

Universidad Nacional del Comahue
Facultad de Ingeniería- Departamento de Geología y Petróleo



Trabajo Final de Licenciatura

Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén

Autor: Katia Andrea Ibarra

Legajo: ing-1619

Directora: Dra. Ana Cecilia Dufilho. Cátedra de hidrogeología, Departamento de geología y petróleo. Facultad de ingeniería. Universidad Nacional del Comahue.

Co-Directora: Lic. Miriam Adriana Minutella. Cátedra de geotecnia, Departamento de geología y petróleo. Facultad de ingeniería. Universidad Nacional del Comahue.

Licenciatura en Ciencias Geológicas

Neuquén
2019

AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo principalmente a mis directoras, Cecilia Dufilho y Miriam Minutella por su dedicación, exigencia y persistencia a la hora de guiarme. A mis padres, hermano y Candi, que me acompañaron en los momentos más felices y aún más en los difíciles de la carrera, siendo mi principal apoyo y siempre dándome fuerzas para no rendirme. A la facultad, por la posibilidad de conocer a los profesores más exigentes que ayudaron a sacar lo mejor de mí. Por las grandes amigas y amigos que me dejó la carrera. A las hermanas que me acompañaron durante el proceso.

Agradezco a las empresas CONSUL VAL SRL y GEO Neuquén que colaboraron con datos para realizar este trabajo, y a José Gatica, Alberto Garrido y Olga Capua que colaboraron con su conocimiento.

A todos ellos, uno de mis mayores logros.

Gracias.

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron las características geotécnicas del suelo en un sector ubicado sobre la planicie fluvial del río Limay, próxima a la confluencia con el río Neuquén. Se realizó la recopilación de estudios de suelos realizados mediante técnicas geotécnicas específicas que permiten definir el tipo de material presente en el subsuelo, sus características mecánicas y los factores que pueden influir en la resistencia del terreno. Se completó el área de estudio con relevamientos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos. En base a los datos analizados se reconocieron capas de materiales con diferentes propiedades geotécnicas y se cartografiaron las cuatro unidades geotécnicas presentes. La propuesta de zonificación del área, realizada en función de la aptitud geotécnica, permitirá conocer a priori las limitaciones existentes a la hora de llevar a cabo un proyecto de ingeniería.

Palabras claves: Clasificación unificada de suelos, depósitos fluviales, acuífero libre, unidades geotécnicas, aptitud.

ABSTRACT

In this work, the geotechnical characteristics of the soil were studied in a sector located on the river plain of the Limay River, close to the confluence with the Neuquén River. The compilation of soil studies was carried out using specific geotechnical techniques that allow defining the type of material present in the subsoil, its mechanical characteristics and the factors that can influence on the resistance of the terrain. The study area was completed with geological, geomorphological and hydrogeological surveys. Based on the analyzed data, layers of materials with different geotechnical properties were recognized and the four geotechnical units present were mapped. The area zoning proposal, made according to geotechnical aptitude, will allow to know a priori the limitations existing when carrying out an engineering project.

Keywords: Unified soil classification, river deposits, free aquifer, geotechnical units, aptitude.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
a. Fundamentación	7
b. Objetivos	7
2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
a. Geología regional.....	9
b. Suelos.....	12
c. Vegetación.....	12
d. Geomorfología	13
e. Hidrología.....	18
f. Sismicidad	22
g. Desarrollo urbano	23
3. METODOLOGÍA.....	27
a. Caracterización física del área	27
b. Relevamiento de las propiedades geotécnicas	27
c. Identificación de Unidades Geotécnicas	29
d. Relevamiento y caracterización del acuífero libre	29
e. Cartografía digital	30
4. RESULTADOS	31
a. Geomorfología y litologías	31
b. Unidades Geotécnicas presentes (UG)- Cartografía	33
c. Dinámica del acuífero libre.....	38
d. Aptitud geotécnica	41
5. CONCLUSIONES	43
6. RECOMENDACIONES.....	43
7. BIBLIOGRAFÍA.....	44
8. ANEXOS.....	46
Anexo 1: Datos geotécnicos del terreno.....	46
Anexo 2- Perfiles geotécnicos.	50
Anexo 3- Mapas.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1- Ubicación geográfica de la zona en estudio. Imagen: Google Earth Pro 2019.....	8
Figura 2- Marco geológico regional y ubicación del área de estudio en la Dorsal de Huincul Fuente: Ramos et al. (2011).....	9
Figura 3- Secuencia sedimentaria de la provincia geológica Dorsal Huincul (Laurencena, 2015).....	10
Figura 4- Evolución geomorfológica del paisaje desde el Pleistoceno temprano hasta la actualidad. Se ilustran las características del área: a) durante el primer estadio glacifluvial; b) durante el segundo estadio glacifluvial; c) durante el tercer estadio glacifluvial y d) durante el primer estadio fluvial de los ríos Limay y Neuquén (Halcrow, 2002).....	15
Figura 4 e- Características resultantes tras una nueva profundización de los ríos Limay y Neuquén (Halcrow, 2002).....	16
Figura 4 f- Características actuales de los ríos Limay y Neuquén (Halcrow, 2002).....	15
Figura 5 - Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas, periodo 1959 -2013 (Laurencena, 2015).....	18
Figura 6 - Perfil y movimiento del agua en el suelo y subsuelo (González de Vallejo et al. 2002).....	19
Figura 7- Perfil transversal al valle indicando el comportamiento hidrogeológico de las unidades geomorfológicas (Laurencena, 2015).....	21
Figura 8- Zonificación Sísmica de la República Argentina. (INPRES CIRSOC 103, 2013).....	22
Figura 9- Fotografía aérea de Neuquén en el año 1962 (Fuente: Capua y Jurio 2011).....	24
Figura 10- Imagen satelital de Neuquén en el año 2019 (Fuente: Google Earth Pro, adquirida en 2019).....	25
Figura 11- Se observa que la zona de estudio (zona urbana y de expansión urbana) abarca en gran parte las zonas de protección por riesgo de inundación y zonas de preservación de oasis irrigado (Halcrow, 2002).....	26
Figura 12- Ubicación de los sitios de muestreo y su profundidad de investigación.....	27
Figura 13 - Herramientas manuales de Ø= 2” (izquierda) y Ø= 8” (derecha).....	28
Figura 14- Sonda modelo 102 de Solinst para medición de profundidad de nivel freático.....	30
Figura 15- Geoformas presentes en la llanura fluvial del río Limay.....	31
Figura 16- Litología predominante en superficie y su correspondiente clasificación según SUCS.....	32
Figura 17- Isopacas Unidad Geotécnica UG1.....	34
Figura 18- Isopacas Unidad Geotécnica UG2.....	35
Figura 19- Isopacas Unidad Geotécnica UG3.....	36
Figura 20- Profundidades al techo de UG4.....	37
Figura 21- Profundidad del nivel freático.....	39
Figura 22- Cota del nivel freático en función al nivel del mar.....	40
Figura 23- Zonificación de los sectores con diferente aptitud geotécnica.....	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1- Características sísmicas de sedimentos fluviales jóvenes (INPRES CIRSOC 103, 2013).....	23
Tabla 2- Características de los sondeos.....	28
Tabla 3- Profundidad al contacto entre cada unidad. Los casilleros vacíos indican ausencia de esa UG.....	33
Tabla 4- Datos de nivel freático (NF) medidos en el periodo 2011-2019.....	38

1. INTRODUCCIÓN

a. Fundamentación

La localización de la población en los territorios no aptos para asentamientos puede generar problemas para la comunidad que los habita y sus viviendas si no se tienen en cuenta factores geológicos y geotécnicos. Estos problemas podrían evitarse haciendo estudios previos del subsuelo, realizando una caracterización de los factores involucrados en el área y tomando las medidas adecuadas.

Existen las cartas geotécnicas como elementos de gestión que fundamentalmente permiten introducir criterios geológicos que son imprescindibles para la expansión de la infraestructura urbana, pero que no se limitan sólo a este aspecto. Es necesario que aporten además datos sobre las características y propiedades del suelo que permitan prever cuál será su comportamiento ante las intervenciones previstas a realizar, y así determinar la aptitud y la factibilidad del proyecto.

En la década del '70 y la del '80, se produce una explosión demográfica en la ciudad de Neuquén por la llegada de habitantes desde diversos puntos del país y de países limítrofes (Fabro, 2011). En este período, la ciudad se expande sin planificación ocupando las tierras productivas bajo riego (el piso del valle) y en menos de tres décadas trepó por el piedemonte, invadiendo suelo no apto para la instalación humana permanente y llegó incluso a edificar conjuntos habitacionales en la traza de cañadones.

Este trabajo aporta información geotécnica que ayudará a diseñar soluciones técnicas apropiadas para las construcciones a ejecutar en el sector de la planicie aluvial de la ciudad de Neuquén.

b. Objetivos

El objetivo general fue contribuir al conocimiento geotécnico de un área del ejido municipal de la ciudad de Neuquén, incluyendo clasificación del suelo según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)(*), datos de profundidad del nivel freático e identificación de unidades geotécnicas presentes en el subsuelo.

El alcance geográfico de la propuesta se ubica sobre la planicie aluvial del río Limay, sector adyacente a su confluencia con el río Neuquén, abarcando el área poligonal comprendida entre la RN 22 al norte, la Av. Coronel Olascoaga al oeste, la calle Paimún al este y al sur con el río Limay, tal como se observa en la Fig. 1, alcanzando una superficie aproximada de 5,60 km².

(*)Nota: En 1952 el Bureau of Reclamation y el Cuerpo de Ingenieros presentaron un “sistema unificado” destinado a servir para todos los problemas de ingeniería en los que intervinieran suelos. (Lambe William, 2004)



Figura 5- Ubicación geográfica de la zona en estudio. Imagen: Google Earth Pro 2019.

Los objetivos específicos fueron:

1. Caracterizar el ambiente geomorfológico y geológico de relevancia geotécnica.
2. Identificar y cartografiar las propiedades geotécnicas de los sedimentos de la llanura aluvial del río Limay.
3. Identificar la dinámica del acuífero libre.
4. Cartografiar las unidades geotécnicas presentes.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

a. Geología regional

El sector bajo estudio se ubica en la provincia geológica definida por Ramos *et al.* (2011) como Engolfamiento Neuquino (Fig. 2) y está descrito en la Hoja Geológica 3969-II de la provincia de Neuquén (SEGEMAR, 2007).



Figura 6- Marco geológico regional y ubicación del área de estudio en la Dorsal de Huincul. Fuente: Ramos *et al.* (2011)

El Engolfamiento Neuquino, situado en la región extraandina de la provincia de Neuquén, tiene como límites al oeste la Cordillera Principal, el basamento del Bloque de San Rafael hacia el noreste y el macizo de Somuncurá hacia el sur, presentando como rasgo morfológico

más notable la Dorsal de Huin cul, con una orientación general E-O, donde encontramos nuestra área de estudio sobre su sector más oriental.
 Dicha dorsal presenta sedimentos desde el Triásico Superior al Reciente, constituidos por el basamento, relleno sedimentario y la cubierta cenozoica (Fig. 3).

Edad	Constituyente de la Dorsal de Huin cul	Unidades	Ambiente Sedimentario
Terciario Reciente	Cubierta Cenozoica	Depósitos Aluviales	Fluvial
Cretácico	Relleno Sedimentario	Grupo Neuquén	Alternancia de sedimentación marina y continental
Jurásico		Grupo Mendoza	
		Grupo Lotena	
		Grupo Cuyo	
Triásico		Grupo Precuyo	Volcánico Piroclástico
Pérmico	Basamento Cristalino	Grupo Choiyoi	Ignimbritas Granodioritas

Figura 7 - Secuencia sedimentaria de la provincia geológica Dorsal Huin cul (Laurencena, 2015).

El presente estudio sólo abarca depósitos superficiales por los que sólo se describirá el último grupo mesozoico depositado dentro del relleno sedimentario (Gr. Neuquén) y los depósitos de la cubierta cenozoica.

- Grupo Neuquén

Este grupo desarrollado en el Cretácico Tardío (Cenoniano Inferior-Campaniano Medio) presenta una litología principalmente continental, caracterizada por areniscas, fangolitas y grauvacas, baja participación de horizontes conglomerádicos y menor aún de depósitos tobáceos, tufíticos y evaporíticos, donde estos últimos constituyen menos del 1% del total de la secuencia (Garrido, 2010 a). Genéticamente, los depósitos de este grupo son vinculados a un origen predominantemente fluvial, con intercalaciones de episodios eólicos y lacustres someros (Cazau y Uliana, 1973). Tras varias modificaciones que ha sufrido el esquema litoestratigráfico del Grupo Neuquén, Garrido (2011) lo ha dejado conformado por tres subgrupos y nueve formaciones.

Subgrupo Río Limay: Representa los depósitos basales del Grupo Neuquén, cuyos afloramientos se distribuyen principalmente a lo largo del tramo medio del río que lleva el mismo nombre. Garrido (2010a) define que este subgrupo quedaría conformado por las formaciones Candeleros y Huin cul, constituyendo extensos bancos de areniscas de fuerte resistencia a la erosión, generando superficies de exposición planas o escalonadas, definidas como planicies estructurales por arrasamiento (González Díaz y Ferrer, 1986). Litológicamente, se componen mayormente de areniscas cuarzolíticas de granulometría

variada con alternancia de fangolitas y escasos horizontes conglomerádicos, presentando extensos cuerpos psamíticos de geometría mantiforme conformados por un conjunto de depósitos de canales amalgamados.

Subgrupo Río Neuquén: Garrido (2010a) deja conformado a este subgrupo por cinco unidades formacionales, las Formaciones Cerro Lisandro, Portezuelo, Los Bastos, Sierra Barrosa y Plottier, conformando una sucesión alternante de unidades psamíticas y pelíticas de origen fluvial, susceptibles a la erosión por su bajo grado de litificación. Las unidades psamíticas del subgrupo, Formaciones Portezuelo y Sierra Barrosa, están caracterizadas por depósitos de sistemas de canales arenosos, conformando en conjunto cuerpos tabulares o mantiformes, las unidades fangosas, Formaciones Cerro Lisandro, Los Bastos y Plottier, quedan representadas por depósitos de paleocanales simples, de carga mixta, conformando cuerpos cordoniformes arealmente reducidos.

Subgrupo Río Colorado: Este ha quedado integrado por las Formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto, cuyos depósitos corresponden a sistemas fluviales desarrollados bajo un nuevo control tectónico dominante. Los depósitos de estas unidades se conforman de pelitas y psamitas escasamente litificadas, pudiendo presentar en forma subordinada pequeñas capas de niveles psefiticos.

Los depósitos de la cubierta Cenozoica inician su depositación en el Pleistoceno con los niveles representados en los depósitos aterrazados. Litológicamente son conglomerados polimícticos de vulcanitas mesosilícicas y básicas de colores gris, castaño oscuro y negro, con escasa matriz arenosa, abundante yeso amorfo y cementados por carbonato de calcio, preferentemente en la parte superior del perfil. Se identifican en forma escalonada a lo largo del río Neuquén desde Paso de los Indios hasta proximidades de la confluencia con el río Limay.

El Holoceno de esta cubierta está integrado por sedimentos eólicos: arenas de tamaño fino, color pardo claro, visibles en la margen sur del lago Barreales; sedimentos de bajos y salitrales: sedimentos finos, limos y arcillas con abundantes sulfatos; y sedimentos aluviales: depósitos de dispar granulometría, grava gruesa y media, arena gruesa como matriz, arena fina, limos y arcillas.

- Depósitos fluviales antiguos del río Limay

En la zona circundante al sector estudiado se presentan los depósitos fluviales antiguos compuestos esencialmente por gravas gruesas y arenas poco consolidadas.

El análisis con Carbono-14 de restos craneanos de un *Megatherium Cuvier* extraídos en estos depósitos arrojó una antigüedad de 10.200 años (Cruz y Calvo, 2004), por lo que la edad asignada a estos depósitos es Pleistocena.

- Depósitos de las planicies aluviales actuales del río Limay

Los depósitos más recientes en la zona están representados por los materiales detríticos transportados y depositados por el río de carácter permanente que marca el límite al sudeste de toda la provincia de Neuquén. Estos corresponden a depósitos de la planicie aluvial activa de dicho río, constituidos principalmente por gravas con participación menor de arena gruesa como matriz y limos y arcillas en los depósitos de canales y meandros inactivos.

b. Suelos

Según el estudio realizado por Ferrer *et al.* (2006), a partir de la distribución geográfica y procesos pedogenéticos se puede indicar que el área de estudio se localiza en la región Extrandina, que abarca el 85% del territorio neuquino predominando en el sector oriental extensas mesetas con pendientes entre 0 y 8%.

Los suelos de los valles son típicamente aluvionales, su textura puede variar entre arenosa y franco limosa, con contenidos escasos de materia orgánica, velocidad de infiltración media a alta, con un perfil profundo a poco profundo y escaso desarrollo vinculado a condiciones climáticas de aridez y semiaridez, y a la dinámica fluvial del río.

Los materiales originarios determinaron dos características fundamentales de los suelos de la región: la primera es el alto contenido salino del material parental, responsable en parte de la actual salinidad de los suelos, y la segunda son los gruesos sedimentos cerca de la superficie que permiten un buen drenaje y permeabilidad, fundamental para la recuperación de suelos salinos.

Panigatti (2010) indica que los suelos de la terraza baja del río Limay corresponden a Torrifluventes Típicos del orden Entisol. Las principales características que presentan este tipo de suelos son poco o ningún desarrollo de horizontes pedogenéticos debido a la deficiencia de agua, color claro, con un incipiente horizonte A muy pobre en materia orgánica, comúnmente arenosos con minerales muy resistentes, son superficiales, recientes, masivos y friables. A los 30 cm, más del 70% por volumen es grava fina a media no cementada según (Soil Taxonomy, 2006). Son suelos típicos de relieve relativamente plano, escurrimiento medio, permeabilidad rápida, drenaje bien a algo excesivamente drenado, clima árido y clima edáfico térmico arídico.

Geotécnicamente, presentan propiedades muy variables y relacionadas con la granulometría, asociados frecuentemente a masas inestables. El nivel freático que presentan generalmente es alto y la presencia de arcillas expansivas en ellos podría ser un factor de gran importancia, ya que por su mineralogía y fábrica tienen la capacidad de adsorber agua con un cambio de volumen importante y causar daños a las estructuras que se encuentren en la superficie. Por otro lado, el grado de salinidad del agua de circulación también es un factor a tener en cuenta, dados los efectos agresivos que tiene sobre el hormigón de las cimentaciones (González de Vallejo *et al.*, 2002), principalmente por la presencia de iones sulfatos.

c. Vegetación

Bran *et al.* (2002) definieron las distintas ecoregiones que componen a la provincia. El área de estudio se ubica sobre el sector más oriental del territorio neuquino, denominado como Monte austral o Monte de llanuras y mesetas.

Dado que el sector estudiado presenta una precipitación media anual menor a 200 mm y una temperatura media anual de 13 a 14 °C, las condiciones son de clima árido con elevados valores de evapotranspiración, con vegetación predominante de tipo estepa arbustiva constituida por especies xerófilas (plantas adaptadas a la escasez de agua en la zona en la que habitan) que dejan grandes proporciones de suelo desnudo y expuesto a la acción de los agentes de erosión.

De acuerdo a Capua y Jurio (2011) las características principales de estas especies son:

- Capacidad de generar un extenso sistema radicular en sus raíces, por lo que su volumen bajo tierra es mayor al volumen que ocupa en superficie. Esto ocasiona que las plantas no estén próximas generando una formación abierta, espacio que queda libre para que las gotas de lluvia descarguen su energía, disminuyan la capacidad de infiltración por las partículas desprendidas de los agregados de suelo que van tapando los conductos.
- Hojas pequeñas, con el fin de reducir la transpiración. En algunos casos las plantas no generan hojas sino espinas, como en el caso del *Prosopis alpataco* (alpataco).
- Vegetación baja y arbustiva que no ejerce resistencia a los vientos.
- En sitios con rodados superficiales aparece el *Alcantholippiaseriphoides* (tomillo), mientras que el olivillo tiende a colonizar lugares alterados por el hombre, como a la vera de las picadas petroleras o lugares donde se extrajo el *Montheaaphylla* (matasebo).

d. Geomorfología

González Díaz y Di Tommaso (2011) afirman que las presentes condiciones climáticas de la provincia del Neuquén muestran diferencias con respecto a las que imperaron durante el lapso climático cuaternario. Consideran que el clima actual está especialmente determinado por la interacción de los anticiclones Pacífico y Atlántico, el obstáculo de la Cordillera Septentrional Patagónica, la sequedad y las altas temperaturas de la zona oriental caracterizada por su baja presión.

Los procesos más importantes en el modelado del relieve provincial han sido la acción fluvial -relacionado con la intensidad y tipo de las precipitaciones-, remoción en masa –vinculada directamente a la gravedad-, el volcanismo, la sismicidad y de forma reducida el accionar antrópico.

En Halcrow (2002) se presenta la evolución geomorfológica desde el Pleistoceno Temprano hasta la actualidad. Según este trabajo, la evolución comienza con la existencia de una extensa superficie de transporte glacifluvial sobre el territorio, donde el accionar se manifiesta en canales activos y barras intermedias, conformando en su conjunto un hábito trezado de gran escala. El agua que modelaba el paisaje provenía de una glaciación en la cordillera situada al oeste (Fig. 4a).

Cuando la glaciación se retrae comienza la profundización interglaciar, seguida por una segunda glaciación que incrementó los caudales sobre una nueva superficie glacifluvial en la comarca (Fig. 4b). Luego de esta profundización durante un periodo interglaciar, se incrementan los caudales producto de un tercer periodo glacial en la región andina, por primera vez los ríos Neuquén y Limay se presentaban en la zona como dos cursos separados, desarrollando sendas llanuras glacifluviales encauzadas en la anterior planicie glacifluvial (Fig. 4c).

Una vez culminada la cuarta y última glaciación, tiene lugar una nueva profundización seguida de un periodo de estabilidad (Fig. 4d). En este lapso se estructuraron las primeras llanuras de inundación fluvial correspondientes a los ríos Limay y Neuquén. El hábito de estos cursos fluviales pasó de ser trezado a meandriforme.

De acuerdo a registros vestigiales se confirma que la morfología de los canales era de mayor escala. Durante este periodo también comenzaron a generarse los primeros sistemas fluviales tributarios de régimen transitorio instalados sobre las pendientes marginales de las terrazas del Nivel I y Nivel II. Asociados a estos se formaron incipientes conos aluviales y niveles de pedimento de flanco que comenzaron a sepultar al Nivel III.

La figura 4e ilustra las características presentes luego de una nueva profundización fluvial de los ríos Neuquén y Limay, la cual generó a la Terraza Superior que margina a ambos cursos. Se observa un hábito meandriforme y mayor magnitud que la de los sistemas fluviales actuales. Paralelamente, los sistemas fluviales locales evolucionaban dando lugar al retroceso de las pendientes marginales de la meseta, al tiempo que se desarrollaban conos aluviales, bajadas y sucesivos niveles de pedimentos de flanco.

En la figura 4f pueden observarse características presentes en la actualidad, luego del último evento de profundización de los ríos Limay y Neuquén. Sobre las pendientes que marginan a la meseta se observa además la formación de un nuevo nivel de conos aluviales y bajada.

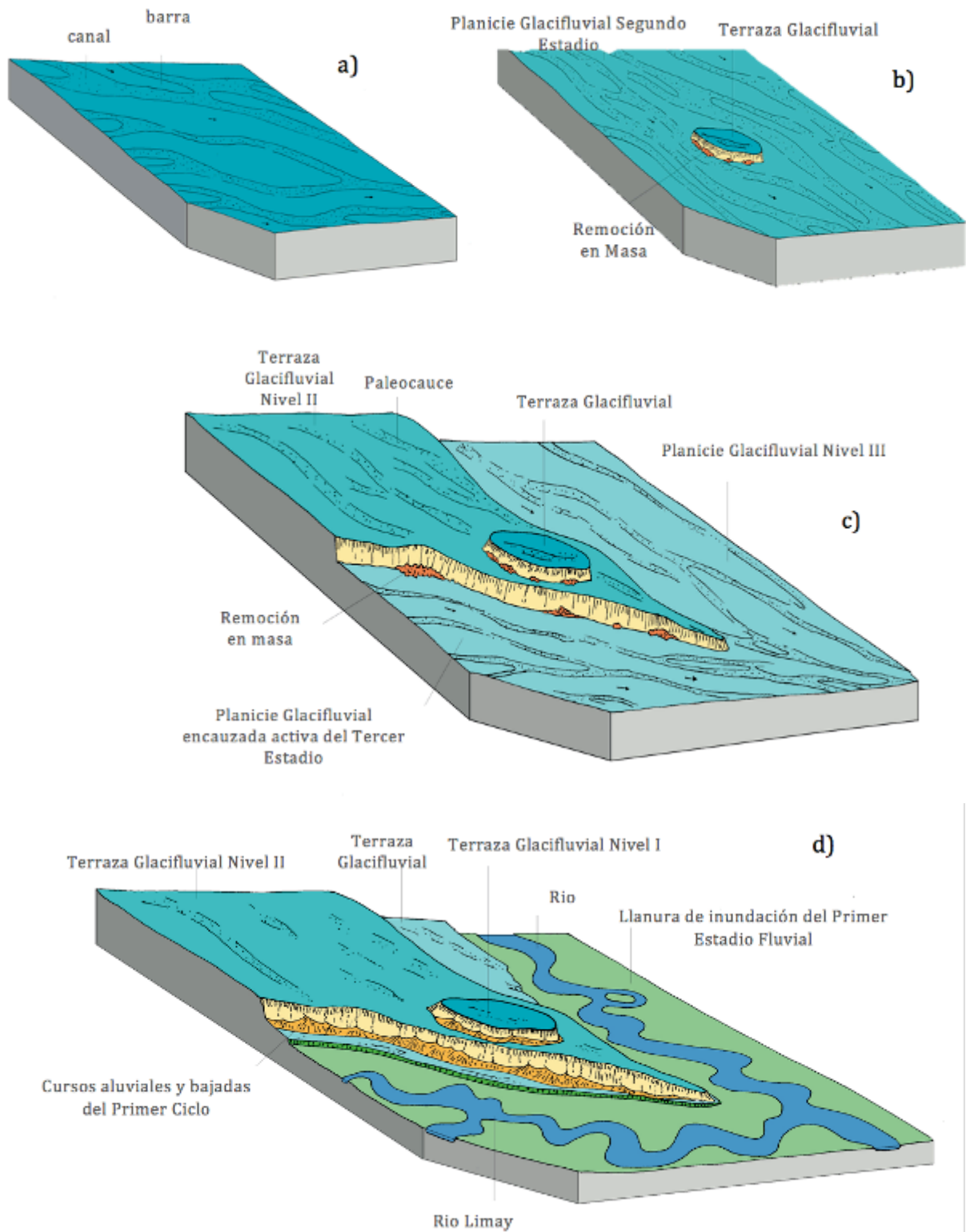


Figura 4- Evolución geomorfológica del paisaje desde el Pleistoceno temprano hasta la actualidad. Se ilustran las características del área: a) durante el primer estadio glacifluvial; b) durante el segundo estadio glacifluvial; c) durante el tercer estadio glacifluvial y d) durante el primer estadio fluvial de los ríos Limay y Neuquén (Halcrow, 2002).

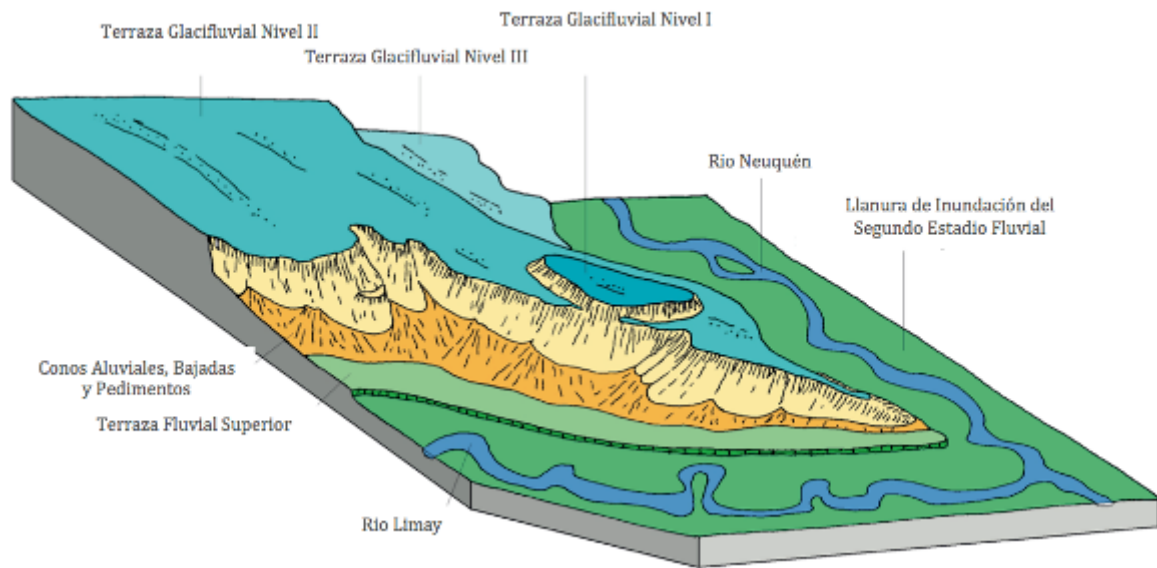


Figura 4 e- Características resultantes tras una nueva profundización de los ríos Limay y Neuquén (Halcrow, 2002).

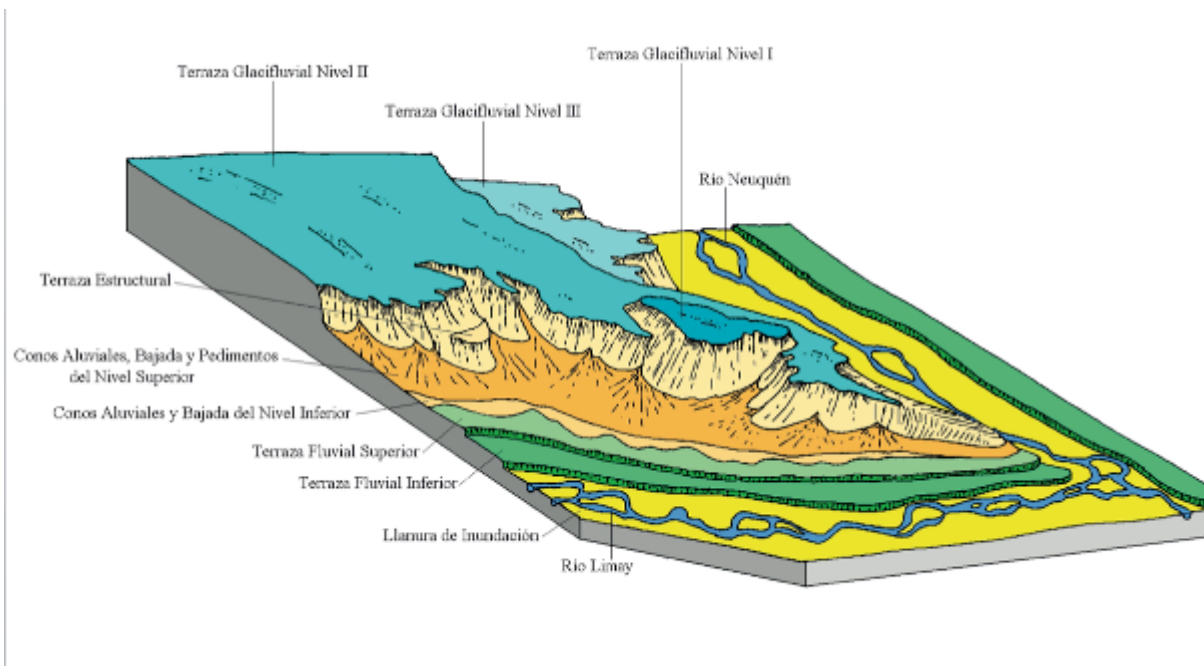


Figura 4 f - Características actuales de los ríos Limay y Neuquén (Halcrow, 2002).

En la actualidad, se distinguen dos unidades de paisaje totalmente diferentes: la meseta o barda y el piso de valle de los ríos Limay y Neuquén. La meseta está formada por rocas sedimentarias, susceptibles a la erosión. La misma presenta una superficie plana expuesta a la acción del viento y un escalón topográfico con fuerte pendiente por donde escurre el agua de lluvia formando numerosas cárcavas. El piso de los valles se transforma así en receptor de los sedimentos transportados por el frente de barda (Departamento Geografía, UNCO, 2000). Los procesos actuales que inciden en el modelado del paisaje son erosión hídrica, erosión eólica, meteorización – principalmente mecánica- y procesos de remoción en masa. Los mismos se han intensificado a partir de las actividades que desarrolla el hombre sin considerar la fragilidad del ambiente y sin un adecuado manejo del medio natural.

El área de estudio se ubica en el piso de valle del río Limay, presenta un diseño anastomosado caracterizado por barras e islas, con procesos erosivos en las cabeceras de las barras. Los sedimentos transportados por la corriente fluvial se depositan aguas abajo de las barras, creando una zona de transporte debido a un aumento de la energía de la corriente. Con el aumento del caudal no se inunda por completo la llanura aluvial. Las condiciones asociadas al desarrollo de ríos anastomosados incluyen pendientes acusadas, caudal variable, sedimentos de grano grueso e importante suministro de sedimentos (Miall, 1977). Las barras pueden originarse en el centro del canal, una vez formadas crecen por acreción lateral y aguas abajo. En la red de canales anastomosados la anchura típica de los canales es mucho más pequeña que la de las barras.

De acuerdo a Tooth y Nanson (1999), el desarrollo de los canales anastomosados se produce por inundaciones frecuentes, por paredes de los canales que se resisten a la erosión, junto con mecanismos que bloquean o restringen el desarrollo de los canales y también el desencadenamiento de avulsiones.

Sobre el piso de valle del río Limay se distinguen dos características propias:

1. Las terrazas fluviales, correspondientes a antiguas planicies de inundación que fueron aterrizadas por descensos progresivos del nivel de base regional, por lo que representan niveles topográficos más elevados con buen desarrollo de suelos y aptos para la agricultura. Son superficies de rodados fluviales generalmente soportados en matriz arenosa. Su espesor y su profundidad varían de acuerdo a la antigüedad y a las geoformas constituyentes.

Las que se desarrollaron al pie del frente de barda, están sometidas a sedimentación local que procede de la erosión de las laderas por escorrentía y procesos de remoción en masa. Es evidente la formación de abanicos aluviales, geoforma integrada por acumulaciones clásticas que tiene una forma similar a un segmento de cono en planta y que se extiende pendiente abajo a partir del punto donde las corrientes abandonan el frente de barda.

2. La planicie de inundación corresponde a la superficie aluvial adyacente a un curso fluvial esencialmente compuesta por material aluvional, no consolidado, que los ríos movilizan por excavación de los canales o por migración lateral, constituyendo un ámbito de expansión del río en los episodios de crecidas. Son relativamente planas, su anchura es variable y depende del tamaño del río, de la velocidad de erosión y de la resistencia del material rocoso de las paredes del valle (Gutiérrez Elorza, 2008). Es una unidad sometida periódicamente a inundaciones ordinarias y extraordinarias (Strahler, 1984). Como resultado hay una tendencia generalizada cerca de los márgenes del valle a un ligero buzamiento desde los bordes hacia el eje del valle (Gutiérrez Elorza M., 2008).

Una característica regional de la mayoría de los cursos neuquinos es la movilización de ingentes volúmenes de rodados y arenas como carga de lecho (por tracción). Por ello, sus respectivas planicies aluviales se caracterizan por presentar canales de ancho mayor que profundidad y de orillas inestables.

En el río Limay, esta dinámica natural se ha modificado con la construcción de presas aguas arriba que regulan el caudal actual, y por consiguiente los procesos de erosión y transporte de sedimentos.

e. Hidrología

Para analizar la influencia del agua en nuestra área se tendrán en cuenta tres factores: la hidrometeorología, la hidrología superficial y la hidrogeología subterránea.

- **Hidrometeorología:** Incluye precipitaciones, temperatura, evapotranspiración y balance hídrico. La ciudad de Neuquén se encuentra expuesta a fenómenos hidrometeorológicos caracterizados por la ocurrencia de tormentas de origen convectivo durante el verano, con alta intensidad y corta duración, y tormentas invernales que comienzan a partir del otoño. En su conjunto generan un paisaje característico con cárcavas en la zona norte y oeste de la ciudad, dominando un relieve mesetiforme con escasa pendiente en dirección al este, hacia los ríos Limay y Neuquén (Capua, et al. 1999). Laurencena (2015) indica una precipitación media (período 1900 - 2015) de 173 mm/año, característico de un clima árido, con veranos más secos (enero registra 11,6mm y febrero 11mm) y meses de mayores precipitaciones mayo (19,5mm) y octubre (2,6mm).

A nivel mensual algunos valores superan la media anual con máximos de hasta 200 mm, pudiendo producir excesos en cortos períodos de tiempo y favoreciendo un escurrimiento superficial rápido, en especial en el pedimento de flanco y su infiltración en la planicie aluvial inactiva.

La temperatura media anual (período 1958 - 2015) es de 14,7°C, siendo julio el mes más frío con un valor medio de 6,1°C y enero el más caluroso con una media registrada de 23,3°C.

La evapotranspiración potencial (período 1900 - 2015) es de 771 mm/año estimada con el método de Thornthwaite – Mather de 1955.

De acuerdo a las estimaciones observadas no existirían excesos de agua con capacidad de infiltración, considerando que la evapotranspiración potencial supera ampliamente los valores de precipitación. Sin embargo, la existencia de precipitaciones aisladas, relativamente intensas, asociadas a un escurrimiento superficial rápido desde los pedimentos justificarían la recarga de agua subterránea, infiltración rápida que podría producirse en cortos períodos de tiempo asociado a una alta conductividad hidráulica de los sedimentos aflorantes.

- **Hidrología superficial:** El río Limay presenta un régimen pluvionival, con precipitaciones pluviales y níveas embalsadas por los lagos que se encuentran aguas arriba. Las alturas del río constituyen un nivel de base en la descarga que produce el agua subterránea en la planicie del río situada en el área de estudio. Laurencena (2015) realizó estimaciones a partir de datos aportados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos (BDHI, 2015), eligiendo la estación Paso Limay por ser la más cercana al lugar situada aguas arriba. El caudal medio estimado fue de 713 m³/seg (período 1959-2013). Asimismo, registró una variabilidad de caudal caracterizada por una doble onda de crecida anual, la primera en invierno (1033 m³/seg) asociada a las precipitaciones y la segunda a fines de la primavera (1047 m³/seg) relacionada a la fusión de la nieve caída durante el invierno en la cordillera al incrementarse la temperatura.

El siguiente gráfico corresponde a alturas medidas del río en la estación hidrométrica Balsa Las Perlas (Fig. 5). Se puede observar que a partir de 1973, cuando empiezan a operar las

represas construidas aguas arriba (El Chocón, seguida de Alicurá, Piedra del Águila y Pichi Picún Leufú), se produce un notable control en el régimen del río que se ve reflejado en una modificación del patrón de caudales, registrándose las menores alturas en 2008 y 2009 con valores de 263 msnm.

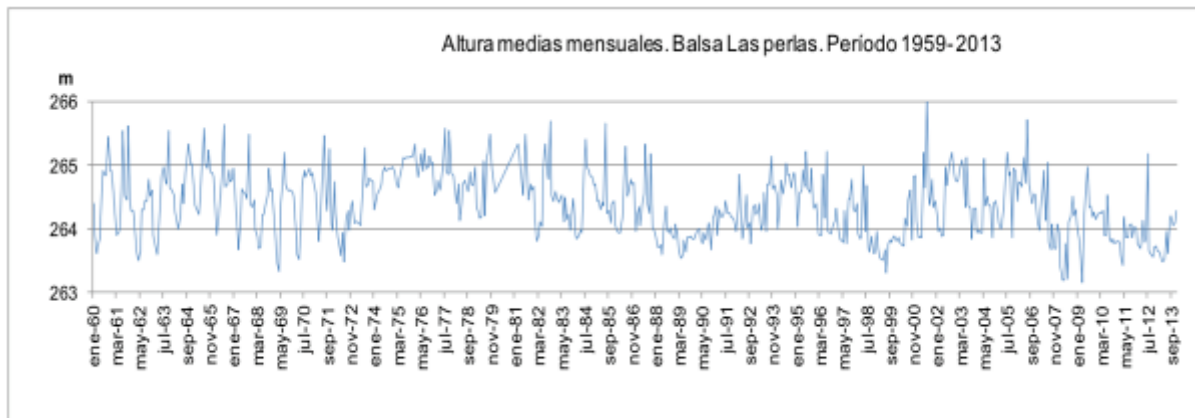


Figura 5 - Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas, periodo 1959 -2013 (Laurencena, 2015).

Por efecto de la construcción de las presas se magnificaron los daños potenciales, pero se redujeron sus probabilidades de ocurrencia (AIC, 1998). Aguas abajo de las presas existe un riesgo hídrico causado por factores como la ocupación urbana y agrícola de las planicies de inundación, luego de la regulación de las crecidas, que generó una falsa creencia de la desaparición de riesgos de inundación. Este riesgo se agudiza en las áreas inmediatas al río por la baja altura de su cota.

Por otro lado, lado la regulación de los caudales produjo cambios morfológicos en el río, con modificación de la geometría de las secciones y de la pendiente del fondo del río.

- Hidrogeología subterránea: En el suelo y subsuelo existen varias zonas donde el movimiento del agua tiene diferentes características. González de Vallejo (2002) las describe de la siguiente manera (Fig. 6):

Suelo: Es la parte más superficial y la que se encuentra en contacto con la atmósfera, es una zona húmeda, de alta porosidad y abundancia de materia orgánica. El movimiento del agua está caracterizado por los fenómenos de infiltración, almacenamiento, evaporación y transpiración. Al existir absorción y presiones negativas el nivel piezométrico es inferior a la altura de posición.

Zona no saturada: El movimiento del agua es gravífico y por tanto vertical descendente. También existe absorción y presiones negativas, por lo que el nivel piezométrico es inferior a la altura de posición.

Franja capilar: Es una zona de transición entre las zonas no saturada y saturada debido a la absorción de la parte de formación acuífera, está situada inmediatamente encima de la zona saturada. Debido a la absorción, el nivel piezométrico es inferior a la altura de posición y el movimiento en el espacio poral del suelo es tanto ascendente como descendente.

Zona saturada: Es la zona inferior donde el agua satura totalmente los poros del acuífero. En esta zona el nivel piezométrico nunca es inferior a la altura de posición.

En estas últimas tres zonas el agua puede presentarse como agua de retención o higroscópica, que permanecerá en el suelo, y agua capilar y gravífica, que podrán ser removidas ante un proceso de drenaje o evacuación de agua.

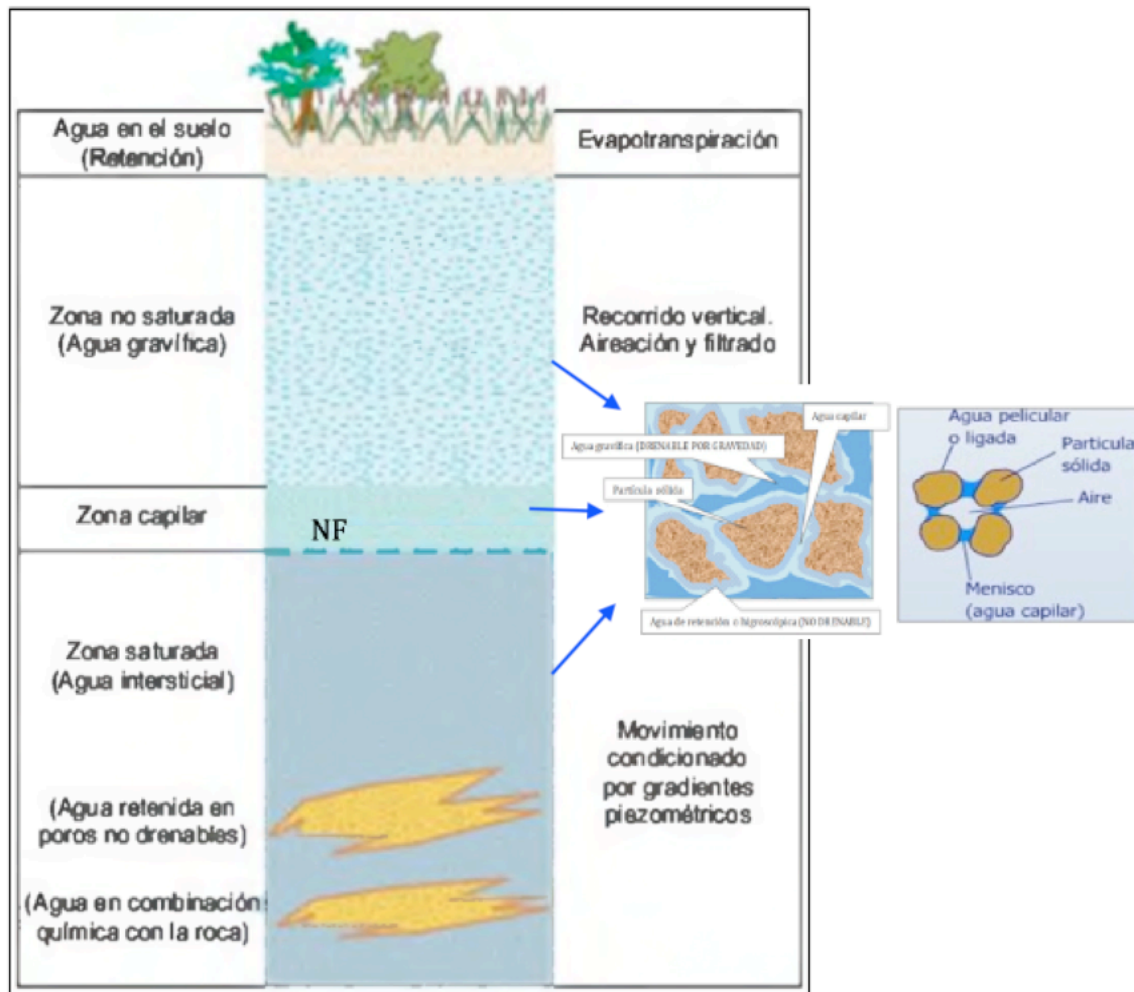


Figura 6 - Perfil y movimiento del agua en el suelo y subsuelo (González de Vallejo *et al.*, 2002)

El agua subterránea se presenta (Fig. 7), en gran parte de la comarca, como complejos acuíferos confinados en la sucesión de areniscas y fangolitas del Grupo Neuquén (Cretácico Superior). Los acuíferos de este Grupo han sido estudiados detalladamente por Primo y González (1973), quienes, empleando la información de 46 pozos, indican que los caudales varían entre 2 y 3,6 m³/h y la calidad del agua es variable, con valores de sales disueltas entre 1.000 y 7.000 mg/l, aunque los más frecuentes son los de 1.500 a 2.000 mg/l.

Por otro lado, el acuífero superficial, de tipo libre, está conformado por sedimentos de granulometría gruesa y está directamente relacionada con el ciclo hidrológico actual y con las actividades del hombre. La recarga de agua es local y directa, proporcionada por los cursos fluviales, precipitaciones pluviales y riego. El nivel estático del agua se halla relativamente cerca de la superficie y tienen alta vulnerabilidad a la contaminación. Su distribución geométrica y diseño de la red de flujo subterránea es coherente con la topografía de la superficie (Primo y González, 1973), en dirección N-S a nivel regional y una profundidad del nivel freático que disminuye a medida que nos acercamos al cauce principal del río Limay.

Sobre el sector de interés, el acuífero freático se desarrolla en su mayor extensión en sedimentos aluviales cuaternarios (Pleistocenas, Holocenas), formados por gravas y arenas sueltas de variada granulometría, que pasan transicionalmente a sedimentos más finos (arena, limo y arcilla) hacia el sector de pedimento de flanco. Su límite superior está dado por suelos del orden *Entisol* y el inferior por la escasa permeabilidad de acuícludos- acuitardos del Grupo Neuquén, el cual también constituye el límite lateral al norte. Al sur, el límite está constituido por el cauce del río Limay.

El espesor medio varía entre 10 y 12 m, presentando tamaños grandes de clastos. El acuífero libre ocupa la planicie del río y parte del pedimento que se desarrolla sobre la meseta, por lo que no es homogéneo en su conformación litológica y características hidráulicas. Está desarrollado mayormente en gravas y rodados, interdigitado hacia el pedimento con material tipo arena, limo y arcilla de baja conductividad hidráulica.

En la planicie aluvial, la superficie del terreno presenta baja retención de agua en el suelo y alta capacidad de infiltración (superando los 10 cm/h). Por debajo, el manto de gravas presenta alta capacidad de almacenamiento y transmisión de agua de acuerdo a las características hidrológicas e hidráulicas. La transmisividad media es del orden de 1000 m²/día y la conductividad hidráulica variable entre 100 y 150 m/día. La porosidad efectiva estimada según características texturales varía entre 15% y 35%. El caudal de los pozos de extracción es del orden de 30.000 L/h.

En el pedimento de flanco distal, los depósitos conforman un acuífero de baja permeabilidad, del orden de 5 m/día y porosidad efectiva menor al 5%.

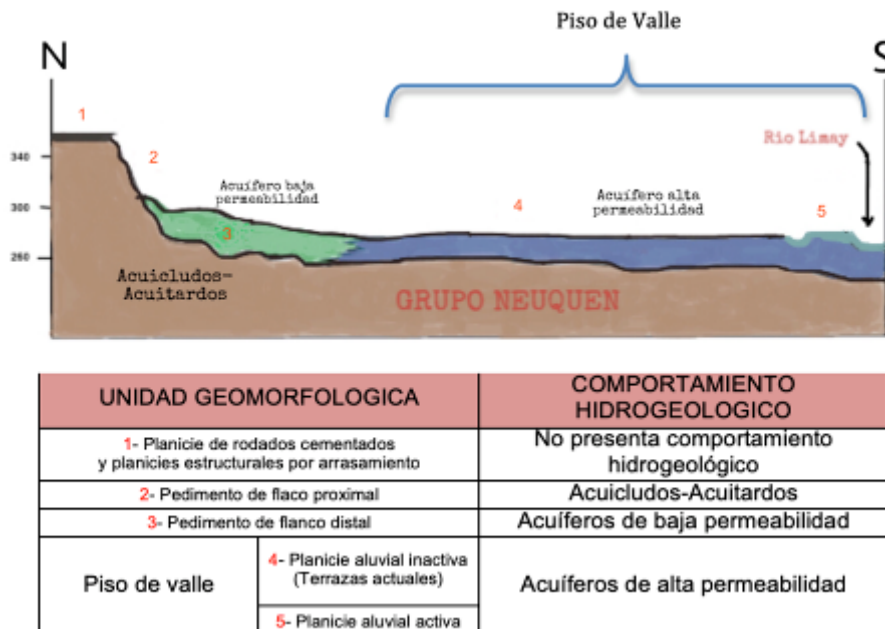


Figura 7- Perfil transversal al valle indicando el comportamiento hidrogeológico de las unidades geomorfológicas (Laurencena, 2015)

Como conclusión se puede decir que la planicie aluvial, activa e inactiva, se encuentra afectada por variaciones del nivel freático que dependen tanto del flujo subterráneo que proviene desde la barda como del caudal que lleve el río, intensificado por las características de la hidrogeología subterránea, como ocurre en el acuífero somero que abarca ambas planicies, donde el tamaño de grano, y en consecuencia la permeabilidad, aumentarían en dirección al cauce. Estos factores afectan directamente a la zona en cuestión y por lo tanto deberían mantenerse controlados, de lo contrario tomar las medidas adecuadas para que el nivel freático no afecte a las estructuras presentes.

f. Sismicidad

El mapa de Zonificación Sísmica del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 (Fig. 8) identifica 5 zonas en la Argentina con diferentes niveles de peligrosidad sísmica, dejando ubicada a la ciudad de Neuquén en el límite de las zonas 0 y 1, con probabilidad de que ocurran movimientos sísmicos de cierta intensidad muy reducida a reducida.

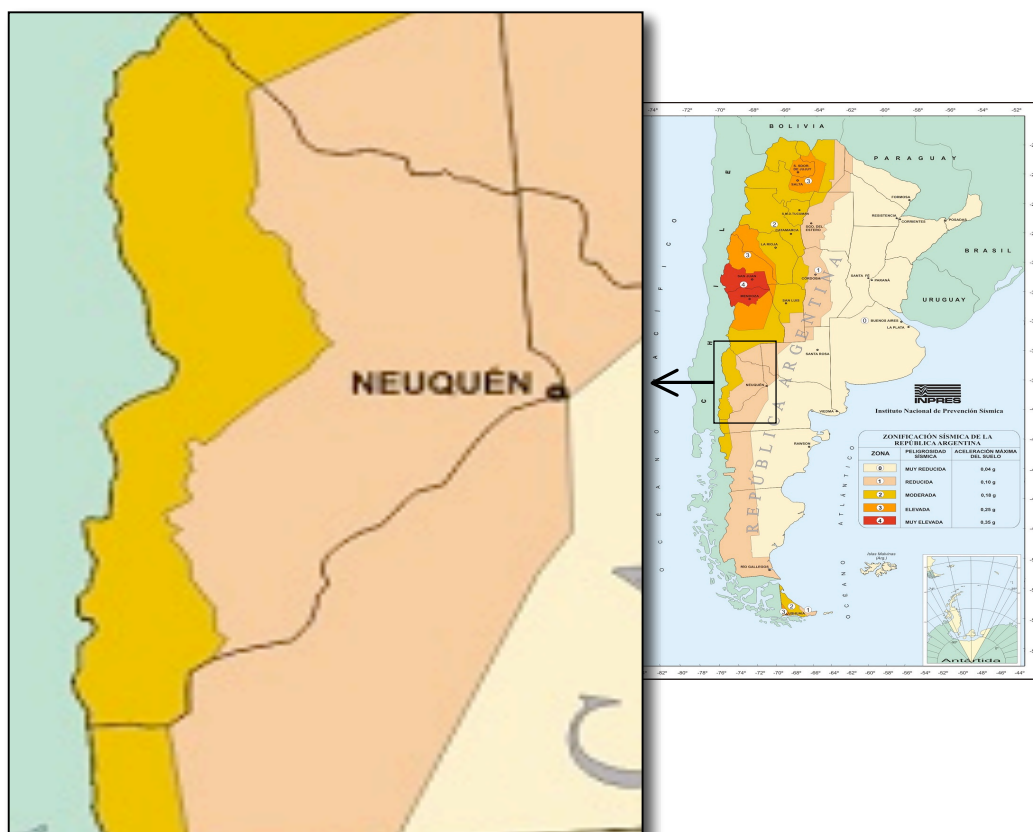


Figura 8- Zonificación Sísmica de la República Argentina. (INPRES CIRSOC 103, 2013).

Según este reglamento, los depósitos del área estudiada se consideran suelos que requieren evaluación específica por ser potencialmente licuables (suelos que estando sujetos a la acción de una fuerza externa –carga- en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a líquido o adquieren consistencia de líquido pesado. Los más susceptibles a licuefacción son los depósitos jóvenes (Holoceno) de arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, capas de más de 1 metro, con alto contenido en agua- saturados- sedimentos de lecho de río, playa, dunas, etc.), presentando las siguientes características en general (tabla 1):

Descripción del suelo	Propiedades del suelo promedio		
	Velocidad media de la onda de corte V _{sm} (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado Nm	Resistencia media al corte no drenado Sum (kPa)
Gravas y/o arenas de densidad media.	360 a 760	>50	>100

Tabla 1– Características sísmicas de sedimentos fluviales jóvenes (INPRES CIRSOC 103, 2013)..

Dicho esto y considerando la reducida peligrosidad sísmica que presenta la zona estudiada no se profundizará el tema. Sin embargo, a la hora de proyectar una obra se recomienda respetar el Reglamento Argentino para Construcciones Sismoresistentes, INPRES-CIRSOC 103, y de esta manera evitar pérdidas materiales y mayormente humanas.

g. Desarrollo urbano

Trabajos realizados sobre el ejido neuquino en los últimos años muestran que los recientes cambios en la configuración del territorio del Alto Valle del Río Negro, en la dinámica económica y en la funcionalidad de las ciudades han dado lugar a la denominada Conurbación Neuquina, cambios que han significado la ampliación del área de influencia de la ciudad, la emergencia y agravamiento de conflictos ambientales, y la intensificación de los vínculos interurbanos y urbano-rurales, traducidos en flujos de personas, bienes, información y servicios, cambios que generan problemas sobre el escenario en el que se desarrollan (Landriscini *et. al.*, 2014).

En el año 1962 la población ocupaba sólo un pequeño sector al sur del territorio comprendido entre los ríos Neuquén y Limay inmediatamente antes de su confluencia (Fig. 9). Dicho sector limitaba al sur con una serie de cursos principales y secundarios que constituían – y constituyen – la planicie de inundación del río Limay, siendo esta muy ancha y poco profunda, cuyo sentido de circulación es noroeste-sureste y gradiente general hacia el sur.

A principios de 1970 comenzó a manifestarse un explosivo crecimiento poblacional y urbano, la provincia de Neuquén alcanzó una población de 550.344 habitantes, de los cuales 362.673 habitan en el departamento Confluencia (Indec, 2010), consecuencia principalmente de procesos de migración interna inducidos por la construcción de las grandes obras hidroeléctricas y el incremento de la explotación petrolera y gasífera, transformándose en receptora de las migraciones de todo el país. La rápida y constante expansión urbana sin planificación logró que en menos de tres décadas se ocupara de forma caótica el piso del

valle de este a oeste, tierras productivas bajo riego y el pedemonte, sitios que por sus condiciones y dinámica natural se consideran los suelos menos aptos de la región para la instalación humana permanente.

En el año 2019 (Fig. 10) se observa la ciudad de Neuquén abarcando casi la totalidad del territorio comprendido entre los ríos previo a la confluencia, permaneciendo como límites al sur el río Limay, al norte la meseta, al este el río Neuquén y la confluencia para formar el río Negro y al oeste la ciudad de Plottier. Sin embargo se observa a los ríos Limay y Neuquén con menor extensión areal de los cauces producto de la regularización de los caudales generada por las represas construidas aguas arriba. Asimismo, se observa una variación en la posición del río Limay atribuida al movimiento lateral del lecho o *avulsión*, es decir, que se produjo el abandono rápido del cauce del río y la formación de uno nuevo. Estos procesos ocurren como resultado de que las pendientes del cauce son mucho menores que la pendiente que el río podría adquirir si tomara un nuevo rumbo.



Figura 9- Fotografía aérea de Neuquén en el año 1962 (Fuente: Capua y Jurio 2011)



Figura 10- Imagen satelital de Neuquén en el año 2019 (Fuente: Google Earth Pro, adquirida en 2019).

Se puede observar que la población avanzó tanto hacia el norte como hacia el sur, invadiendo un gran territorio sobre la meseta y sobre piso del valle del río Limay, estimando un incremento en la ocupación territorial de un 100% en los últimos 55 años. Este hecho se atribuye a la construcción de las represas que generó la regularización de los caudales, disminuyendo el área que normalmente se inundaba por crecidas ordinarias y/o extraordinarias de los ríos y provocando que la población invada rápidamente el sector, desconociendo las características propias de estos depósitos y sus restricciones para la urbanización.

Según el Plan Urbano Ambiental (2005) la zona de estudio corresponde a Área Urbanizada y Área de Expansión Urbana, y se ubica en gran parte sobre la Zona de Protección con Riesgo de Inundación (áreas afectadas por inundaciones con una recurrencia de 10 años y 100 años, delimitadas por las líneas de inundación del río Neuquén y del río Limay según (AIC, 1998) y Zonas de Preservación- de oasis irrigado, barreras de álamos y toda otra especie arbórea,

que indica que el paisaje que se debe respetar en cada parcela habilitada para otro uso que no sea agrícola, así como también se deben mantener la red de canales de riego y drenaje- (Fig. 11).

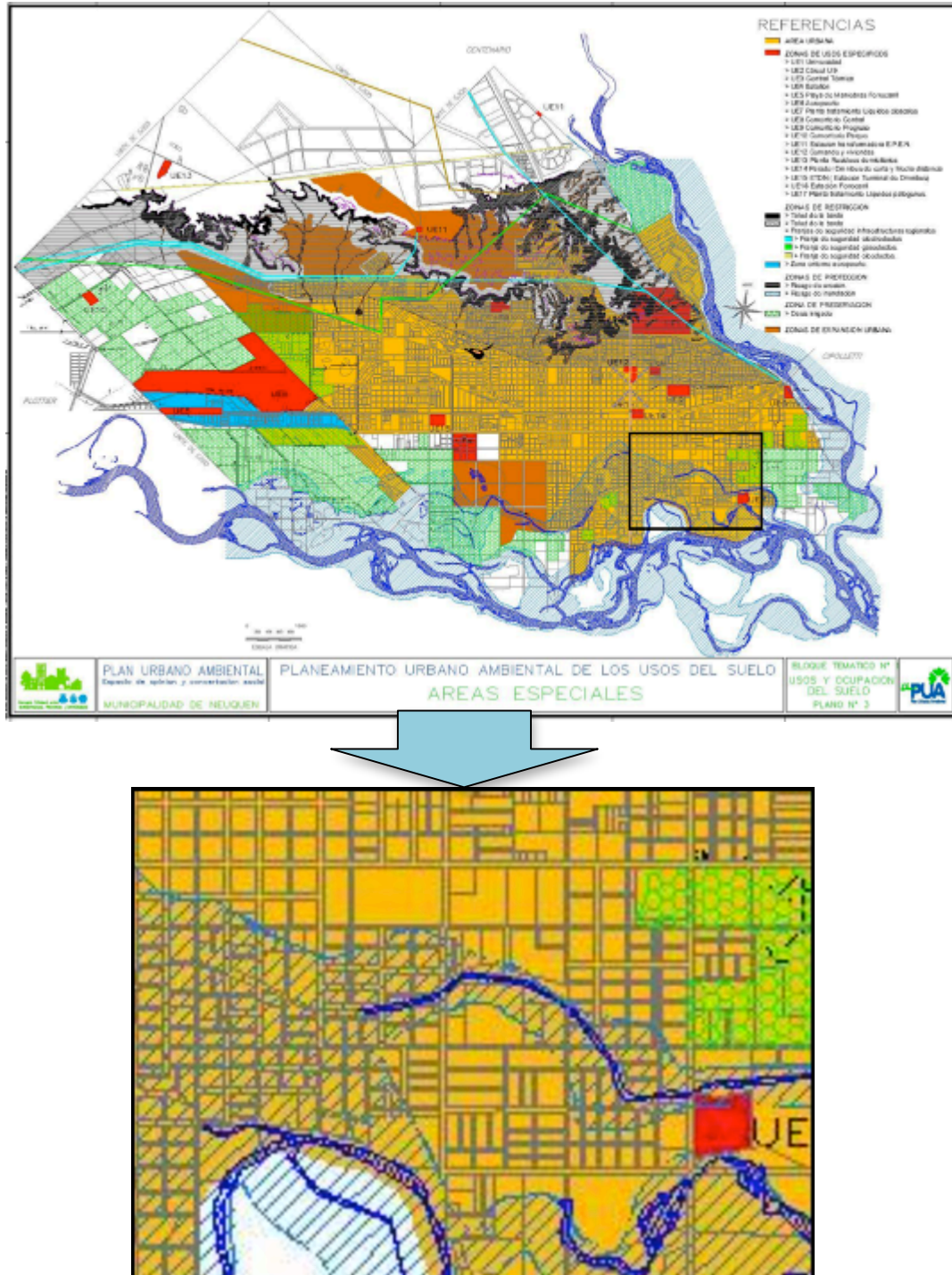


Figura 11- Se observa que la zona de estudio (zona urbana y de expansión urbana) abarca en gran parte las zonas de protección por riesgo de inundación y zonas de preservación de oasis irrigado (Halcrow, 2002).

3. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo se realizaron una serie de actividades, iniciando con la recopilación y análisis de toda la información y datos pertinentes, pública y privada que estuvo disponible (estudios geotécnicos previos, información geológica, hidrogeológica, climática, etc.).

a. Caracterización física del área

Para la caracterización geomorfológica y geológica se utilizó en gabinete una fotografía aérea de Neuquén capital en el año 1962 (Capua y Jurio, 2011), imagen satelital actual (Google Earth 2019) y un modelo digital de elevación con resolución espacial de 5 m del Instituto Geográfico Nacional (Recuperado de <http://www.ign.gob.ar>). En el campo se chequeó la interpretación de gabinete mediante sondeos y observación de afloramientos.

b. Relevamiento de las propiedades geotécnicas

La identificación de las propiedades geotécnicas del subsuelo se realizó mediante antecedentes y reconocimiento in situ de horizontes de suelo a diferentes profundidades de investigación. En la Fig. 12 se indica la localización de los sitios con información proveniente de 21 estudios de suelo (Consul Val SRL y GEO Neuquén, 2011-2017), descripción de perfiles en 6 excavaciones por obras en construcción y 7 sondeos cortos. En la Fig. 12 se indica además la profundidad de investigación alcanzada y en tabla 2 se sintetizan las características de los sondeos.

Los sondeos cortos se realizaron con herramienta helicoidal de accionamiento manual de $\varnothing=2''$, $6''$, $8''$ a profundidad máxima 1,5 m (Fig. 13).

En la mayoría de estos puntos se obtuvo la descripción del perfil de suelo, profundidad, textura y clasificación de suelo (Anexo 1).

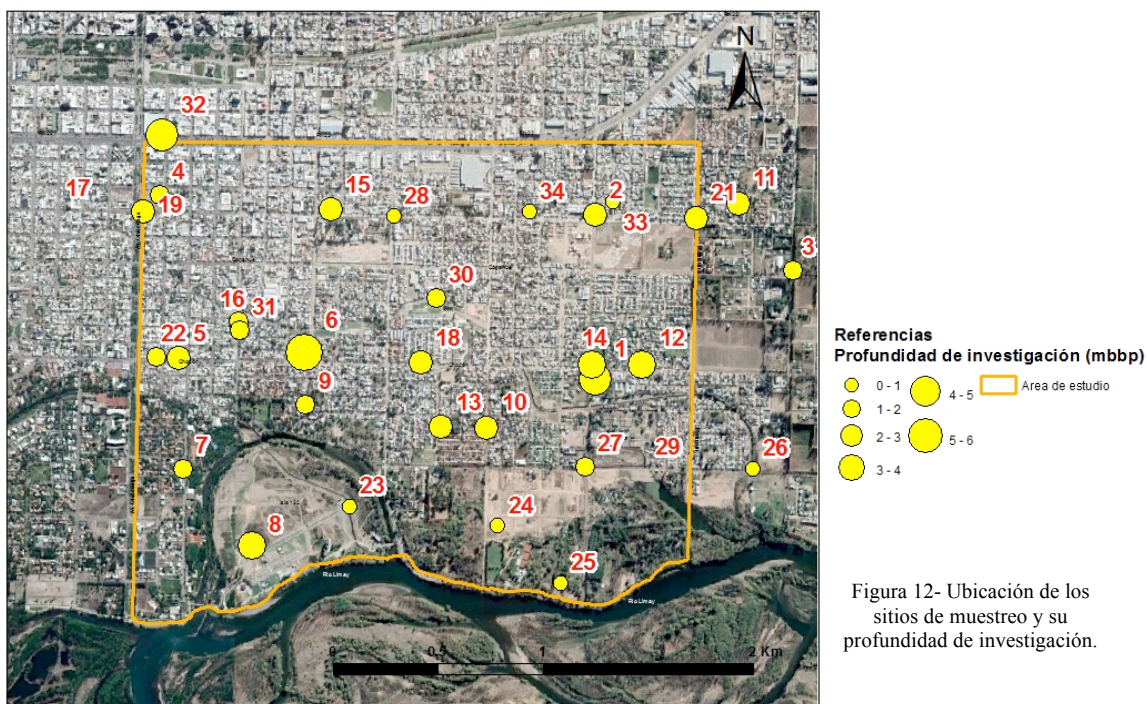


Figura 12- Ubicación de los sitios de muestreo y su profundidad de investigación.



Figura 13 - Herramientas manuales de $\varnothing=2''$ (izquierda) y $\varnothing=8''$ (derecha).

Tipo de sondeo	Cantidad	Profundidad (m)		Fuente
		Mínima	Máxima	
Barrenado $\varnothing=2''$	3	1,0	1,0	Relevamiento propio
Barrenado $\varnothing=6''$	7	0,4	3,4	Consul Val SRL- GEO Neuquén
Barrenado $\varnothing=8''$	11	1,0	4,5	Consul Val SRL- GEO Neuquén- Relevamiento propio
Excavación (con retroexcavadora)	9	1,4	2,8	Consul Val SRL - Municipalidad
Equipo perforador	2	2,5	4,5	Consul Val SRL
Sin especificar	2	-	-	Consul Val SRL- GEO Neuquén-

Tabla 2- Características de los sondeos.

Los datos disponibles de estudios geotécnicos tienen las mayores profundidades de investigación -hasta 4,5 m-, Las observaciones y muestreos cortos permitieron elevar el número de sitios observados a 34 en 5.60 km² del área de estudio, lo cual representa una densidad de 6.07 sitios por km².

Estos datos se procesaron con el programa *Strater 5*, para lograr perfiles correlacionables entre los distintos sitios. Con el fin de identificar unidades geotécnicas con similares características en su comportamiento mecánico. En Anexo 2 se presentan los perfiles obtenidos para los sitios estudiados.

A partir de las propiedades geotécnicas inidentificadas se definieron unidades geotécnicas en el subsuelo. La unidad geotécnica UG es el horizonte de suelo que presenta similares características texturales y tamaño de partículas, utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para tal fin. De esta manera puede considerarse como una unidad homogénea de mapeo.

c. Identificación de Unidades Geotécnicas

A partir de los perfiles de suelo obtenidos con *Strater 5* se logró identificar 4 UG con comportamiento geomecánico distinto:

- **Unidad geotécnica 1:** Delgada capa de material de relleno o suelo blando observado en superficie, con presencia de raíces en muchas ocasiones. Estos suelos con materia orgánica no son aptos para el apoyo de cimentaciones; por su gran deformabilidad e inestabilidad poseen muy baja resistencia (baja capacidad portante); además -cuando el contenido de materia orgánica es elevado- tienden a reducir paulatinamente su volumen debido a la descomposición de la materia orgánica.
- **Unidad geotécnica 2:** Corresponde a una capa constituida mayoritariamente por arena fina algo limosa correspondiente a SM/ ML según SUCS, a veces con algo de plasticidad (SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduados; ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad).
- **Unidad geotécnica 3:** Capa de arenas mal graduadas con presencia de grava con pocos finos o sin ellos, clasificados como SP/ SM, más densas que la capa anterior (SP: arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos; SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduados).
- **Unidad geotécnica 4:** Corresponde a una última capa de gravas más compactas, clasificadas según Casagrande como GW/ GP/ GM (GW: Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos; GP: Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos; GM: Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo). Esta capa es la que presenta las mejores propiedades para soportar grandes cargas.

d. Relevamiento y caracterización del acuífero libre

En cuanto al agua presente en el subsuelo, el aspecto relevante desde el punto de vista geotécnico, es la profundidad a la que se ubica el acuífero libre. Para la caracterización de la profundidad de nivel freático se utilizaron datos de estudios antecedentes y relevamiento in situ de profundidad en freatómetros existentes y excavaciones.

La profundidad en freatómetros se midió con sonda modelo 102 de *Solinst* (Fig.14).

Para la caracterización de los flujos subterráneos se obtuvieron las alturas piezométricas utilizando las cotas del terreno obtenidas con el DEM 5m de IGN junto con la información de profundidad del nivel freático.



Figura 14- Sonda modelo 102 de *Solinst* para medición de profundidad de nivel freático

e. Cartografía digital

La cartografía digital y el análisis espacial se realizaron con el programa *ArcGIS*. A partir de la información puntual de suelos y acuífero se obtuvo la representación espacial mediante el método de interpolación espacial Ponderación de Distancia Inversa (IDW por sus siglas en inglés). Este método fue elegido con la intención de honrar el valor del dato, ya que el IDW es un método determinístico que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento.

4. RESULTADOS

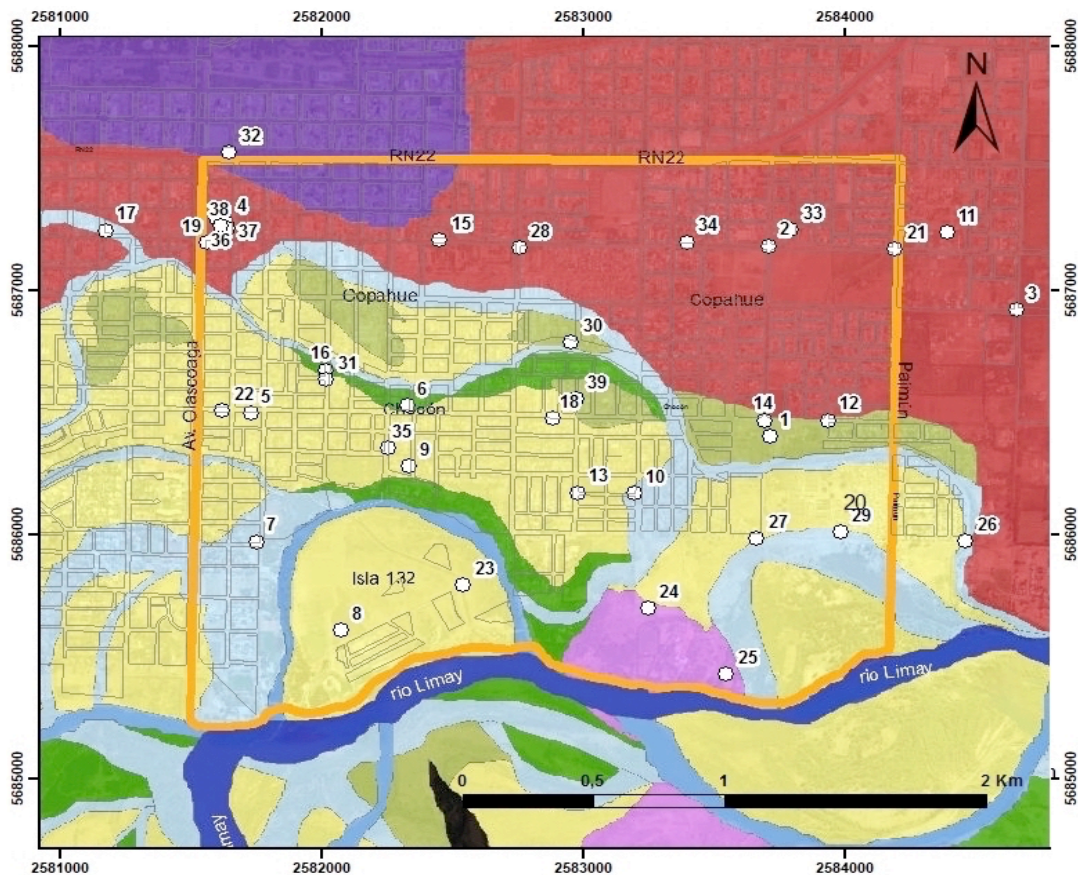
a. Geomorfología y litologías

Se puede observar que el área estudiada se ubica netamente sobre el piso del valle, en la planicie fluvial del río donde predominan las formas de barras e islas, de gran extensión y limitadas por brazos actuales y antiguos del río Limay. Estas formas son características del ambiente fluvial anastomosado.

La segunda forma predominante en el sector corresponde a las terrazas baja y alta, que tienen una pendiente buzante hacia el eje del río, formadas por sucesivos descensos del nivel de base del río que ha dejado de inundar estos sectores.

En tercer lugar encontramos los cauces abandonados, producto de una disminución en el caudal de agua que provocó el funcionamiento de las represas, estos brazos se fueron secando hasta su total abandono. Sin embargo es posible distinguir sus formas en fotografías aéreas e imágenes satelitales previas a la urbanización.

Por último, encontramos geofomas más pequeñas como glóbulos de derrame y dunas de arena.



Referencias

Sistema de proyección: POSGAR 1994 - Argentina zona 2

Geomorfología

	Barra		Llanura de inundación		Área de estudio
	Cauce abandonado		Lobullo de derrame		Meandro abandonado
	Cauce principal actual		Terraza alta		Terraza baja
	Cauce secundario actual				
	Duna				

Figura 15– Geomorfomas presentes en la llanura fluvial del río Limay

En Fig. 16, se representan las litologías relevantes en el área de estudio. En el mismo se puede observar el predominio de gravas arenosas, depósitos de barra, geotécnicamente considerados suelos SP/ SM.

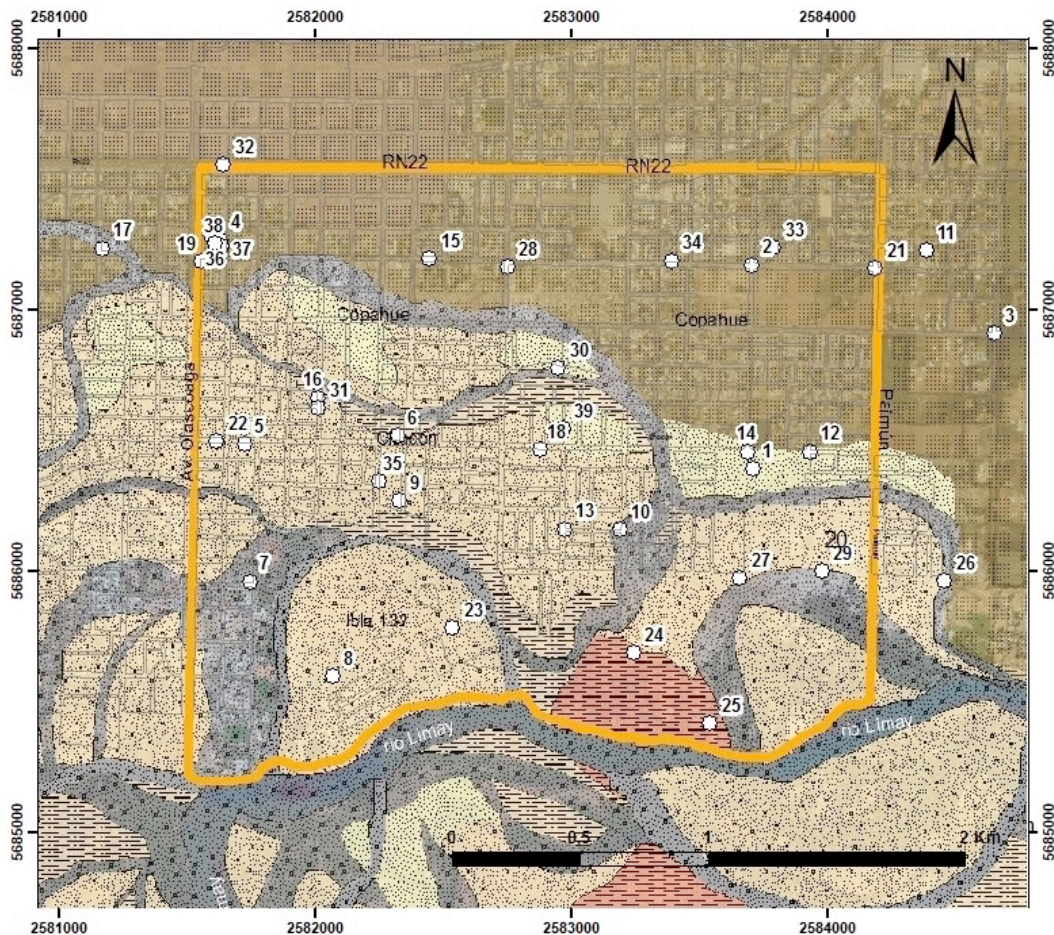
La segunda litología predominante es la de depósitos de planicie, actual terraza baja, constituida por arenas y limos, con presencia de grava media y fina. Geotécnicamente estos suelos corresponden a SP/ SM.

Las planicies de inundación recientes del río presentan la misma litología que la terraza baja, arenas y limos, con presencia de grava media y fina.

En los depósitos de dunas predominan las arenas finas bien seleccionadas, con presencia de limos. Geotécnicamente estos suelos corresponden a SP/ SM/SW.

Los depósitos de canal mantienen su geometría, presentándose como cordones de grava gruesa y hasta bloques, con matriz arenosa generalmente, aunque puede presentar limo en algunos casos. Este material es altamente resistente y geotécnicamente corresponde a suelos GW/ GP/ GM.

Los depósitos más finos y de menor resistencia corresponden a los de lóbulo de derrame. Son las partículas que se encontraban en suspensión a la hora de producirse las inundaciones puntuales y corresponden principalmente a arenas finas con limo y arcilla. Geotécnicamente corresponde a suelos tipo SM/ ML.



Referencias
 Sistema de proyección: POSGAR 1994 - Argentina zona 2

Litología

	Gravas arenosas (SP/ SM)		Área de estudio
	Gravas gruesas y medias (GW/ GP/ GM)		
	Arenas finas y medias, limos (SP/SM/SW)		
	Arenas y limos, algo de gravas fina y media (SP/ SM)		
	Limos y arcillas (SM/ ML)		
	Arenas y limos, algo de gravas fina y media (SP/ SM)		

Figura 16– Litología predominante en superficie y su correspondiente clasificación según SUCS.

b. Unidades Geotécnicas presentes (UG)- Cartografía

A partir de la recopilación y relevamiento se obtuvieron los datos de la siguiente tabla 3 donde se observa la cota del nivel del terreno actual del sitio y la profundidad a la base de cada unidad definida, logrando de esta manera definir los espesores de las 3 primeras.

Sitio	Cota superficie (msnm)	UG1	Profundidad a base UG1 (mbbp)	UG2	Profundidad a base UG2 (mbbp)	UG3	Profundidad a base UG3 (mbbp)	UG4	Profundidad a techo UG4(mbbp)	
1	260,7	Relleno o suelo blando con raíces	0,7	Arena fina algo limosa y/o plásticas - SM/ ML		Arenas mal graduadas con presencia de grava, pocos finos o sin ellos - SP/ SM	2,2	Gravos - GW/ GP/ GM/GC	2,2	
2	261,1		1,7		2,8		2,8			
3	260,8		0,5		1,2		1,2			
4	260,8		0,3				1,5		1,5	
5	262,2		0,4				0,4		0,4	
6	260,8						2		5	5
7	260,0		0,7				1,8			1,8
8	261,2		0,4						3	3,4
9	267,2		1,2							1,2
10	260,2		0,8						1,5	1,5
11	260,4		0,3				2,5			2,5
12	261,5						3,3			3,3
13	260,0		0,2				0,4			1,2
14	259,3						1,5			2,6
15	262,6		2				3			3
16	261,2		0,4				1,5			
17	264,9		0,4						1,8	1,8
18	262,9		0,3				2,6			2,6
19	264,5						2,5			2,5
20	264,3		0,4				2			2
21	260,0						2			2
22	263,6		0,6						1,4	1,4
23	260,5		0,3						1	
24	260,2		0,2				1			
25	258,4		1							
26	257,3		0,2							0,2
27	259,5		1,3				1,8			
28	261,8								1	
29	259,6		0,8							0,8
30	260,2		0,5				1,5			
31	260,2		0,3						0,6	0,6
32	262,1									4,5
33	261,6						1			
34	261,2						1			

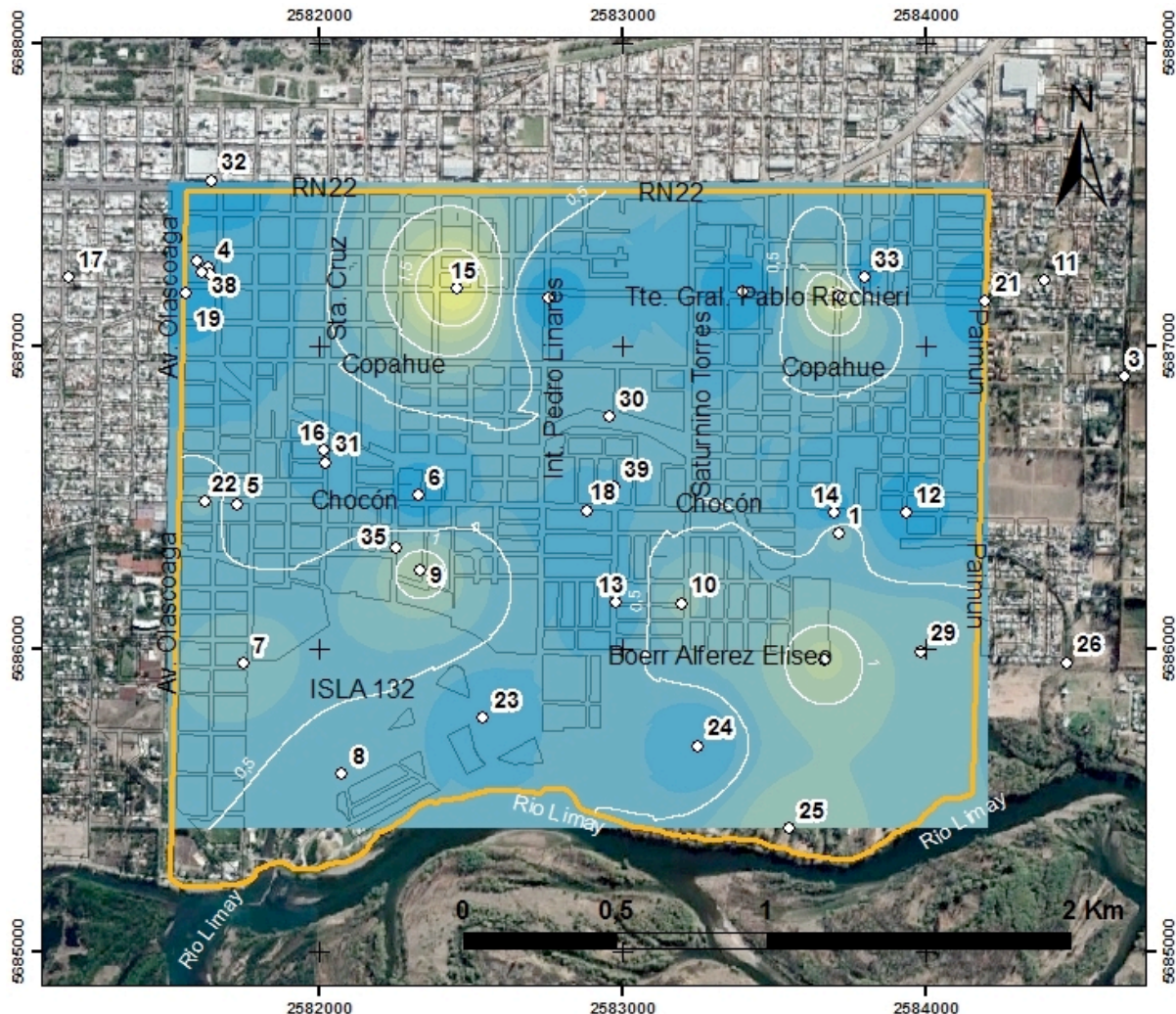
Tabla 3- Profundidad al contacto entre cada unidad. Los casilleros vacíos indican ausencia de esa UG.

La profundidad de la base UG3 se corresponde con el techo de la UG4 cuyo espesor no se ha podido determinar, estimando que podría alcanzar una profundidad entre 15 y 25 mbbp, de acuerdo a información de pozos existentes en el área de estudio (Anexo 1).

A partir de estos datos y mediante interpolación espacial se representaron los espesores (isopacas) de las UG1, UG2 y UG3 en las siguientes figuras. En las mismas se ha mantenido

la paleta de colores y las categorías, a efecto de hacer visibles las diferencias en la distribución espacial de las UG.

- **Isopacas Unidad Geotécnica 1:** Se observó que en algunos sectores esta capa no está presente (aparece la UG2 en contacto directo con la superficie) y en los sectores donde aparece puede alcanzar espesores de 0,2 a 1,7 m medidos desde el nivel del terreno (Fig.17). No se considera su compacidad dada la ausencia de capacidad portante.



Referencias
 Sistema de proyección: POSGAR 1994 - Argentina Zona 2
 Espesor (m)

0 - 0,2	1,6 - 1,8	3,2 - 3,4	Area de estudio
0,2 - 0,4	1,8 - 2	3,4 - 3,6	
0,4 - 0,6	2 - 2,2	3,6 - 3,8	
0,6 - 0,8	2,2 - 2,4	3,8 - 4	
0,8 - 1	2,4 - 2,6	4 - 4,2	
1 - 1,2	2,6 - 2,8	4,2 - 4,4	
1 - 1,4	2,8 - 3	4,4 - 4,6	
1,4 - 1,6	3 - 3,2		

Unidad geotécnica	1
Espesor mínimo (m)	0,2
Espesor máximo(m)	1,7
Espesor promedio considerando área de estudio (m)	0,71
Espesor promedio de los sitios con UG1 (m)	0,64

Figura 17– Isopacas Unidad Geotécnica UG1.

Se observa una distribución aproximadamente uniforme en los espesores de esta unidad, con algunos sectores limitados donde supera 1 metro cerca de la RN22. Esta UG es la de menor espesor promedio de todas las UG en los sitios donde se encuentra presente.

• **Isopacas Unidad Geotécnica 2:** Este nivel presenta espesores de 0,20 a 3,3 metros en general, este máximo corresponden a los sondeos del terreno ubicado en el punto n° 12 (Fig.18). Esta capa presenta una densidad baja a media, con número promedio de NSPT de 11,21. Por el tipo de terreno, los valores tabulados extraídos del libro González de Vallejo *et al.* (2002) son los siguientes: Compacidad: media, Densidad relativa, (D_r): 60-80%, Peso específico aparente seco ($\lambda\delta$): 16,0-17,5 kN/m^3 , Humedad (W): 8-12%, Índice de poros (e): 0,55-0,65.

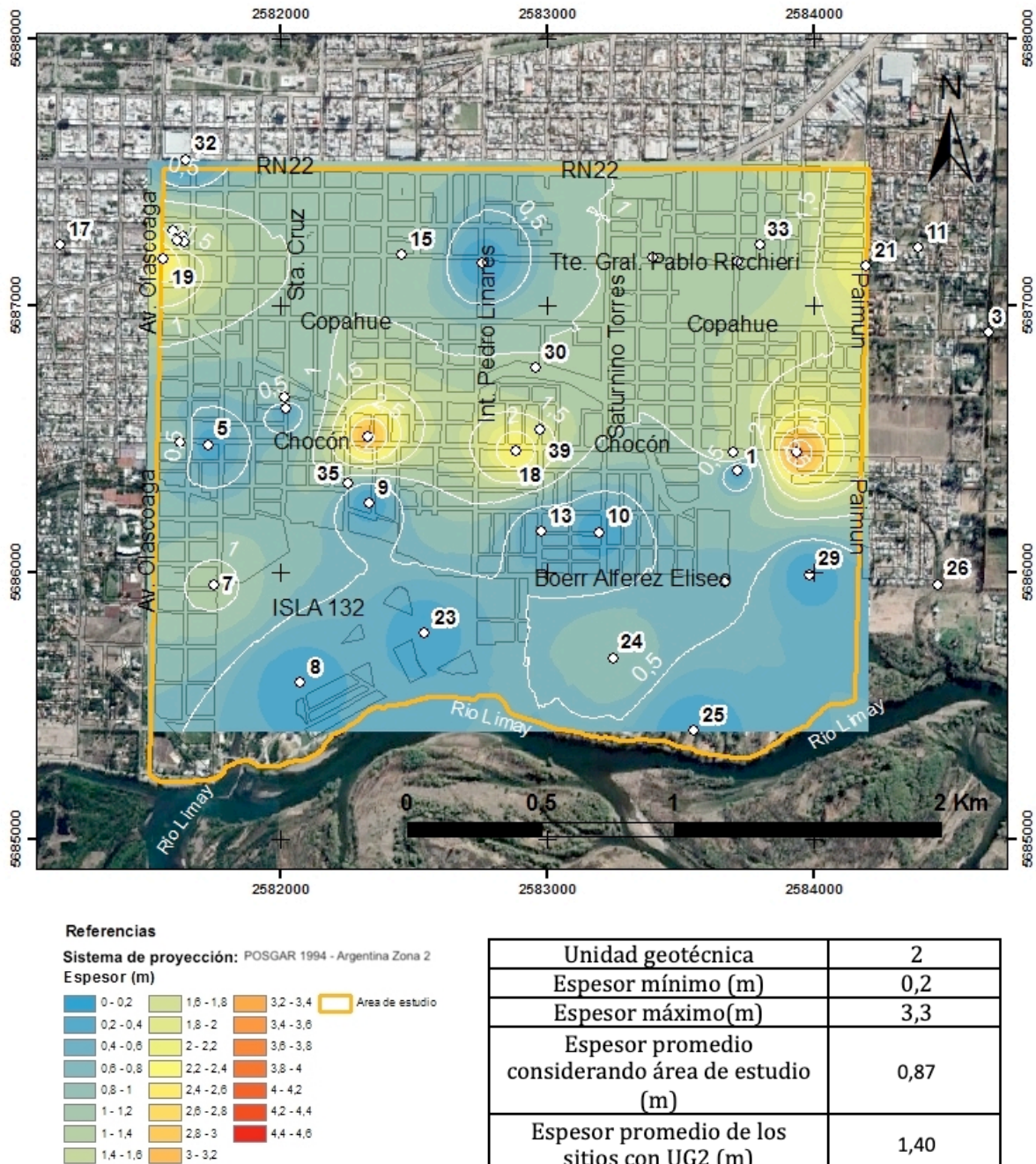


Figura 18– Isopacas Unidad Geotécnica UG2.

1 Nota: El Índice de poros (e) se refiere a la relación entre el volumen de huecos y volumen de sólidos, calculado como $e = n / (1 - n)$, donde: e : índice de poros, n : volumen de huecos, $1 - n$: volumen de sólidos

Los menores espesores (menores a 0,5 m) ocurren en la zona sur mientras que los superiores a 1 m se han observado en la zona central y noreste.

• **Isopacas Unidad Geotécnica 3:** Los espesores que presenta esta unidad van desde 0,35 hasta 3,00 m en el sondeo del sitio 8 (Fig. 19). El número promedio de NSPT para esta capa es de 17,57. Por el tipo de terreno, los valores tabulados extraídos del libro González de Vallejo *et al.* (2002) son los siguientes: Compacidad: media, Dr: 60-80%, λ_δ : 16,0-17,5 kN/m^3 , W: 8-12%, e : 0,55-0,65.

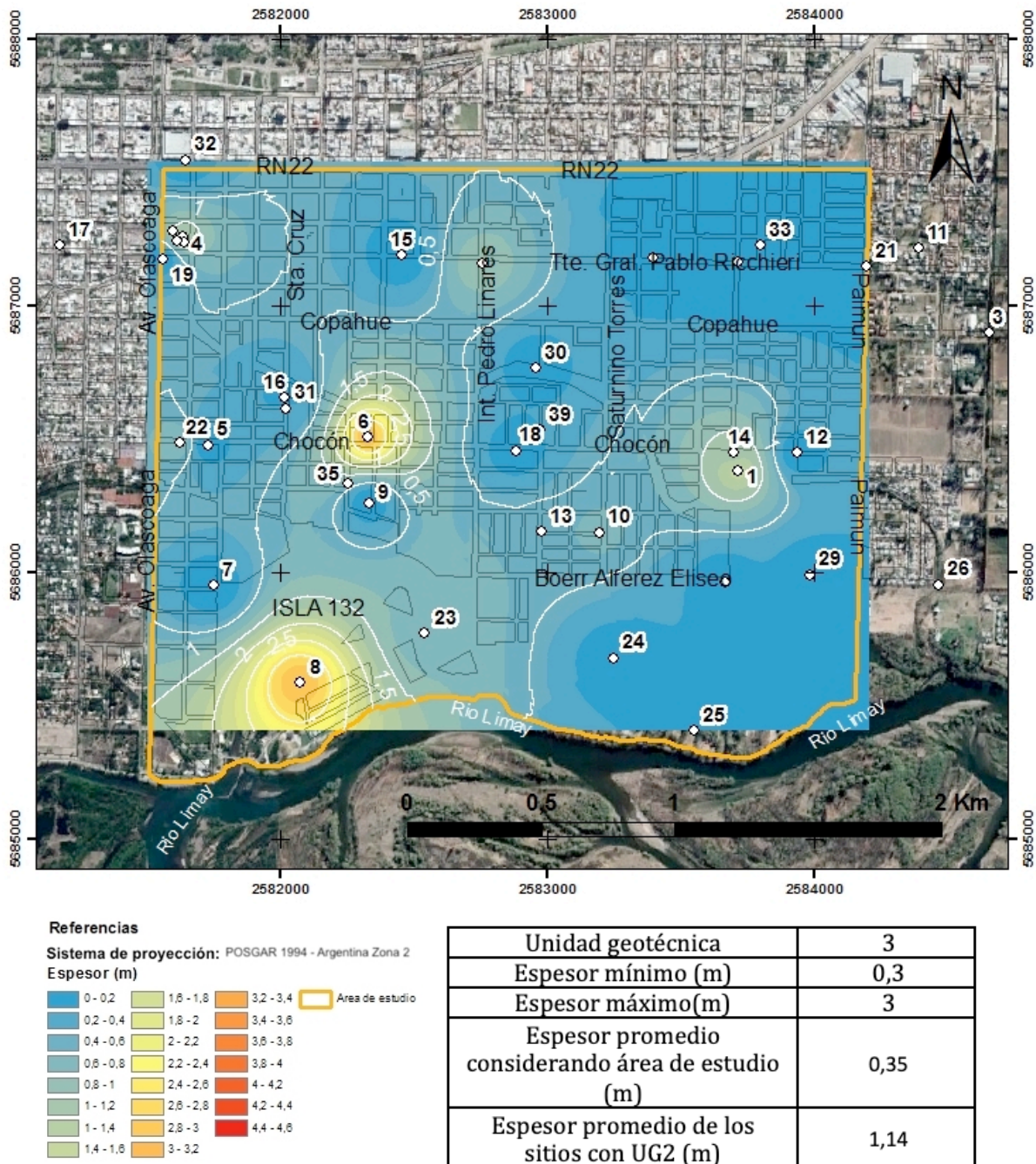


Figura 19– Isopacas Unidad Geotécnica UG3.

Los espesores menores a 0,5 m ocurren en las zonas este mientras que se observa un sector con espesores superiores a 1 m en la Isla 32.

• **Profundidad al techo Unidad Geotécnica 4:** Los sectores donde esta capa presenta las menores profundidades desde el nivel del terreno actual (0,50 a 1,50 mbbp) se observan representadas en tonos marrones a naranja, correspondiendo al centro norte, centro oeste y sureste del área; las profundidades intermedias (1,50 a 2,50 mbbp) aparecen en tonos amarillos a verdes, sobre el noroeste, suroeste y centro este; Las mayores profundidades (superiores a 2,50 mbbp) se encuentran representadas sobre el vértice noroeste del área y en parte del centro y centro este (Fig.20). La profundidad de su base no pudo ser especificada, sólo puede afirmarse que continúa hasta la profundidad que llegan los sondeos realizados y que se vuelve más densa en profundidad debido al peso de la masa suprayacente. En el sector de los puntos 5, 26, 29 y 31 el techo de esta unidad aparece más cerca de la superficie, y se encuentra a mayores profundidades en los puntos 8, 12 y 32. El número promedio de NSPT es de 35,78. Por el tipo de terreno, los valores tabulados en González de Vallejo et al. (2002) indican las siguientes propiedades geotécnicas: Compacidad: compacta, Dr: 80-90%, λ_s : 17,5 kN/m^3 -18,5, W: 6-8%, e: 0,4 - 0,55.

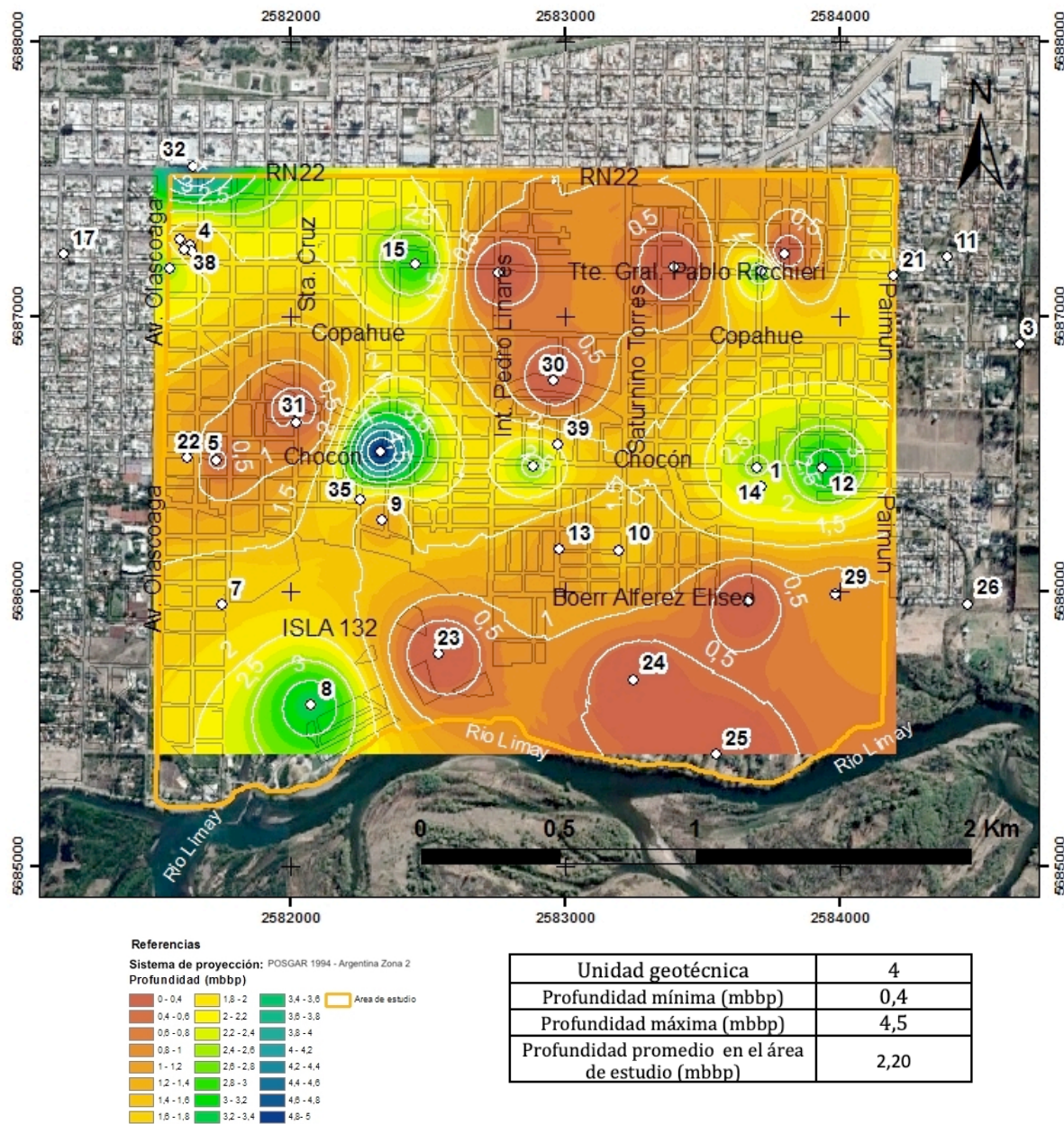


Figura 20 – Profundidades al techo de UG4

Unidad geotécnica	4
Profundidad mínima (mbbp)	0,4
Profundidad máxima (mbbp)	4,5
Profundidad promedio en el área de estudio (mbbp)	2,20

c. Dinámica del acuífero libre

A partir de la recopilación y relevamiento se obtuvieron los datos del nivel freático (NF) de tabla 4, donde se incluyen 5 sitios adicionales de medición de nivel de agua dada la existencia de pozos en instituciones y casas privadas, cuya localización se indica en Fig. 22.

Sitios	Coordenadas POSGAR 1994- Faja 2		Cota superficie (msnm)	Profundidad NF (mbbp)	Cota NF (msnm)
	X	Y			
1	2583714,23	5686379,65	260,74	2,4	258,34
2	2583712,54	5687160,01	261,11	3,28	257,83
3	2584657,69	5686896,63	260,84	-	-
4	2581638,89	5687255,86	260,84	1,21	259,63
5	2581730,33	5686476,60	262,27	-	-
6	2582329,01	5686506,28	260,86	2,75	258,11
7	2581752,44	5685949,56	260,06	1,58	258,48
8	2582078,08	5685585,41	261,21	1,8	259,41
9	2582335,52	5686257,75	267,20	1,6	265,60
10	2583197,32	5686147,82	260,24	-	-
11	2584393,77	5687214,78	260,42	1,27	259,15
12	2583937,71	5686445,36	261,50	2,5	259,00
13	2582980,76	5686150,08	260,06	-	-
14	2583697,46	5686445,80	259,36	2,3	257,06
15	2582453,68	5687185,56	262,60	3	259,60
16	2582018,54	5686652,56	261,21	1,4	259,81
17	2581175,12	5687224,02	264,94	2,1	262,84
18	2582883,98	5686455,34	262,95	2,7	260,25
19	2581561,35	5687174,56	264,59	1,4	263,19
20	2580336,90	5687238,80	264,33	2,3	262,03
21	2584194,28	5687145,45	260,09	2,3	257,79
22	2581624,47	5686484,67	263,65	-	-
23	2582542,95	5685771,20	260,52	-	-
24	2583250,91	5685677,87	260,21	-	-
25	2583548,49	5685405,91	258,49	-	-
26	2584462,66	5685952,61	257,37	-	-
27	2583664,98	5685961,67	259,50	1,8	257,70
28	2582757,21	5687153,77	261,80	-	-
29	2583983,48	5685990,20	259,63	1,8	257,83
30	2582955,94	5686764,86	260,21	-	-
31	2582020,22	5686612,88	260,21	-	-
32	2581648,82	5687543,64	262,13	1	261,13
33	2583797,45	5687224,98	261,65	-	-
34	2583399,26	5687175,61	261,24	-	-
35	2582258,07	5686332,83	269,92	3,05	266,87
36	2581600,18	5687276,93	260,86	1,05	259,81
37	2581641,41	5687233,63	261,36	1,15	260,21
38	2581615,07	5687243,11	260,97	1,28	259,69
39	2582975,44	5686532,86	260,67	2,30	258,36

Tabla 4- Datos de nivel freático (NF) medidos en el periodo 2011-2019.

En el sector estudiado es frecuente encontrar el nivel saturado a una profundidad promedio de 1,96 m desde el nivel del terreno actual, aunque hay registros de hasta 3,28 m. Esta profundidad en el área de estudio, varía a lo largo del año en función sobre todo, de los niveles del agua en el río Limay. Esta relación río-acuífero es más fuerte en proximidades del río y en los brazos abandonados con presencia de sedimentos gruesos muy permeables. Sin

embargo dado que se trata de un río con caudales regulados, las alturas tienen variaciones menores comparada con el mismo río en estado natural, es decir antes de la construcción de las presas. Localmente puede influir el riego en plazas y jardines y las pérdidas en las tuberías de conducción de agua y efluentes urbanos, que podrían recargar al acuífero. Por otro lado estas profundidades también están afectadas por la extracción de agua mediante bombeo en algunos puntos del área, para riego de plazas, para abastecimiento de agua y para depresión de niveles freáticos en obras que se están realizando. Sin embargo, se considera que los valores medidos se corresponden a niveles estáticos en su gran mayoría.

Se observan las menores profundidades del agua sobre los puntos 32, 36, 37 y 38 al noroeste del área. Al centronorte del área el agua se encuentra a mayor profundidad, en los puntos 2, 15 y 35. En el resto del área el agua se encuentra a profundidades intermedias, entre 1,5 y 3 m (Fig. 21).

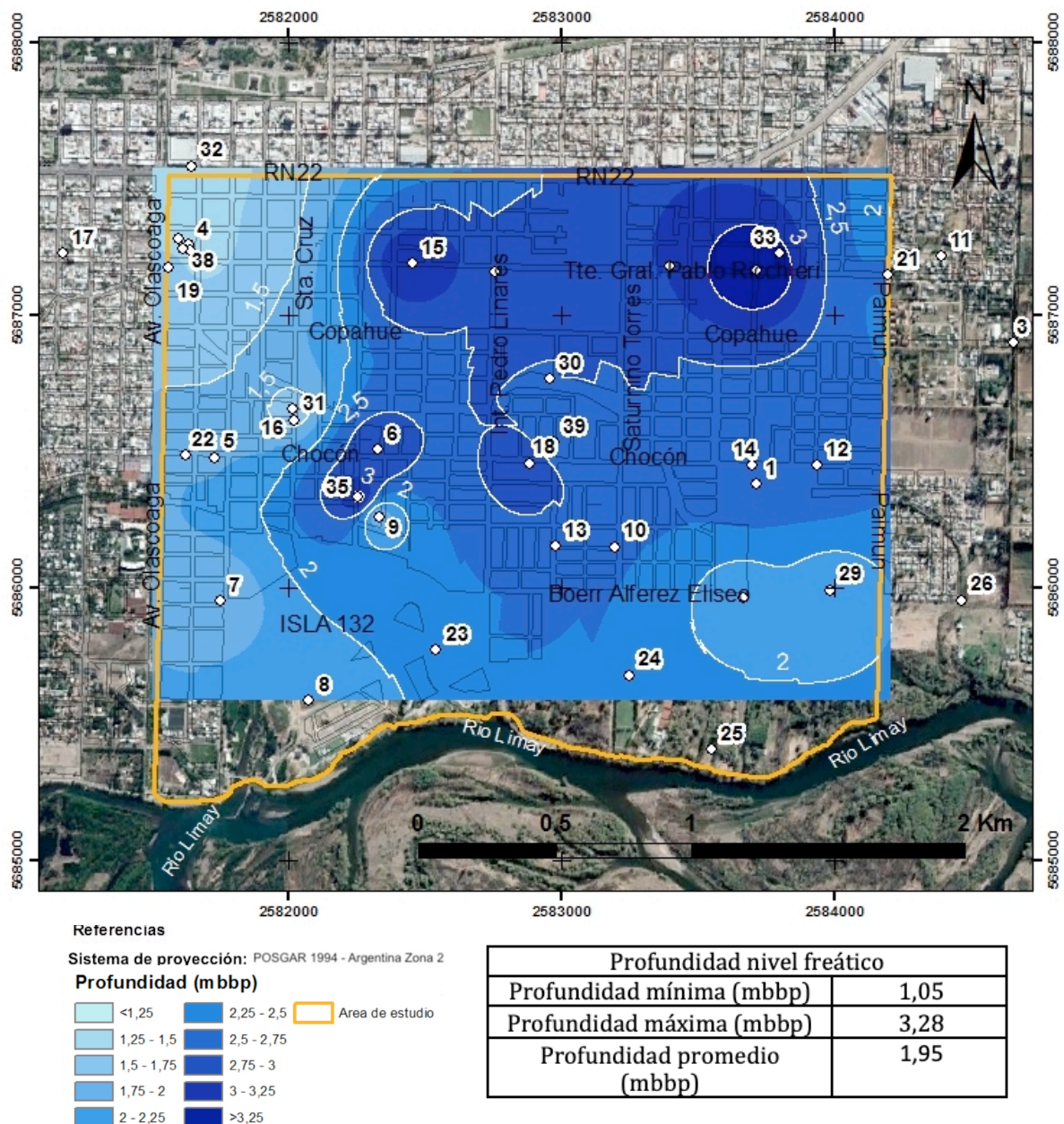
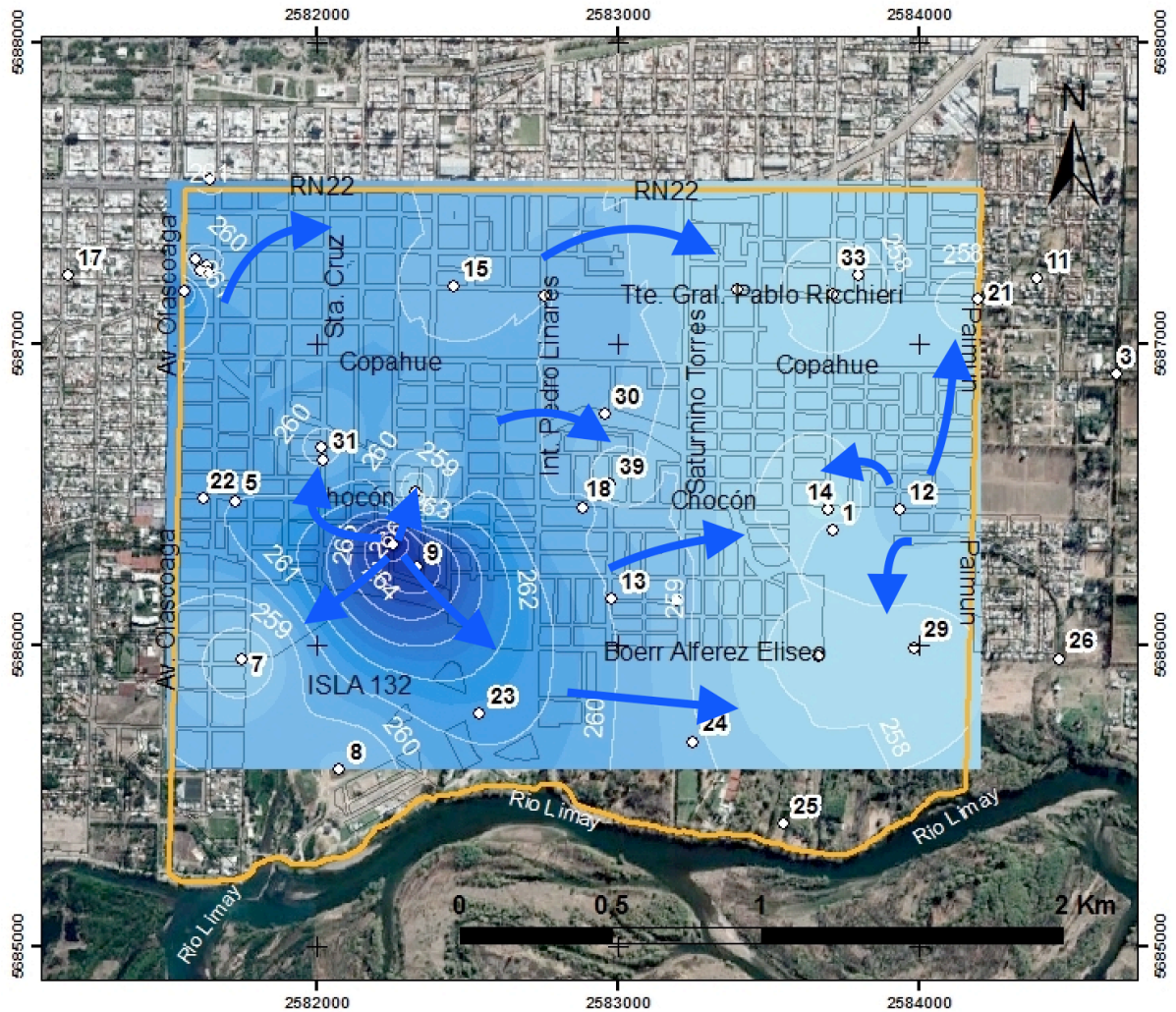


Figura. 21- Profundidad del nivel freático.

Con los datos de profundidad del nivel freático y la cota de superficie proporcionada por el modelos de elevación digital (DEM) se logró determinar la cota de la superficie freática. A partir de esta información de altura se pudo estimar la dirección de flujo en la que se mueve el agua en el acuífero (Fig.22).

Se puede observar que las mayores alturas se encuentran al centro sur del área y las menores al este. Esto indicaría que el flujo de agua se movería en dirección este para alcanzar las menores alturas (nivel del mar), tal como lo hace el río Limay.



Referencias

Sistema de proyección: POSGAR 1994 - Argentina Zona 2

Cota (msnm)

257	260 - 260,5	263,5 - 264	Area de estudio
257 - 257,5	260,5 - 261	264 - 264,5	
257,5 - 258	261 - 261,5	264,5 - 265	
258 - 258,5	261,5 - 262	265 - 265,5	
258,5 - 259	262 - 262,5	265,5 - 266	
259 - 259,5	262,5 - 263	266 - 266,5	
259,5 - 260	263 - 263,5	266,5 - 267	

Cota nivel freático	
Altura mínima (msnm)	257,06
Altura máxima (msnm)	266,87
Altura promedio (msnm)	260,06

Figura 22– Cota del nivel freático en función al nivel del mar.

d. Aptitud geotécnica

Se pudieron definir sectores con diferente aptitud geotécnica, siguiendo el siguiente orden de importancia:

1° Profundidad de la UG4 desde el nivel del terreno: Esta capa es la que presenta mayor capacidad portante por estar conformada principalmente por gravas arenosas compactas. Los sectores donde esta capa se encuentre a menor profundidad desde la superficie serán más recomendables para fundaciones. Los sectores donde se encuentra a mayor profundidad serán los de menor aptitud. Se considera que las zonas donde esta unidad se encuentra a una profundidad menor a 1 m será la más óptima para fundación superficial, a profundidades entre 1 y 2 m de aptitud intermedia y donde se encuentra a profundidades mayores a 2 m de aptitud media a baja.

2° Profundidad del nivel freático desde el nivel del terreno: Los sectores con menor profundidad del nivel freático serán menos aptos geotécnicamente y donde se presente a mayor profundidad serán de mayor aptitud. Para zonificar, se consideraron los sectores con profundidad menor a 1,5 m de aptitud baja, entre 1,5 y 2,5 m aptitud intermedia y mayores a 2,5 m de aptitud buena.

Los sitios de mayor aptitud son los que presenta un nivel freático alejado de la superficie del terreno y un estrato con buenas propiedades geotécnicas cercano a la superficie. Y viceversa. Combinando estos factores, se obtuvo la zonificación de aptitudes de la Fig. 23., donde la zona de mayor aptitud estaría ubicada al centro norte, centro oeste y sur este del área.

Se puede observar un sector de aptitud baja correspondiente al sector de menor profundidad del nivel freático y mayor profundidad a la UG4, ubicado al noroeste, centro este y partes del oeste.

Se define un sector de aptitud intermedia a la franja que atraviesa el área en sentido suroeste-noreste, donde la UG4 está a profundidad intermedia así como el nivel freático.

Las zonas de aptitud alta se ubican al sur, al noreste y parte del oeste, donde la UG4 se encuentra cerca de la superficie y por encima del nivel freático. Si bien el agua no se encuentra a grandes profundidades, las características geomecánicas del terreno se mantienen altas.

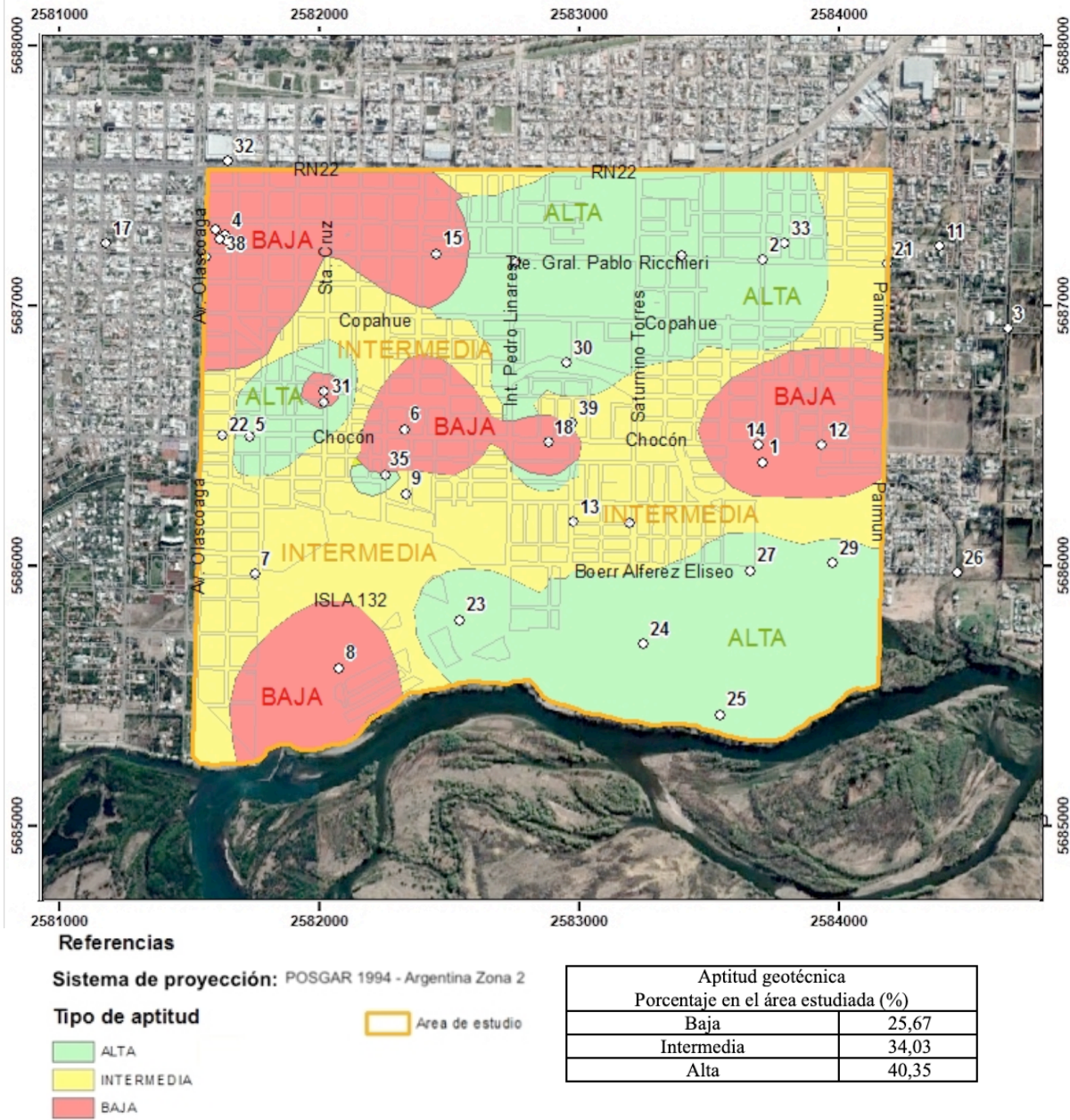


Figura 23 – Zonificación de los sectores con diferente aptitud geotécnica.

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha analizado información litológica e hidrogeológica de 34 sitios de la llanura fluvial del río Limay, resultando en el reconocimiento de cuatro unidades geotécnicas que tienen diferentes propiedades geotécnicas. La de mayor capacidad portante es la UG4 y la de menor es la UG1 localizada en superficie.

En base a los resultados obtenidos se puede estimar que el 40% del área estudiada presenta una aptitud geotécnica alta dada la existencia de la UG4 a menos de 4 metros de profundidad promedio. Es importante aclarar que los datos disponibles son observaciones del subsuelo puntuales, por lo que los resultados obtenidos por interpolación espacial pueden variar cuando se disponga de mayor información de campo.

Solo el 25% del área presenta una aptitud geotécnica baja, debido a la presencia de capas de sedimentos menos aptos y nivel freático cercano a la superficie del terreno. Se observan valores significativamente altos del nivel freático (cota) en el sector suroeste, los cuales podrían estar influenciados por el arroyo Durán.

Se considera que los resultados obtenidos en este sector es extrapolable a otras zonas de la llanura aluvial del río Limay, debido a la existencia de condiciones geológicas y geomorfológicas similares.

En este análisis de aptitud no se ha considerado la presencia de sales en el agua. Debido a que la relación río acuífero es muy buena en gran parte del área estudiada, no se esperan concentraciones elevadas de sales. Sin embargo, debería incorporarse en la valoración de la aptitud geotécnica para la construcción de edificios, valores de concentraciones de sulfatos, obtenidos mediante muestreos, sobre todo si se realizara este análisis de aptitud para sectores más alejados del río y cercanos a la barda.

6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de carácter geotécnico que deben tenerse en cuenta para la construcción en el sector son las siguientes:

Las edificaciones deben estar protegidas de cualquier contacto con el agua dado que, con el tiempo, aparecerán patologías geotécnicas. Si bien, en la bibliografía no se encuentra referencia de la profundidad a la cual debe quedar el agua por debajo de los cimientos, se recomienda que el nivel freático esté a una profundidad de 0,30 a 0,60 m por debajo del nivel de cimentación definido. De esta manera se pueden controlar los riesgos de inundación, disminución de la carga portante, entre otros, y evitar los problemas en las estructuras tales como haloclastia, degradación, corrosión, etc.

Por otro lado, es fundamental apoyar los cimientos de las estructuras sobre la capa más resistente del perfil de suelo, ya que asegura una buena capacidad portante y disminuye los riesgos de deformación y colapso de estructuras. Se recomienda proteger las fundaciones superficiales con una capa de compactación llegando a obtener una densidad y humedad óptima.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (1998). Control de las crecidas. Sistema de emergencias hídricas y mitigación del riesgo. Cipolletti, Rio Negro.
- Bran D., Ayesa J. y López C., (2002)- Áreas ecológicas de Neuquén. Laboratorio de Teledetecciones-SIG. INTA-EEA BARILOCHE.
- Capua O., Giordano A., Jurio E. (1999). Problemática del barrio Bardas Soleadas, Ciudad de Neuquén. Departamento de Geografía – Facultad de Humanidades – UNC.
- Capua O., Jurio, E. (2011). Componentes y Dinámica Natural del Ambiente - Ciudad de Neuquén-. Boletín Geográfico, [S.l.], n. 33, p. 55-68. ISSN 2313-903X.
- Cazau L. y M. Uliana (1973). El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. V Congreso Geológico Argentino. Asociación Geológica Argentina Actas 3. Córdoba. Pág.131 -163.
- Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para Obras Civiles (2013) - Reglamento Argentino Para Construcciones Sismorresistentes, Parte I Construcciones En General. Edición Julio.
- Colombino J. y Luengo M. (2011). Regiones hidrogeológicas. Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino. Relatorio: Pág. 833-840.
- CONSUL VAL SRL (2011-2017). Estudios de suelo en diferentes obras de Neuquén (Edificios de Viviendas en Monoblocks y en Torres, 2011; Ampliación Planta Líquidos Cloacales, 2014; Supermercado Cooperativa Obrera (galpón y depósitos), 2014; Nuevos Edificios y Dependencias Destinado a Hogar de Ancianos, 2015; entre otros). Informes inéditos.
- Cruz, L.E. & Calvo, J.O. (2004). Primer cráneo de *Megatherium Cuvieren* el Pleistoceno de la provincia del Neuquén, Argentina. *Ameghiniana* 41:42R-43R. Buenos Aires.
- Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Comahue (2000). “Asentamientos y conflictos ambientales en los valles inferiores de los ríos Neuquén y Limay”.
- Fabro, S. (2011) Estudio de impacto urbano ambiental y prefiguración urbana. Loteo Social Las Huertas Barrio Ciudad Industrial Jaime de Nevares. Abril. Inciso 6.1.6 p. 21 y 22
- Ferrer A. J., et al. (2009). Descenso artificial del nivel freático en centros urbanos: Diseño e instalación de una red de control eficiente y sostenible.
- Ferrer, J.F., Irisarri, J.A., Mendía, J.M. (2006). Suelos de la Provincia del Neuquén. INTA-CFI, Neuquén.
- Garrido, A.C. (2010). Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (República Argentina): Nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie*, 12 (2).
- GEO Neuquén, (2016-2017). Estudios de suelo en diferentes obras de Neuquén (Vivienda Multifamiliar Y Dos Módulos De Estacionamiento, 2016; Vivienda Multifamiliar, 2016; Edificio De Nueve Plantas, 2017). Informes inéditos.
- González de Vallejo L. Ferrer M., Ortuño L., Oteo C. (2002)- Ingeniería Geológica. Pearson Educación SA, Madrid.
- González Díaz, E.F. y Di Tommaso I., (2011). Geomorfología. Relatorio XVIII

- Congreso Geológico Argentino. Relatorio: Pág. 421-438.
- González Díaz, E.F. y Ferrer, J.A. (1986). Geomorfología de la provincia del Neuquén. Relevamiento y priorización de áreas con posibilidad de Riego. Consejo Federal de Inversiones. Informe. Expediente. N° 181, 111 pp. Inédito.
 - Google Earth Pro (2019).
 - Gutiérrez Elorza M. (2008). Geomorfología. Pearson Educación SA, Madrid.
 - Halcrow (2002). Plan Maestro de Saneamiento Pluvioaluvional, Neuquén.
 - Instituto Geográfico Nacional Republica Argentina (2017). Modelo Digital de Elevaciones Aerofotogramétrico de la ciudad de Neuquén, 3969-17-4-d.
 - Instituto Nacional de Estadística y Censos (2012). Censo nacional de población, hogares y viviendas 2010: censo del Bicentenario. Serie B n° 2. - 1a ed. - Buenos Aires. v. 2, 408 p.
 - Instituto Nacional de Prevención Sísmica (2017). Manual De Prevención Sísmica. Argentina.
 - Lambe William, Whitman,Robert (2004). Mecánica de suelos. México.
 - Landriscini G., Domeett G. y Rivero I. (2014). Neuquén, ciudad intermedia y nodo regional. Algunas evidencias de la dinámica económica y la centralidad urbana. Revista Pilquen-Sección Ciencias Sociales. Año 16, Vol. 17 N° 1.
 - Laurencena P. (2015). Tesis doctoral, El agua subterránea en el ámbito de la llanura inferior del río Limay.
 - Municipalidad de Neuquén (2005). Uso y Ocupación del Suelo, Bloque temático n° 1, PUA.
 - Miall, A.D. (1977). A review of braided river-depositional environment. Earth-Science Reviews, 13, 1-62.
 - Panigatti, J. L. (2010). Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. INTA Buenos Aires. 345 pp. Ilustraciones y cuadros.
 - Powers, J.P. (1992). Construction dewatering: New methods and applications. Ed Wiley. Nueva York.
 - Primo, L. y González, O. A. (1973). Relevamiento de las aguas subterráneas de la Cuenca Neuquina y su posible utilización en proyectos de recuperación secundaria y otros usos. Minería y Geología de Explotación. Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Plaza Huinul.
 - Ramos V., Folguera A. y García Morabito E. (2011). Las Provincias Geológicas del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Relatorio: Pág. 317-326. ISBN978-987-22403-3-2
 - Rodríguez M. F., Leanza H. A. y Salvarredy Aranguren M. (2007). Hoja Geológica n° 3969-II Neuquén. SEGEMAR. Boletín n° 370, Buenos Aires.
 - Strahler, A. y Strahler, A. (1984). Geografía Física. Ed. Omega, Barcelona.
 - Tooth, S. y Nanson, G. C. (1999). Anabranching rivers of the Northern Plains of arid central Australia. Geomorphology, 29. 211-233.
 - United States Department of Agriculture, 2006. Soil taxonomy.

8. ANEXOS

Anexo 1: Datos geotécnicos del terreno

(Fuentes: CONSUL VAL SRL, GEO Neuquén y relevamiento propio, años 2011 a 2019).

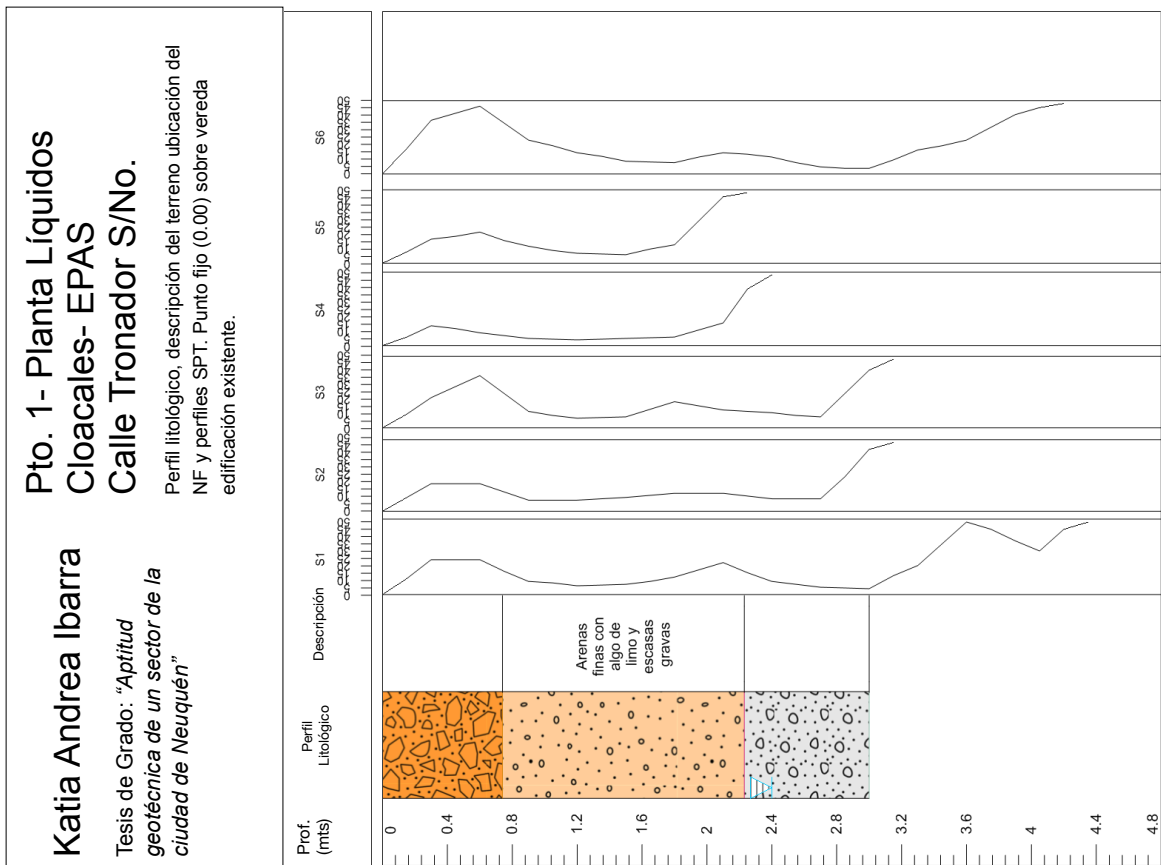
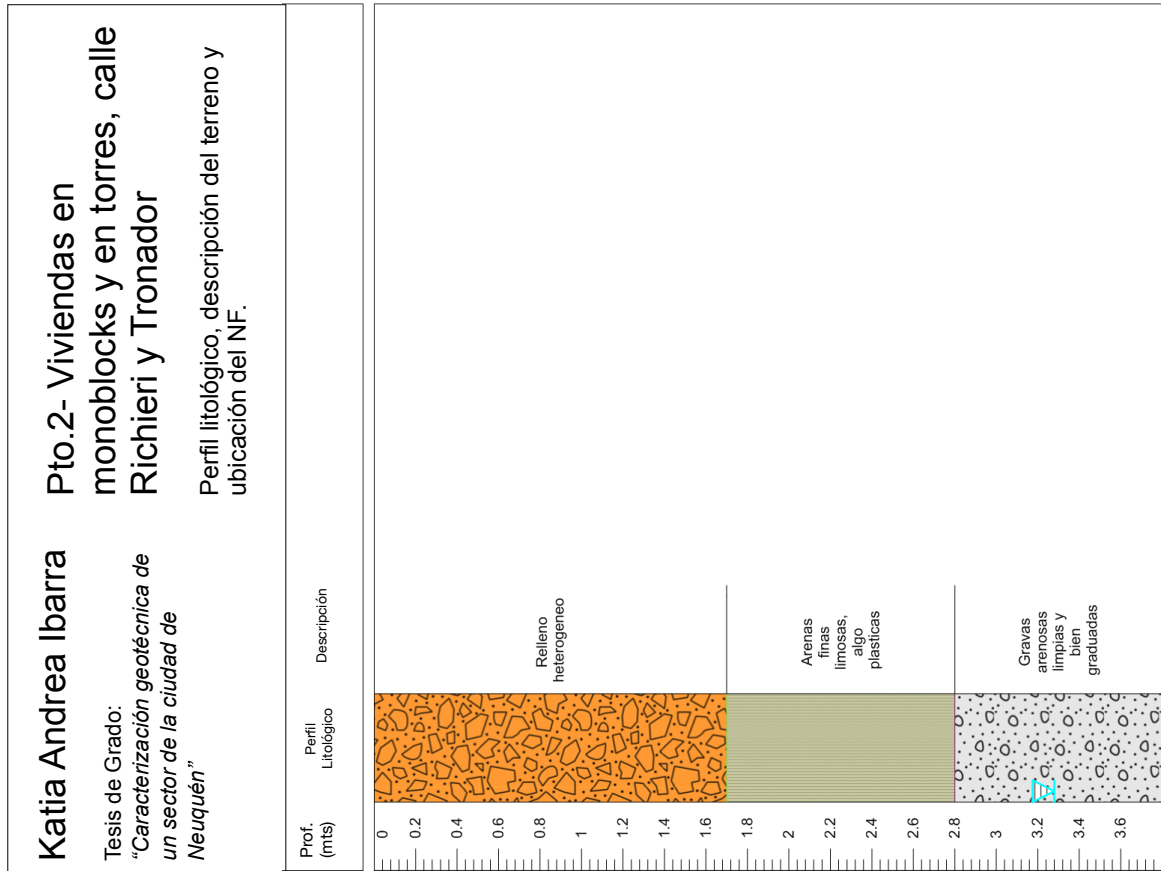
MUESTREO	Coordenadas proyectadas		HOLE ID	DESCRIPCION DEL PERFIL	PROFUNDIDAD (mbbp)		TEXTURA	SUCS	Prof. NF (mbbp)
	X	Y			DESDE	HASTA			
1	2583714,23	5686379,65	EPAS	Relleno heterogéneo	0.00	0.74	RELLENO	-	2,4
				Arenas finas con algo de limo y escasas gravas	0.74	2.23	ARENAS FINAS	SP	
				Gravas con arena	2.23	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
2	2583712,54	5687160,01	V- Monoblocks y Torres	Relleno heterogeneo	0.00	1.70	RELLENO	-	3,28
				Arenas finas limosas, algo plasticas	1.70	2.80	ARENAS FINAS	SC	
				Gravas arenosas limpias y bien graduadas	2.80	3.80	GRAVAS ARENOSAS	GW	
3	2584657,69	5686896,63	Monopostes	Relleno heterogeneo	0.00	0.30	RELLENO	-	-
				Arenas limosas con algo de raices y gravas	0.30	0.50	ARENAS LIMOSAS	SM	
				Gravas arenosas con algo de limos, se densifica en profundidad	0.50	1.20	GRAVAS ARENOSAS	GW	
4	2581638,89	5687255,86	Legislatura NQN	Suelos de relleno, gravas arenosas y escombros de demolición	0.00	0.30	GRAVAS ARENOSAS	GW	1,21
				Arenas finas con escaso limo	0.30	1.50	ARENAS FINAS	SM	
				Gravas arenosas con algo de limo cuya compacidad aumenta en profundidad	1.50	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GP	
5	2581730,33	5686476,60	Ed. Calle El Chocón n° 135	Suelo vegetal y/o arenas finas superficiales.	0.00	0.40	ARENAS FINAS	SM	-
				Gravas mal graduadas con limo y arenas.	0.40	3.00	GRAVAS	GP - GM	
6	2582329,01	5686506,28	Cooperativa Obrera	Limos arenosos, baja compacidad, no plásticos a algo plasticidad	0.00	2.00	LIMOS ARENOSOS	ML	2,75
				Arenas finas, con algo de limo, de baja compacidad	2.00	3.00	ARENAS FINAS	SP	
				Arenas finas, limpias. En el sondeo S4 aparece con algo de gravas	3.00	4.50	ARENAS FINAS	SW	
				Gravas arenosas, se densifican en profundidad	4.50	6.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
7	2581752,44	5685949,56	Proyecto Zapla	Suelos de relleno algo compactos a compactos-material granular calcáreo	0.00	0.40	MAT.GRANULAR - RELLENO	-	1,58
				Suelos de relleno algo compactos a compactos-gravas Arenas Tamaño Máximo 3½"	0.40	0.70	GRAVAS ARENOSAS	GW	
				Limos arenosos algo plásticos con escasas gravas de baja a media baja	0.70	1.80	LIMOS ARENOSOS	ML	

				compacidad					
				Gravas arenosas bien graduadas y limpias, cuya compacidad aumenta en profundidad.	1.80	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
8	2582078,08	5685585,41	Galpón Isla 132	Arenas limosas con algo de raíces. Se detecta una compacidad baja a baja-media	0.00	0.50	ARENAS LIMOSAS	SM	1,8
				Gravas bien graduadas con arena / gravas limosas mal graduadas con arena. compacidad de baja media a media	0.50	6.00	GRAVAS	GW/GP-GM	
9	2582335,52	5686257,75	México 1499	Suelos de relleno heterogéneo (escombros, arenas limo/arcillosa con algo de gravas, plásticos, materia orgánica, etc.)	0.00	1.20	ARENAS	SW	1,6
				Gravas arenosas bien graduadas, cuya compacidad aumenta en profundidad	1.20	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GW - GM	
10	2583197,32	5686147,82	VU lote I	Arenas finas a medias con escaso limo y abundante materia organica (raíces)	0.00	0.85	ARENAS	SP-SW	-
				Arenas limpias bien graduadas con abundante grava	0.85	1.5	ARENAS	SW	
				Manto aluvial de gravas arenosas bien graduadas cuya densidad aumenta en profundidad.	1.5	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
11	2584393,77	5687214,78	Lote calle Calvunqueo	Relleno heterogéneo	0.00	0.30	RELLENO	-	1,27
				Arenas finas	0.30	2.50	ARENAS FINAS	SM	
12	2583937,71	5686445,36	Galpón Pomona y Moquehue	Depósitos muy finos de baja a muy baja capacidad portante	0.00	3.30	ARENAS FINAS LIMOSAS	SP-SM/ML-SW	2,5
				Grava arenosa cuya compacidad aumenta en profundidad	3.30	4.00	GRAVA ARENOSA	GP-GM	
13	2582980,76	5686150,08	VU lote II	Arenas finas a medias con escaso limo y abundante materia organica (raíces)	0.00	0.20	ARENAS CON ESCASO LIMO	SP-SW	-
				Arenas limpias bien graduadas con escasa grava	0.20	0.80	ARENAS	SW	
				Arenas finas algo limosas	0.80	1.00	ARENAS FINAS	SP-SW	
				Gravas arenosas bien graduadas	1.00	2.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
14	2583697,46	5686445,80	Hogar de ancianos	Limos arenosos con intercalaciones de capas finas arcillosas, baja o nula plasticidad	0.00	1.50	LIMO ARENOSO	ML	2,3
				Arenas finas mal graduadas con limos no plasticos	1.50	2.60	ARENAS FINAS	SP-SM	

				Gravas arenosas aptas para fundar, aumenta compacidad en profundidad	2.60	9.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
15	2582453,68	5687185,56	Ed. Tte. Ricchieri e/ Jose Rosa y Winter	Arenas finas algo limosas con raíces y sueltas	0.00	2.00	ARENAS FINAS	SP	3
				Limos con arenas finas, con algo de arcillas y algo plasticas	2.00	3.00	LIMOS CON ARENA	ML	
				Arenas y gravas, limpias y bien graduadas, densidad aumenta en profundidad	3.00	4.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
16	2582018,54	5686652,56	Excavación Santa Cruz	Relleno heterogéneo	0.00	0.40	RELLENO	-	1,4
				Arena limosa de baja densidad	0.40	1.5	ARENAS FINAS	SM	
17	2581175,12	5687224,02	Lote calle Misiones	Relleno heterogéneo	0.00	0.40	RELLENO	-	2,1
				Gravas arenosas con algo de limo cuya compacidad aumenta en profundidad	0.40		GRAVAS ARENOSAS	GP	
18	2582883,98	5686455,34	Calle el Chocón n°1125	Gravas arenosas algo compactas	0.00	0.30	RELLENO	-	2,7
				Arenas finas algo limosas, sueltas	0.30	2.60	ARENAS FINAS	SP	
				Gravas arenosas bien graduadas, cuya densidad aumenta en profundidad.	2.60	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GW	
19	2581561,35	5687174,56	Ed. Olasc712	Arenas mal graduadas/Arenas mal graduadas con limos	0.00	2.50	ARENAS FINAS	SP/SP-SM	1,4
				Gravas limosas mal graduadas, mezcal de grava, arena y limo cuya compacidad aumenta en profundidad.	2.50	3.00	GRAVAS ARENOSAS	GP-GM	
20	2580336,90	5687238,80	Lote calle Gatica	Relleno heterogéneo	0.00	0.40	RELLENO	-	2,3
				Arena limosa de baja densidad	0.40	2.00	ARENAS FINAS	SM	
21	2584194,28	5687145,45	Loteo Massimino	Arena limosa de baja densidad	0.00	1.60	ARENA LIMOSA	SM	2,3
				Grava mal graduada con arena	1.60	2.70	GRAVA ARENOSA	GP	
22	2581624,47	5686484,67	Excavación calle el Chocón	Relleno heterogéneo	0.00	0.64	RELLENO	-	-
				Arenas mal graduadas con limos	0.64	1.40	ARENA FINA	SM	
				Grava mal graduada con arena	1.4	1.7	GRAVA ARENOSA	GP	
23	2582542,95	5685771,20	Pto. Isla 132	Relleno heterogéneo	0.00	0.50	RELLENO	-	-
				Grava mal graduada con arena	0.50	1.50	GRAVA ARENOSA	GP	
24	2583250,91	5685677,87	Pto. 24	Limos arenosos, baja compacidad, no plásticos a algo plasticidad	0.00	1.00	LIMO CON ARCILLA	ML	-
25	2583548,49	5685405,91	Relleno	Suelos de relleno, gravas arenosas y escombros de demolición	0.00	1.00	RELLENO	-	-
26	2584462,66	5685952,61	Excavación calle Boerr Alferez y Borges	Relleno heterogéneo	0.00	0.20	RELLENO	-	-
				Gravas limosas mal graduadas, mezcal de grava,	0.30	0.80	GRAVA ARENOSA	GP-GM	

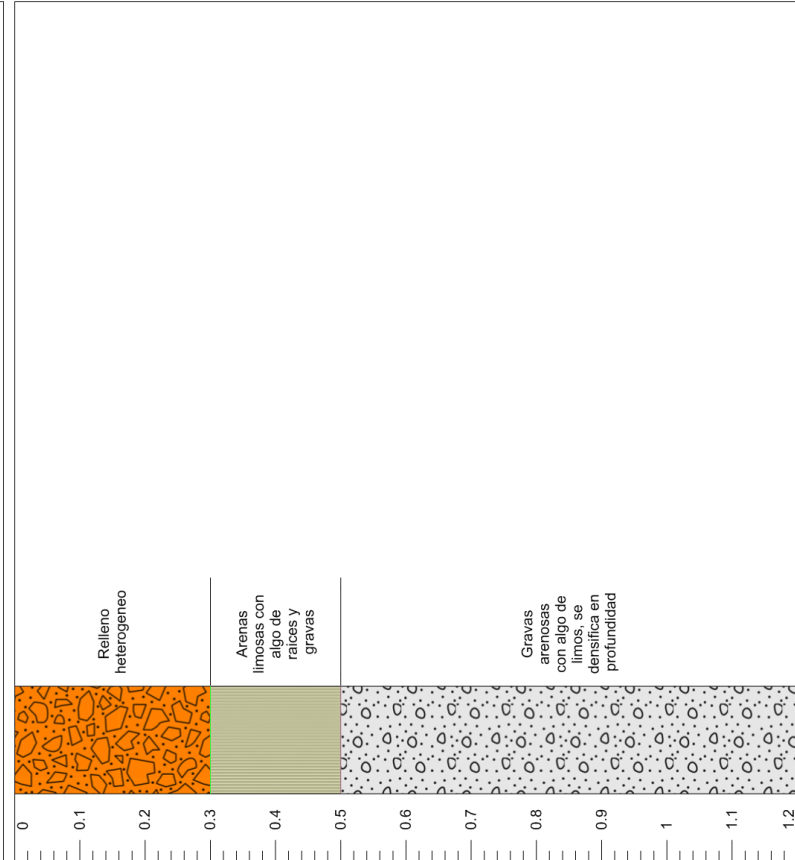
				arena y limo cuya compacidad aumenta en profundidad.					
27	2583664,98	5685961,67	Excavación abierta Boerr Alférez	Relleno heterogéneo	0.00	1.30	RELLENO	-	1,8
				Arenas mal graduadas con limos	1.30	1.80	ARENA FINA	SM	
28	2582757,21	5687153,77	Calle Linares nº 760	Arenas finas con algo de grava	0.00	1.00	ARENA	SP-SM	-
29	2583983,48	5685990,20	Obra en construcción	Relleno heterogéneo	0.00	0.80	RELLENO	-	1,8
				Gravas limosas mal graduadas, mezcra de grava, arena y limo.	0.80		GRAVAS	GP-GM	
30	2582955,94	5686764,86	Calicata plaza	Relleno heterogéneo	0.00	0.50	RELLENO	-	-
				Arenas finas bien seleccionadas	0.50	1.50	ARENAS FINAS	SM	
31	2582020,22	5686612,88	Zanja Sta. Cruz	Relleno heterogéneo	0.00	0.30	RELLENO		-
				Arenas finas con algo de grava	0.30	0.60	ARENAS FINAS	SM	
				Gravas limosas	0.60		GRAVA CON FINOS	GC	
32	2581648,82	5687543,64	RN22 y Av. Olascoaga	Relleno heterogéneo	0.00	4.5	RELLENO	-	-
				Gravas arenosas bien graduadas, cuya densidad aumenta en profundidad.	4.5		GRAVAS	GW	
33	2583797,45	5687224,98	Blvd. calle Tandil a la altura de 644	Arenas arcillosas	0.00	1.00	ARENAS FINAS	SC	-
34	2583399,26	5687175,61	Calle Tte. Ricchieri nº 1534	Arenas limosas	0.00	1.00	ARENAS FINAS	SM	-
35	2582258,07	5686332,83	-	-	-	-	-	-	3,05
36	2581600,18	5687276,93	-	-	-	-	-	-	1,05
37	2581641,41	5687233,63	-	-	-	-	-	-	1,15
38	2581615,07	5687243,11	-	-	-	-	-	-	1,28
39	2582975,44	5686532,86	-	-	-	-	-	-	2,30

Anexo 2- Perfiles geotécnicos.



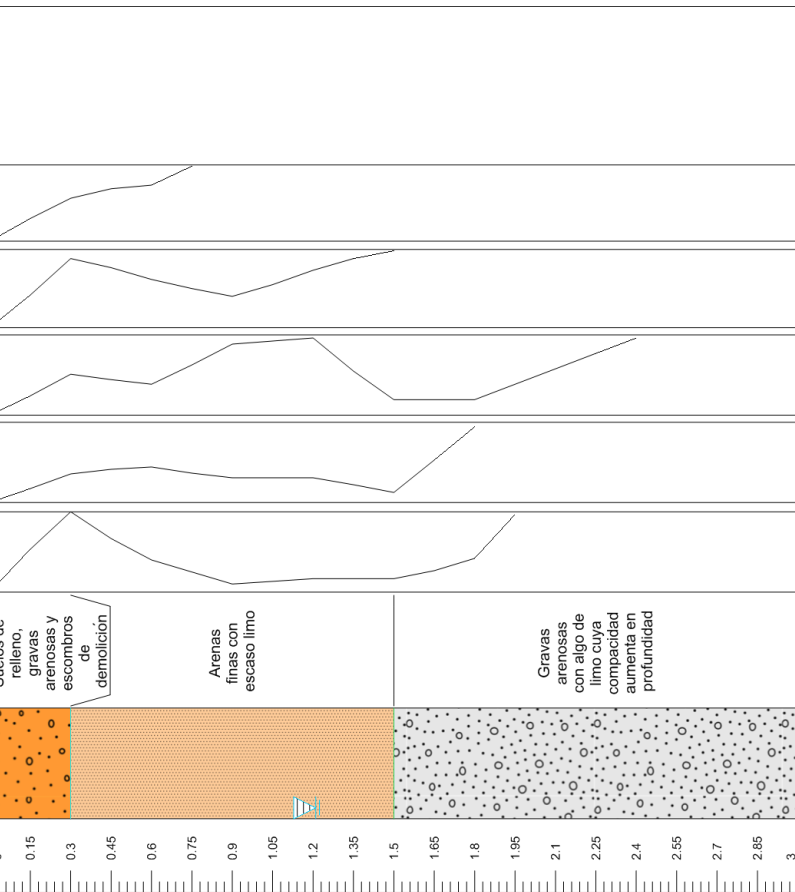
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén"

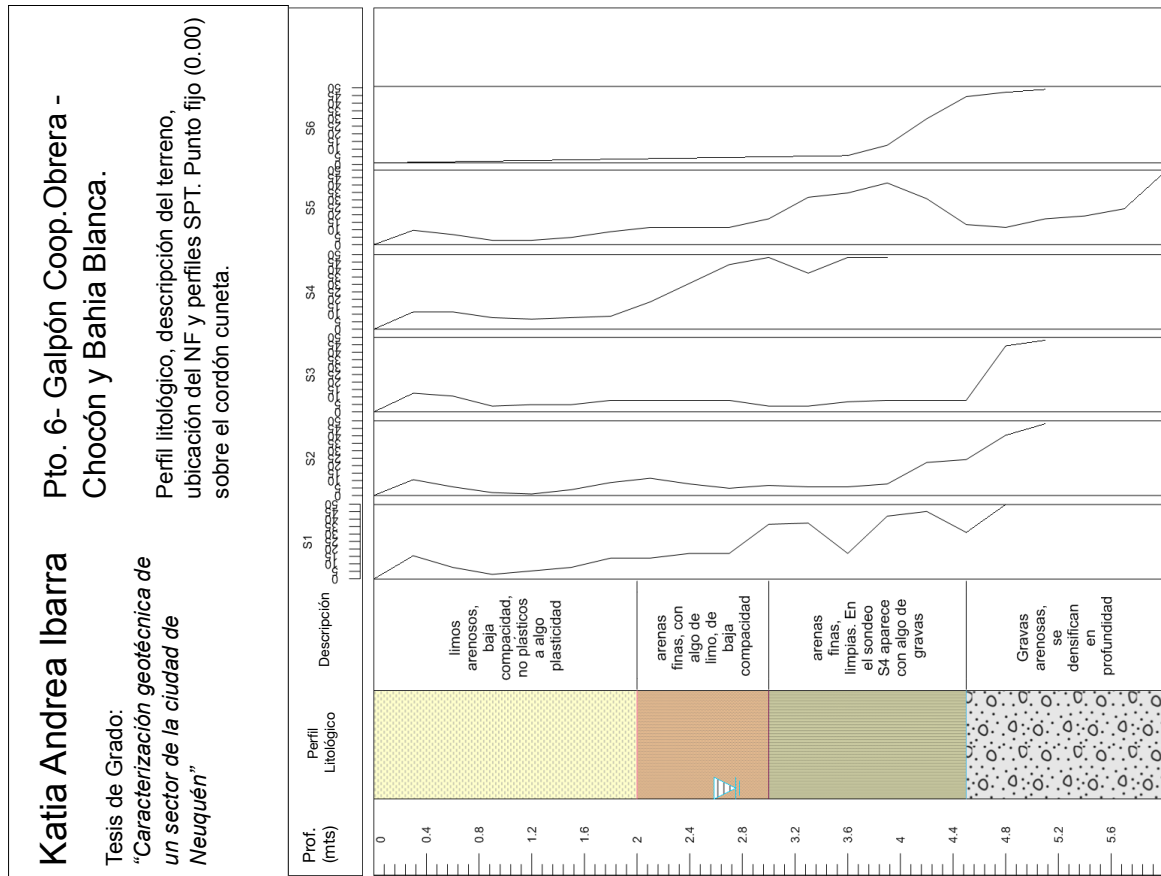
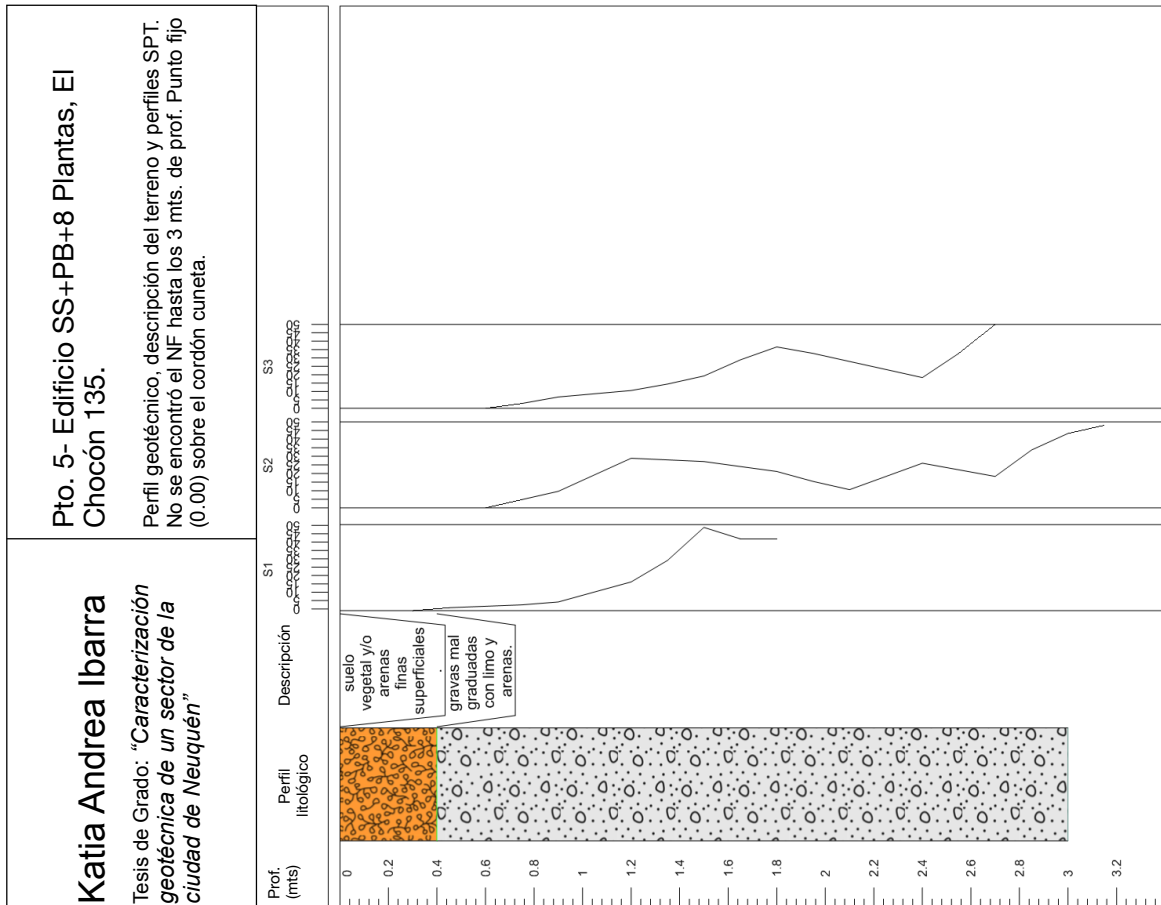
Pto.3- Monopostes- Obreros Argentinos y Copahue.
 Perfil litológico y descripción del terreno.

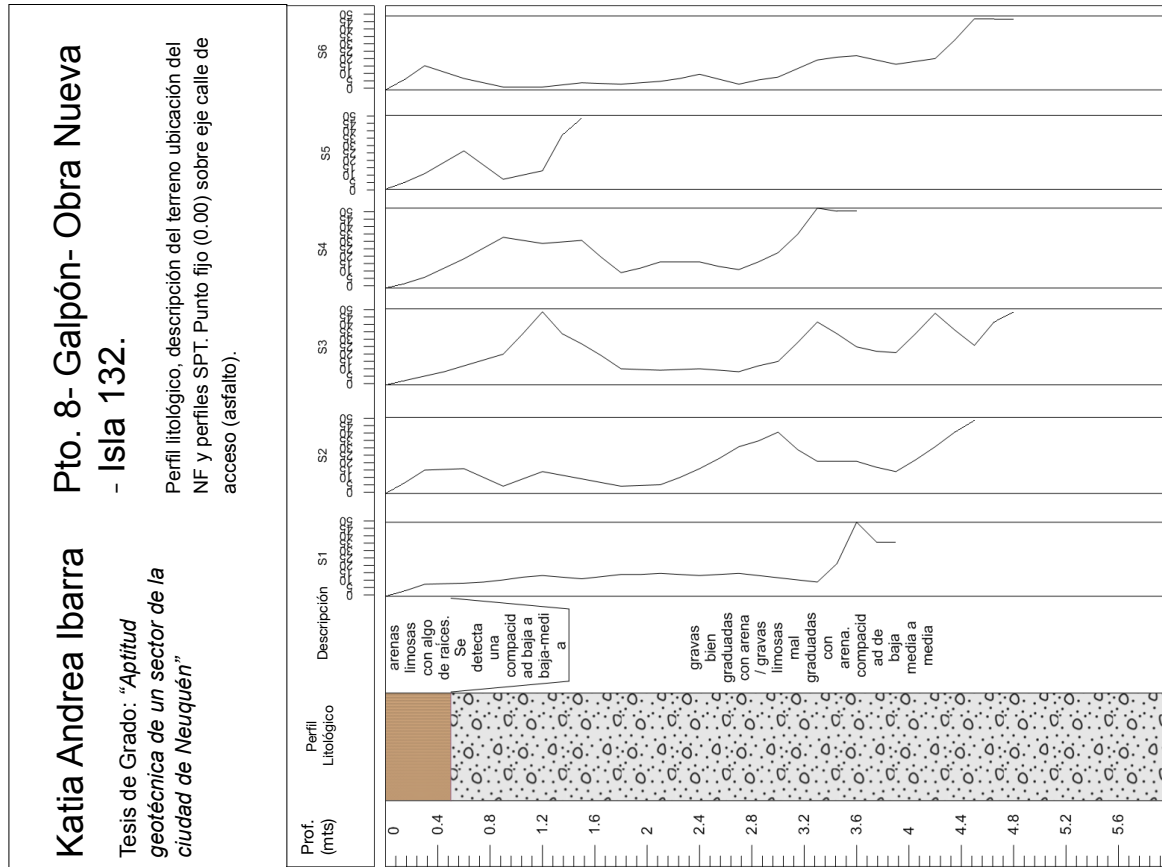
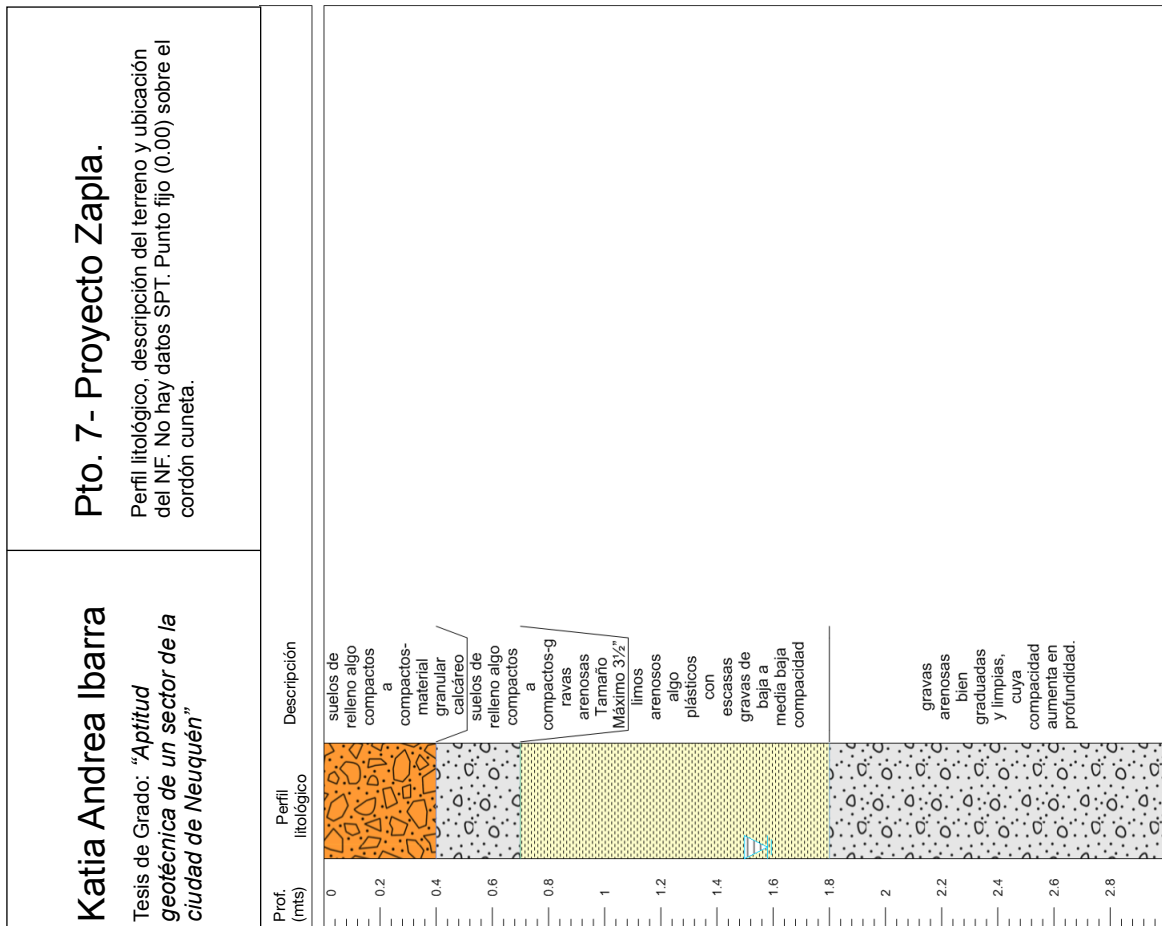


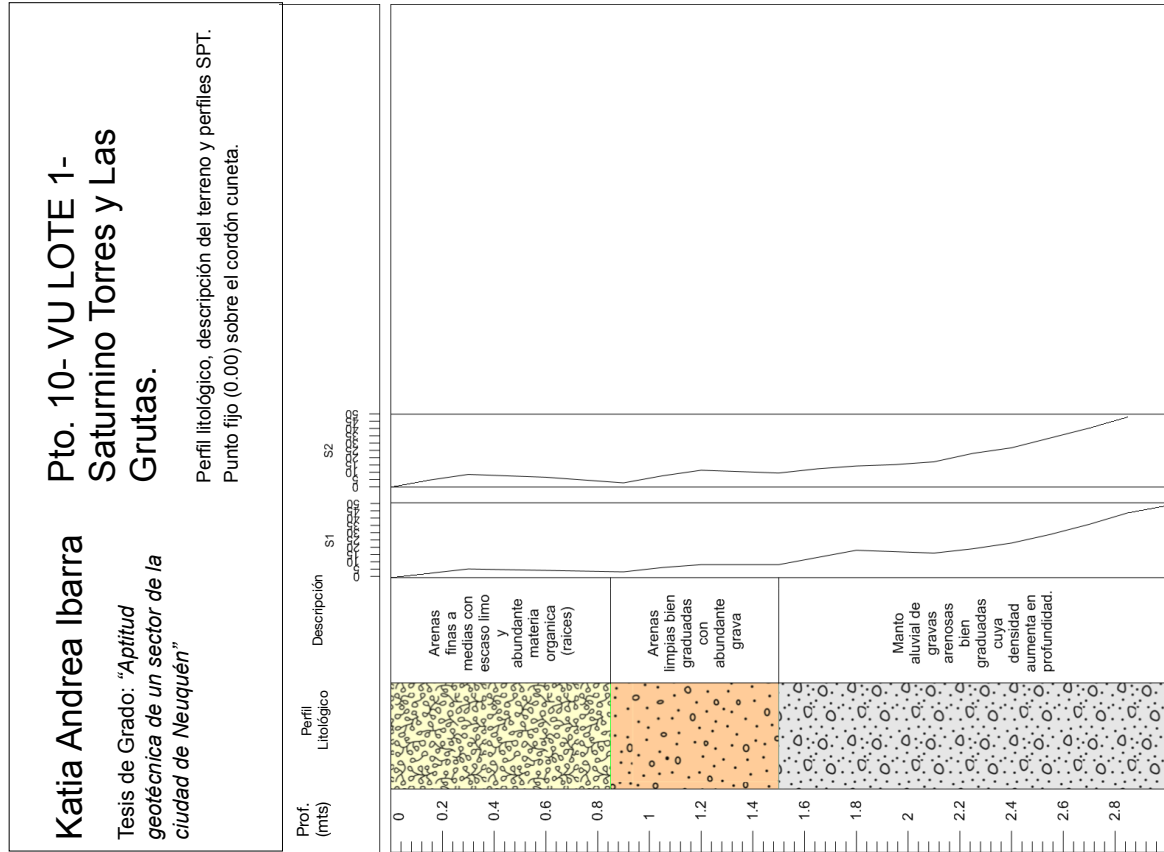
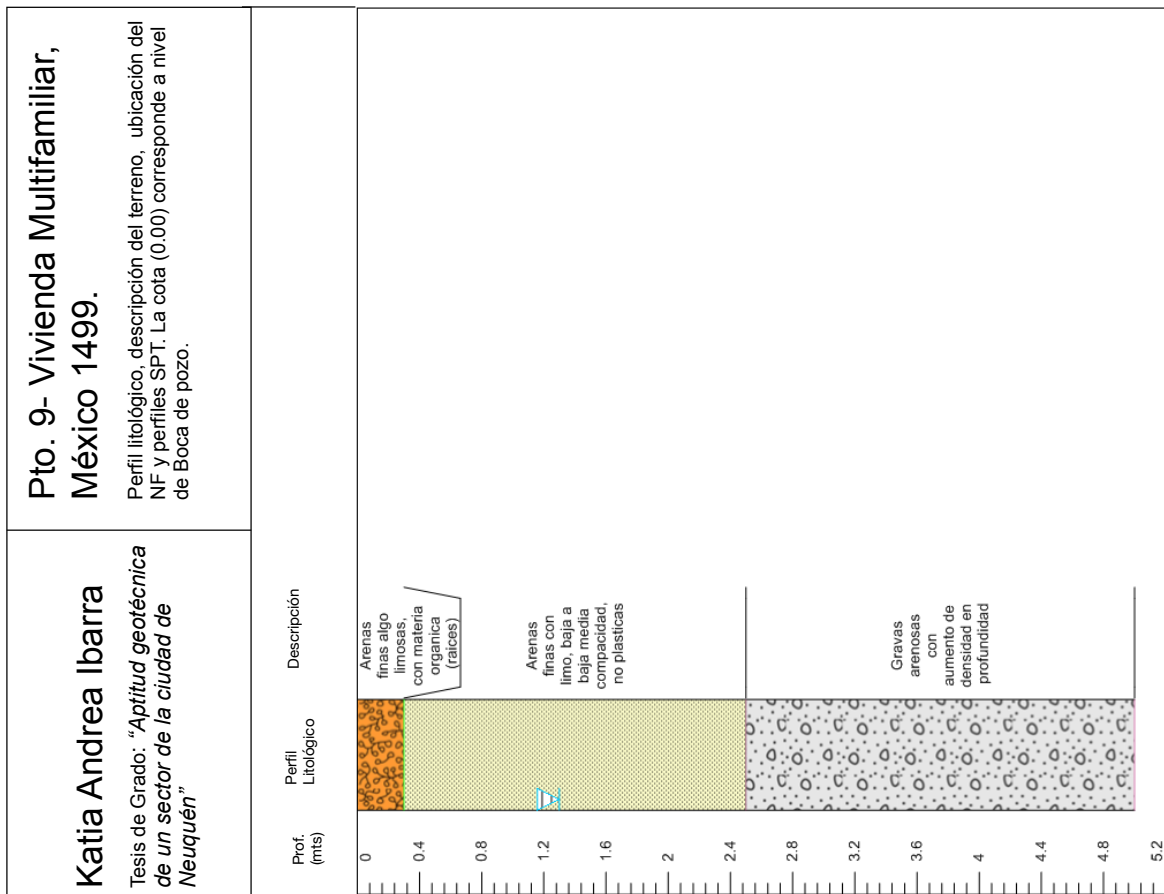
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén"

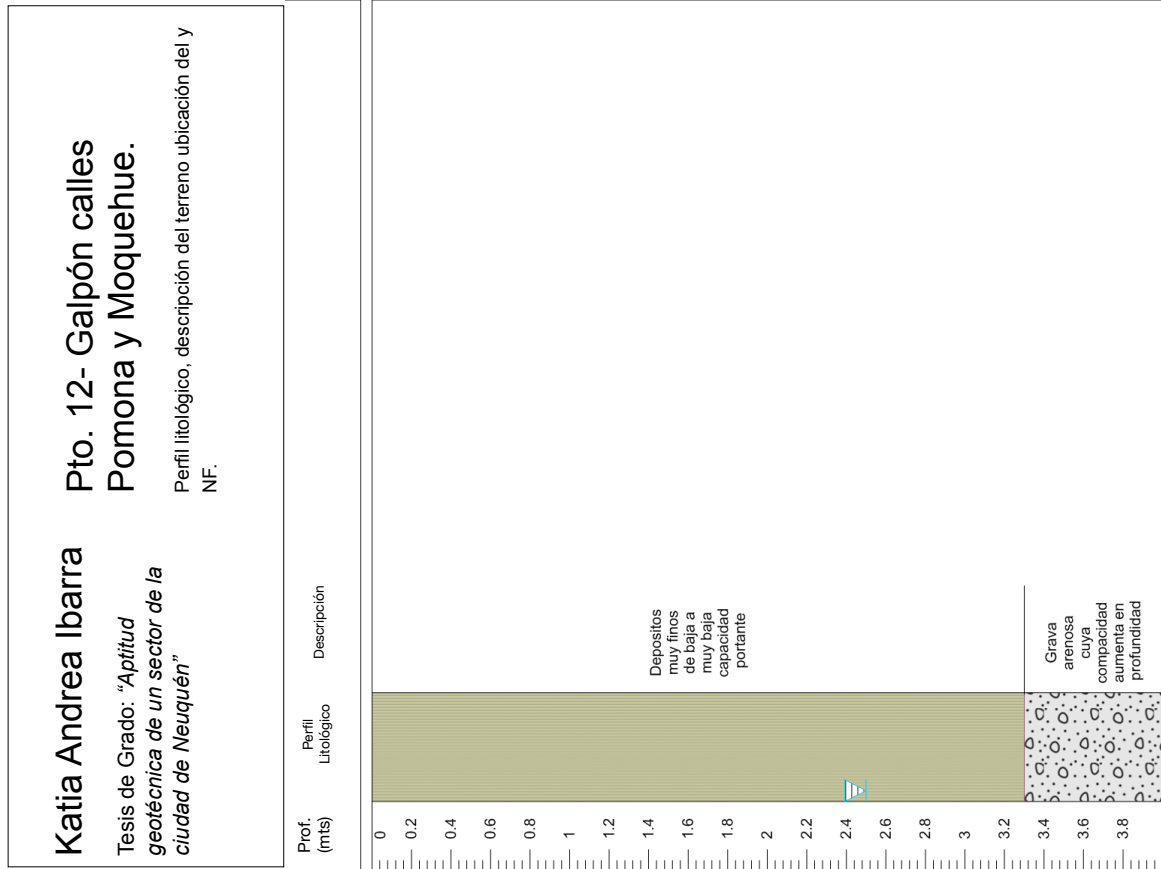
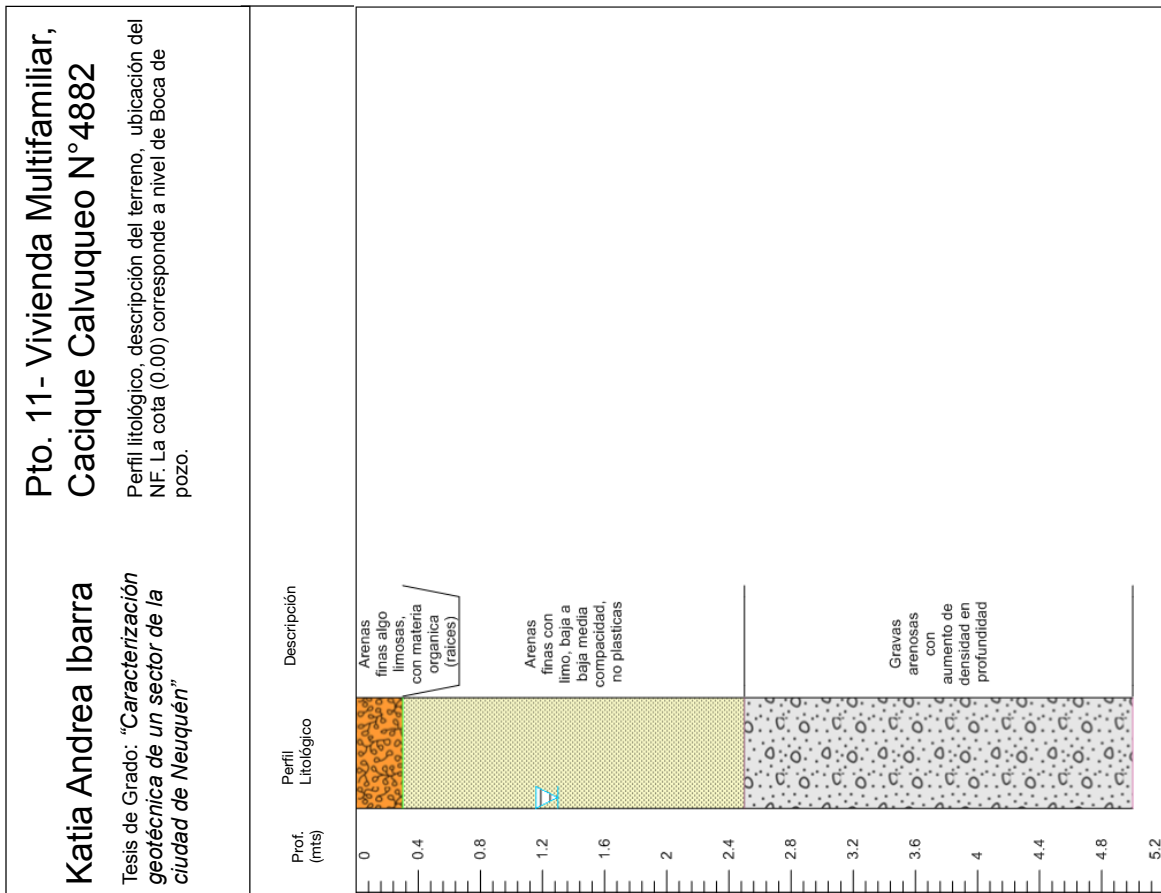
Pto. 4- Centro Cultural de la Legislatura del Neuquén.
 Perfil litológico, descripción del terreno, ubicación del NF y perfiles SPT. La cota (0.00) corresponde a nivel de cuneta.

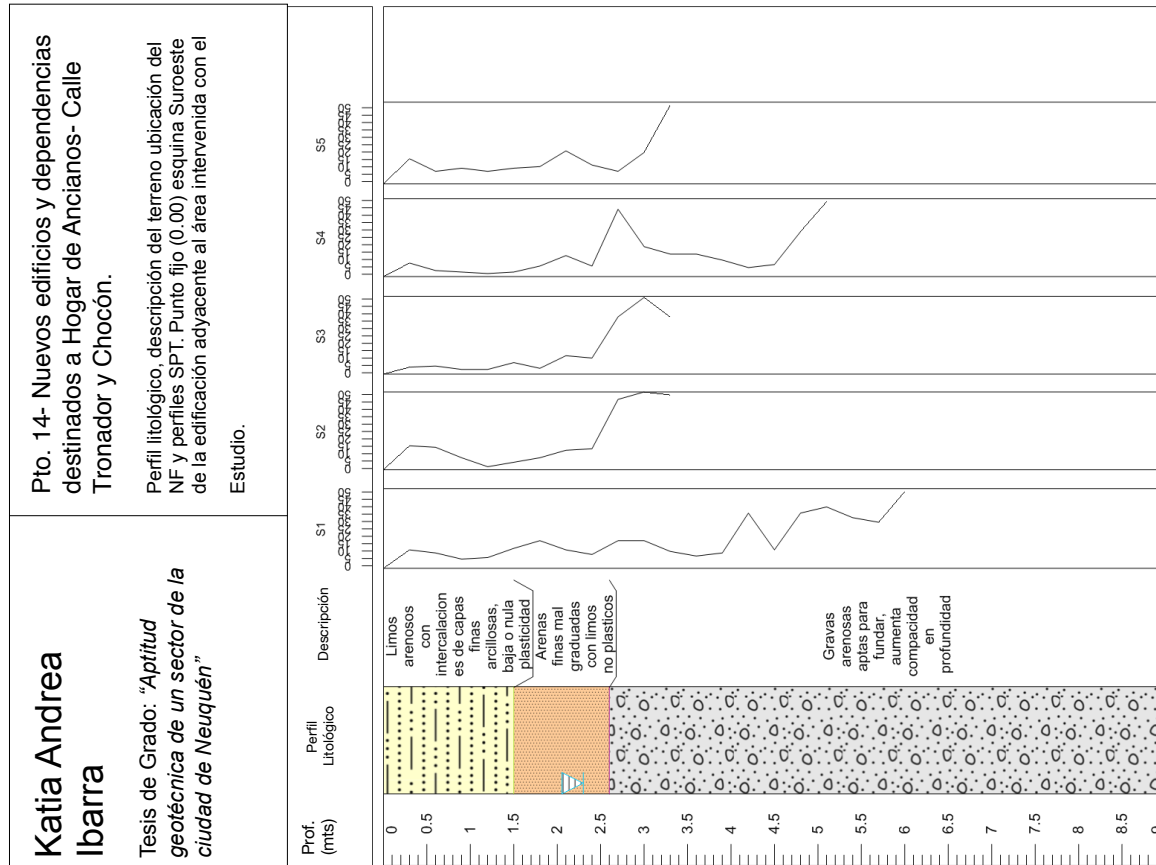
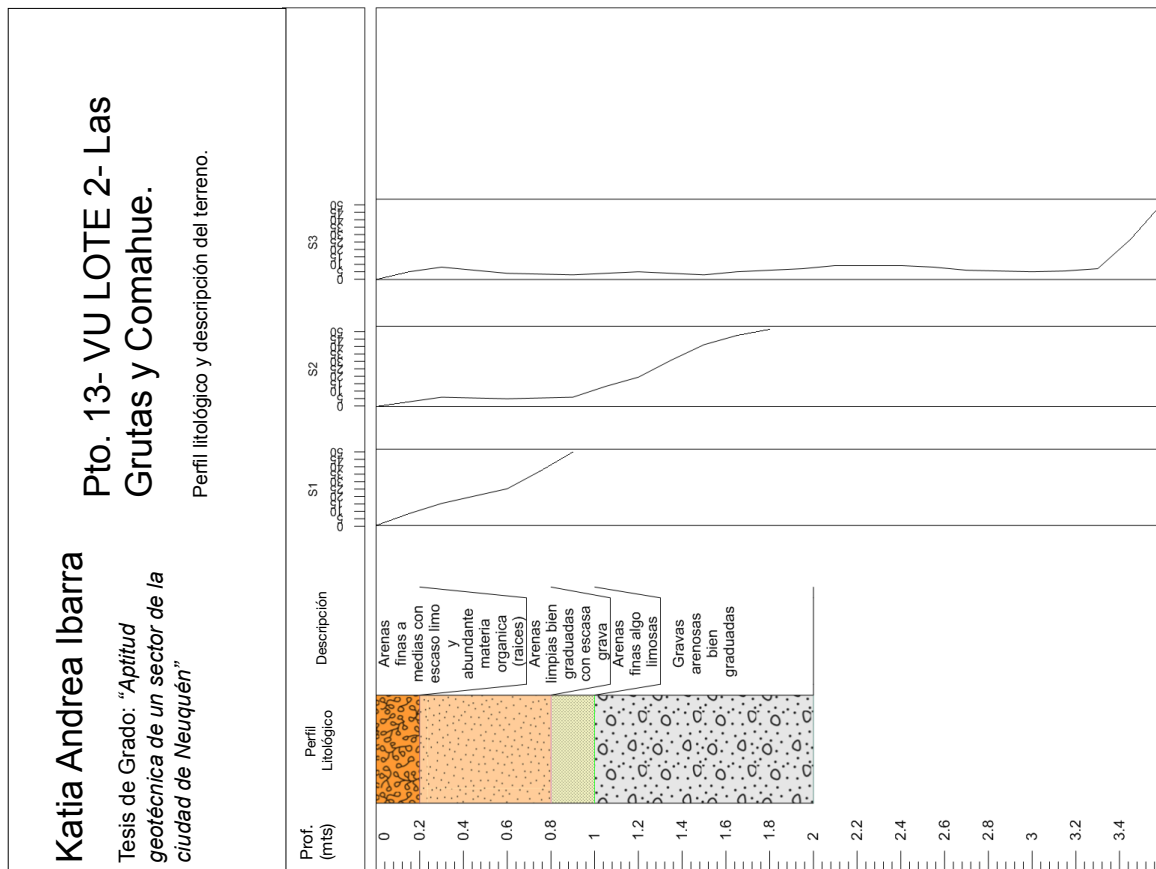


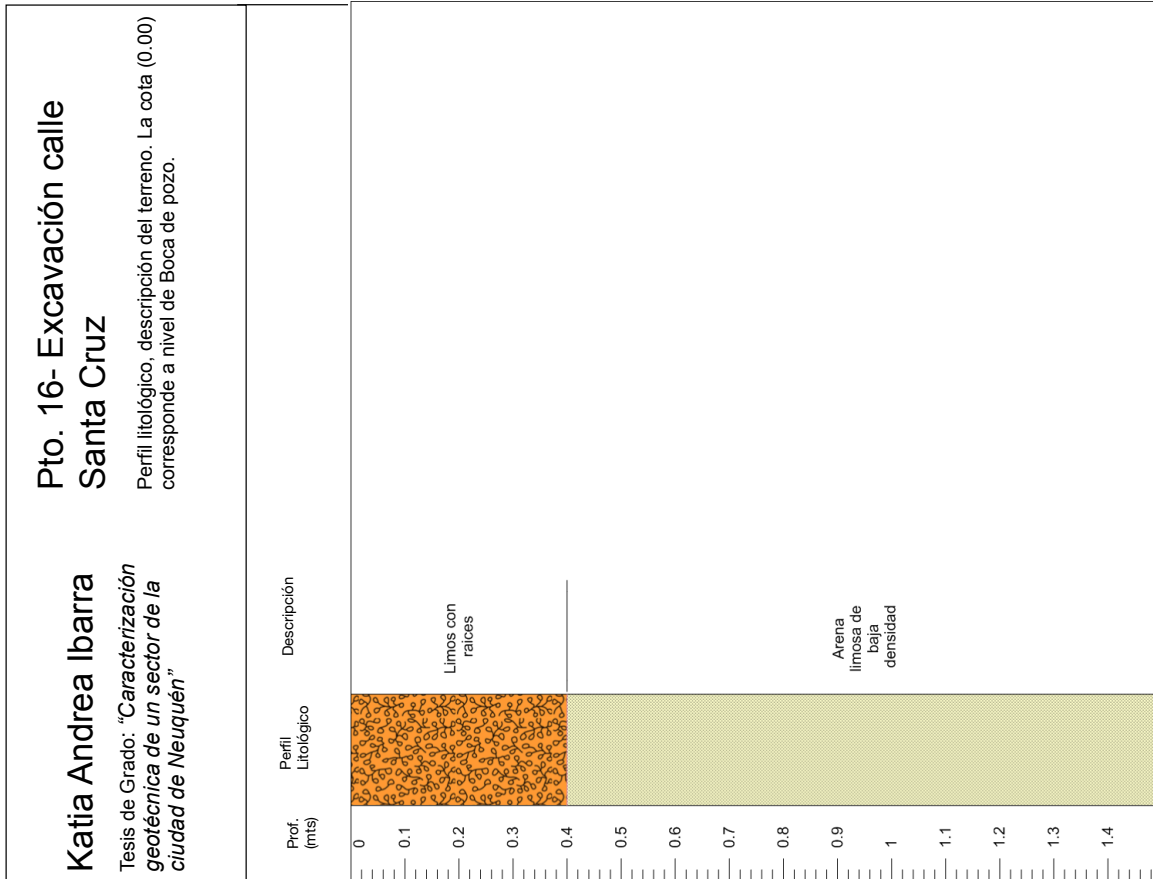
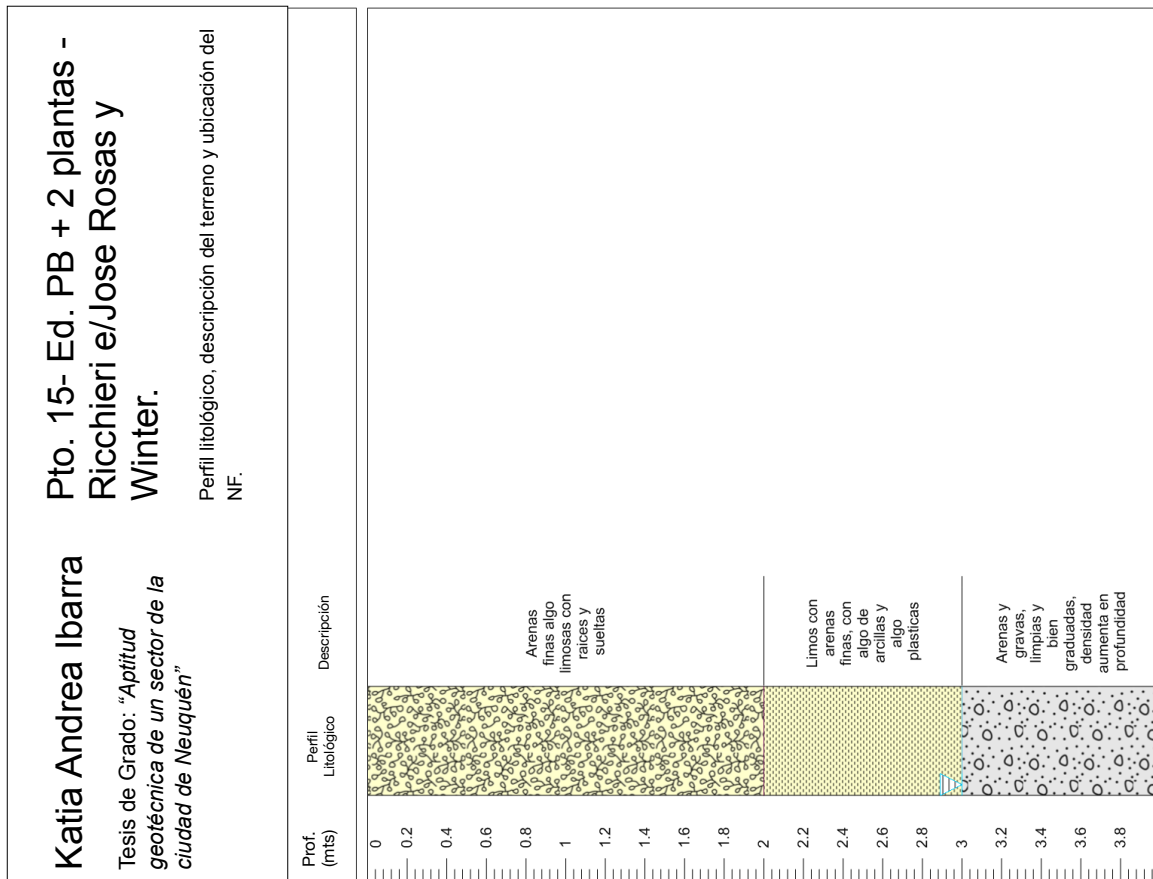






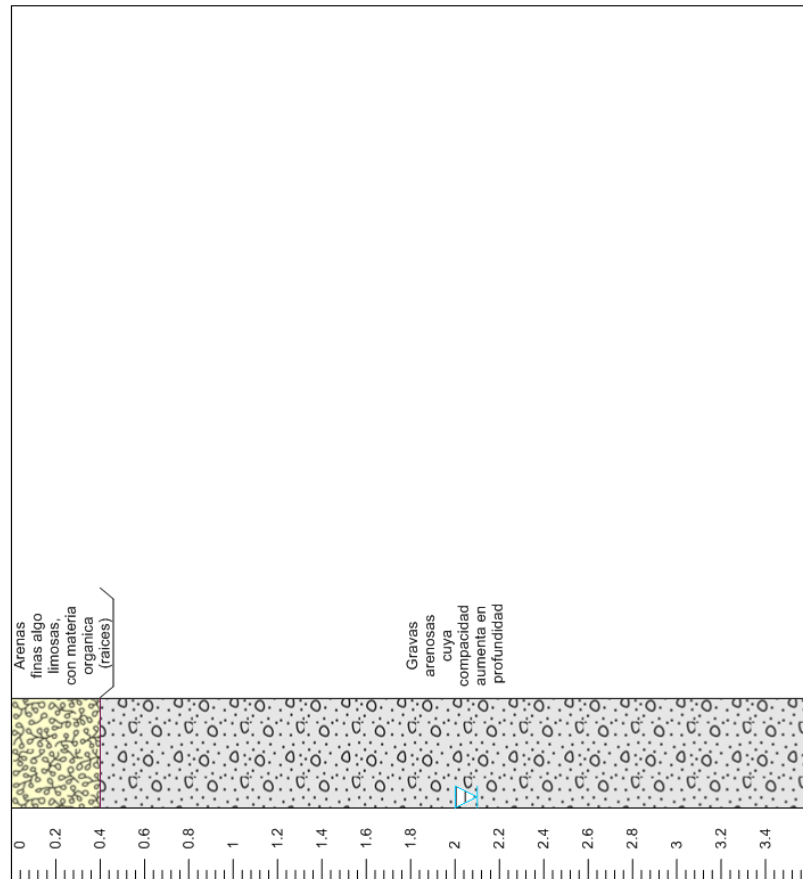






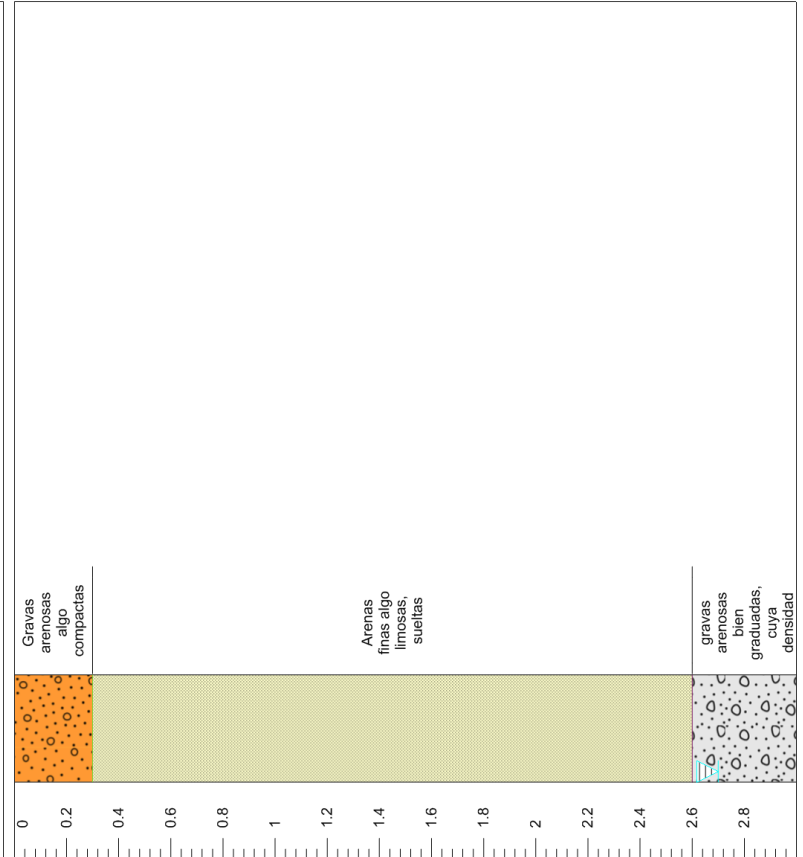
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén"

Pto. 17- Vivienda Multifamiliar, MISIONES N° 680
 Perfil litológico, descripción del terreno, ubicación del NF. La cota (0.00) corresponde a nivel de Boca de pozo.



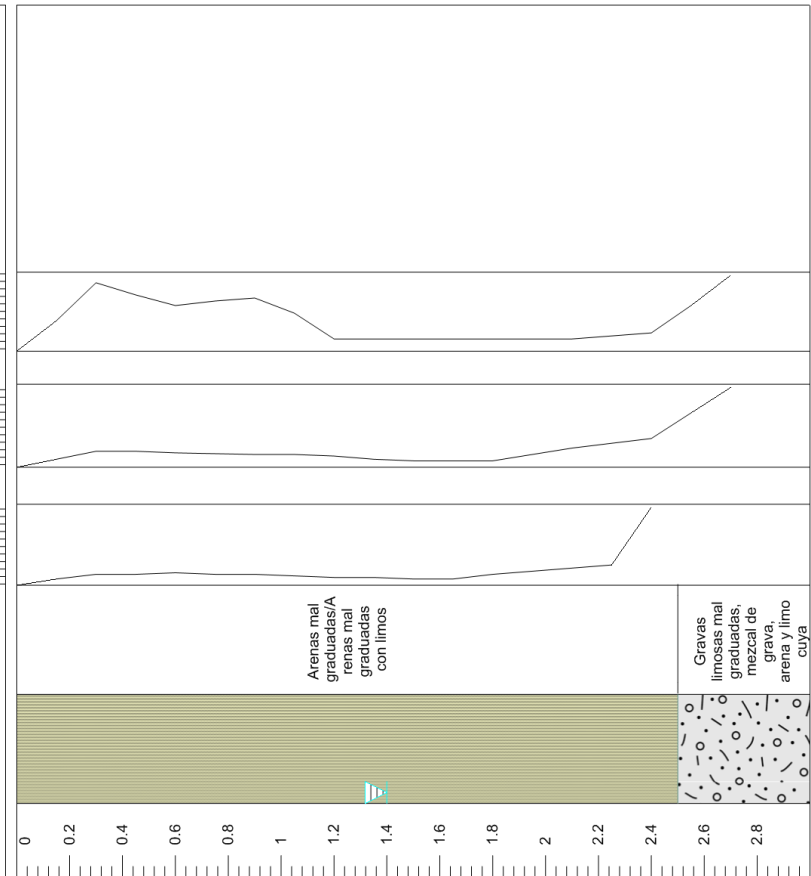
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Aptitud geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén"

Pto. 18- Vivienda multifamiliar y local comercial- Chocón N° 1125.
 Perfil litológico, descripción del terreno y ubicación del NF.



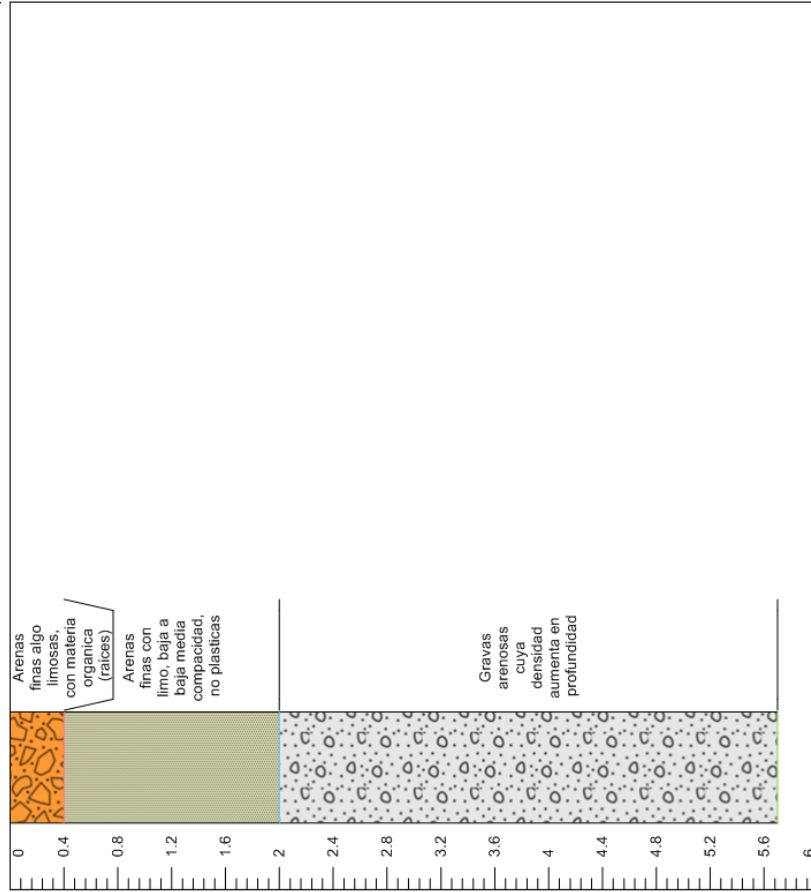
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Aptitud geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén"

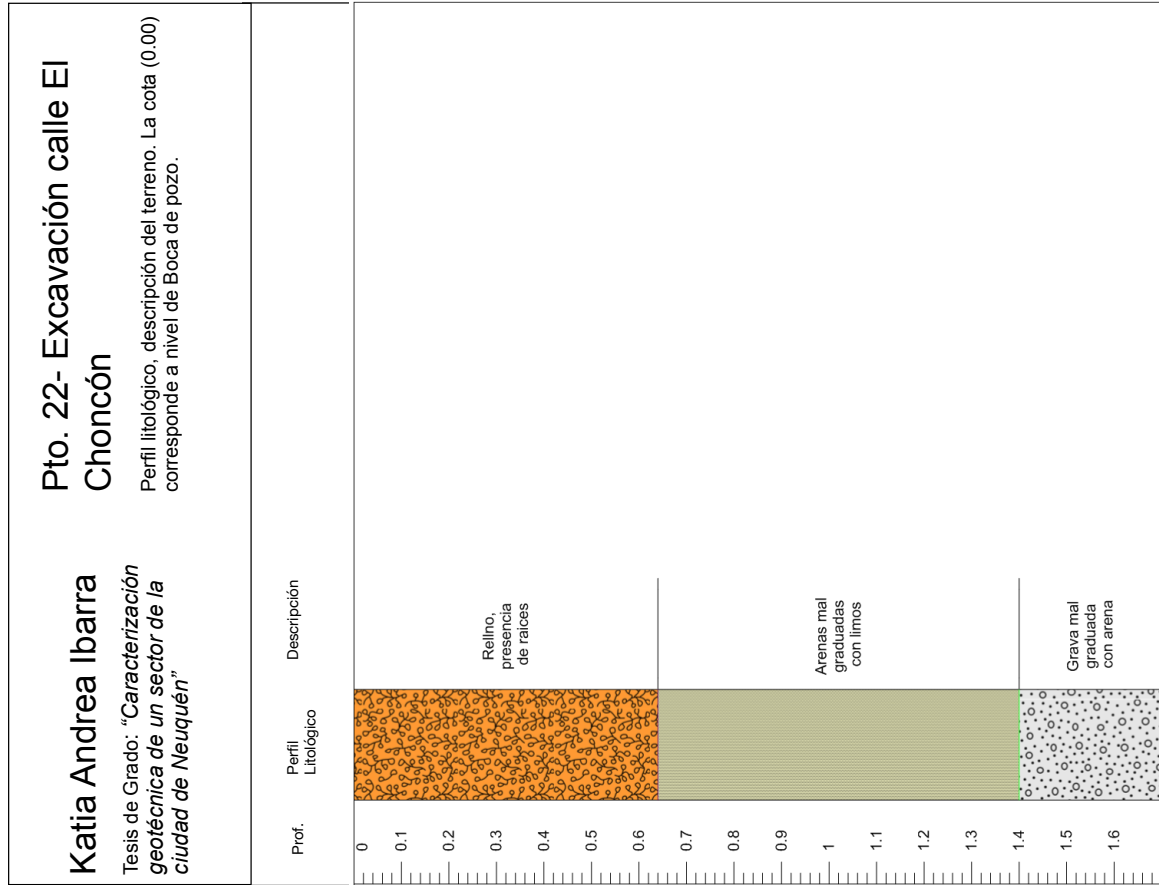
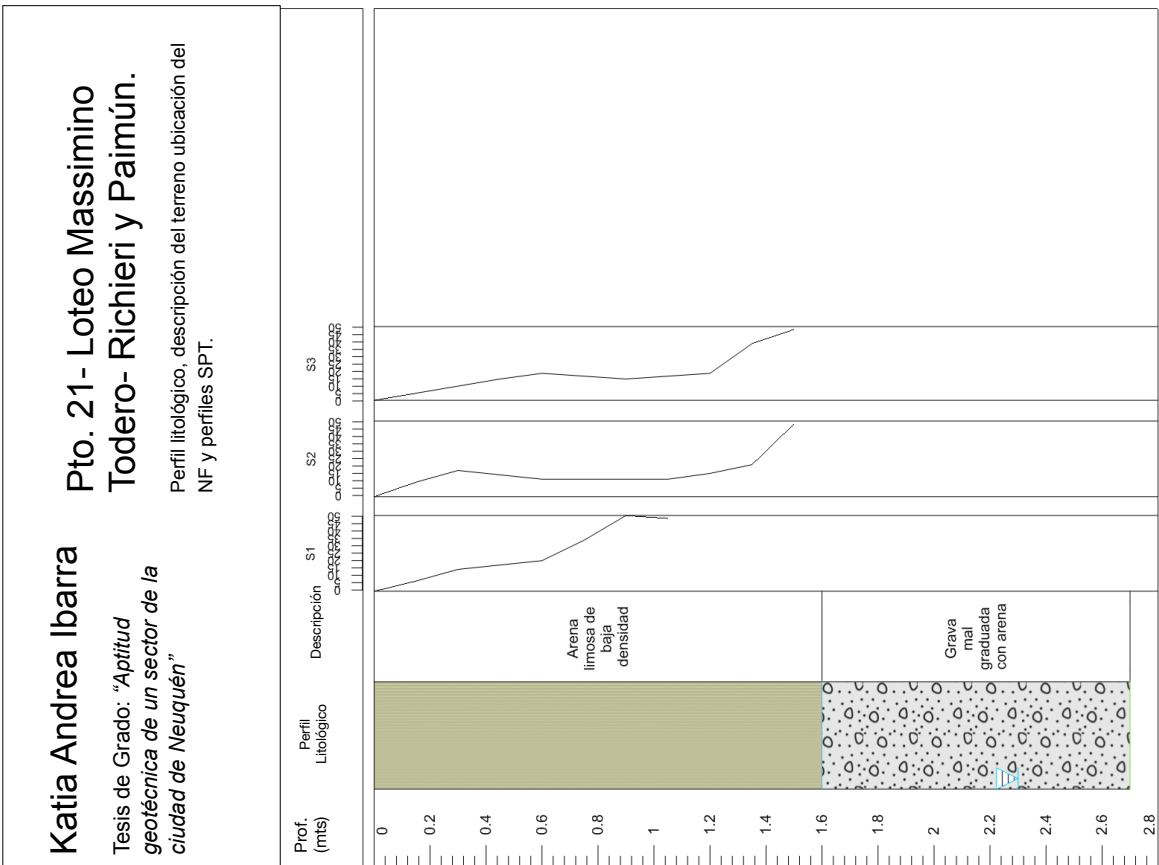
Pto. 19- Edificio PB + 5 plantas- Av. Olascoaga 712.
 Perfil litológico, descripción del terreno ubicación del NF y perfiles SPT. Punto fijo (0.00) sobre el cordón cuneta.

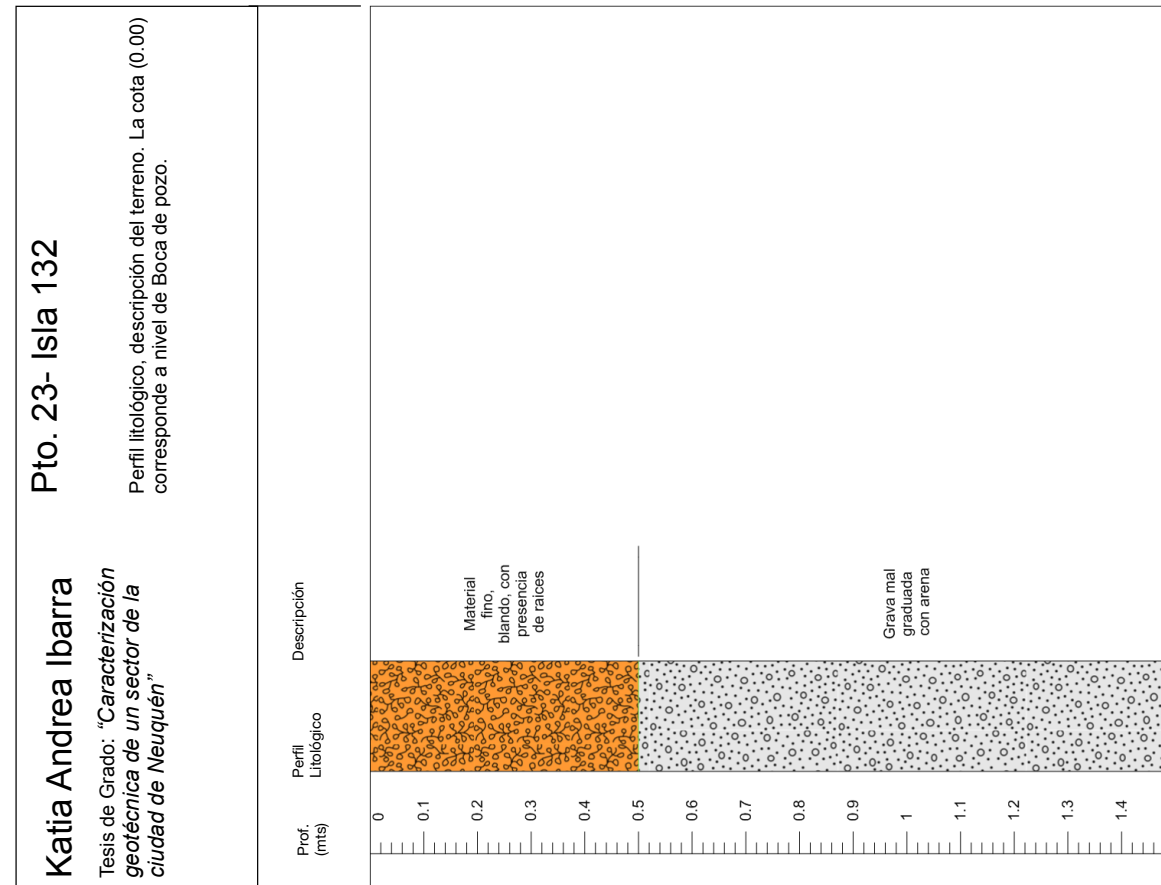
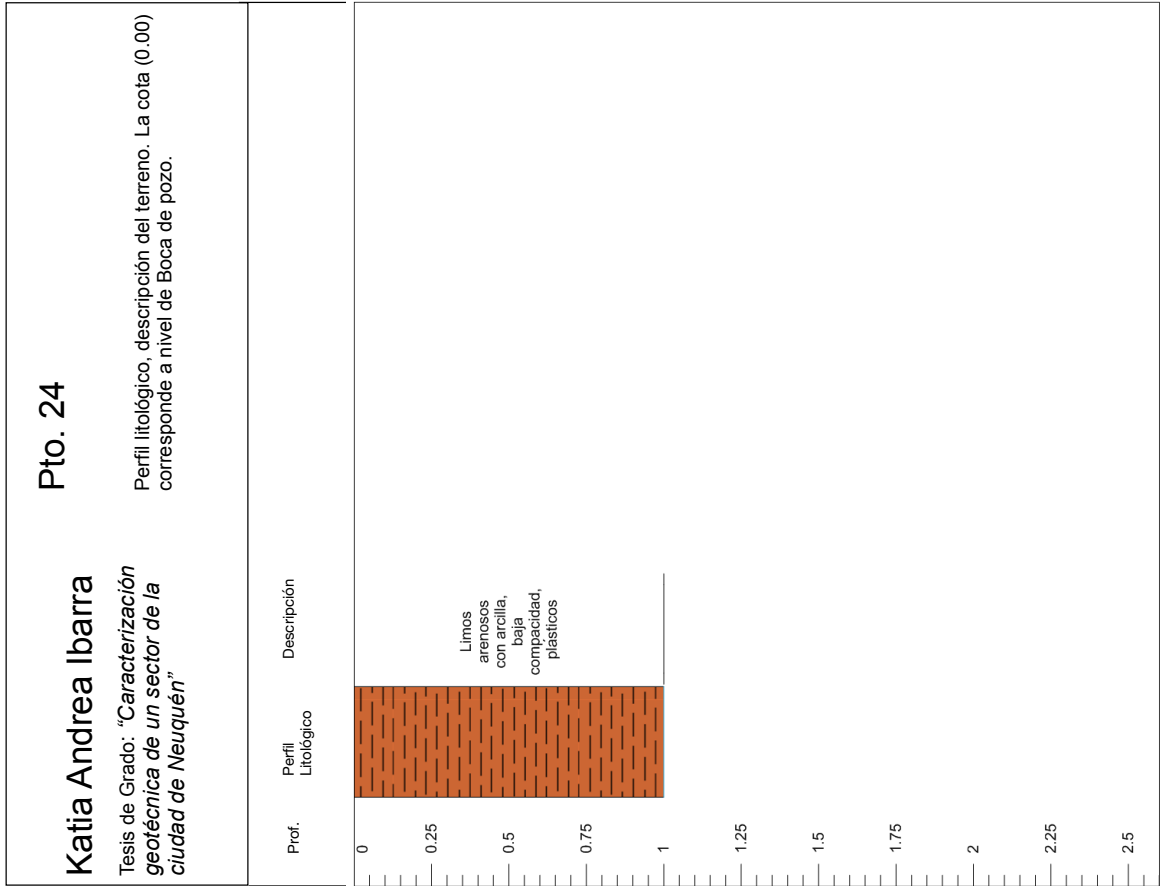


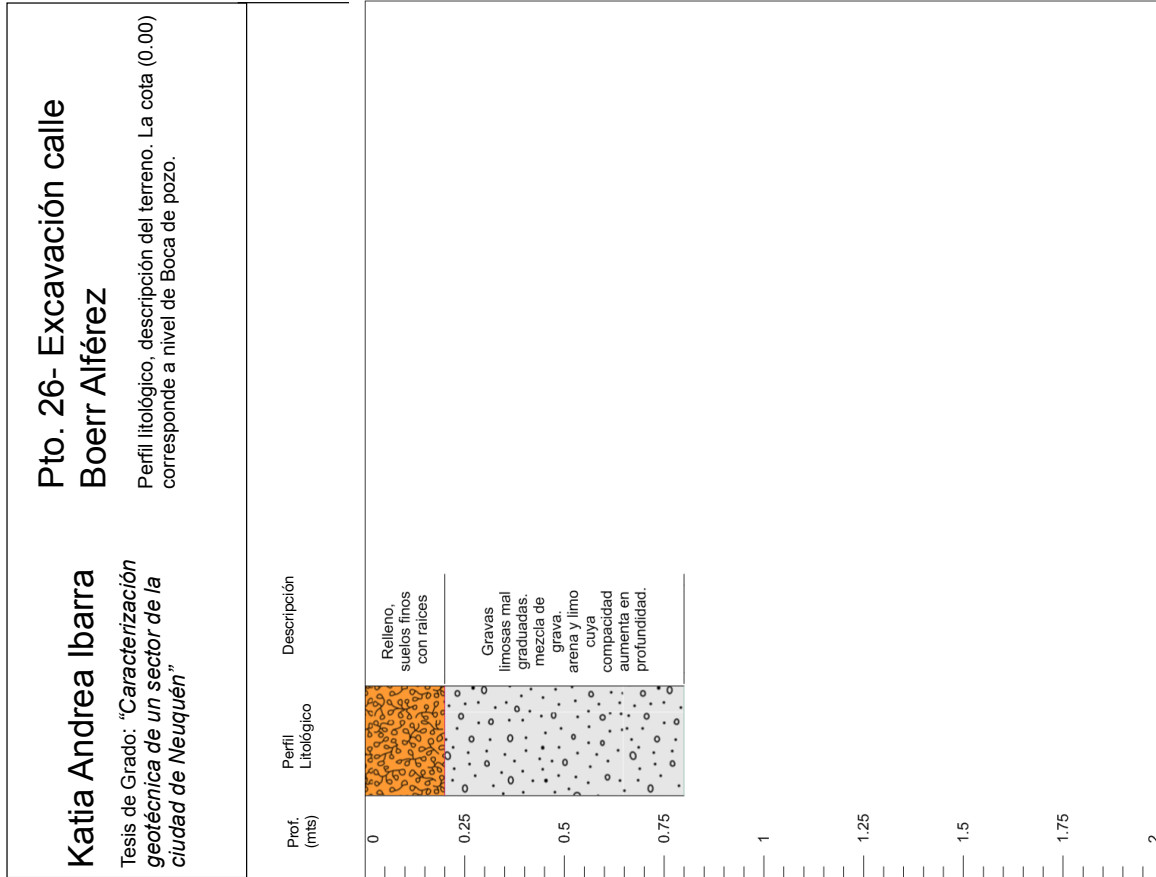
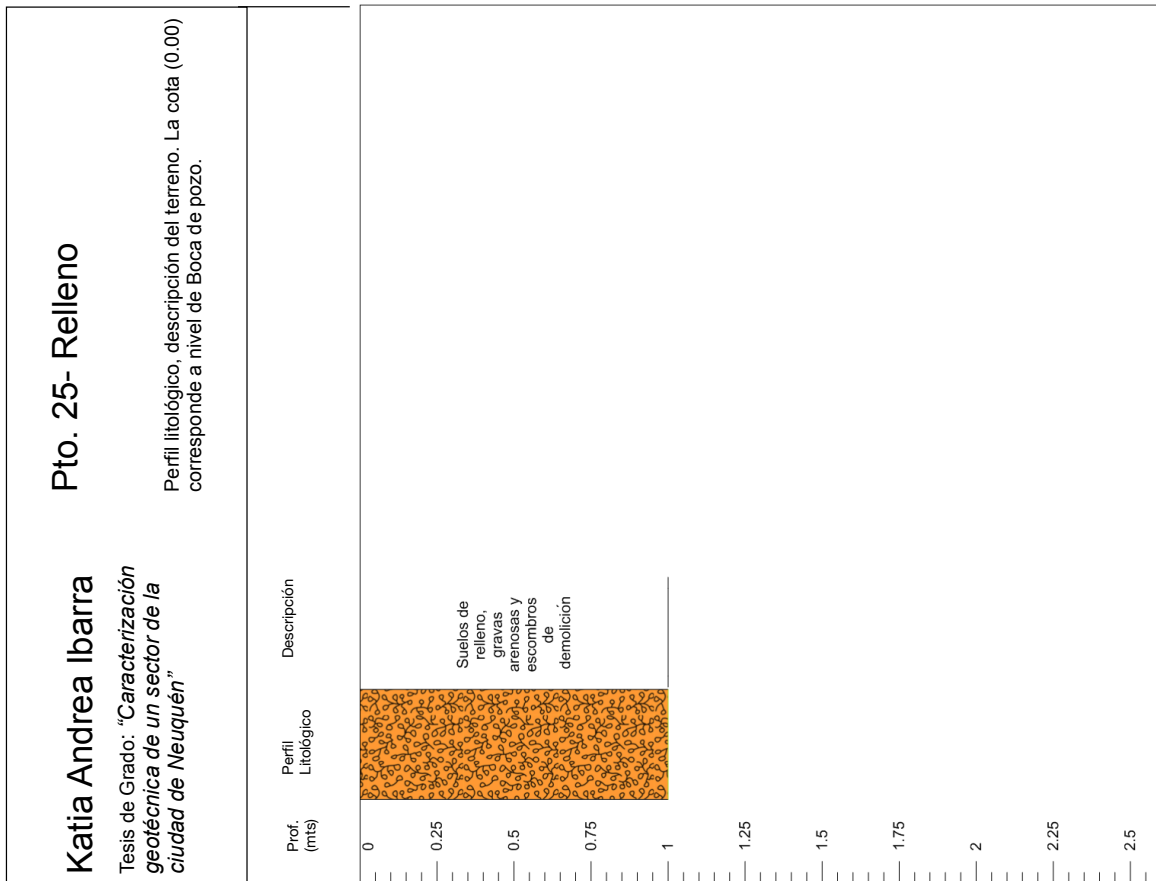
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Caracterización geotécnica de un sector ubicado en la ciudad de Neuquén"

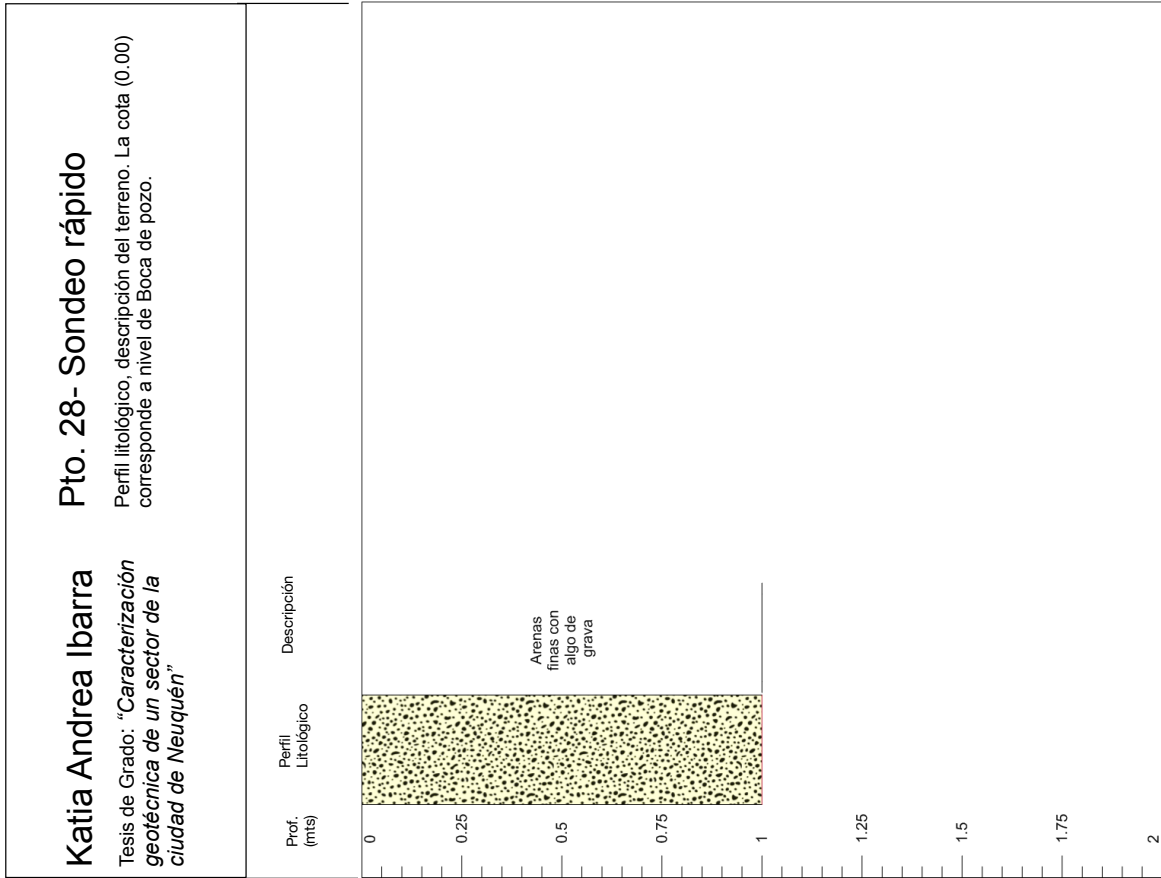
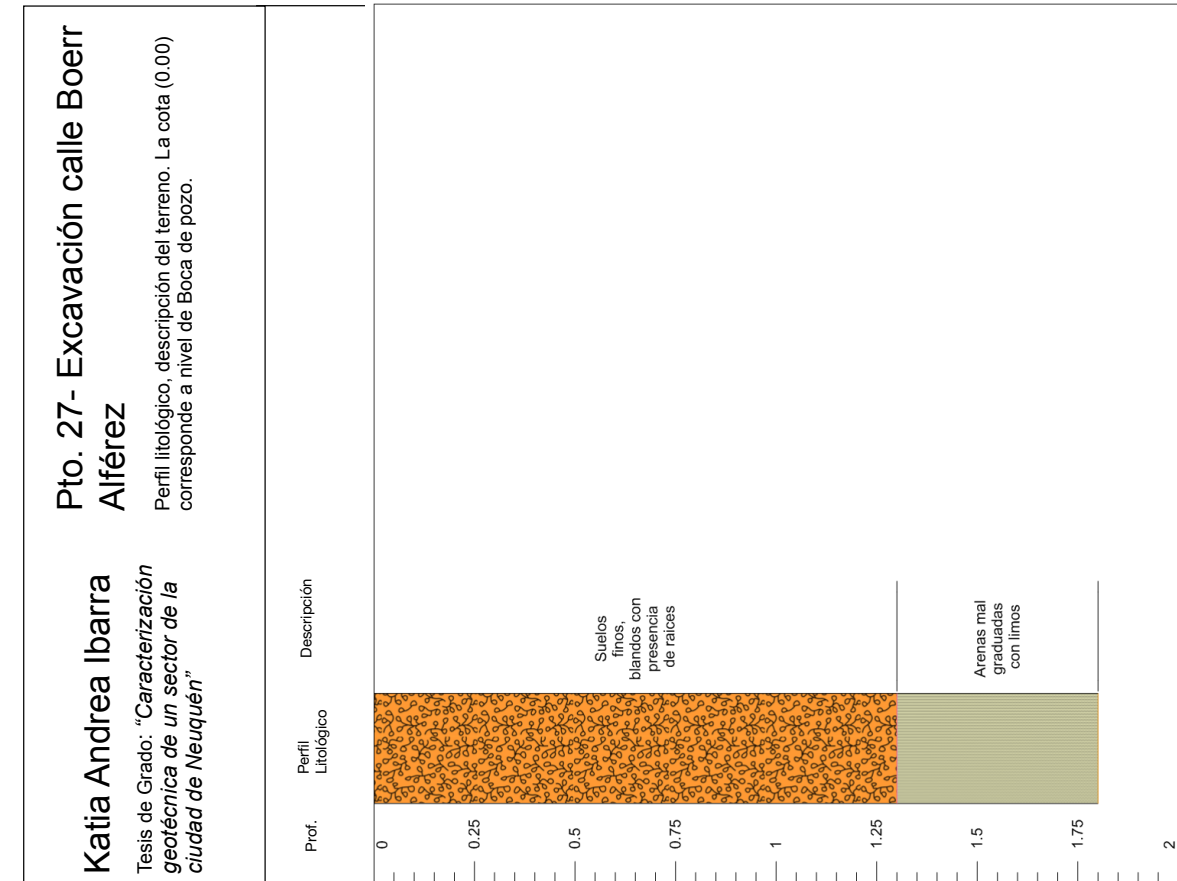
Pto. 20- Ed. nueve plantas, Gatica y Beltrán
 Perfil litológico, descripción del terreno. La cota (0.00) corresponde a nivel de Boca de pozo.











**Pto. 29- Obra en construcción,
 calle Boerr Alférez**

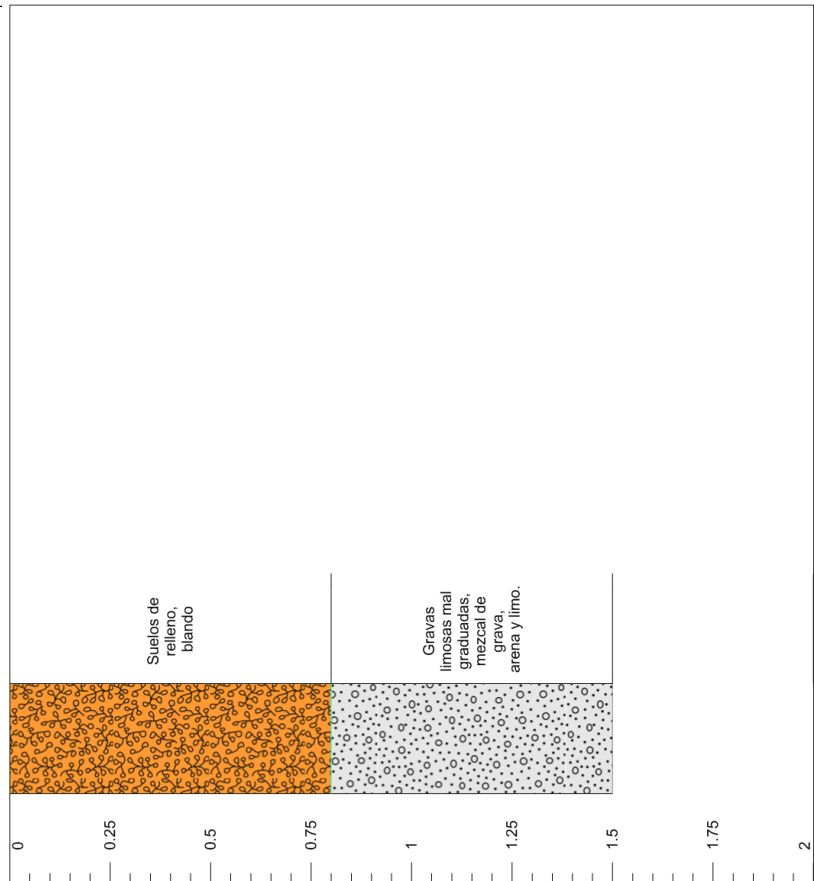
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Caracterización
 geotécnica de un sector de la
 ciudad de Neuquén"

Perfil litológico, descripción del terreno. La cota (0,00)
 corresponde a nivel de Boca de pozo.

Prof. (mts)

Perfil Litológico

Descripción



**Pto. 30- Sondeo rápido en
 plaza**

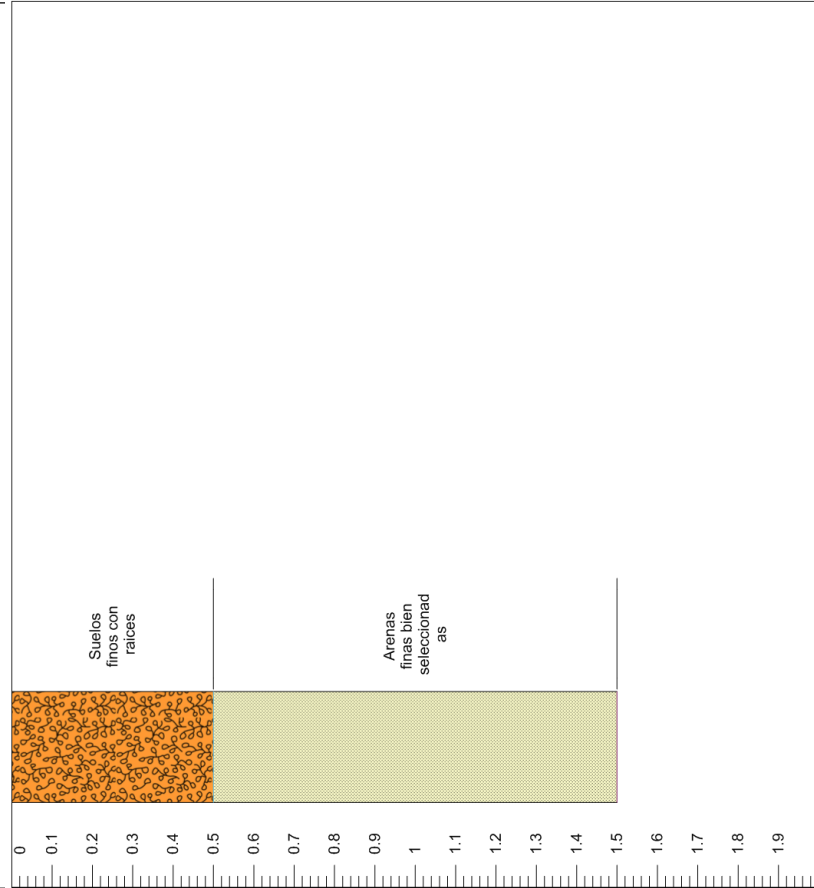
Katia Andrea Ibarra
 Tesis de Grado: "Caracterización
 geotécnica de un sector de la
 ciudad de Neuquén"

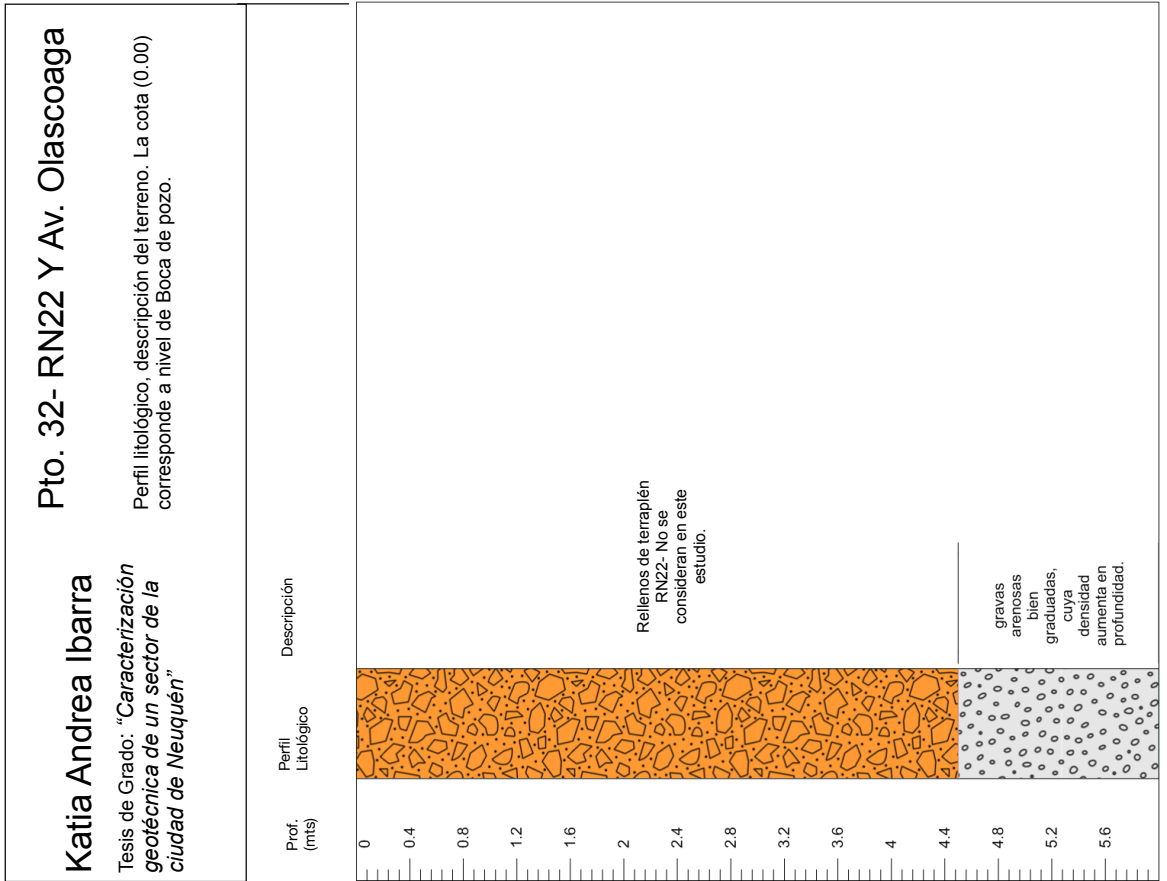
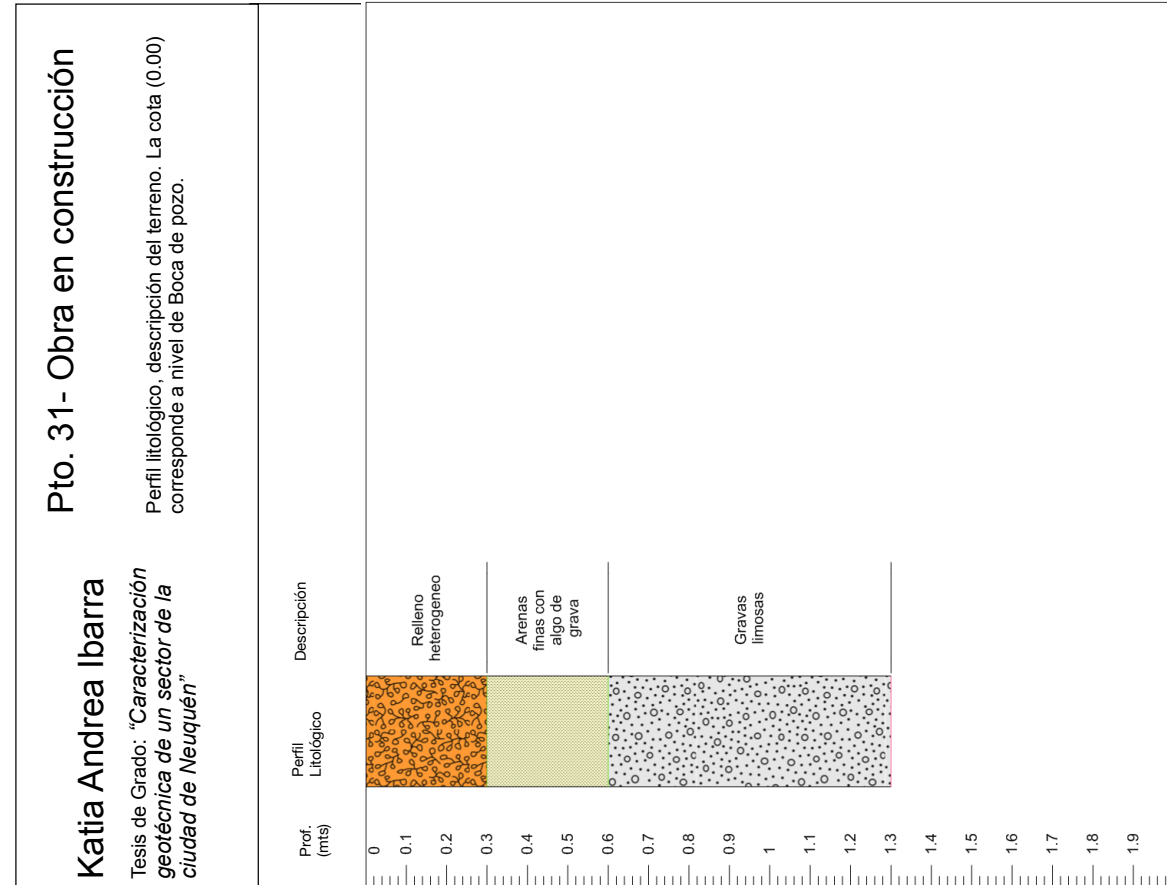
Perfil litológico, descripción del terreno. La cota (0,00)
 corresponde a nivel de Boca de pozo.

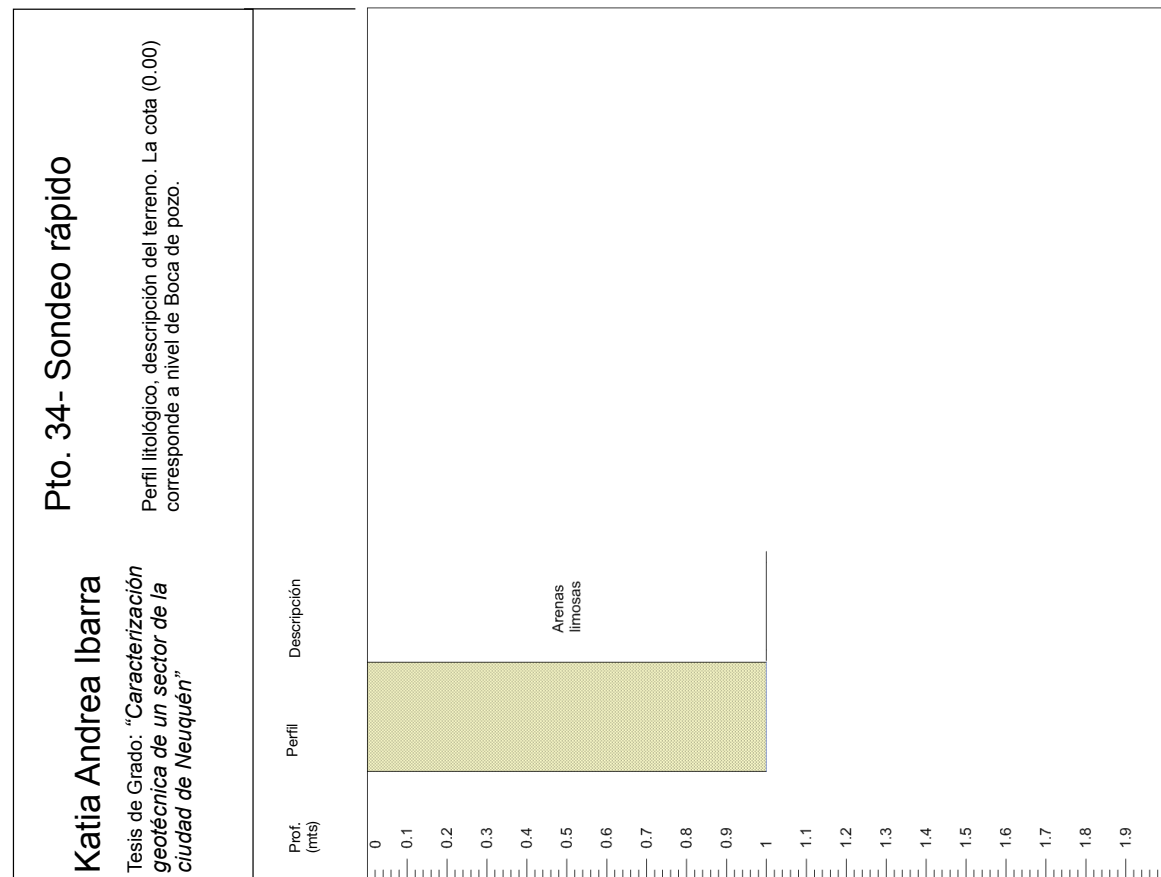
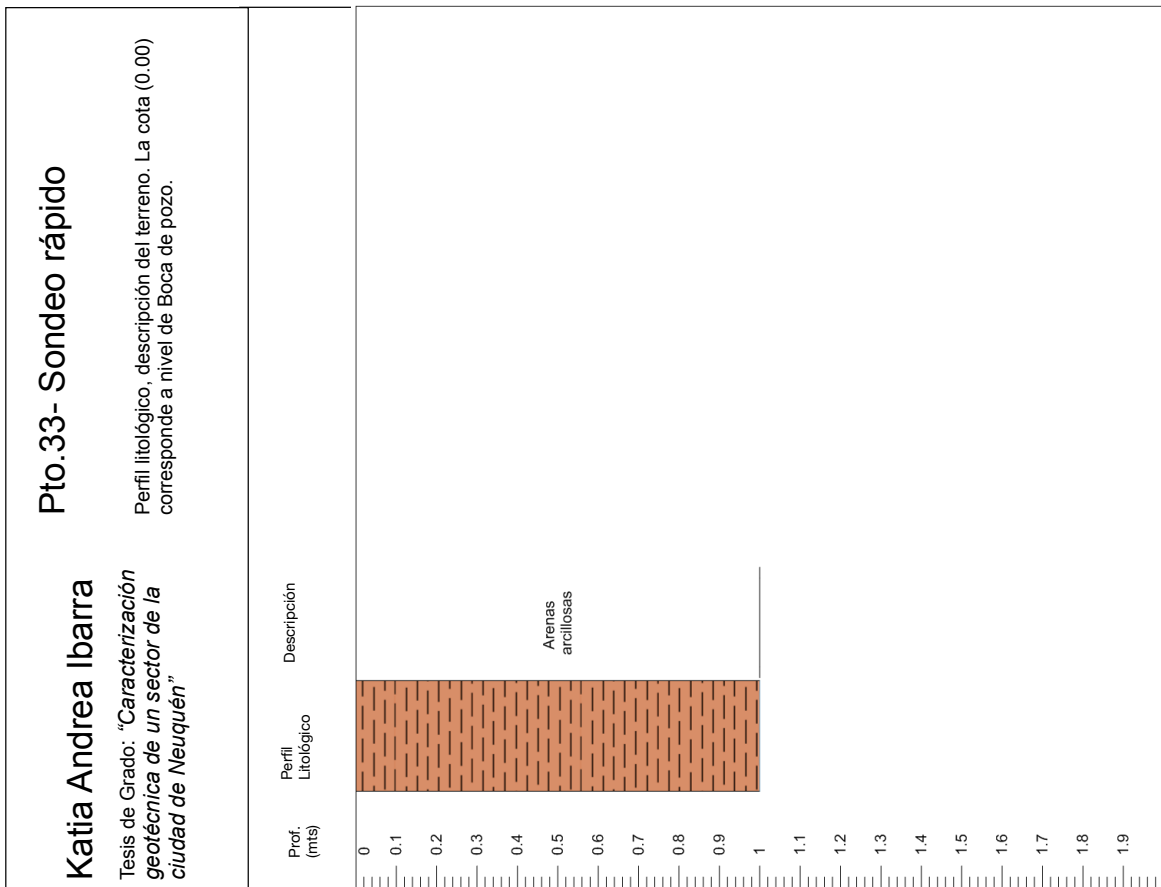
Prof. (mts)

Perfil Litológico

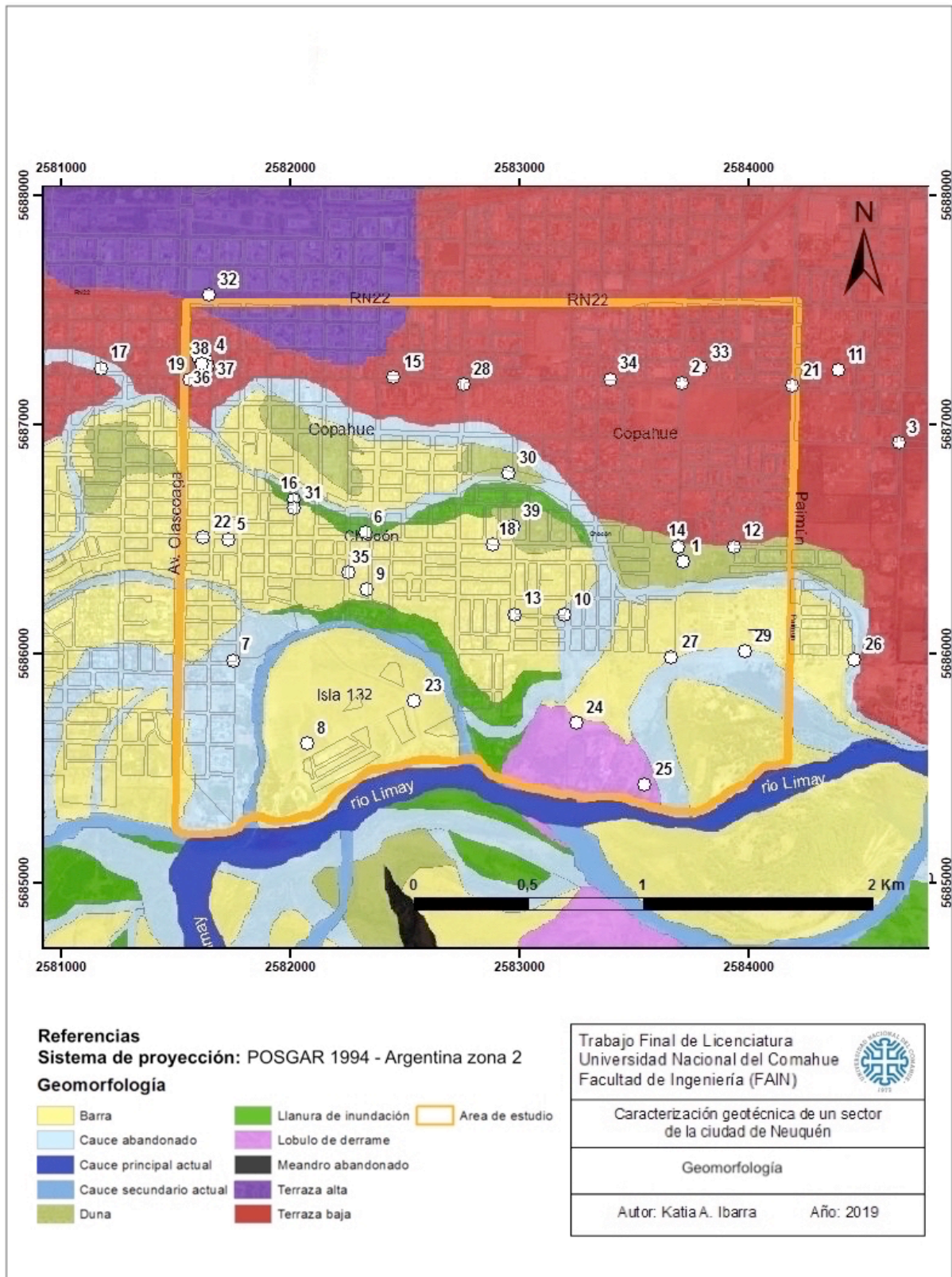
Descripción

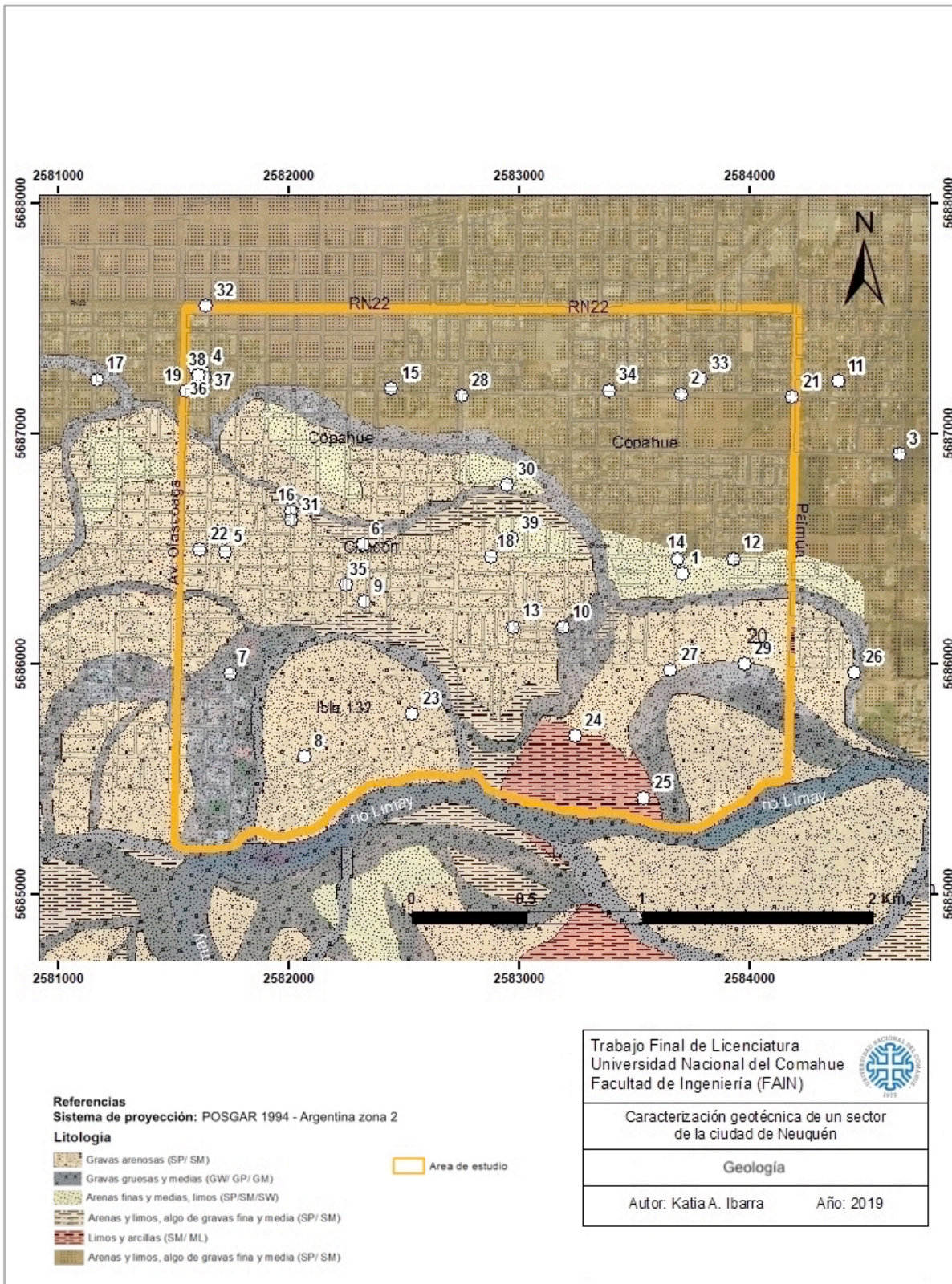


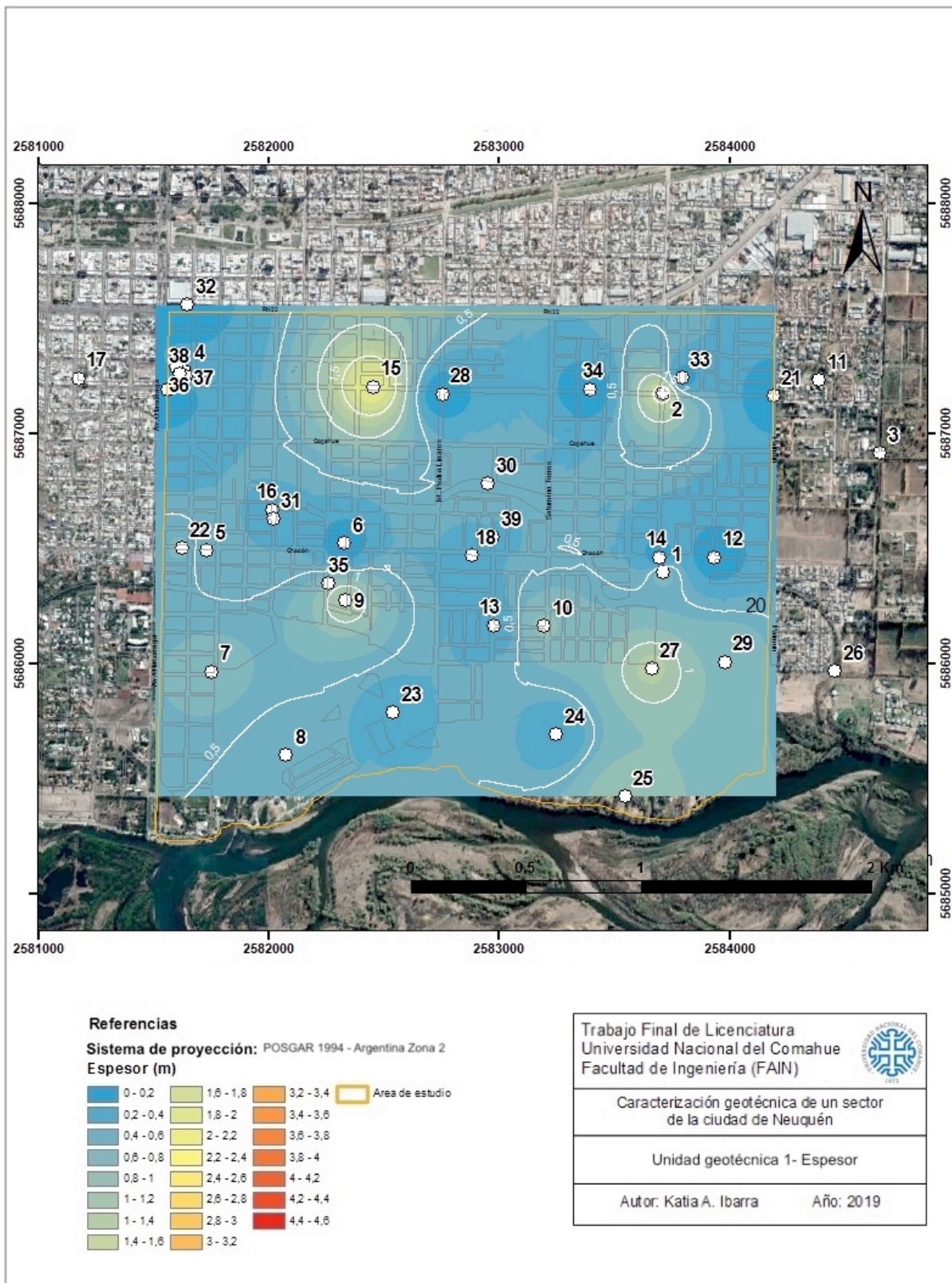


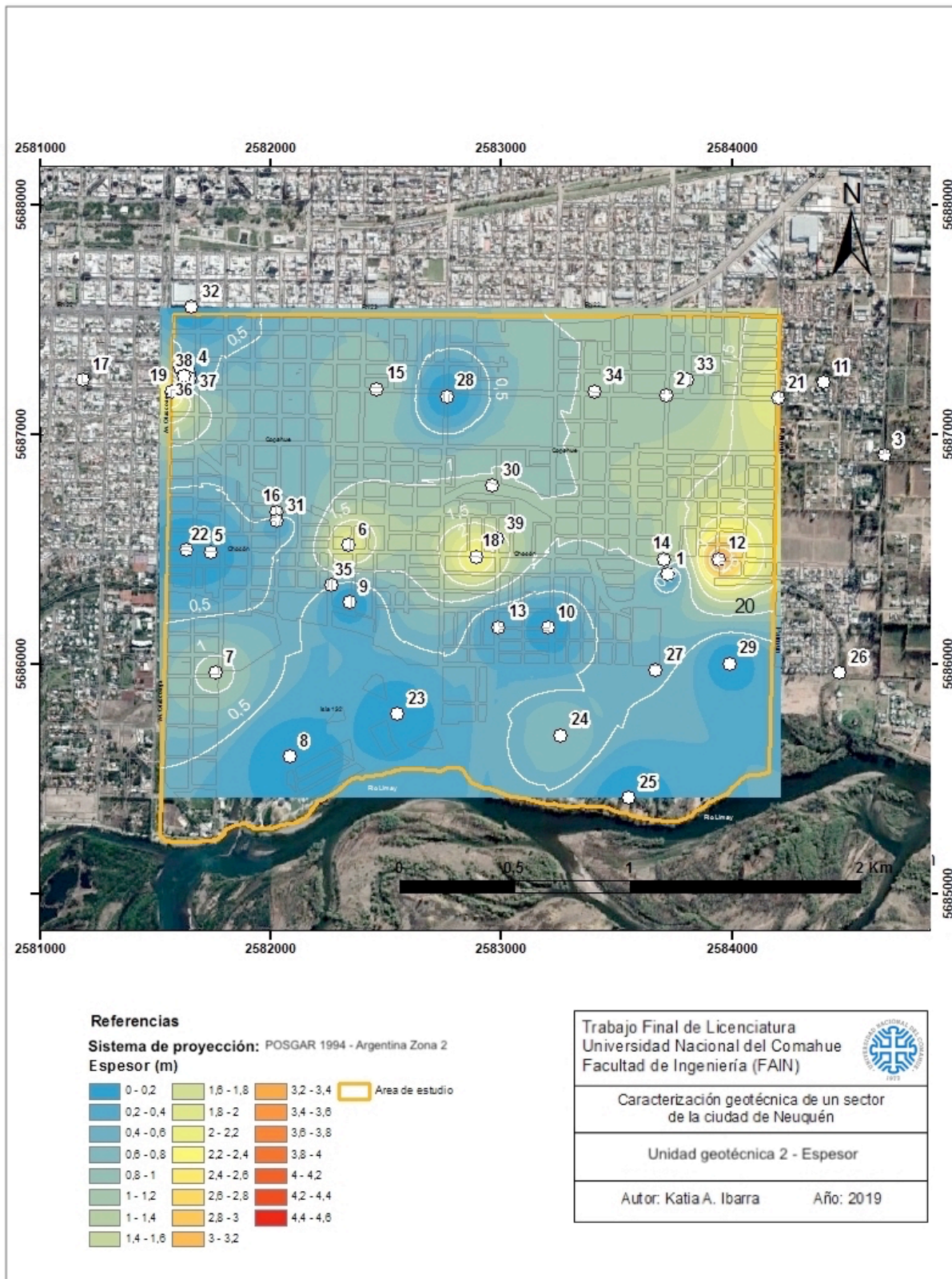


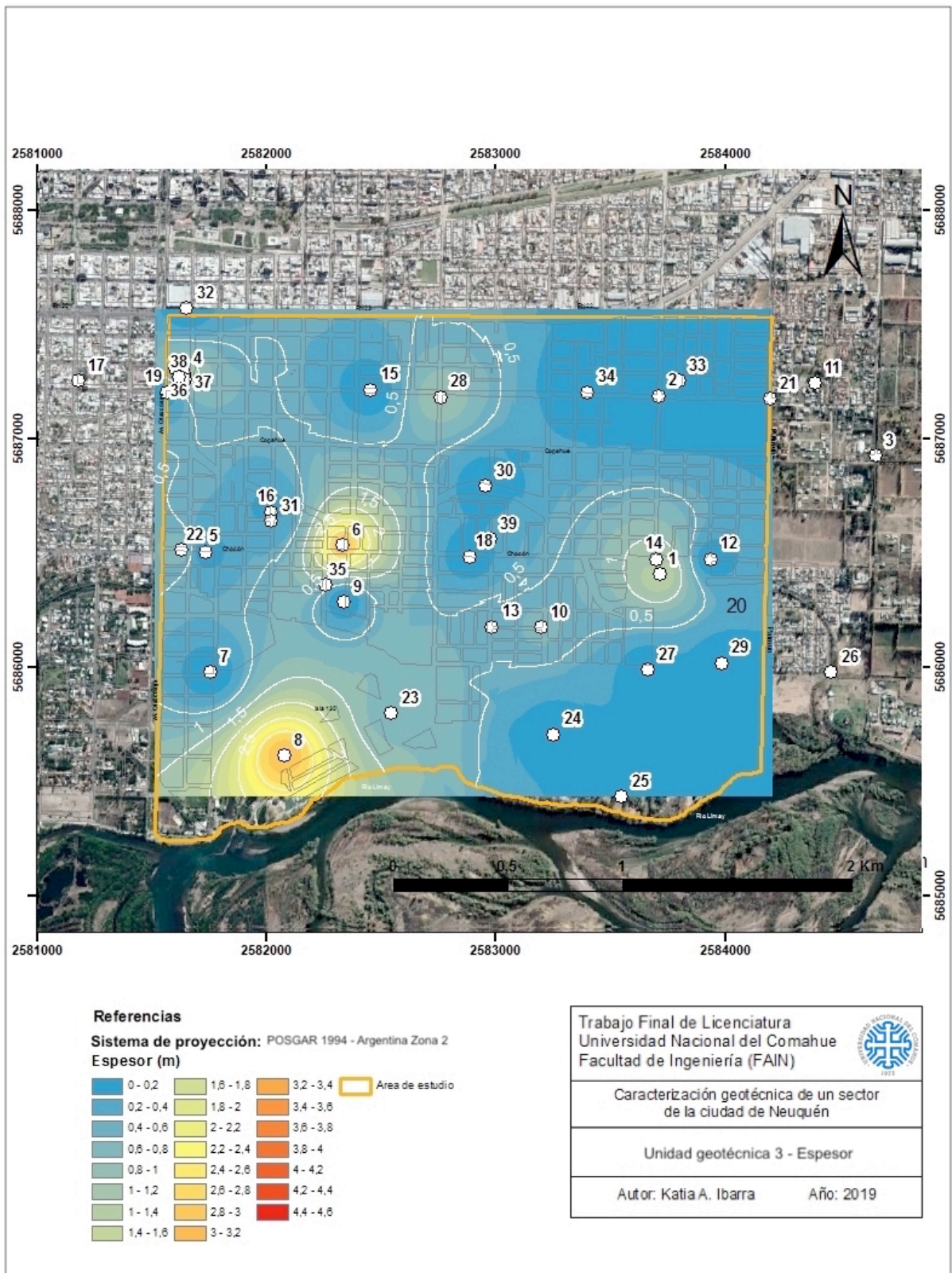
Anexo 3- Mapas

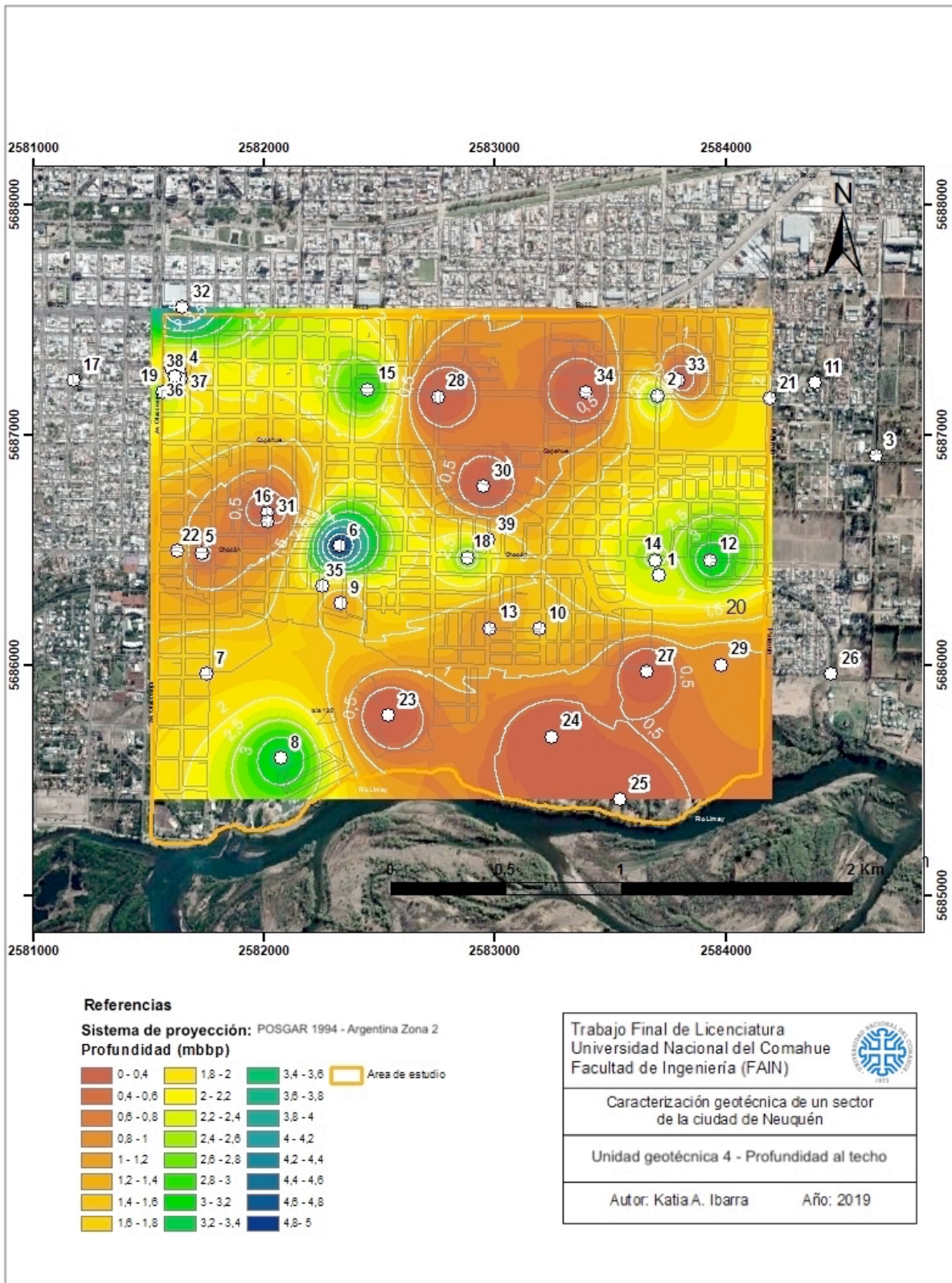


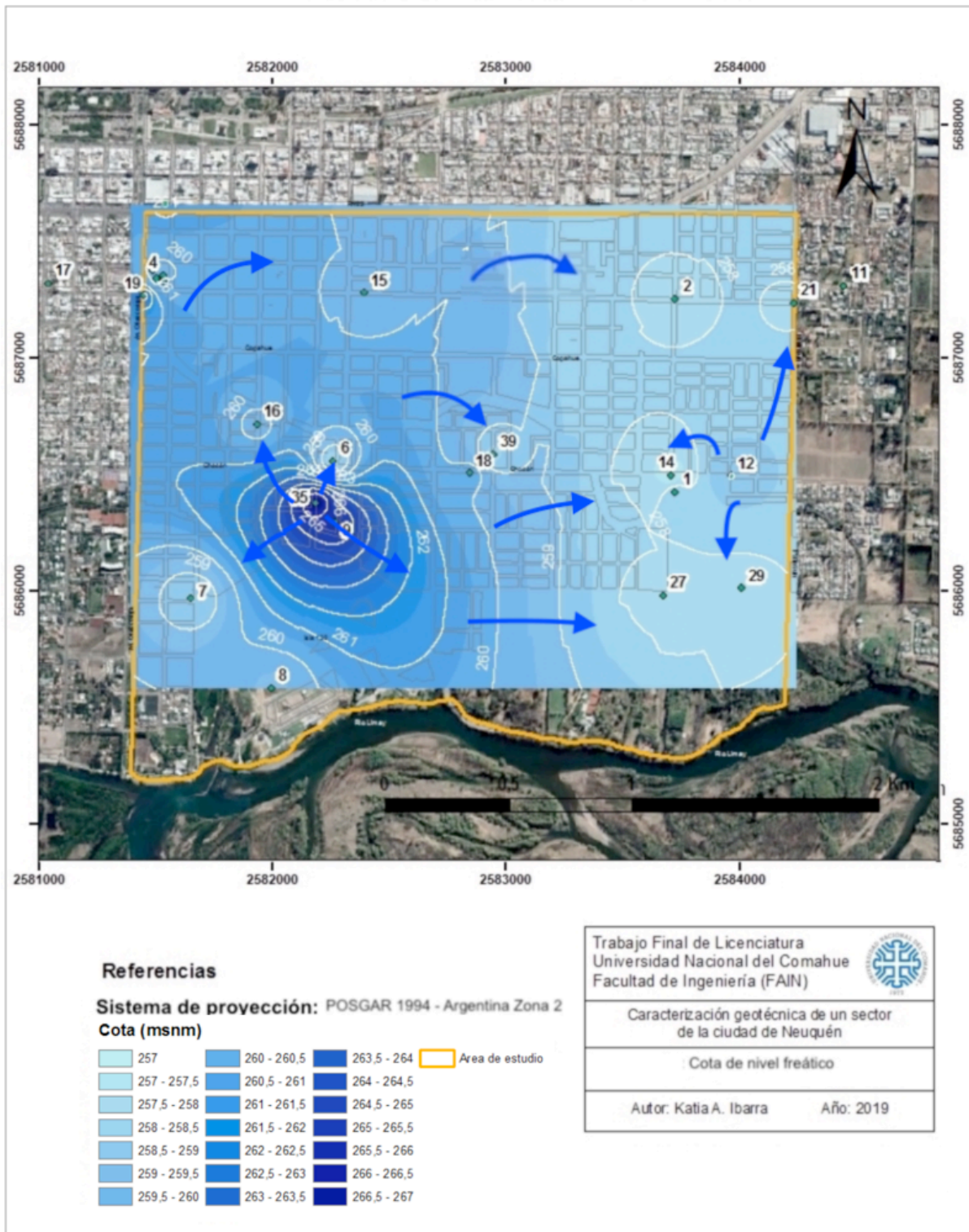


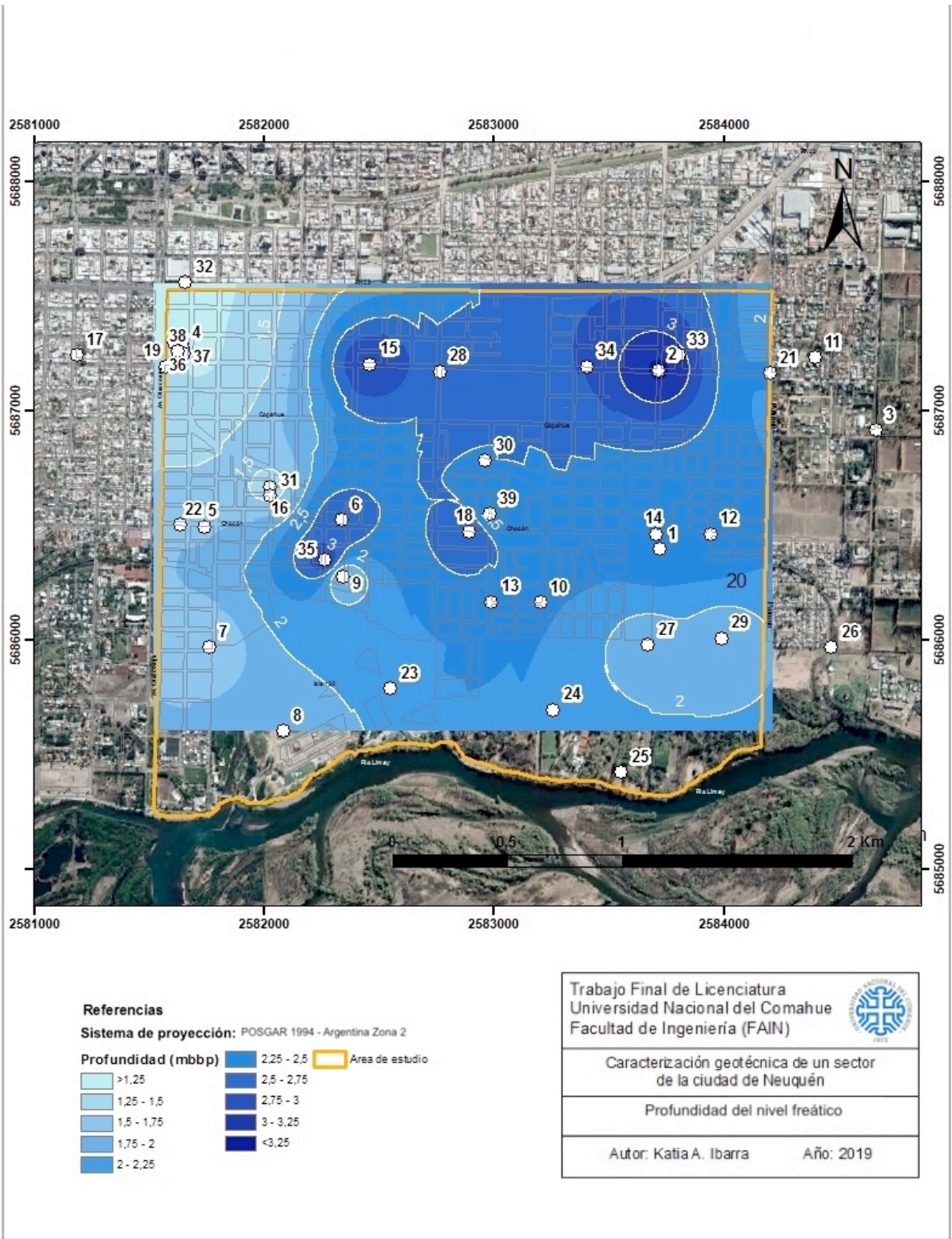


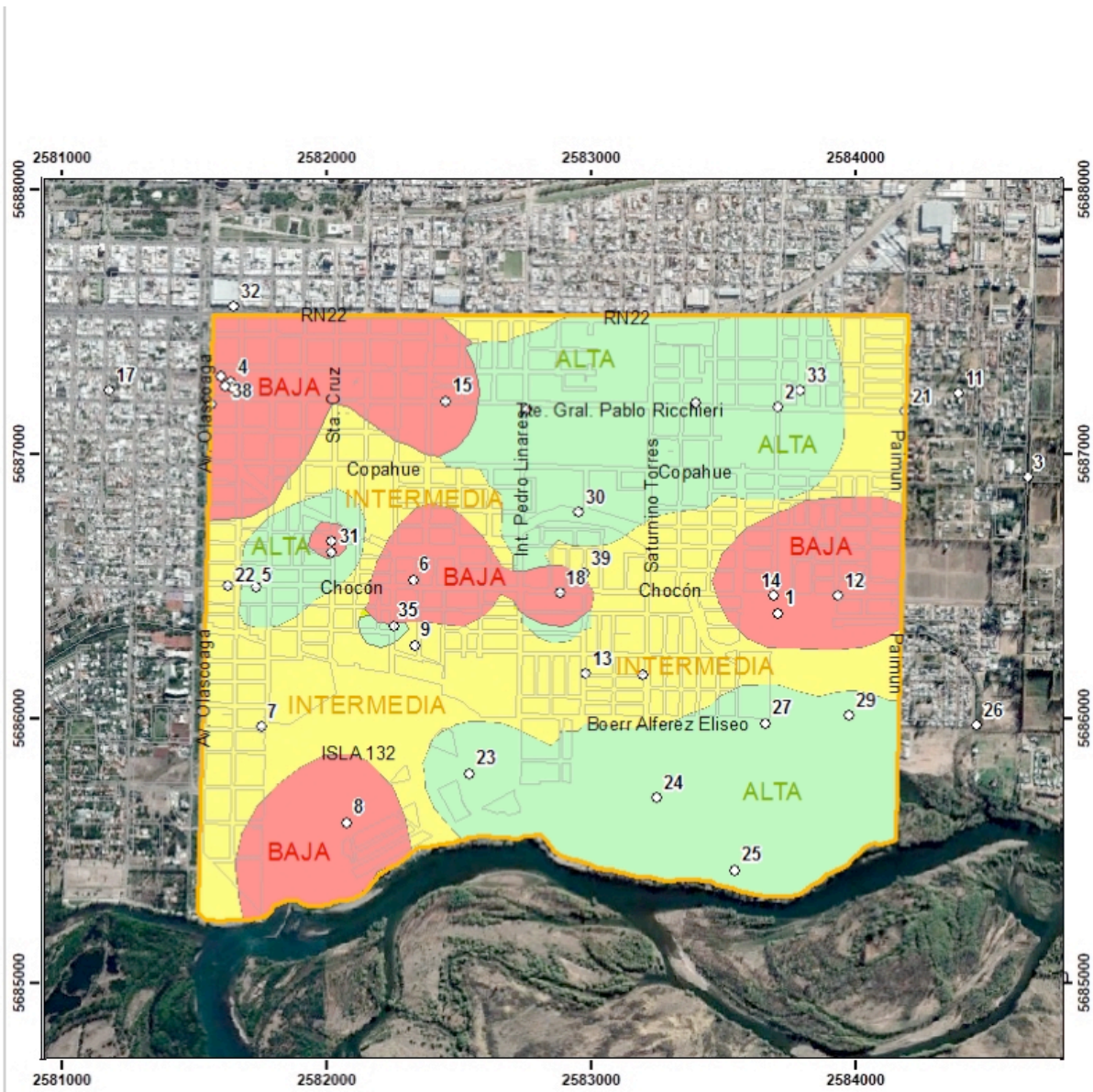












Referencias

Sistema de proyección: POSGAR 1994 - Argentina Zona 2

Tipo de aptitud

- ALTA
- INTERMEDIA
- BAJA

Area de estudio

Trabajo Final de Licenciatura Universidad Nacional del Comahue Facultad de Ingeniería (FAIN)
Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén
Aptitud geotécnica
Autor: Katia A. Ibarra Año: 2019