máxima de edificación es libre, según rasante y distanciamiento.

3.3.2.3 Lineamiento para el diseño de Fundaciones.

El plan regulador plantea para la zona caracterizada una libre altura de edificación. Dada la condición local y puntual de los datos que se tienen, se puede recomendar diversos sistemas de fundaciones, separándolos según la altura de edificación que se requiera alcanzar:

- Construcciones de baja altura.

Siendo conservador, se denominara una construcción de baja altura a una estructura de no más de dos pisos de altura. Si la intención fuera construir algo de dichas dimensiones, una buena alternativa seria el uso de zapatas corridas para una estructura en base a muros, o zapata aislada en caso de tener estructuras en base a columnas. Tomando como consideraciones:

- El nivel napa es bastante superficial, presentándose a un promedio de 0.4 (m) referido a un mes de Agosto, sumado a la presencia de arenas, se corre el riesgo de licuefacción del suelo. Dadas las condiciones de terreno se recomienda la proyección de estructuras flexibles, como lo son las de madera o acero.

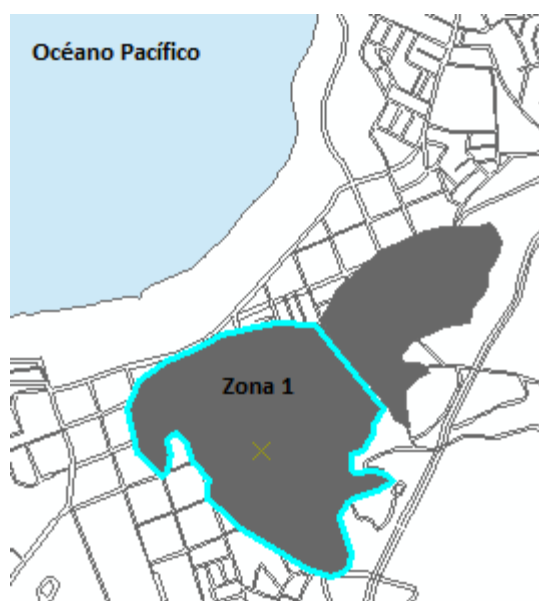
- Construcción mayor altura.

Dado el bajo número de golpes presentado por el ensayo SPT, y el tipo de suelo presente en la zona, no se recomienda la construcción de edificaciones de mayor altura.

3.2.3 Zona 3.

En la Figura N°19 se presenta ubicación de la Zona 3, correspondiente al sector céntrico de Penco, la cual posee un área de 0.36 Km². La acompaña un cuadro, en el cual se muestra una referencia planimétrica, altimétrica y del nivel de la napa freática de la zona.

Figura N° 18: Visualización Zona 3



Coordenada Este (m)	679152,07
Coordenada Sur (m)	5932119
Espesor (m)	30
Nivel Napa (m)	2

Fuente: Guíñez,F.(2016).Elaboración propia. Recuperado de ArcMap 10.3.

3.3.3.1 Caracterización del Subsuelo.

De acuerdo con la información recabada de los ocho pozos de reconocimiento en la zona de estudio, el sub suelo está compuesto por cinco horizontes.

UNIDAD U1: Relleno.

Relleno compuesto por Limos, Hormigón y escombros. Presenta un color gris. Se presenta entre el nivel de terreno y 0.5 (m).

UNIDAD U2: Arena Limosa.

Estrato compuesto por Arena Limosa y Limos Arenosos de mediana plasticidad y humedad media. Presenta un color gris claro. Se presenta entre los 0.5 (m) y los 7.3 (m). Posee un NSPT promedio de 10 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo SM.

UNIDAD U3: Limo Arenoso.

Estrato compuesto por Limos Arenosos con presencia de Limos Orgánicos, medianamente plásticos, compacidad media con una humedad alta. Presenta un color gris oscuro. Se presenta entre los 7.3 (m) y los 13.2 (m). Posee un NSPT promedio de 12 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo ML, MH.

UNIDAD U4: Arena fina.

Estrato compuesto por Arenas finas con algo de Limosas, con una humedad alta. Presenta un color gris. Se presenta entre los 13.2 (m) y los 17.5 (m). Posee un NSPT promedio de 60 golpes. Su clasificación USCS corresponde a un suelo SM.

UNIDAD U5: Roca.

Estrato compuesto por Roca sedimentaria, arenisca de color, con una humedad alta. Se presenta entre los 17.5 (m) y los 30 (m). Al realizar el ensayo SPT arroja rechazo.

3.3.3.2 Especificaciones Plan Regulador Comunal.

Dentro del plan regulador comunal, el sector posee más de una clasificación.

Tabla N° 3: Diferentes Sectores del plan regulador presentes en la Zona 3.

Zona	Uso establecido.	Altura de edificación Max (m)
ZR-1	Residencial, equipamiento de todo tipo, excepto cementerios y cárceles.	21
ZR-2	Residencial, equipamiento de todo tipo, excepto cementerios y cárceles.	10.5
ZR-3	Residencial, excepto cementerios, cárceles, estadios, zoológicos.	17.5
ZE-1	Residencial, excepto cementerios, cárceles, estadios, zoológicos y recintos militares.	14

Fuente: Guñez, F. (2016).Elaboración propia.

Considerando sus condiciones de edificación, queda estipulado que la altura máxima de edificación varía entre los 10.5 y 21 metros, según rasante y distanciamiento.

3.3.3.3 Lineamiento para el diseño de Fundaciones.

Esta zona identificada es de gran importancia, ya que corresponde al centro de la comuna. Dada la condición local y puntual de los datos que se tienen, se puede recomendar en la zona descrita dos casos:

- Construcciones de baja altura.

Siendo conservador, se denominara una construcción de baja altura a una estructura de uno o dos pisos de altura. Si la intención fuera construir algo de dichas dimensiones, una buena alternativa seria el uso de zapatas corridas para una estructura en base a muros, o zapata aislada en caso de tener estructuras en base a columnas. Tomando como consideraciones:

- Las prospecciones en la zona de estudio datan del mes de Septiembre, donde la napa se encuentra a un nivel de 1.4 (m). Es importante estudiarla pues se desconoce la variación estacional.
- Construcción mayor altura.

Dada las condiciones del terreno, se considerara una estructura de mayor altura una que posea más de dos pisos. Si se deseara proyectar una mayor altura de edificación se plantean como opciones:

- Rellenos Compactados: Retirando gran parte del primer estrato, dado sus malas cualidades y realizando un relleno que debe cumplir con las siguientes recomendaciones:
 - El material de mejoramiento debe ser granular, con no más de un 12% bajo malla N° 200, índice de plasticidad menor o igual a 6% y sin restos vegetales, ni orgánicos. Preferentemente, se utilizará arenas bien gradadas e inertes.
 - El material de mejoramiento deberá ser confinado con un geotextil de por lo menos 200gr/m².
 - El material deberá compactarse en capas confinadas de espesor suelto no mayor a 30 cm., mediante equipo compactador de tambor liso o placa de peso estático superior a 300Kg.
 - Cada capa deberá ser compactada hasta obtener una densidad relativa (D.R.) mayor a 80% o DMCS mayor o igual al 90%.
 - El proceso de compactación deberá ser controlado por un laboratorio de mecánica de suelos acreditado ante el INN, el cual deberá controlar todas las capas que conforman el relleno.

Pilas de Grava Compactada: Fundar sobre un sistema de mejoramiento de suelos mediante este sistema, el cual consiste en la construcción de pilas de grava compactada bajo la estructura, formando una grilla, cuya función es densificar el suelo circundante mediante el incremento de la tensión lateral del suelo adyacente a la pila.

Pilotes de Hormigón Armado: Fundar la estructura sobre pilotes pre-excavados de hormigón, cuya función es traspasar las cargas de la estructura a la roca, presente a una cota promedio de 17.5 (m), por lo que la longitud de los pilotes debe considerar por lo menos dos metros inmerso en dicho estrato.

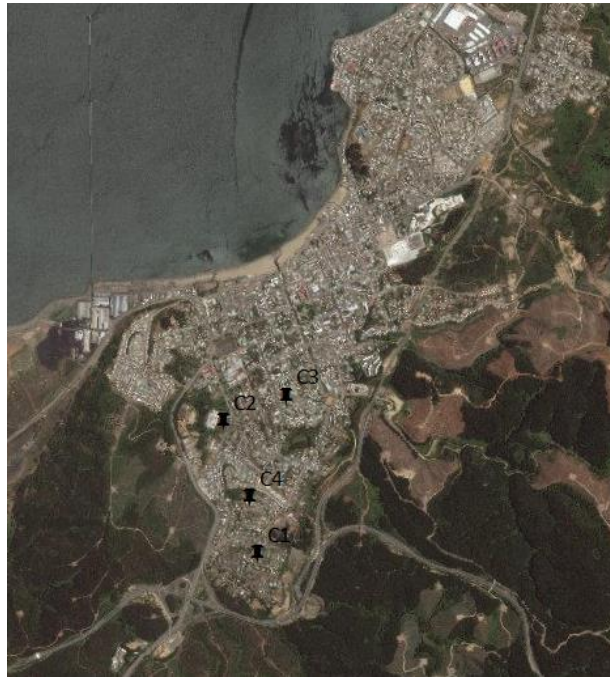
En el caso de del implementar Pilas de Grava Compactada o Pilotes de Hormigón Armado, se requiere el uso de una losa de fundación sobre cualquiera de las dos propuestas. La definición del espesor de la losa de fundación será cargo del ingeniero estructural del proyecto. Esta losa tendrá como función de distribuir de forma homogénea las cargas de la estructura a las fundaciones profundas.

De las tres opciones presentadas, la referida a la realización de un relleno es la menos factible para la zona identificada, ya que habría que realizar un sistema de entibación de gran envergadura en una zona con gran parte de su área construida.

3.4 Análisis Calicatas.

Con la finalidad de caracterizar los primeros metros del terreno correspondiente al sector de Penco Chico, donde no existe con ninguna prospección, se realizaron cuatro calicatas. Estas se realizaron mediante el uso de una retroexcavadora. Dicha oportunidad fue posible gracias a la colaboración del SECPLAN de la comuna de Penco.

Figura N° 19: Visualización disposición calicatas realizadas



Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

Después de finalizada la etapa de procesamiento de las muestras en el laboratorio de mecánica de suelos de Ingeniería Civil, en la universidad del Bío-Bío, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N° 4: Detalle Calicata N°1

Calicata N°1, Calle los guindos con los Naranjos.			
Nivel freático no detectado.			
Horizontes (m)	Composición estrato	Clasificación USCS	Limites
0.0-0.7	Relleno compuesto por basura, ladrillos, botellas y escombros.	---	---
0.7-1.8	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arena y arcilla	SC	LL= 32,8 LP=21,1 IP=11,7
1.8-3.0	Limos inorgánicos y arenas muy finas.	ML	LL=45,5 LP=28,3 IP=17

Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

Tabla N° 5: Detalle Calicata N°2

Calicata N°2, Cancha el Cura.			
Nivel freático no detectado.			
Horizontes (m)	Composición estrato	Clasificación USCS	Limites
0-0.1	Capa Vegetal.	---	---
0.1-2.0	Limos inorgánicos, consistencia media.	MH	LL= 58,9 LP=39,3 IP=19,6
2.0-3.2	Arenas limosas, mezclas mal graduadas de arena y limo.	SM	LL= 35 LP= 26,7 IP= 10,4

Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

Tabla N° 6: Detalle Calicata N°3

Calicata N°3, Sector la Ermita.			
Nivel freático detectado a 2 (m).			
Horizontes (m)	Composición estrato	Clasificación USCS	Limites
0-0.12	Capa vegetal.	---	---
0.12-3.5	Limos inorgánicos y arenas muy finas, con presencia de lentes orgánicos.	ML	LL=47,5 LP=30,2 IP=17,3

Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

Tabla N° 7: Detalle Calicata N°4

Calicata N°4, Calle Antares.			
Nivel freático no detectado.			
Horizontes (m)	Composición estrato	Clasificación USCS	Limites
0-0.12	Capa vegetal.	---	---
0.12-2.0	Limos inorgánicos, consistencia media.	MH	LL: 53 LP: 36,4 IP: 16,6
2.0-3.2	Arenas limosas, mezclas mal graduadas de arena y limo.	SM	LL: 57 LP: 44,1 IP: 12,9

Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

3.5 Posibles zonas a caracterizar.

A continuación se describen posibles zonas a caracterizar siguiendo la metodología planteada, tomando como criterio de prospecciones necesarias para una correcta caracterización de la zona, uno inspirado en lo descrito por el artículo 5° del decreto supremo 61(2011), considerando necesarios sondeos de 30 (m) para un área de 8000 m². Teniendo en consideración la variabilidad del suelo como material.

3.5.1 Zona Cerros.

Dado los antecedentes obtenidos, una de las posibles zonas a caracterizar corresponde a los cerros donde se encuentra la Villa Belén y Villa Montahue.

Figura N° 20: Visualización zona cerros Penco



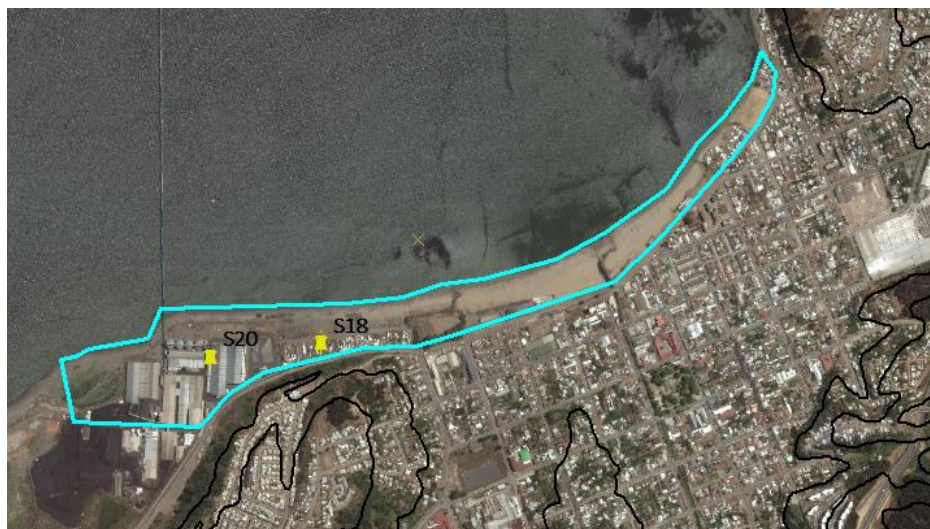
Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

Esto es posible de plantear dado que existen cuatro sondajes en la zona, los cuales poseen características estratigráficas similares, predominando las Arcillas. Otro factor a considerar es que la topografía de la zona, gracias a las curvas de nivel se puede apreciar un aumento de cota, en comparación a la zona céntrica de la comuna. Por último mencionar su formación geológica, donde se encuentra presente la Formación Curanilahue, que está compuesta por arenisca de grano medio a grueso de colores pardo amarillento con intercalaciones de limolita, las cuales difieren significativamente de las areniscas debido a sus poros más pequeños y una mayor propensión a contener una significativa fracción de arcilla. Para caracterizar dicha zona, que consta con un área aproximada de 42364 m² se necesitaría un total de 53 sondajes de 30 (m) de profundidad.

3.5.2 Costa de Penco.

Otra posible zona a caracterizar, es la perteneciente a la costa de Penco, en dicha zona se presentan dos prospecciones, las cuales tienen una profundidad de 6 (m) y ambas arrojan la presencia de arena fina limosa, con presencia de napa en un promedio de 1.5 (m). Dado la topografía y que poseen la misma composición geológica se puede inferir que toda la costa presenta un comportamiento similar. Con un área estimada de 184980 (m²), se podría caracterizar la zona con un total de 23 sondajes de 30 (m) de profundidad.

Figura N° 21: Visualización zona costera Penco



Fuente: Guíñez, F. (2016).Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES.

En este proyecto de título se realizó una estratificación y zonificación de los suelos de la comuna de Penco, trabajando con un total de 41 sondajes y 4 calicatas y creando una modelación estratigráfica en el software ArcGis 10.3. De este modo, en base al análisis realizado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- En relación con la finalidad de este modelo estratigráfico, es importante dejar en claro que la información propuesta no pretende bajo ninguna circunstancia reemplazar la ejecución de los estudios de exploración de suelos insitu necesarios en un determinado proyecto, más bien cumple la finalidad de servir de información preliminar.
- En cuanto a la Roca Madre presente en Penco, se pudo estimar la profundidad promedio a la que se presenta es de 18.4 metros, esto dentro del primer horizonte de las curvas de nivel que oscila entre 0 y 20 metros.
- La profundidad del Nivel Freático en el centro de Penco y Lirquén fluctúa entre 0.5 y 2 metros dependiendo de la variación estacional y de las precipitaciones anuales.
- El área urbanizada de la comuna corresponde a 26.5 Km², en conjunto las tres zonas identificadas poseen un área de 0.64 Km², equivalente a un 2.4% del área total urbanizada.
- La Zona 1 ubicada en el sector de Lirquén, está compuesto por arcillas de alta plasticidad, arenas limosas y limos, sus valores de Nspt poseen una tendencia ascendente a mayor profundidad, alcanzado la roca sedimentaria a una profundidad de 14.5 (m).
- La Zona 2, ubicada a cuerdas del centro de Penco, específicamente en torno a la empresa Fanaloza, está compuesto por arenas limosas y arcillas. En general, se caracteriza por valores de Nspt bajos que fluctúan entre 6 y 16 golpes, hasta encontrar la roca madre a una profundidad de 14.6 (m).
- La Zona 3 se encuentra localizada en el centro de la comuna, según el plan regulador posee variados usos, siendo común el uso residencial y equipamiento. En esta zona predominan las arenas.

- Un 63,4% de los sondeos empleados no databa su cota de terreno, por lo que no existe un punto de referencia en común preciso para relacionar estos.
- En lo que respecta a las calicatas realizadas en el sector de Penco Chico, dejan al descubierto el predominio de limos y arenas limosas, los mismos materiales presentes en la Zona 1, adyacente a Penco Chico.
- En lo que respecta al contraste de la Altura de Edificación planteada en el Plan Regulador Comunal y las características del sub suelo, existen sectores en los que la altura de edificación es libre, pero el número de golpes entregado por el ensayo SPT es bajo. Por lo que es importante que para la revisión del Plan Regulador se considere dentro de los insumos a analizar las características del suelo.
- Si se pretende que la comuna de Penco crezca urbanamente, se requerirá un gran trabajo desde el punto de vista de la Ingeniería civil, sobre todo de la mecánica de suelos y el diseño de fundaciones, por lo que es importante seguir obteniendo información sobre el sub suelo de la comuna, y así sacar el mejor provecho posible ante cada situación.

5. RECOMENDACIONES.

Para la implementación y actualización de este trabajo por parte de la Municipalidad de Penco se plantean las siguientes recomendaciones:

- Es importante que la base de datos sea actualizada con información de nuevos sondeos, así pudiendo caracterizar nuevos sectores o mejorar las zonas ya existentes.
- Dada la topografía de la zona, es importante que los futuros sondeos que se incorporen, cuenten con una correcta cota de terreno, así a la hora de entrelazar los sondeos, tener pleno conocimiento que todos parten del mismo nivel y poder conocer si algún punto estudiado ha sido afectado por extracciones o rellenos.
- Considerar el nivel de la napa freática presente en cada sondeo, además de la fecha de ejecución de este, así se puede conocer el comportamiento de esta según la variación estacional.

6. REFERENCIAS.

ArcGis User's Guide: *ArcGis Básico 10*. ArcGis, Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2011, pp.6-124. Consultado: 04 de Febrero 2016.

ArcGis User's Guide: *Fundamentos de ArcGis versión 10.2*, Oficina de Gerencia y Presupuesto del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, 2014, pp.2-154. Consultado: 04 de Febrero 2016

CITRA, (s.f). Consultores de Ingeniería de Transporte Limitada. Estudio de Evaluación Servicio de Pasajeros Interurbano. Consultado: 10 de Febrero 2016, web:http://www.dirplan.cl/centrodedocumentacion/Documents/Estudios/Desarrollados/2010/Estudio_Estrategico_Nacional_Accesibilidad_y_Logistica_Portuaria/Cap_15_Sistema_Portuario_VIII_Region.

Errazuriz, A. M; Cereceda, P; Gonzalez, J. I; Gonzalez, M; Henriquez, M; Rioseco, R. (1998). *Manual de Geografía de Chile*. Santiago, Chile: Andrés Bello. Consultado: 07 de Marzo 2016.

Figuroa, V. (2013). *Libro de Oro de la Historia de Penco*.

Galli, C. Geología Urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano. Chile. Departamento de Geología y Mineralogía. Instituto Central de Química. U de C. 1967.

González L. Apuntes de Mecánica de Suelos I. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad del Bío-Bío.

Guiñez, D; Gaete, C. (2013). Diagnostico Penco. Consultado: 02 de Febrero 2016 http://www.seremidesaludbiobio.cl/epidemiologia/archivos/diagnosticos/2013/comunales/PROVINCIA_CONCEPCION/penco.pdf

Instituto Nacional de Normalización. (1996). *Diseño Sísmico de Edificios*. Nch. 433.

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 Bio Bio, Concepción.

Juárez, E. B. (1974). Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo 1. México: Limusa.

Lambe, W. T. (1972). Mecánica de suelos. 1a ed. México: Limusa.

Terzaghi, K. (1973). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. 2a ed. Barcelona: El Ateneo