



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

**ANÁLISIS DE POSIBLES IMPACTOS EN LOS MEDIOS HÍDRICO, SUELO Y  
MEDIO SOCIAL DE LA COMUNA DE MAIPÚ FRENTE A LA INSTALACIÓN DE  
PROYECTO SEGUNDA LÍNEA OLEODUCTO M-AAMB**

Memoria para optar al título de Geógrafo

DANI VALDIVIA ABT

Profesora Guía: Joselyn Arriagada González

SANTIAGO - CHILE

2021

## AGRADECIMIENTOS

A mis profesores, por su confianza en mi trabajo; A la profesora Joselyn Arriagada por entregarme sus conocimientos que me permitieron finalizar de la mejor manera este proceso, por sus consejos, por las conversaciones, por la honestidad. Al profesor Gino Sandoval, por su comprensión, paciencia y disposición. Al profesor Martín Torres por su disposición, por su cariño, por su empatía y comprensión, por ser una figura que me ha traído confianza, paz y esperanza. Sin ellos, este trabajo no podría haber finalizado exitosamente.

A mi familia, amigos y cercanos. Por estar a mi lado cuando más lo necesité, por confiar en mí en momentos en los cuales yo no pude. Por permitirme ser parte de sus vidas durante todo este proceso, todos estos años llenos de diferentes obstáculos y vivencias que me permitieron crecer y acercarme más a ustedes, así como mejorar como persona. Quiero que todo este proceso de crecimiento se pueda ver reflejado no sólo en mi trabajo, sino también en mis acciones y voluntad de cada día.

A mis hermanas, Sayen y Marina, que algún día leerán esto, por el sólo hecho de ser ustedes mismas me llenan de inspiración y fortaleza para seguir adelante, para ser mejor persona cada día.

A mi Mamá por su comprensión, tiempo, paciencia y amor, sin tus llamadas este año, este trabajo quizá no hubiese podido ser concluido de esta manera. Muchísimas gracias por estar conmigo.

A mis abuelos por su amor incondicional, sus cálidos abrazos y su grata compañía. A Luisa, también por su amor incondicional y por enseñarme a ser una persona más responsable cada día.

A mi tío por su comprensión, consejos y amor incondicional, de verdad muchas gracias por nunca dudar de mí, Jorjo.

A mi grupo de amigos; Nati, Nax, Vicki, Fran, Anais, Lucas, Cris Ma., Cris R., Seba, Ferre, Camilo, Cris M. y a varios más con los que he afeitado lazos. Saber he sido parte de sus vidas por tanto tiempo me hace muy feliz, agradeceré eternamente su confianza en mí respecto a este trabajo y a todas las cosas que me he propuesto en la vida.

A mi mejor amigo y compañero, Fran, gracias por tu compañía, cariño, por las risas, por el amor incondicional y por la confianza que has depositado en mí todo este tiempo. Gracias por estar junto a mí tanto en los peores como en los mejores momentos.

A cada uno de ustedes, muchas gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
1. PRESENTACIÓN .....	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ESTADO DEL ASUNTO.....	9
1.2.1 POSIBLES IMPACTOS DE LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO.....	10
1.2.2. ESTADO DEL ASUNTO.....	11
1.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO .....	13
1.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL HIDROCARBURO A TRANSPORTAR.....	14
1.2.5. ANTECEDENTES DERRAMES HIDROCARBUROS .....	16
1.3 ÁREA DE ESTUDIO .....	19
1.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL .....	19
1.3.2. GEOLOGÍA .....	20
1.3.3. GEOMORFOLOGÍA.....	22
1.3.4. INFORMACIÓN GRANULOMÉTRICA.....	27
1.3.5. HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y AGUA SUBTERRÁNEA .....	29
1.3.6. DESCRIPCIÓN DE SERIES Y FASES DE CIREN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	39
1.3.7. DESCRIPCIÓN DE LOS BARRIOS UBICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	41
1.4 OBJETIVOS.....	46
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	46
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	46
2. MARCO O PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	47
2.1. REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y MATERIAL COMPLEMENTARIO .....	47
2.2. ELABORACIÓN DE ANÁLISIS DE IMPACTOS ASOCIADOS AL MEDIO HÍDRICO, SUELO Y MEDIO SOCIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	47
2.2.1 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS RESULTADOS MEDIO HÍDRICO Y MEDIO SOCIAL.....	47
2.3. ANÁLISIS INTEGRADO DE IMPACTOS .....	50
2.3.1. CONSULTA A PANEL DE EXPERTOS .....	55
2.3.2. ELABORACIÓN CARTOGRAFÍAS DE ANÁLISIS INTEGRADO DE IMPACTOS ..	57
3. RESULTADOS .....	59
3.1. MEDIO HÍDRICO.....	59
3.1.1. ANÁLISIS DEL MODELO UTILIZADO .....	61
3.1.2. ANÁLISIS DE IMPACTOS MEDIO HÍDRICO EN DIFERENTES TRAMOS .....	63
3.1.3. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	70
3.2. SUELO .....	73

3.2.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR HIDROCARBUROS.....	73
3.2.2. MODIFICACIÓN DE NIVEL FREÁTICO POR ACCIONES DE ORIGEN ANTRÓPICO .....	74
3.3. MEDIO SOCIAL.....	76
3.3.2. PREPARACIÓN Y ENTREGA DE INFORMACIÓN POR PARTE DEL TITULAR ...	76
3.3.1. EXISTENCIA DE UNA AMENAZA FÍSICA CONCRETA .....	77
3.3.3. PREPARACIÓN DE LA POBLACIÓN FRENTE A LA AMENAZA .....	81
3.3.4. JUSTICIA AMBIENTAL EN EL CASO DEL PROYECTO SEGUNDA LÍNEA OLEODUCTO M-AAMB .....	82
3.3.5. EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD .....	83
3.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS INTEGRADO DE IMPACTOS.....	85
3.4.1. ANÁLISIS MAPA DE VULNERABILIDAD.....	85
3.4.2. ANÁLISIS MAPA DE AMENAZA .....	86
3.4.3. ANÁLISIS MAPA DE RIESGO .....	88
4. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
4.1 DISCUSION.....	89
4.2. CONCLUSIONES .....	91
4.3. RECOMENDACIONES.....	95
5. REFERENCIAS .....	96
6. ANEXOS.....	101
ANEXO 1. MODELO DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES (KEROSENE DE AVIACIÓN A1) .....	101
ANEXO 2. EXPLICACIÓN FUNCIONAMIENTO MATRIZ DE T. SAATY .....	113
ANEXO 3. RECLASIFICACIÓN DE VARIABLES.....	118
ANEXO 4. CONFIGURACIÓN DE MATRÍZ DE SAATY PARA VARIABLES DE VULNERABILIDAD Y AMENAZA.....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cartografía del Área de Estudio .....	19
Figura 2. Cartografía de Geología Área de Influencia Proyecto Segunda Línea Oleoducto M- AAMB.....	22
Figura 3. Cartografía de Unidades Geomorfológicas principales comunas de Maipú y Pudahuel .....	23
Figura 4. Cartografía de Características granulométricas y sedimentarias de la cuenca de Santiago a los primeros 30 metros de profundidad.....	24
Figura 5. Cartografía de Unidades Geomorfológicas en el área del proyecto .....	27

Figura 6. Cartografía de Sondajes Investigativos realizados a lo largo del trazado .....	28
Figura 7. Perfil Longitudinal LSC2 de la cuenca de Santiago (Morales, 2002).....	31
Figura 8. Columnas estratigráficas de la zona norte, centro y sur del área de estudio y su correlación espacial.....	32
Figura 9. Cartografía de Cota Hidráulica calculada para el área de estudio.....	33
Figura 10. Extracto Carta Geológica de Chile, Sernageomin 1:100.000, 2003.....	34
Figura 11. Cartografía de Nivel freático del área de estudio .....	35
Figura 12. Cartografía de Isopropundidades septiembre 2017.....	36
Figura 13. Cartografía de Vulnerabilidad del Acuífero .....	38
Figura 14. Cartografía de Series de suelo y fases CIREN en el Área de Estudio.....	40
Figura 15. Barrios de la comuna de Maipú.....	41
Figura 16. Radio de Circunferencia .....	49
Figura 17. Proceso Elaboración Mapa de Vulnerabilidad .....	58
Figura 18. Proceso Elaboración Mapa de Amenaza .....	58
Figura 19. Proceso Elaboración Mapa de Riesgo .....	59
Figura 20. Caracterización de un derrame en el sector del Zanjón de la Aguada.....	65
Figura 21. Cartografía del Área de Influencia Desplazamiento Hidrocarburo en Aguas Subterráneas.....	66
Figura 22. Cartografía de Densidad de Población habitante/ha. y contenido de NO <sub>3</sub> - .....	71
Figura 23. Cartografía del Área de Influencia Explosión/Ignición Oleoducto M-AAMB .....	80
Figura 24. Mapa de Vulnerabilidad del Área de Estudio.....	85
Figura 25. Mapa de Amenaza del Área de Estudio .....	86
Figura 26. Mapa de Riesgo del Área de Estudio .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de Incendios y Explosiones en industrias que utilizan o procesan hidrocarburos entre 1957 y 1986 (Garrison, 1988).....	15
Tabla 2. Causas de las explosiones en industrias de transformación de hidrocarburos.....	15
Tabla 3. Causas más comunes de accidentes en ductos en México (empresa PEMEX) .....	16
Tabla 4. Información y resultados de los sondajes y muestras analizadas .....	29
Tabla 5. Escala Fundamental Para Comparaciones a Pares .....	52
Tabla 6. Variables del Análisis de Vulnerabilidad en el Área de Estudio.....	53
Tabla 7. Variables del Análisis de Amenazas en el Área de Estudio .....	54
Tabla 8. Variables de Vulnerabilidad y su Valoración.....	56
Tabla 9. Variables de Amenaza y su Valoración.....	57
Tabla 10. Escenarios a evaluar .....	60
Tabla 11. Resumen de Resultados Escenarios a Evaluar en el Modelo de Transporte de Contaminantes.....	61
Tabla 12. Diámetro de la partícula considerada del suelo .....	62

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resumen Respuestas Panel de Expertos Variables Vulnerabilidad .....	56
Gráfico 2. Resumen Respuestas Panel de Expertos Variables Amenaza .....	56

## RESUMEN

El incremento de la población mundial ha traído consigo una mayor demanda de combustibles fósiles (hidrocarburos). Estos compuestos son utilizados para generar energía, sin embargo, un alto porcentaje se libera al ambiente en los procesos de extracción, refinación, transporte y almacenamiento, representando un riesgo potencial para los ecosistemas (SEMPLE y col., 2001 en SAG, 2007). Los derrames de hidrocarburos constituyen una de las principales fuentes de contaminación de los suelos, aguas superficiales, aguas subterráneas, así como también de flora y fauna silvestre. Además, son sustancias que presentan alta toxicidad, siendo un gran peligro para el consumo humano (IMT, 2002 en SAG, 2007).

El proyecto Segunda Línea Oleoducto M-MAAMB, de la Sociedad Nacional de Oleoductos (Sonacol), consiste en la construcción y operación de un oleoducto de 27 km de extensión y 12 3/4 pulgadas de diámetro para transportar combustible de aviación (Kerosene de Aviación A1), desde el Terminal Maipú de SONACOL hasta el aeropuerto de Santiago, justificado por la necesidad de suministrar combustible asociado al crecimiento de éste. El proyecto se emplazará a 1,8 metros de profundidad y pasaría por debajo de 7 barrios de la comuna de Maipú (SEIA, 2016; BS Consultores, 2016). La comuna ya se ha visto afectada por la instalación de diversos proyectos contaminantes, pues sus características geomorfológicas, granulométricas “aptas” para la construcción, así como su gran extensión territorial, la han hecho susceptible a recibir múltiples proyectos de gran magnitud. Aquello ha ocasionado que Maipú experimente una carga ambiental que ha generado impactos acumulativos, siendo sumamente preocupante la insistencia en continuar emplazando proyectos de gran envergadura e impacto en aquel territorio (Municipalidad de Maipú, 2018).

En el presente documento se realiza una revisión y análisis de los posibles efectos que la instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB podría ocasionar en el medio hídrico, suelo y medio social de la comuna de Maipú. El análisis se elaborará por medio de la revisión de información relacionada a antecedentes internacionales y nacionales de accidentes ocasionados por derrames de hidrocarburos, características del elemento a transportar, características geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y socioeconómicas del área de estudio, así como también de la percepción de los habitantes frente al proyecto. Además, se elaborará un análisis integrado de impactos utilizando la metodología de Proceso Analítico Jerárquico. Luego, la información obtenida será espacializada. Finalmente, se realizará un análisis en torno al concepto de Justicia Ambiental y cómo la inequidad de las cargas ambientales se expresa en el caso actual a analizar.

**PALABRAS CLAVE:** Hidrocarburos, Justicia Ambiental, Aguas Subterráneas, Contaminación Ambiental, Riesgo.

## ABSTRACT

The increase in world population has also come with a much greater demand for fossil fuels (hydrocarbons). These compounds are used to generate energy; however, a high percentage is released into the environment during the extraction, refining, transportation, and storage process, representing a potential risk to ecosystems (SEMPLE et al., 2001 in SAG, 2007). Hydrocarbon spills are one of the main sources of contamination of soils, surface water, groundwater, as well as flora and wildlife. They are also highly toxic substances that pose a great danger to human consumption (IMT, 2002 in SAG, 2007).

Sonacol's (*Sociedad Nacional de Oleoductos*) *Segunda Línea Oleoducto M-AAMB* Project consists of the construction and operation of a 27 km, 12 ¾ inch diameter pipeline to transport aviation fuel (Aviation Kerosene A1) from Sonacol's *Maipú* Terminal to the airport of Santiago. This is justified by the increasing need of more fuel associated with the airport's growth. The project will be located at a depth of 1.8 meters and would pass under 7 neighborhoods of *Maipú* (SEIA, 2016; BS Consultores, 2016). The territory has already been affected by the installation of various polluting projects, as its geomorphological characteristics and granulometric characteristics "suitable" for construction, as well as its large territorial extension, have made it susceptible to receive multiple large-scale projects. That has caused *Maipú* to experience an environmental burden that has generated cumulative impacts, therefore, insisting on continuing the installation of large-scale projects in that territory is worrying (Municipalidad de Maipú, 2018).

This document will present a review and analysis of possible effects that the installation of Sonacol's *Segunda Línea Oleoducto M-AAMB* project could cause on the groundwater, soil, and social environment of *Maipú*. The analysis will be prepared by reviewing information related to international and national records of accidents caused by oil spills, characteristics of the element to be transported, geological, geomorphological, hydrogeological, and socioeconomic characteristics of the area of study, as well as the perception of the inhabitants regarding the project. In addition, an integrated analysis of impacts will be prepared using the Hierarchical Analytical Process methodology. Then, the information obtained will be spatialized. Finally, an analysis will be made on the concept of Environmental Justice and how the inequity of environmental burdens is expressed in the current case to be analyzed.

**KEY WORDS:** Hydrocarbons, Environmental Justice, Groundwater, Environmental Contamination, Risk.

## 1. PRESENTACIÓN

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Tanto el desarrollo económico, funcionamiento de los centros urbanos e incremento de la población ha traído consigo una mayor demanda de combustibles fósiles (hidrocarburos). Si bien estos compuestos se utilizan para generar energía, un alto porcentaje se libera al ambiente en los procesos de extracción, refinación, transporte y almacenamiento, representando, así, un riesgo potencial para los ecosistemas (SEMPLAN y col., 2001 en SAG, 2007). Gracias a la necesidad creciente de hidrocarburos y sus productos derivados, se ha impulsado un fuerte desarrollo de la industria petrolera y petroquímica, transformándose en una de las más importantes hoy en día (gracias al volumen de producción, generación de empleos y necesidades que satisface). Sin embargo, al iniciar las actividades petroleras en gran escala, no se tomó en cuenta la repercusión que esto podría causar al medio ambiente un posible derrame de las sustancias manipuladas. Por esta razón en la actualidad, es común encontrar pasivos ambientales debido a las actividades inadecuadas que han permitido infiltración de hidrocarburos en el subsuelo, así como también fugas de estos compuestos por accidentes o un manejo inapropiado en las diversas actividades de la industria petrolera y petroquímica (Madrigal, 1998 en SAG, 2007).

Los derrames de hidrocarburos constituyen una de las principales fuentes de contaminación de los suelos, aguas superficiales, aguas subterráneas, así como también de flora y fauna silvestre. Además, son sustancias que presentan alta toxicidad, siendo un gran peligro para el consumo humano (IMT, 2002 en SAG, 2007). La mayor tasa de accidentes en el transporte de sustancias peligrosas corresponde al transporte de hidrocarburos mediante ductos, pues existe la posibilidad de que ocurran eventos naturales que pueden ocasionar la rotura de las vías destinadas a la conducción del elemento, como por ejemplo, sismos. Aun cuando la frecuencia de estos accidentes sea baja, aquellos siniestros involucran altos volúmenes de hidrocarburos derramados y, en muchos casos, los sitios afectados son de difícil acceso para realizar las labores de limpieza y control/mantenimiento. En Chile existen variadas fuentes generadoras de contaminación de suelos, cuerpos de agua superficiales y acuíferos, sin embargo, la contaminación por hidrocarburos está distribuida ampliamente en muchas zonas del país (SAG, 2007). Una de estas zonas afectadas por la instalación de numerosas fuentes de contaminación es la comuna de Maipú, pues, dadas sus características geomorfológicas, granulométricas “aptas” para la construcción, así como también su gran extensión territorial, la comuna de Maipú es susceptible a recibir múltiples proyectos de gran magnitud. Sin embargo, aquello ha ocasionado que el territorio comunal experimente una carga ambiental que ha generado impactos acumulativos, siendo sumamente la insistencia en continuar emplazando proyectos de gran envergadura e impacto en la comuna (Municipalidad de Maipú, 2018).

El proyecto Segunda Línea Oleoducto M-MAAMB, de la Sociedad Nacional de Oleoductos (Sonacol), consiste en la construcción y operación de un oleoducto de 27 km de extensión y 12 3/4 pulgadas de diámetro para transportar combustible de aviación (Kerosene de Aviación A1), desde el Terminal Maipú de SONACOL hasta el aeropuerto de Santiago, justificado por la

necesidad de suministrar combustible asociado al crecimiento de éste. El proyecto se emplazará a 1,8 metros de profundidad y pasaría por debajo de 7 barrios de la comuna de Maipú (SEIA, 2016; BS Consultores, 2016). Sin embargo, frente a la instalación del proyecto existe preocupación debido al peligro que supone un posible accidente y derrame del hidrocarburo a transportar, ya que tendría consecuencias gravísimas para el medio ambiente y para la población. Pues, y por una parte, un derrame de combustible significaría la infiltración del hidrocarburo al subsuelo, pudiendo alcanzar el agua subterránea presente en el área de estudio, por medio de la cual se abastece de agua potable a la comuna de Maipú. Y, por otra parte, un derrame de combustible generado por una fisura en la tubería podría ocasionar incendio y/o explosiones, al contacto con calor, chispas o llamas, poniendo en riesgo a la población aledaña (Municipalidad de Maipú, 2018a; Municipalidad de Maipú, 2018b; BS Consultores, s.f.; SAG, 2007).

El presente documento tratará de una revisión y análisis de los posibles efectos que la instalación del proyecto, Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, podría ocasionar en el medio hídrico, suelo y medio social de la comuna de Maipú. Para elaborar el análisis, en primera instancia, se presentarán las características del proyecto y del compuesto a transportar, así como también antecedentes internacionales y nacionales de accidentes ocasionados por derrames de hidrocarburos. Luego, se presentarán las características generales del área de estudio, así como también sus características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, granulométricas y socioeconómicas (específicamente de los barrios que serán atravesados por el proyecto). Posteriormente, y a partir de la información presentada por la empresa BS Consultores en su informe de modelo de transporte de contaminante (Kerosene de Aviación) (ver Anexo 1), se analizarán los posibles impactos que un derrame de combustible producido por una fisura en el oleoducto pueda ocasionar en el medio hídrico y suelo del área de estudio. Posteriormente, y a partir de los antecedentes recopilados en torno a accidentes de derrame o fuga de hidrocarburos, características del elemento a transportar, características socioeconómicas de los barrios del área de estudio, así como su percepción en torno al proyecto, se analizarán los efectos que aquellos eventos puedan tener sobre el medio social.

Además, se elaborará un análisis integrado de impactos utilizando la metodología de Proceso Analítico Jerárquico. La información obtenida será espacializada, mediante la confección de mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Finalmente, se realizará un análisis en torno al concepto de Justicia Ambiental y cómo la inequidad de las cargas ambientales se expresa en el caso actual a analizar.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ESTADO DEL ASUNTO

La comuna de Maipú en la actualidad soporta importantes proyectos y actividades de industria y servicios a escala regional. Aquellas actividades industriales y servicios de infraestructura tienen un impacto negativo en el territorio, debido a la contaminación que muchos de estos proyectos generan, siendo algunos ejemplo; expulsión de gases odorantes, ruido, deterioro y pérdida del suelo, intervención de acuíferos, vertederos ilegales de residuos sólidos, congestión vehicular, segregación del territorio, emergencias químicas, entre otros (Municipalidad de

Maipú, 2018). Por esta razón, se plantea que la comuna Maipú experimenta una carga ambiental de gran magnitud que ha generado impactos acumulativos, siendo sumamente preocupante la insistencia en continuar emplazando proyectos de gran envergadura e impacto en el territorio.

En una gran mayoría, proyectos locales no deseados de gran envergadura son “beneficiosos” para el sistema económico y funcionamiento de los centros urbanos, sin embargo, sus costos o consecuencias las tienen que enfrentar o asumir unas pocas personas o comunidades. Este fenómeno ha sido analizado a través de conceptos como justicia distributiva y justicia ambiental, precisamente por la desigual e injusta distribución de las cargas ambientales en la sociedad, planteando que, la mayoría de estos proyectos suelen instalarse en áreas habitadas por comunidades en situación de riesgo social, donde además, son estas mismas comunidades las que poseen menor acceso a recursos y oportunidades de participar en la toma de decisiones que les incumben en materia ambiental y territorial (Astaburuaga, 2014; Ramírez Guevara et al., 2015; Fragkou, 2018; Hervé Espejo, 2010).

### 1.2.1 POSIBLES IMPACTOS DE LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Segunda Línea Oleoducto M-MAAMB, de la Sociedad Nacional de Oleoductos (Sonacol), consiste en la construcción y operación de un oleoducto de 27 km de extensión y 12 3/4 pulgadas de diámetro para transportar combustible de aviación (Kerosene de Aviación A1), desde el Terminal Maipú de SONACOL hasta el aeropuerto de Santiago, justificado por la necesidad de suministrar combustible asociado al crecimiento de éste. El proyecto se emplazará a 1,8 metros de profundidad y pasará por debajo de 7 barrios de la comuna de Maipú, siendo estos; Barrio Industrial, El Abrazo, Los Bosquinos, Pehuén, Sol Poniente, Portal del Sol y La Farfana (SEIA, 2016; BS Consultores, 2016).

Frente a la instalación del proyecto existe preocupación tanto de la población como por parte de otros organismos, como, por ejemplo, la Municipalidad de Maipú. Esto se debe al peligro que supone un posible accidente y derrame del hidrocarburo a transportar, ya que tendría consecuencias gravísimas para el medio ambiente y para la población. Pues, por una parte, un derrame de combustible podría significar la infiltración del hidrocarburo al subsuelo (gracias a la presencia predominante de granos tamaño grava en éste), pudiendo alcanzar el agua subterránea presente en el área de estudio, por medio de la cual se abastece de agua potable a la comuna de Maipú. Y, por otra parte, un derrame de combustible generado por una fisura en la tubería podría ocasionar incendio y/o explosiones, al contacto con calor, chispas o llamas, poniendo en riesgo a la población aledaña. Según el Anexo 4.23.A VIVIENDAS E INSTALACIONES HASTA 30 METROS DEL OLEODUCTO, elaborado por el Titular del Proyecto, se aprecia que se los conjuntos habitacionales de la villas Pehuén 7 (26 viviendas), se ubican entre los 11 a 13 metros; los de Villa Los Robles 3 (46 viviendas) se encuentran en torno a los 11 y 13 metros también; sector Los Héroes de Iquique (3 Blocks de departamentos y un Templo de culto) se encuentran dispuestas en torno a los 7 y 14,67 metros y el sector Portal del Sol (8 viviendas) se ubican entre los 19 y 33 metros. Estos barrios mencionados comparten algunas características, como, por ejemplo, poseer los índices de vulnerabilidad más

altos de la comuna según los datos entregados por la encuesta CASEN del 2013, así como también albergar conjuntos de viviendas sociales dentro de su extensión territorial (Municipalidad de Maipú, 2015). Siendo de suma importancia analizar los posibles impactos que la instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB pueda generar en la población aledaña a éste, sobre todo por su gran cercanía al oleoducto y condiciones de vulnerabilidad previas.

Cabe mencionar que el Kerosene de Aviación A1 posee una alta inflamabilidad, por lo que un derrame del combustible podría ocasionar perfectamente (al entrar en contacto con algún elemento que lo haga reaccionar como chispas, llamas o calor) un incendio y/o explosión. La preocupación que se genera respecto a estas contingencias es que se presente el peor escenario (situaciones de calamidad pública que generen estado de catástrofe) y los riesgos de incendio y/o explosión de combustible no pueden ser controlados adecuadamente pudiendo generar pérdidas humanas y/o materiales, dada la cercanía del proyecto con las viviendas (Municipalidad de Maipú, 2018).

### 1.2.2. ESTADO DEL ASUNTO

Según Cid et al. (2012), dentro del concepto de riesgo, existen dos aristas; el riesgo objetivo y la percepción del riesgo. El primero, es aquel que existe independiente del conocimiento del individuo y de las percepciones que posea acerca de la amenaza. La percepción del riesgo, por otra parte, hace alusión al entendimiento que posee un individuo acerca del fenómeno y condiciones que podrían generar un riesgo (Cid et al., 2012 en Serrailier, 2019).

Según lo planteado por la población en las entrevistas realizadas para el informe de Serrailier acerca de la percepción del riesgo en los barrios del sector poniente de la comuna de Maipú frente a la instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB (2019), los vecinos manifiestan temor de que el proyecto se lleve a cabo debido a los impactos acumulativos que la comuna ya posee, generados por el emplazamiento de diversas empresas e industrias contaminantes. Aquello produce un sentimiento de inseguridad en la población frente a un posible escenario a la que pueda verse enfrentada la comuna de Maipú debido a los impactos negativos que generen aún más proyectos nocivos para la salud de la población y del medio ambiente (Serrailier, 2019; Municipalidad de Maipú, 2018). Si bien los pobladores de los barrios que contempla el proyecto han tenido la posibilidad de asistir a “reuniones de participación ciudadana”, aquellas reuniones se realizaron en un periodo en el cual las personas estaban fuera de sus hogares (enero-marzo), por lo que muchos vecinos se vieron imposibilitados de asistir a aquellas instancias. A las reuniones asistieron dirigentes vecinales y no todos los pobladores de los barrios, puesto que los dirigentes recibieron la información acerca de las instancias mediante contactos municipales. Según testimonios de vecinos de los barrios afectados, el titular del proyecto no difundió de manera efectiva la información acerca de la realización de las reuniones de participación ciudadana (Serrailier, 2019).

Según el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, el riesgo se define como la probabilidad de la ocurrencia de un evento que produzca consecuencias que afecten negativamente al entorno (físico y social) que se encuentra expuesto a éste. Éste se

compone de dos factores principales; la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza hace referencia a un fenómeno, actividad, condición o sustancia peligrosa que puede tener impactos negativos en la salud, en la infraestructura y al medio ambiente, pudiendo ocasionar inclusive la muerte, lesiones u otros impactos, además de la pérdida de medios de sustento y servicios, daños psicológicos y económicos, etc., determinada por su frecuencia (de ocurrencia) y su intensidad. La vulnerabilidad, por otra parte, se define como las características y/o contexto de un sistema o comunidad que los hacen susceptibles a los efectos negativos de una amenaza. A su vez, la vulnerabilidad se compone de 3 factores; la exposición, susceptibilidad y resiliencia. La exposición hace referencia a la condición de desventaja de un sistema, comunidad u objeto debido a su ubicación, posición o localización. Susceptibilidad, por otra parte, es el grado de fragilidad o precariedad interna de un sistema, comunidad u objeto para enfrentar una amenaza o posible impacto de un evento adverso (ya sea precaria organización, escasez de recursos, etc.). Finalmente, la resiliencia se define como la capacidad de una comunidad, objeto o sistema expuesto a algún tipo de amenaza de resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos negativos (en el caso de ocurrencia de un evento de características adversas) de manera eficaz y pertinente (lo cual involucra una restauración de estructuras y funciones básicas, en el caso de que estas hayan sido impactadas negativamente) (CIIFEN, s.f.).

Según Castro (2016), zonas de importante vulnerabilidad social, ubicadas en áreas urbanas y que se encuentran expuestas a algún tipo de amenaza, sea esta de origen “natural” o antrópico presentarían un mayor porcentaje de riesgo para la población y para el territorio, planteando, además, y siguiendo la línea de Astaburuaga (2014), que el desarrollo socioeconómico junto con el crecimiento urbano juega un rol importante en el aumento de estas condiciones de riesgo. Es posible plantear, además, que el riesgo está determinado, muchas veces, por la acción y presión ejercida sobre el territorio por los agentes que influyen en el desarrollo económico y por la debilidad de la planificación territorial y de la gestión del riesgo a nivel local (entre otros factores). Lo anteriormente mencionado, ha generado una tendencia al aumento de la exposición y vulnerabilidad de la población a ser afectada por eventos extremos que pueden conllevar a desastres, además de la mantención de una gestión del riesgo de tipo reactiva y correctiva, la cual no se ocupa de reducir los factores impulsores, es decir, no existe una gestión preventiva (Castro, 2016).

Para analizar la percepción del riesgo que posee la población posiblemente afectada por una amenaza, se deben conocer los elementos que la componen. Uno de estos elementos es el conocimiento que poseen las personas respecto a la amenaza y al peligro que ésta puede significar para el territorio y la población. La conciencia de los sujetos, la cual hace referencia a la percepción de los sujetos sobre la amenaza y los sentimientos que aquella genera sobre la población. Luego, se encuentra la autoprotección, la cual hace referencia a la capacidad de los individuos de sentirse autosuficientes/autovalentes y/o capaces de tomar las medidas necesarias para hacerle frente a eventos que sean considerados como amenazas. Por último, la preparación que la población posea para enfrentar de manera eficiente y eficaz una posible amenaza de origen natural o antrópica (Cid et al., 2012 en Serrailier, 2019).

A continuación se describirán las principales características del Proyecto y del compuesto a transportar, así como también antecedentes de accidentes a nivel nacional e internacional ocasionados por la manipulación de hidrocarburos.

### 1.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Constructibilidad del oleoducto (BS Consultores, s.f.).

De acuerdo con la descripción del proyecto, el oleoducto se proyecta para abastecer de combustible de aviación al Aeropuerto Arturo Merino Benítez desde el terminal Maipú de Sonacol y contempla en total un trazado de 27,41 km, atravesando las comunas de Maipú y Pudahuel. El caudal de combustible proyectado a transportar es de 300 a 1.000 m<sup>3</sup> /hora, cuyo flujo aumenta hacia el final del periodo en el que se proyectan las obras. Las principales obras que componen el proyecto se detallan a continuación:

- Tubería de succión de Acero API 5L X52 con un diámetro de 12 ¾” de espesor y largo de 0,36 km: Se inicia en los estanques de combustibles ubicados en el Terminal Maipú de SONACOL y conduce el fluido por gravedad hasta la estación de bombeo de Sonacol.
- Tubería de impulsión de Acero API 5L X52 con un diámetro de 12 ¾” y largo de 27,05 km: Se inicia en la estación de bombeo y transporta el combustible mediante impulsión hasta la planta SIAV ubicada en el aeropuerto AMB. Según lo expuesto por el ANEXO 6.7.B ACTUALIZACIÓN PAS 156 CANALES - CONTENIDO SECTORIAL (BS Consultores, 2016), en los casos donde la tubería de impulsión intercepte un curso de agua, se instalará una tubería metálica, denominada Tunnel Liner, de 1,2 metros de diámetro, bajo el lecho del canal, con su clave a una profundidad de 2 metros bajo la cota menor del cauce. Dentro del Tunnel Liner, y sobre una cama de sacos de arena, se emplaza el oleoducto de 12” de diámetro. La salida y entrada del Liner es sellada con sacos de arena.
- 8 válvulas de corte de acero y diámetro de 12 ¾”: Se especifican válvulas de compuerta del tipo doble bloqueo y purga. Se localizarán en 7 puntos estratégicos del trazado correspondiente a antes y después del cruce de la línea con el río Mapocho, el Zanjón de La Aguada y las rutas 68 y 78. Su función es controlar el flujo, en forma total o parcial, y permitir el corte de éste en caso necesario, tanto manualmente como automáticamente desde el Despacho central de Sonacol.
- 1 estación de bombeo: La estación de bombeo proporcionará mediante 2 unidades de bombeo de aproximadamente 1.000 HP la energía hidráulica necesaria para posibilitar el transporte de combustible hasta la planta SIAV.
- Sistema de detección de fuga: De acuerdo con información proveniente de Sonacol, la línea contará con un sistema dual de detección de fuga, consistente en:
  - o Sistema robusto: Detección de cambio de 1% en el flujo durante una hora
  - o Sistema de Sensores: Detección de cambios abruptos de presión cada 5 minutos.

#### 1.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL HIDROCARBURO A TRANSPORTAR

A continuación se describirán las características del elemento a transportar a través del oleoducto (Kerosene de Aviación A1) según lo descrito por BS Consultores y Sonacol (s.f.):

Kerosene de Aviación A1 - Proveedor: Sociedad Nacional de Oleoductos S.A. (SONACOL)

Nombre Químico: Mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos, ciclo parafínicos y aromáticos con N° de átomos de carbono en el rango C10-C14, destinado al uso de combustibles para motores de turbinas de aviación.

Fórmula Química: Mezcla de Hidrocarburos - Sinónimos: Jet Fuel. Jet A-1

Identificación de Riesgos

Salud: 1 - Inflamabilidad: 3 - Reactividad: 0 - Número UN: 1863 - Color claro - Insoluble en Agua, soluble en Hidrocarburos - Otros riesgos:

- a) Peligro para la salud efectos de exposición aguda: Irritante a la piel. Efectos adicionales pueden producir náuseas, dolores de cabeza, mareos y congestión respiratoria. Depresor del sistema nervioso central.
- b) Inhalación: Los vapores generados (monóxido y dióxido) pueden irritar las mucosas, asfixia por desplazamiento de oxígeno, dolor de cabeza, dificultad para respirar, pérdida de coordinación muscular, visión borrosa, y convulsiones. Estos vapores son absorbidos fácil y rápidamente por el sistema respiratorio, cruzando las membranas celulares y gracias a su gran solubilidad en grasas, logran alcanzar elevadas concentraciones en el sistema nervioso central. La vía de intoxicación más común es la inhalatoria, sin embargo, también se puede producir intoxicación por hidrocarburos por las vías digestiva y cutánea (SAG, 2007).
- c) Peligros para el medio ambiente: Tóxico para organismos acuáticos. Un gran derrame puede ocasionar un daño ecológico grave. Desde superficies de agua y tierra, parte se evapora, pero una porción significativa se mantiene al cabo de un día. Los derrames mayores pueden penetrar en el suelo y contaminar el agua subterránea. Contamina los cursos de agua, aire y suelo al incorporarse a ellos.
- d) Peligros especiales del producto: El mayor peligro de este producto lo constituye su inflamabilidad. Los vapores forman mezclas explosivas. Se deben evitar altas temperaturas, chispas y fuego. No se recomienda almacenar en espacios cerrados.

Inflamabilidad grado 3 hace referencia a líquidos y sólidos que pueden ser encendidos en cualquier condición de temperatura ambiental. Los materiales de este grado producen atmósferas de riesgos con el aire bajo a casi todas las temperaturas ambientales (ACHS, s.f.).

## Explosiones e Incendios

### Explosión

Como se puede apreciar en la tabla N°1, en estas industrias las explosiones representan, junto a los incendios, los accidentes más frecuentes y destructivos (Contini, 1993 en Díaz Alonso, 2006).

**Tabla 1. Distribución de Incendios y Explosiones en industrias que utilizan o procesan hidrocarburos entre 1957 y 1986 (Garrison, 1988)**

Accidente	Proporción (%)
Incendios	35
Explosión de nube	42
Otras explosiones	22
Otros	1

Fuente: Díaz Alonso, 2006.

**Tabla 2. Causas de las explosiones en industrias de transformación de hidrocarburos**

Causa de la explosión	Frecuencia (%)
Reacción química incontrolada	20.0
Reacción química accidental	15.0
Combustión o explosión de equipo	13.3
Nubes de vapor libres	10.0
Sobrepresión	8.3
Descomposición	5.0
Chispas de combustión	5.0
Fallo de recipientes a presión	3.3
Operación inadecuada	3.3
Otros	16.8

Fuente: Díaz Alonso, 2006.

### Ignición

Las principales fuentes de ignición de hidrocarburos y gases inflamables transportados por ductos son (Accesgas, s.f.):

1) Flamas, calor directo y superficies calientes; 2) Corte y soldadura; 3) Chispas mecánicas; 4) Energía química; 5) Vehículos; 6) Incendio intencional; 7) Autocalentamiento; 8) Electricidad estática.; 9) Equipo eléctrico. Otras fuentes pueden ser: Mantenimiento deficiente; Fallas en el sistema de tierras; Fenómenos naturales, caída de un rayo, relámpago, etc.

**Tabla 3. Causas más comunes de accidentes en ductos en México (empresa PEMEX)**

CAUSA	NO. DE ACCIDENTES	% DEL TOTAL	DAÑOS A LA PROPIEDAD \$USD	% DEL TOTAL	MUERTES	ACCIDENTES
Corrosión interna	0	0,00	\$ 0	0,00	0	0
Corrosión externa	3	3,09	\$31 000	0,28	1	2
Daños por fuerzas externas	66	68,04	\$8 957 046	81,79	6	24
Construcción/errores de operación	5	5,15	\$1 027 127	9,38	0	4
Accidentes causados por operación	6	6,19	\$90 000	0,82	1	8
Otros	17	17,53	\$845 500	7,72	8	5
Total	97		\$10 950 673		16	43

Fuente: Accsesgas, s.f.

Como se puede apreciar en la Tabla N°3, las principales causas de accidentes en ductos en México (pertenecientes a la empresa PEMEX), corresponden a Daños por fuerzas externas, seguidos de otros, accidentes causados por operación, construcción y errores de operación y finalmente corrosión externa (Accsesgas, s.f.).

Como plantea el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud de España (ISTAS) (s.f.), según estadísticas, un 90% aproximadamente de todos los incendios industriales son causados por 11 fuentes de ignición: Incendios eléctricos (19%); Roces y fricciones (14%); Chispas mecánicas (12%); Cigarros y fósforos (8%); Ignición espontánea (7%); Superficies calientes (7%); Chispas de combustión (6%); Llamas abiertas (5%); Soldadura y corte (4%); Materiales recalentados (3%); Electricidad estática (2%).

#### 1.2.5. ANTECEDENTES DERRAMES HIDROCARBUROS

##### Casos Internacionales

##### Noviembre del año 2013 en México por derrame hidrocarburos de empresa PEMEX

Según lo expuesto por Chenaut (2017), ocurrió un accidente cercano a un pozo petrolero de la empresa PEMEX de México en noviembre del 2013 en Papantla. En aquella ocasión 14 familias tuvieron que ser evacuadas. Cuando los derrames de petróleo ocurren en tierras destinadas para actividad agrícola, la empresa paga a los afectados cierta cantidad de dinero por los daños ocasionados, sin embargo, el terreno queda prácticamente inutilizable para el cultivo gracias a la contaminación por el hidrocarburo que penetró toda la capa fértil de suelo. Se plantea que los habitantes del sector conviven con una sensación de inseguridad e impotencia día a día, pues, ven a la empresa PEMEX como una barrera implacable que les impide comunicar sus preocupaciones y necesidades. Además, se plantea que durante movilizaciones sociales que se levantaron para manifestar el descontento por parte de la población rural frente a las prácticas de la empresa PEMEX, el estado de México y la policía criminalizaron fuerte y violentamente a los manifestantes (Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, 2011 en Chenaut, 2017). Según Cavazos et al. (2014) y referente a investigaciones de accidentes por parte de la empresa PEMEX, todas las personas que fueron

entrevistadas indicaron que ningún habitante de las zonas afectadas poseían información acerca de las medidas de seguridad preventiva o reactiva ante una fuga de hidrocarburos, actuando como una barrera para tener suficiente conocimiento sobre el manejo del riesgo y las afectaciones de los derrames.

#### Accidente Explosión en empresa de combustible año 2009 en Puerto Rico

Respecto a la planta de almacenamiento y distribución de petróleo ubicada en el municipio de Cataño de Puerto Rico, en el año 1995, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, identificó la presencia de contaminantes de alto riesgo en el acuífero que se encontraba debajo de la planta. Además, a 800 metros de ésta, organizaciones comunales de Cataño expresaron ante los medios de comunicación su desconfianza ante el desempeño de la empresa CAPECO (dueña de la planta) debido a los frecuentes derrames de combustible que afectaban a la zona. A su vez, la comunidad justificaba sus reclamos pues aquel municipio tenía el mayor porcentaje de pacientes con cáncer de Puerto Rico y sus niveles de contaminación atmosférica eran mayores en comparación a los demás municipios de la isla (Batista & Godoy, 2011). El año 2009 en el mes de octubre, ocurrió un accidente de gran envergadura en la planta petrolera. El tanque de almacenamiento de combustible permitió el derrame del fluido gracias a la presión provocada por un bombeo del líquido que superó la capacidad límite de contención que además, halló una fuente de ignición en el área de la planta de tratamiento (entre estas se especula una lámpara de luz fluorescente que generaba chispas), siendo suficiente para encender el vapor del combustible, ocasionando un incendio de gran magnitud que ocasionó problemas respiratorios y un nocivo impacto ambiental en las zonas aledañas a CAPECO, especialmente en los municipios de Cataño, Bayamón, Toa Baja y Guaynabo y una onda expansiva que causó daños moderados a las edificaciones alrededor de la planta en un radio de 1.600 metros y puso en riesgo a los habitantes en un radio de 15 kilómetros, según investigaciones de la Junta de Calidad Ambiental, Guardia Costera, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) de Puerto Rico y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (Prensa Asociada, 2009 en Batista & Godoy, 2011).

#### Accidente por explosión de hidrocarburos en Jaipur, India año 2009

La falla inicial corresponde a una fuga de combustible ocurrida durante la transferencia de líquido entre un tanque de almacenamiento de la planta de Jaipur hacia otro tanque ubicado en una granja cercana, debido a la falla de una válvula de control. Unos 60 mil metros cúbicos de combustible fueron consumidos en el siniestro. El accidente involucró explosiones y fuego en los 11 tanques que conformaban la granja de almacenamiento de petróleo, kerosene y diesel. El accidente ocurrió el día 29 de octubre de 2009 con una gran explosión que generó un movimiento telúrico superficial de magnitud Richter 2.3 y un incendio que se mantuvo ardiendo durante 11 días (Batista & Godoy, 2011).

## Casos Nacionales

### Casos Referentes a Sonacol

El Titular ha presentado contingencias anteriormente donde el derrame ha ocurrido en la superficie, correspondiente al caso Quilpué del año 1996. Cerca de 90 mil litros de gasolina se derramaron hasta el estero que atraviesa la comuna de Quilpué, como consecuencia de la rotura del oleoducto que transportaba combustible desde la Refinería de Petróleo de Concón hasta la planta de la Sociedad Nacional de Oleoductos (Sonacol) en Maipú. La emergencia se mantuvo por varias horas y puso en riesgo a numerosas poblaciones del área urbana de Quilpué, debido a que los gases que emanan del combustible derramado hicieron que el ambiente se tornara irrespirable. La emergencia fue controlada 5 horas después de la rotura del ducto y se adoptaron medidas de mitigación de la emergencia en un área de 16 m<sup>2</sup> (Mercurio Valparaíso, 2004). Aquella emergencia socio-ambiental no es la primera que ocurre en la comuna de Quilpué por parte de la empresa Sonacol, pues, el 30 de marzo de 1991, una falla de material rompió el mismo oleoducto en el camino de Quilpué a Colliguay, el cual une a Concón con la comuna de Maipú, derramándose 8.000 litros de gasolina que afectaron seriamente los terrenos agrícolas circundantes (BCN, s.f.).

Otro accidente ocurrido en la infraestructura de Sonacol es la del oleoducto Concón-Maipú del 27 de enero del 2001, en el cual la protección del oleoducto resultó dañada al introducirse a varios metros bajo la superficie, originando la fisura que ocasionó el accidente. Aquella fisura, de 1,7 mm, que derramó 15 metros cúbicos de combustible que alcanzaron hasta 70 metros de profundidad, fue provocada por la corrosión acelerada de la tubería, en la que actuaron también corrientes fugaces (Mercurio Valparaíso, 2001a; Mercurio Valparaíso, 2001b). Respecto al accidente mencionado, el año 2020 la empresa Sonacol en conjunto con BS Consultores, elaboraron un informe refiriéndose a los efectos negativos que el derrame ocasionó en el suelo y agua subterránea en el sector rural de Concón, cercano a una quebrada. El informe entrega información acerca de los resultados de la campaña de monitoreo N° 62 realizada por la empresa Sonacol. Según el estudio, se puede apreciar que el agua subterránea presenta efectos de la contingencia (ocurrida aproximadamente 19 años atrás), encontrándose rastros de diferentes contaminantes cercanos a la zona donde ocurrió el derrame del hidrocarburo. Estos contaminantes no han sido transportados aguas abajo de la quebrada gracias a la instalación de una barrera impermeable justo por debajo de la zona de derrame inicial (Sonacol & BS Consultores, 2020).

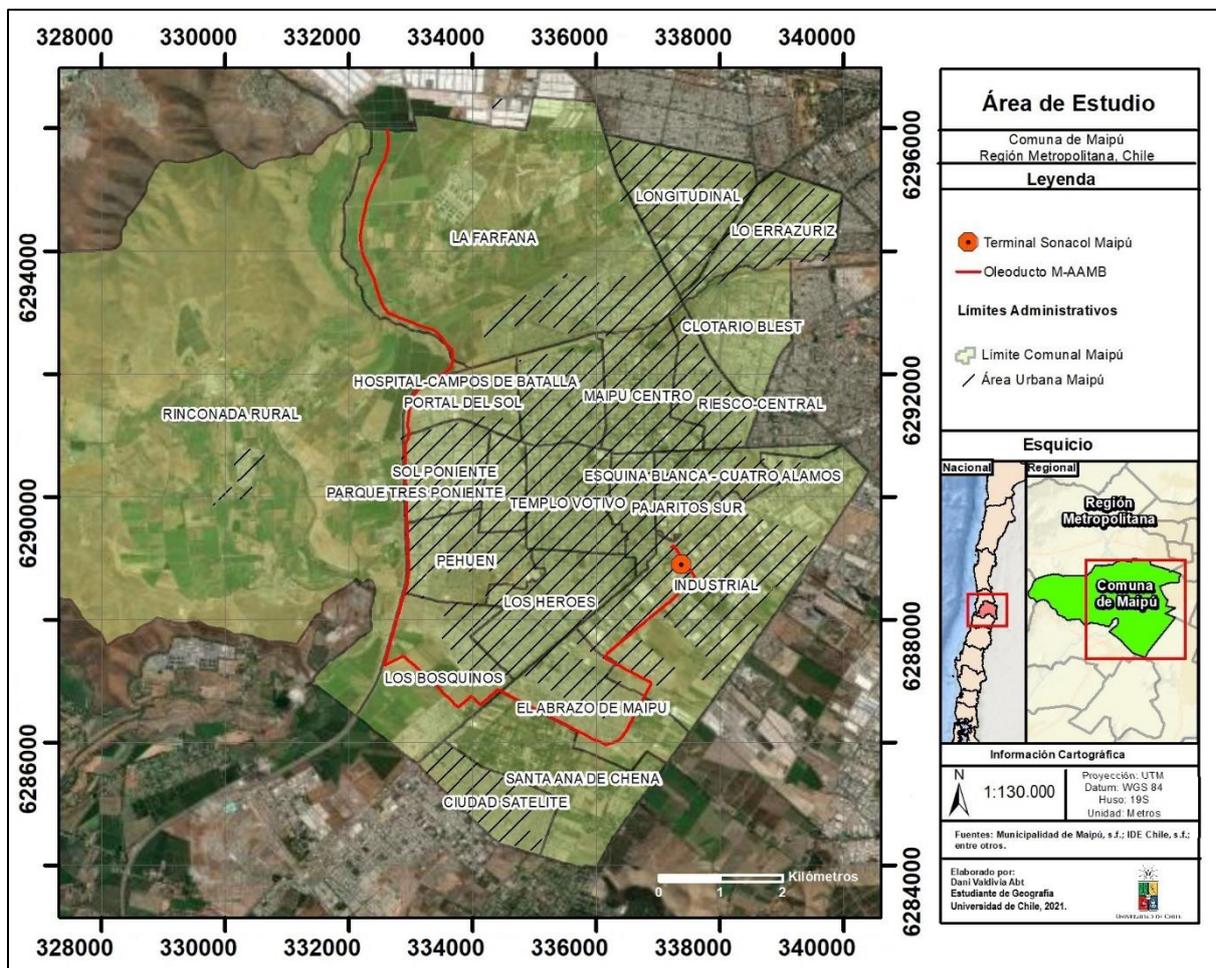
### Antecedentes de accidentes en Proyectos Similares en el Área de Estudio

Vecinos de los barrios del sector sur poniente de la comuna de Maipú han mencionado emergencias ocurridas en la infraestructura de Sonacol ya instalada en la comuna, tal como el accidente ocurrido el 6 de marzo de 2017 en el Barrio Los Bosquinos, ocasionado por trabajos de excavación que se realizaban en la zona por una empresa externa, los cuales tuvieron contacto con el ducto de gas, produciendo una fuga y la inmediata evacuación de la población. En esta ocasión, también, una habitante del Barrio Los Bosquinos plantea que presenció la fuga

en el ducto de gas que recorre su barrio y debieron evacuar por una única vía habilitada, lo cual significó un atochamiento inmediato del camino. Los habitantes, comenta, al no tener ningún tipo de conocimiento o instrucción por parte de la empresa Sonacol respecto a protocolos de evacuación, tomaron acciones instintivas a la hora de evacuar la zona, incluyendo entre estas la utilización de automóviles, lo cual está prohibido en situaciones de emergencia provocadas por fugas de gas, poniendo en mayor peligro a la población (Serrailier, 2019).

### 1.3 ÁREA DE ESTUDIO

**Figura 1. Cartografía del Área de Estudio**



Fuente: Elaboración propia, 2021.

#### 1.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La comuna de Maipú se ubica en el extremo sur-poniente de la Provincia de Santiago, en la Región Metropolitana, entre los paralelos 33°30' y 33°26' de latitud sur y entre los meridianos 70°42' y 70°53' de longitud oeste. La comuna posee una superficie de 13.720,5 ha., ubicándose, además a 470 m.s.n.m. y a 15 km al sureste del centro de Santiago (Municipalidad de Maipú, 2004 en Frick, 2007). Sus límites corresponden a: hacia el norte la comuna de Pudahuel; al nororiente y oriente, la comuna de Estación Central y Cerrillos respectivamente;

al sur las comunas de San Bernardo y Calera de Tango (Provincia de Maipo) y al poniente, las comunas de Padre Hurtado (Provincia de Talagante) y Curacaví (Provincia de Melipilla) (Frick, 2007).

La relevancia y peso relativo de la comuna de Maipú dentro de la región ha incrementado considerablemente durante los últimos años, siendo actualmente la segunda comuna más poblada de la Región, después de Puente Alto, concentrando para el año 2002 aproximadamente un 8% de la población total de la Región Metropolitana, según estadísticas del INE. También es relevante mencionar la importancia a nivel metropolitano e, inclusive, nacional de las instalaciones industriales y energéticas ubicadas dentro del territorio comunal, así como también de la macro infraestructura sanitaria que sirve a una gran parte de la población metropolitana; La planta de tratamiento de aguas servidas la Farfana y relleno sanitario Santiago Poniente, además de la construcción de nuevas estaciones para el Metro de Santiago que conectan con mayor efectividad la comuna con el centro de la ciudad y la estructura de salud pública, el Hospital del Carmen (los años 2011 y 2013 respectivamente) (Frick, 2007).

Cabe mencionar, además, que Maipú posee la única empresa sanitaria municipal del país; el Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA). La empresa inició sus operaciones el año 1950, siendo el único operador sanitario del país perteneciente a una municipalidad en la actualidad. SMAPA abastece a más de 197.000 clientes, que se traducen a casi un millón de habitantes de las comunas de Maipú, Cerrillos y parte sur de Estación Central. Para ello, SMAPA produce más de 90 millones de metros cúbicos anuales de agua potable, a través de 82 pozos profundos (de un total existente de 143), con un caudal de producción promedio anual de 4.500 L/s. A la fecha, el territorio que abastece SMAPA, cuenta con una cobertura en agua potable del 100% y un 99,8% de alcantarillado (SMAPA Online, 2017 en Lorca, 2018).

### 1.3.2. GEOLOGÍA

A partir de la información proporcionada por SERNAGEOMIN de las cartas geológicas 1:100.000 correspondientes a los sectores de Til-Til-Santiago (Wall et al., 1999 en BS Consultores, 2016) y Talagante-San Francisco de Mostazal (Sellés & Gana, 2001), se han identificado 3 unidades geológicas presentes bajo el trazado del futuro proyecto, las cuales datan del Cuaternario y se encuentran asociadas a la acción fluvial existente sobre la cuenca del Valle de Santiago, abarcando los períodos geológicos Pleistoceno y Holoceno. Las 3 unidades geológicas se encuentran dispuestas en distintos órdenes y secuencias, pues se presentan intercalaciones a lo largo del proyecto. La descripción de las unidades geológicas que están presentes en la comuna de Maipú se desarrolla a continuación:

#### Basamento

El basamento está conformado por unidades de rocas antiguas y fuertemente consolidadas. Este tuvo origen gracias a procesos magmáticos en el arco volcánico del Cretácico, posteriormente, fue deformado, erosionado y alzado por la actividad tectónica. Estos procesos, junto con la depositación de material volcánico, son los responsables de la creación del basamento del valle

de Santiago. El basamento está constituido por unidades de roca de origen volcánico y sedimentario representadas por la formación Veta Negra y Formación Las Chilcas (Kivn y Kilc, respectivamente) y por rocas intrusivas; Plutón Cerro Bandera (Kicb), Diorita Punta del Viento (Kdm) y Dioritas a Monzonitas y Monzogabros (Kmd). Esta unidad tiene su expresión en superficie en el cerro Lomas de Lo Aguirre, que constituye una barrera natural para el flujo de cauces superficiales y aguas subterráneas desde el este (Sellés & Gana, 2001).

#### Depósitos Aluviales (Pleistoceno Medio-Pleistoceno Superior)

Corresponden a sedimentos estratificados, medianamente consolidados que rellenan gran parte de las cuencas de Santiago y del Valle del Estero Chacabuco. Estos sedimentos forman parte de los extensos abanicos aluviales coalescentes de 2 a 10 km de radio con suaves pendientes hacia el oeste, provenientes de las cuencas hidrográficas principales que rellenan la mayor parte de la Depresión Intermedia. En sus cabeceras, estos depósitos se intercalan con depósitos coluviales (Qc) y aluviales de piedmont (Qap), mientras que, hacia el oeste se encuentran depósitos lacustres (QI), conformados por materiales tamaño grava y arena, con sedimentos finos en menor proporción. En su parte distal, existe un predominio de sedimentos finos, constituidos por materiales tamaño arena, limo y arcilla, que se alternan con lentes de granulometría más gruesa (Wall et al., 1999; Sellés & Gana, 2001 en Lorca, 2018).

#### Depósitos Fluviales (Holoceno)

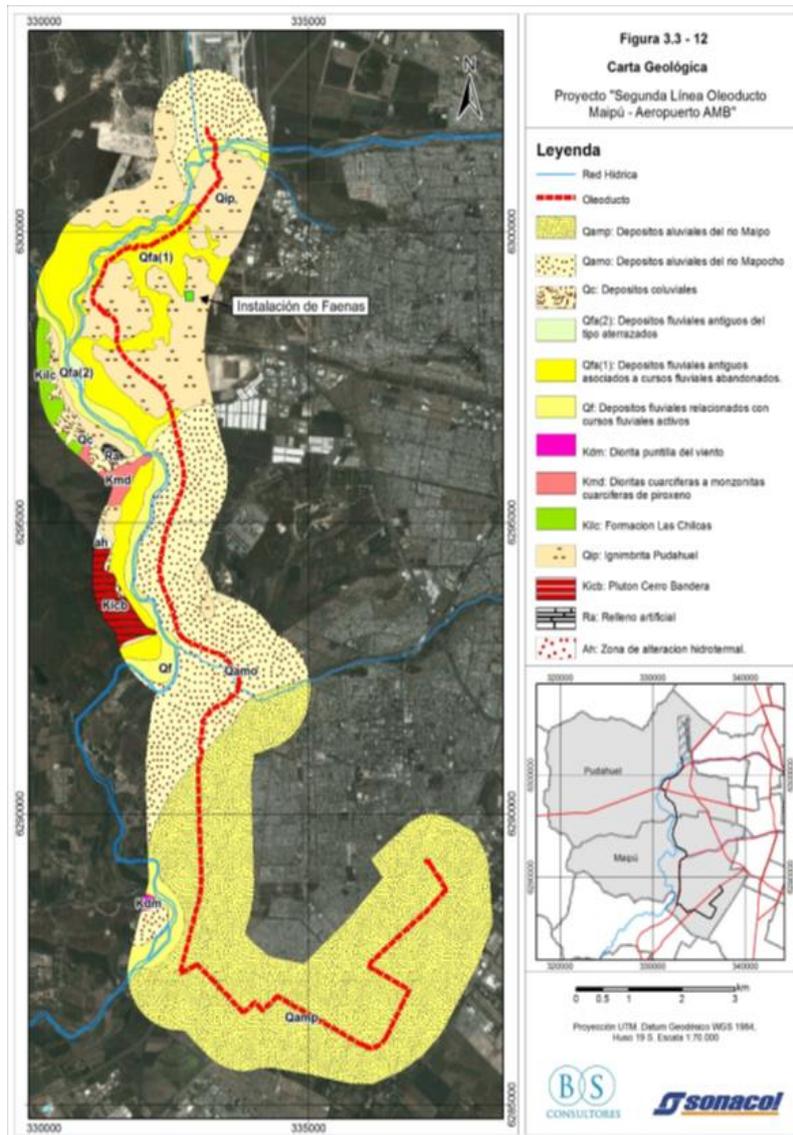
Sedimentos no consolidados, asociados a los cursos fluviales activos (río Maipo y río Mapocho). Se componen principalmente de gravas y gravas arenosas clasto soportadas, compuestas por fragmentos volcánicos e intrusivos redondeados por la acción fluvial, con baja esfericidad y matriz (Sellés & Gana, 2001 en Lorca, 2018). También incluyen lentes arenosas con estratificación plana horizontal y cruzada, junto a escasos niveles de limos finamente laminados, correspondientes a depósitos de llanura de inundación (Wall et al., 1999 en Lorca, 2018). Se reconocen 5 sistemas fluviales, asociados al drenaje de mayor magnitud en la zona, de los cuales 2, se encuentran presentes en el área del proyecto, pertenecientes a las unidades geológicas Qamp y Qamo (ver Cartografía N°2). En estas unidades se desarrolla el sistema acuífero relevante para el área de estudio.

**Qamp:** Corresponden a los depósitos aluviales provenientes del río Maipo. Cubre el sector sur de la comuna de Maipú, desde las instalaciones de SONACOL en Camino a Melipilla, hasta aproximadamente el sector de Rinconada de Maipú. Estos depósitos se encuentran parcialmente cubiertos por el desarrollo urbano de Santiago. Geomorfológicamente, se presentan como una llanura aluvial asociada al río Maipo, con suelos de buen drenaje y aptos para la agricultura. Se pueden identificar terrenos con estas características en el sector El Bosque, en la comuna de Maipú.

**Qamo:** Corresponden a los depósitos aluviales asociados a la cuenca del río Mapocho, de menor tamaño de grano que los depósitos del río Maipo, los cuales cubren desde el sector de Rinconada de Maipú por el sur, hasta las proximidades de la ruta 68 por el norte, donde presenta intercalaciones con la formación Qip (Ignimbrita de Pudahuel). El tramo de la Autopista del

Sol - La Farfana presenta depósitos aluviales correspondientes a la formación Qamo, incluyendo aquellas la zona donde se ubica el Zanjón de La Aguada en su intersección con el futuro oleoducto.

**Figura 2. Cartografía de Geología Área de Influencia Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB**



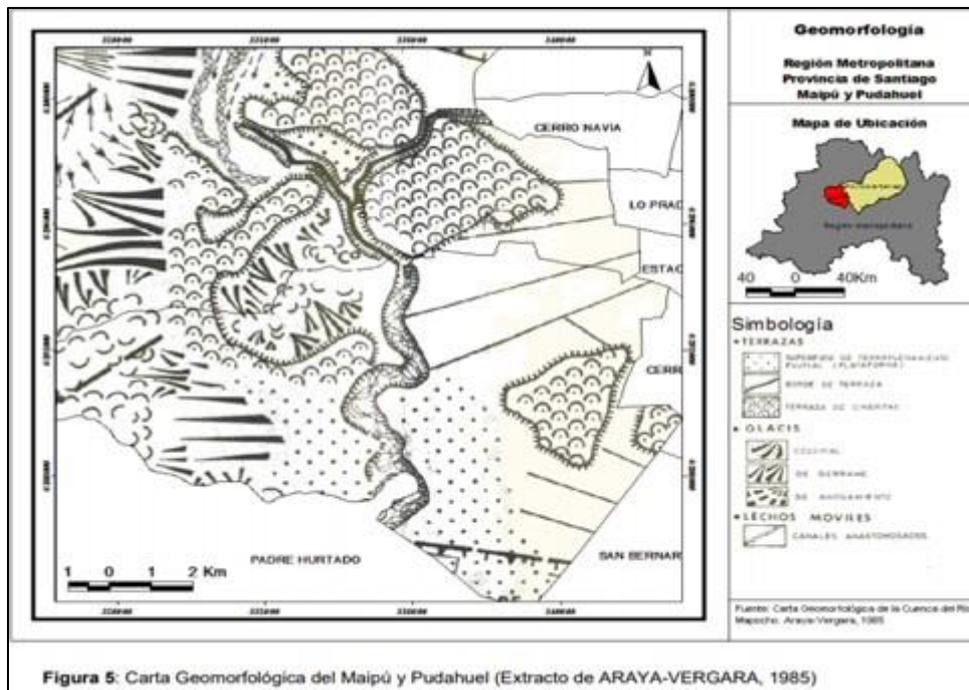
Fuente: BS Consultores, 2016.

### 1.3.3. GEOMORFOLOGÍA

Según lo Planteado por Araya Vergara (1985), en la comuna de Maipú es posible identificar cinco unidades geomorfológicas principales (ver Cartografía N°3); Cuenca de Santiago con depósitos fluvio-lacustres; Cuenca de Santiago con depósitos pumicíticos; Cordillera costera Volcánica; Valle medio del río Mapocho y cerros Isla (Araya Vergara, 1985 en Frick, 2007).

Los depósitos fluvio-lacustres se ubican en el sector oriente de la comuna, abarcando la totalidad de área urbana, siendo la unidad geomorfológica de mayor magnitud. La segunda unidad en términos de superficie comunal corresponde a la Cuenca de Santiago, la cual cuenta con depósitos pumicíticos (piedras volcánicas con alta porosidad, capacidad de absorción de agua y reactividad química) ubicados al poniente del río Mapocho. Estos depósitos formaron horizontes de cinerita (material sedimentario formado por acumulación de cenizas volcánicas con tamaño de grano medio a fino) de diferentes grosores debido a la escasez de agua prolongada que evaporó el agua que transportaba el material volcánico inicialmente, esto sumado a incorporación de sílice, hierro y alúmina provocó lo descrito por Börgel (1999) como “Costra Climática” que es un factor determinante para el almacenamiento de aguas subterráneas en el área de estudio (Frick, 2007; Vergara & Verdugo, 2015) debido a las propiedades de baja aireación y drenaje que adquirieron los diferentes grosores de cinerita (Frick, 2007; Brady & Weil, 2002).

**Figura 3. Cartografía de Unidades Geomorfológicas principales comunas de Maipú y Pudahuel**

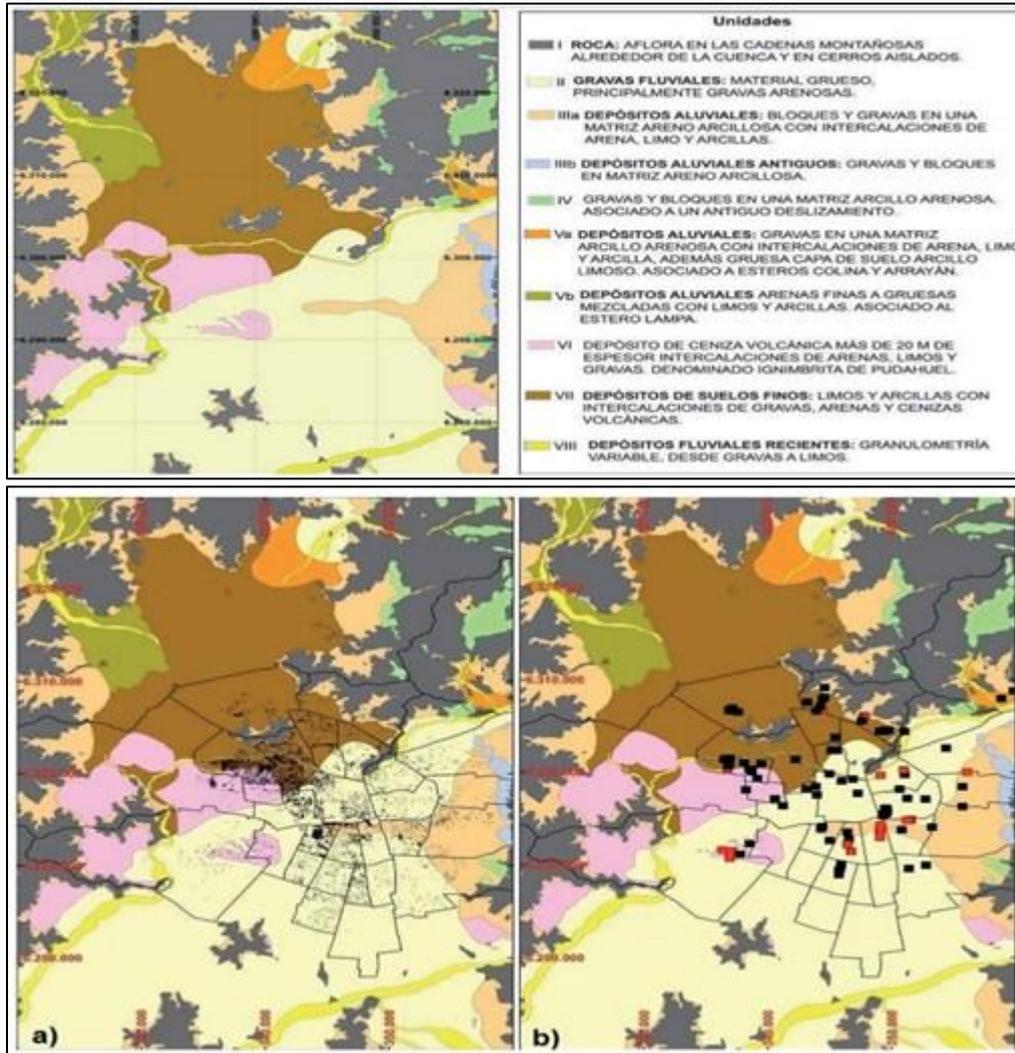


**Figura 5: Carta Geomorfológica del Maipú y Pudahuel (Extracto de ARAYA-VERGARA, 1985)**

Fuente: Frick, 2007 a partir de información recopilada de Araya & Vergara, 1985.

Además, Leyton et al. (2010), ha definido 10 unidades geológicas que conforman el relleno de la cuenca de Santiago, considerando las características granulométricas principales a los primeros 30 metros de profundidad, representadas en la siguiente cartografía:

**Figura 4. Cartografía de Características granulométricas y sedimentarias de la cuenca de Santiago a los primeros 30 metros de profundidad**



Fuente: Vergara & Verdugo, 2015.

Las características granulométricas para la comuna de Maipú (Leyton et al. (2010), corresponden a, gravas fluviales (grano de gran tamaño que varía desde grava a gravas arenosas), a depósitos de depósitos pumicíticos denominados Ignimbrita de Pudahuel (compuestos por 20 cm aproximadamente de ceniza volcánica, con intercalaciones de arenas, limos y gravas) y a depósitos fluviales recientes, en los cuales la granulometría de los materiales son variados, pues se encuentran desde tamaño limo hasta tamaño grava (Frick, 2007; Vergara & Verdugo, 2015).

Según la información recopilada de las cartas geológicas escala 1:100.000 correspondientes a los sectores de Til-Til Santiago (Wall et al., 1999 en BS Consultores, 2016), Talagante-San Francisco de Mostazal (Sellés & Gana, 2001) y al estudio de la geomorfología de la cuenca de Santiago elaborado por Börgel (1983), se ha podido identificar una única macro-unidad “Fondo de Valle”, referente a la acción fluvial (de arrastre y deposición) de los ríos Maipo y Mapocho durante el periodo Cuaternario, en conjunto con la conformación del relleno del valle de

Santiago, en donde la influencia fluvial es el principal agente morfogenético para el área de influencia del proyecto, debido a la presencia y cercanía a cursos de agua (río Mapocho, Zanjón de La Aguada, canal Santa Marta y múltiples canales de riego agrícola). Esta macro unidad, soporta 3 geoformas, que datan en secuencias geológicas asociadas al Cuaternario principalmente y que han sido modificadas a pequeña escala por la acción antrópica asociada al desarrollo urbano e industrial, generación de actividades agrícolas y extensión de estos usos de suelo. Estas 3 geoformas corresponden a una llanura aluvial, caja de río y canales de riego. Estas geoformas serían las principales estructuras localizables dentro del trazado y área de influencia del futuro proyecto (BS Consultores, 2016).

#### Unidad Fondo de Valle, cuenca de Santiago

Corresponde a depósitos glacio-fluvio-volcánicos, que rellenaron la cuenca de valle central en una profundidad de 200 a 400 m, estratificados por materiales de origen coluvial y aluvial. Posee una suave pendiente, ascendente en dirección este hacia la precordillera, adoptando una forma de piedmont. El área de estudio se ubica en el sector bajo del valle, en donde se presenta la confluencia de los dos principales cursos de agua, los ríos Mapocho y Maipo. En esta zona, además, se puede apreciar la presencia de acumulaciones piroclásticas derivadas de lahares que descendieron por el actual cajón del río Maipo, constituyendo depósitos de pumicitas en torno a las proximidades de la ruta 68 y las comunas de Cerrillos, Maipú y Pudahuel. Con un promedio altitudinal de 480 m.s.n.m., el principal agente morfogenético actual en el área de estudio corresponde al río Mapocho, el cual ha desbordado en más de una ocasión el sector de Rinconada de Maipú debido a grandes precipitaciones (1997 y 2000 como últimos registros). La presencia de canales de regadío en dirección a la intersección con el río Mapocho ha determinado el fuerte crecimiento de áreas de riego para el desarrollo agrícola. Se destacan los canales Santa Marta y Zanjón de La Aguada, siendo este último canalizado a principios de los años 90' (BS Consultores, 2016).

Se reconocen 3 geoformas de menor magnitud que interceptan el trazado del proyecto que son: Llanura aluvial, Caja de río y Depósitos piroclásticos. Solo se describirán las primeras dos, pues son las únicas presentes en el área de influencia del proyecto (área urbana de la comuna de Maipú).

#### Llanura aluvial del río Mapocho/Maipo (Qal)

Ocupa aproximadamente el 80% de la extensión longitudinal sobre la cual se emplazará el trazado del oleoducto, incluyendo el terreno urbanizado de la comuna de Maipú. Se reconocen en ciertos sectores del trazado del proyecto, terrenos caracterizados por la ocurrencia de anegamientos tanto por afloramiento del agua subterránea, como por saturación superficial por precipitaciones que no logran infiltrar al suelo, ocasionados por la saturación de éste gracias a la presencia de nivel freático, así como también por la existencia de sustratos impermeables que bloquean el drenaje superficial en sectores como Rinconada de Maipú y en las proximidades a la ruta 68 y Autopista del Sol. Esta geoforma, según lo planteado por Leyton et al. (2010) en su estudio de granulometría de los materiales de la cuenca de Santiago, podría

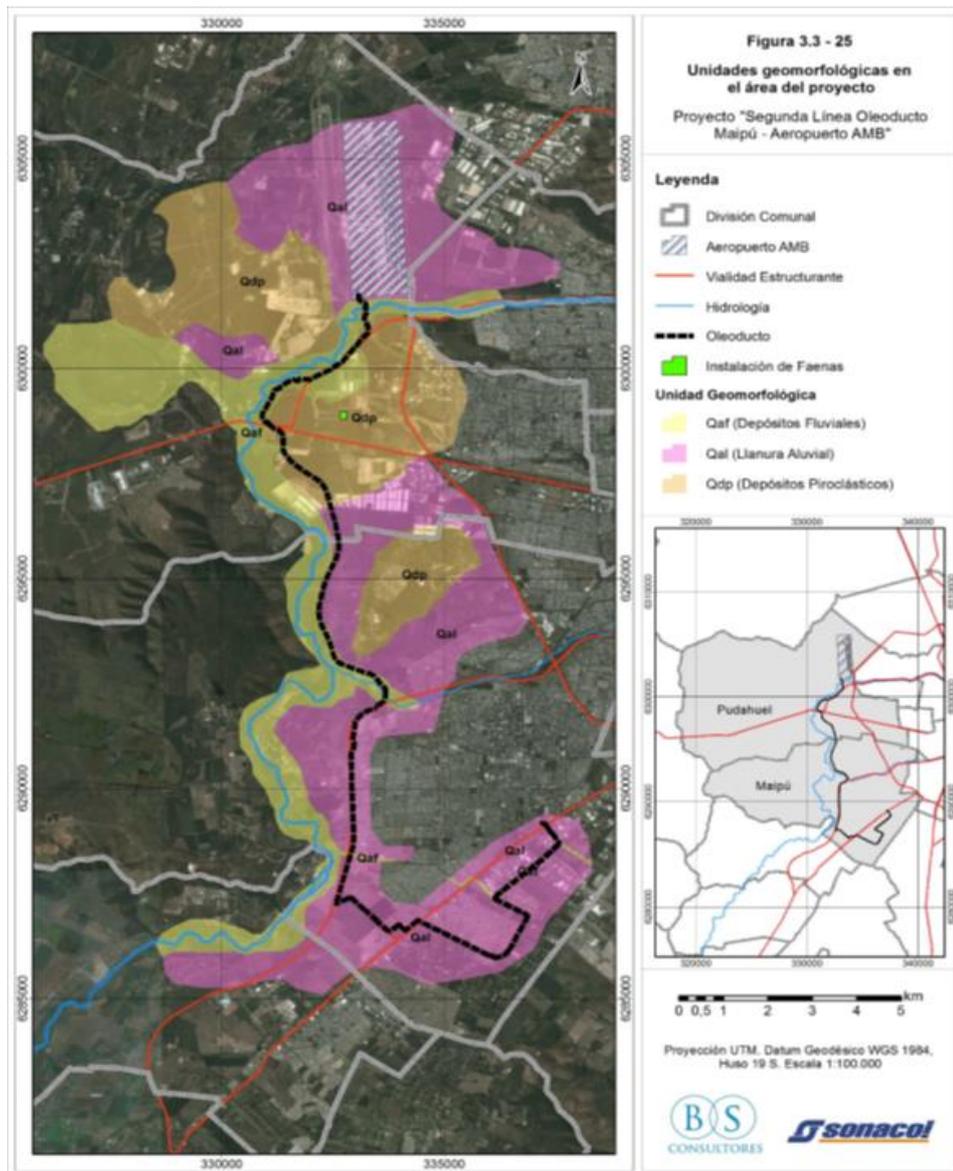
asociarse a las gravas fluviales, compuestas por material tamaño grava y gravas arenosas (Frick, 2007; Vergara & Verdugo, 2015).

#### Cajas del río Mapocho/canal Zanjón de La Aguada y red de canales de riego (Qaf)

Esta geoforma y la inclusión de canales de regadío que cruzan paralelos al trazado del oleoducto, conforman la segunda geoforma de mayor presencia territorial, con cerca de un 5% de su superficie. Su extensión está determinada por la dimensión lineal sobre la cual se desarrollará el proyecto, aprovechando las condiciones de baja pendiente que representan el Zanjón de La Aguada y el río Mapocho en sus niveles de transición de terrazas fluviales superiores y llanura aluvial. Esta geoforma está asociada a los depósitos fluviales recientes definidos por Leyton et al. (2010), compuestos por materiales que varían desde tamaño limo hasta tamaño grava (Frick, 2007; Vergara & Verdugo, 2015).

Los canales de regadío en la comuna de Maipú cumplen la función de transportar y distribuir agua de regadío a distintos sectores, lo cual genera la ocurrencia de anegamientos e inundaciones por colmatación de los estratos del suelo, modelando así, el área inmediata de su cauce, así como también las áreas que se ven afectadas por depositación de material que haya sido arrastrado por el cauce. Las inundaciones y anegamiento de baja escala se generan por el aumento de sus caudales debido a precipitaciones intensas (sobre los 25 mm/día), como también por el vertido de basura en los cauces, viéndose así sobrepasada su capacidad de carga cuando éstos cruzan por construcciones que actúan como “cuellos de botella” (especialmente en el canal Santa Marta y sus tributarios, en el sector de su intersección con la Av. Tres Poniente) (BS Consultores, 2016).

**Figura 5. Cartografía de Unidades Geomorfológicas en el área del proyecto**



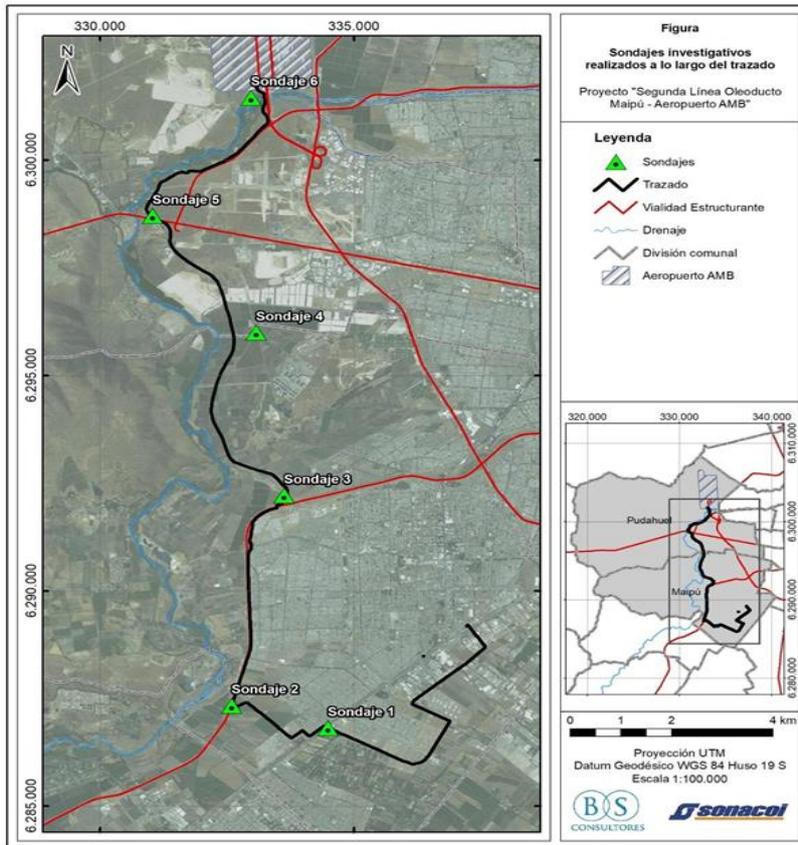
Fuente: BS Consultores, 2016.

#### 1.3.4. INFORMACIÓN GRANULOMÉTRICA

La empresa BS Consultores realizó sondeos para levantar información granulométrica de los suelos que atraviesa el oleoducto. Los sondeos realizados manualmente se indican en la Figura N°6. De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los sondeos (ver Tabla N°4), se observa, en general, una capa inicial del suelo vegetal de aproximadamente 10 cm. Le subyace una capa de suelos poco permeables consistente en limos arcillosos que contienen un porcentaje menor de arena que varía dependiendo del sector y de su profundidad. Esta capa es discontinua se observa con mayor potencia en el norte del trazado, cerca del aeropuerto y desaparece entre los sondeos 3 y 4, es decir, al norte del Zanjón de La Aguada y antes de la ruta 68. A este lente

limo arcilloso le subyace una capa de grava, que en el sector sur del trazado se conecta directamente a la capa vegetal o, inclusive, con la superficie.

**Figura 6. Cartografía de Sondajes Investigativos realizados a lo largo del trazado**



*Fuente: BS Consultores, 2016.*

Las muestras obtenidas permiten caracterizar de manera adecuada el lente limo arcilloso, en el que se tomaron 3 muestras entre 1.5 y 2.8 metros de profundidad y presentó en general una humedad que varía de humedad baja a media, con la excepción del sondaje realizado en la ribera de río Mapocho, donde la humedad se presentó con mayores niveles gracias a las infiltraciones del río al nivel freático (BS Consultores, 2016).

**Tabla 4. Información y resultados de los sondeos y muestras analizadas**

Sector	Nombre	ID	UTM (WGS84)		Profundidad (cm)		Estrato	Observación	Nombre muestras válidas	FOC
			Norte	Este	Inicio	Fin				
1	Sondaje 1	SB1	6.286.817	334.485	0	0	Grava arenosa superficial			
2	Sondaje 2	SB2	6.287.336	332.587	0	30	Limo arenoso gravoso	humedad baja		
					30	-	Grava			
3	Sondaje 3	SB3	6.292.218	333.618	0	10	Suelo vegetal			
					10	135	Relleno artificial			
					135	-	Grava			
4	Sondaje 4	SB4	6.296.002	333.071	0	10	Suelo vegetal			
					10	70	Limo levemente arenoso	humedad media		
					70	100	Limo arcilloso con gravas	humedad media		
					100	120	Limo arenoso gravoso	humedad media		
5	Sondaje 5	SB5	6.298.710	331.027	120	-	Grava			
					0	10	Suelo vegetal			
					10	125	Limo arcilloso arenoso	humedad baja a media		
					125	150	Limo arenoso	humedad baja a media		
6	Sondaje 6	SB6	6.301.459	332.971	150	250	Arcilla limosa	humedad media	4970-SB05-SS-240-250	0,195%
					0	10	Suelo vegetal			
					10	105	Limo arcilloso	humedad media alta		
					105	135	Arena fina limosa	humedad baja		
					135	285	Limo arcilloso	humedad alta a muy alta	4970-SB06-SS-150-170 y 4970-SB06-SS-275-285	0,253% 0,273%

Fuente: BS Consultores, 2016.

Según la información presentada en la tabla anterior, las características granulométricas subsuperficiales, profundidad y niveles de humedad de los suelos en los primeros tres sondeos (ubicados en el área de interés para el análisis) son (BS Consultores, 2016):

- Sondaje N°1: Barrio el Abrazo Maipú, Grava arenosa superficial.
- Sondaje N°2: Barrio Los Bosquinos; 0 cm - 30 cm profundidad limo arenoso-gravoso con humedad baja; 30 cm - indefinida profundidad grava
- Sondaje N°3: Barrio Portal del Sol – La Farfana; 0 cm - 10 cm profundidad suelo vegetal; 10 cm - 135 cm profundidad relleno artificial; 135cm - indefinida profundidad grava.
- Sondaje N°4: 0-10 cm Suelo vegetal; 10-70 cm Limo levemente arenoso con humedad media; 70-100 cm Limo arcilloso con gravas con humedad media; 100-120 cm Limo arenoso gravoso con humedad media; 120cm - profundidad indefinida grava.
- Sondaje N°5: 0-10 cm Suelo vegetal; 10-125 cm Limo arcilloso arenoso con humedad baja a media; 125-150 cm Limo arenoso con humedad baja a media; 150-250 cm Arcilla limosa con humedad media.

### 1.3.5. HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA Y AGUA SUBTERRÁNEA

Red de drenaje y cuencas hidrográficas (BS Consultores, 2016):

El proyecto se encuentra ubicado dentro de la cuenca del río Maipo, es la subcuenca del río Mapocho Bajo, la cual a su vez queda dividida en las sub-subcuencas de:

- Estero Lampa entre estero Colina y río Mapocho; río Mapocho entre estero Las Rosas y estero Lampa y Zanjón de La Aguada bajo; río Mapocho entre Zanjón de la Aguada y río Maipo.

## Río Mapocho

Nace en la Cordillera de Los Andes a partir de la confluencia del estero Yerba Loca, el río Molina y el estero Arrayán. Al entrar al Valle de Santiago, recibe diversos afluentes entre los que se cuentan principalmente en canal San Carlos en el sector de Providencia, el estero Lampa en Pudahuel y el Zanjón de La Aguada en Maipú, quedando estas dos últimas desembocaduras en una zona cercana al trazado propuesto para el oleoducto. Finalmente, el Mapocho desemboca en el río Maipo en el sector de El Monte. El trazado actual del oleoducto contempla el cruce del río Mapocho en una zona cercana al Aeropuerto de Santiago. El caudal medio mensual del río alcanza un promedio de 28,4 m<sup>3</sup>/s. Se observa que el régimen del río es pluvio-nival, produciéndose los mayores caudales en los meses de invierno por la escorrentía directa y durante la primavera debido a los deshielos.

## Zanjón de La Aguada

Corresponde a un cauce natural que nace en el contrafuerte cordillerano, recibiendo aguas de la Quebrada de Macul, atravesando la ciudad de oriente a poniente desde La Florida a Maipú, tributando finalmente en el río Mapocho. El Zanjón se utiliza principalmente como colector de aguas lluvias. Actualmente se encuentra revestido y/o abovedado prácticamente en la totalidad de su extensión urbana, dejando de estar revestido en la zona inmediatamente aguas abajo del cruce con el trazado actual propuesto para el oleoducto. Se extiende en una longitud de 27 km y recibe los aportes de 21 comunas.

## Unidades hidrogeológicas

En el área de estudio, se pueden diferenciar dos grandes unidades hidrogeológicas, en base a los antecedentes geológicos ya expuestos; basamento, de carácter impermeable y el relleno sedimentario, unidad que alberga al acuífero. El relleno sedimentario puede ser subdividido en tres unidades hidrogeológicas: Unidad A, B y C, según el estudio efectuado por Morales (2002). A continuación se describen las unidades hidrogeológicas descritas por el autor, desde la más antigua a la más joven:

### Unidad A

Se clasifican como limos arcillosos y arcillas limosas, más o menos arenosos y gravosos. Se ubica hacia la base de la secuencia sedimentaria, sobre el basamento y se caracteriza por presentar granulometría fina. El alto contenido de materiales de tamaño fino transforma esta unidad en una de baja permeabilidad. No se pudo reconocer el verdadero potencial de esta unidad en el área de estudio, debido a que no se habían realizado pozos superiores a 200 metros de profundidad. Morales (2002), no obstante, estima un espesor mínimo mayor a 200 metros para esta unidad.

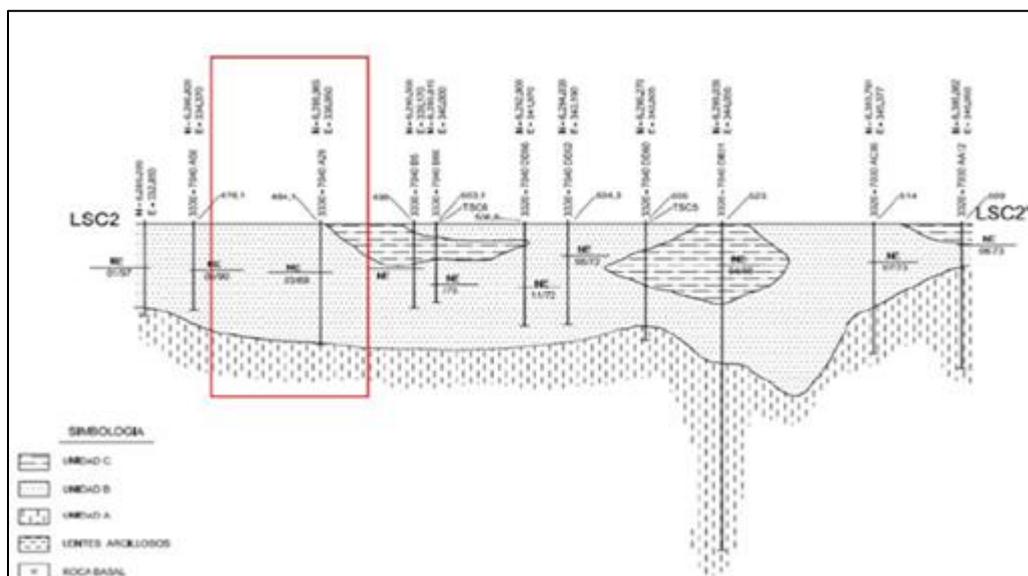
## Unidad B

Se clasifican como gravas arenosas y arenas gravosas, relativamente limo arcillosas. Se ubica sobre la Unidad A y está constituida por sedimentos de granulometría gruesa y conformada por una fracción clástica mayor de gravas, arenas gruesas y gravas muy gruesas subordinados y una matriz de arena media a fina con escasas proporciones de limos y arcillas. Se estima para esta unidad una permeabilidad media entre 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-4</sup> cm/s. Esta unidad constituye el acuífero relevante en la zona de interés y los depósitos que son susceptibles de contener acuíferos son el abanico aluvial del río Mapocho y Maipo y los depósitos fluviales. Morales (2002), reconoce una potencia/profundidad de 100 a 130 metros para esta unidad.

## Unidad C

Se clasifican como limos arcillosos, relativamente arenosos a gravosos. Se posiciona por encima de la Unidad B. Está constituida por una fracción clástica mayor de arenas gruesas a medias, con una cantidad reducida de gravas y una abundante matriz de arenas finas con alto contenido de arcillas. Suele presentarse de forma discontinua en el área de estudio, correspondiente a aportes heterogéneos provenientes de las laderas de los valles y alturas topográficas del área de estudio. Por su alto contenido de clastos de tamaño fino y su discontinuidad, no constituye una unidad propicia para albergar acuíferos. En algunos sectores existe intercalación entre las unidades C y B, en sectores de la comuna de Maipú, corresponden a depósitos de ceniza de la Ignimbrita de Pudahuel, estimándose una potencia de 20 a 40 metros de espesor para este sector (centro de la comuna) (Morales, 2002 en Lorca, 2018; BS Consultores, 2016).

**Figura 7. Perfil Longitudinal LSC2 de la cuenca de Santiago (Morales, 2002)**

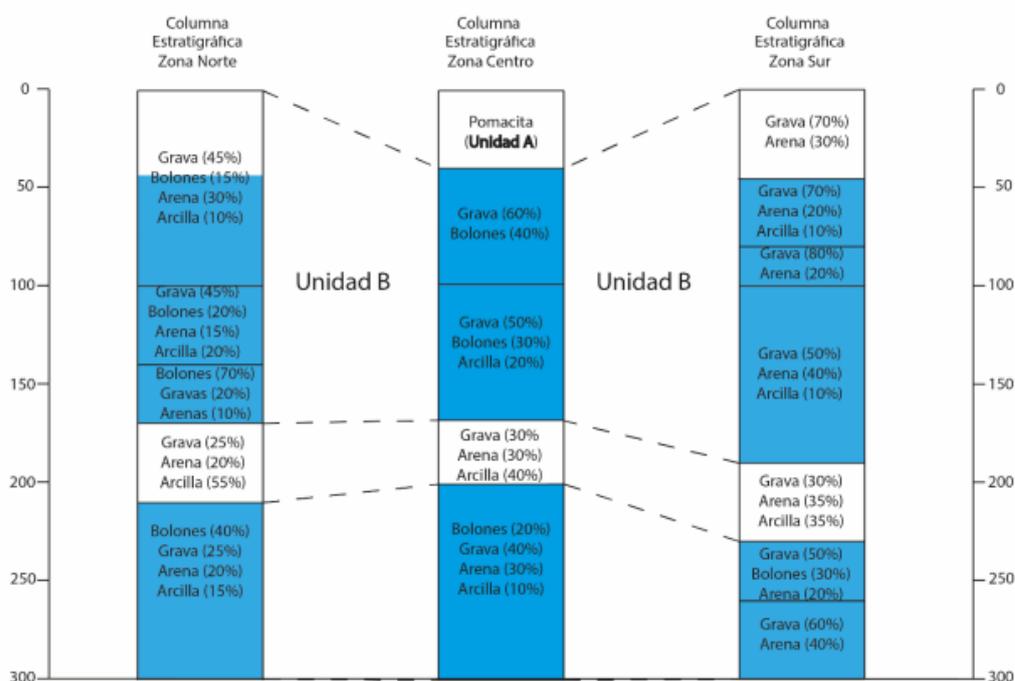


Fuente: BS Consultores, 2016.

## Características del Acuífero

Posteriormente al estudio publicado por Morales el año 2002, en SMAPA se comenzaron a perforar los primeros pozos de 300 metros de profundidad, permitiendo así, la obtención de información que ha entrado mayor conocimiento de la estructura del acuífero, revisando las unidades hidrogeológicas propuestas. A partir de la información estratigráfica de 14 pozos realizados por SMAPA, se realizan 3 columnas estratigráficas representativas de distintas zonas donde existen pozos de SMAPA (en zona norte, centro y sur), presentada en la Figura N°8. En estas columnas se observa de color azul el acuífero “explotable” que posee una potencia de al menos 300 metros (Lorca, 2018).

**Figura 8. Columnas estratigráficas de la zona norte, centro y sur del área de estudio y su correlación espacial**



Fuente: Lorca, 2018.

La columna estratigráfica de la Zona Sur es la más cercana al área de interés de la comuna de Maipú.

## Recarga del acuífero y relación con aguas superficiales

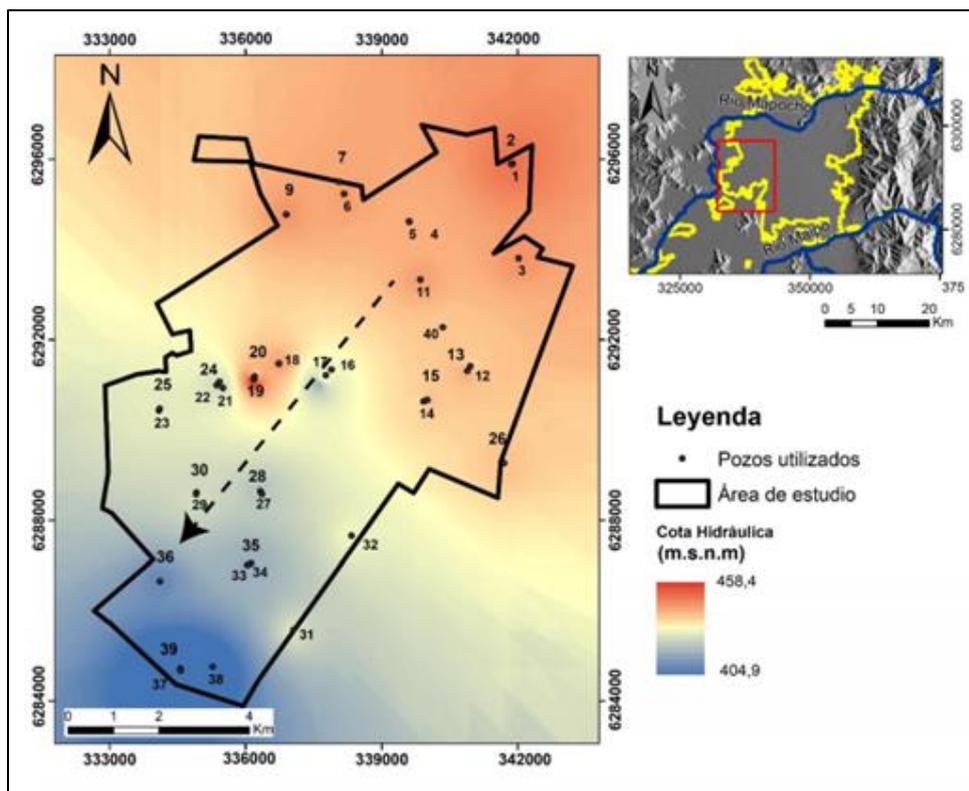
Según plantean Iriarte (2003) y Araneda et al. (2010), el acuífero de Santiago no se recarga en las zonas urbanas de la ciudad, puesto que éstas se encuentran cubiertas por hormigón y asfalto principalmente, materiales que no permite la percolación de aguas lluvias o de escorrentía hacia el subsuelo. Los autores mencionados plantean que la recarga natural del acuífero ocurre gracias a la infiltración de los cauces principales, es decir, de los ríos Maipo y Mapocho en la cordillera principal y también por las zonas de depósitos coluviales en los bordes oriente y

poniente de la Cuenca de Santiago. Esto provocaría una estrecha relación entre la composición química del agua superficial y de la subterránea. Por otra parte, se reconoce que la acción antrópica a través de la construcción de redes de agua potable y alcantarillado (en menor grado) ha permitido una recarga del acuífero que provocaría un aumento en las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  y ser la principal fuente de contaminación por  $\text{NO}_3^-$  (Iriarte, 2003 en Lorca, 2018).

#### Dirección Movimiento Aguas Subterráneas

Lorca (2018) en su estudio de pozos de agua potable de la empresa SMAPA efectuó el cálculo de la cota hidráulica del acuífero para su área de estudio definida, con el objetivo de determinar la dirección preferencial que siguen las aguas subterráneas. El resultado obtenido se representa en la Figura N°9, pudiendo observarse que la dirección preferencial del flujo de agua subterránea en el área de estudio definida es hacia el suroeste.

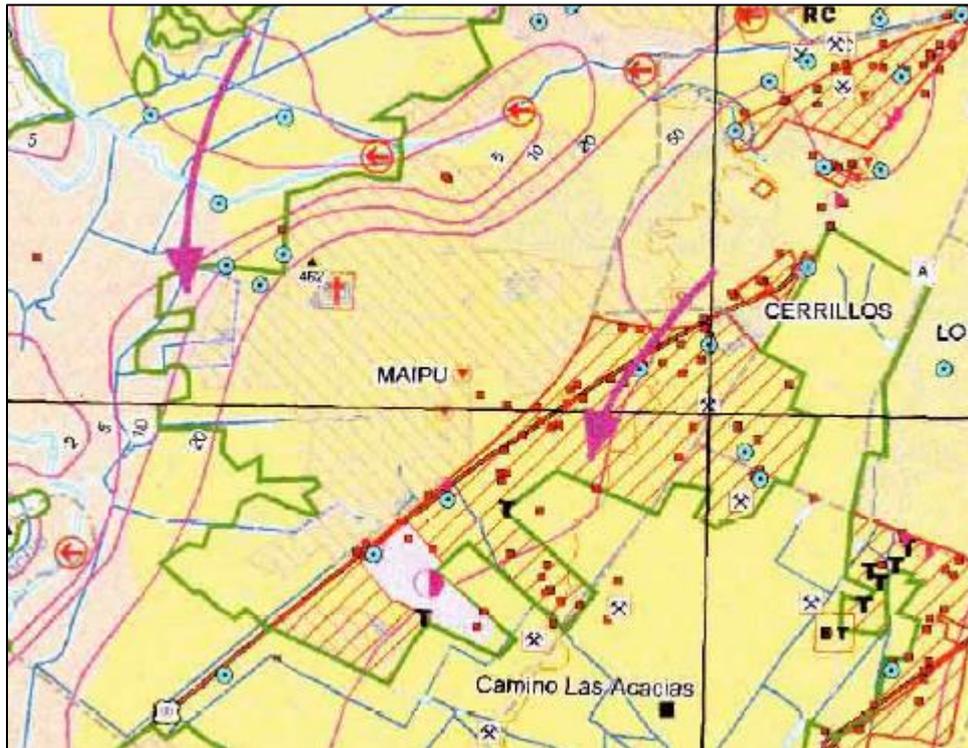
**Figura 9. Cartografía de Cota Hidráulica calculada para el área de estudio**



*Fuente: Lorca, 2018.*

El resultado expuesto por la figura anterior coincide con la información expuesta en la Carta Geológica de Chile del SERNAGEOMIN (2003) escala 1:100.000 (ver Figura N°10), donde también se plantea que la dirección preferencial del flujo para el área de análisis, es decir, para la comuna de Maipú, es hacia el suroeste.

**Figura 10. Extracto Carta Geológica de Chile, Sernageomin 1:100.000, 2003**

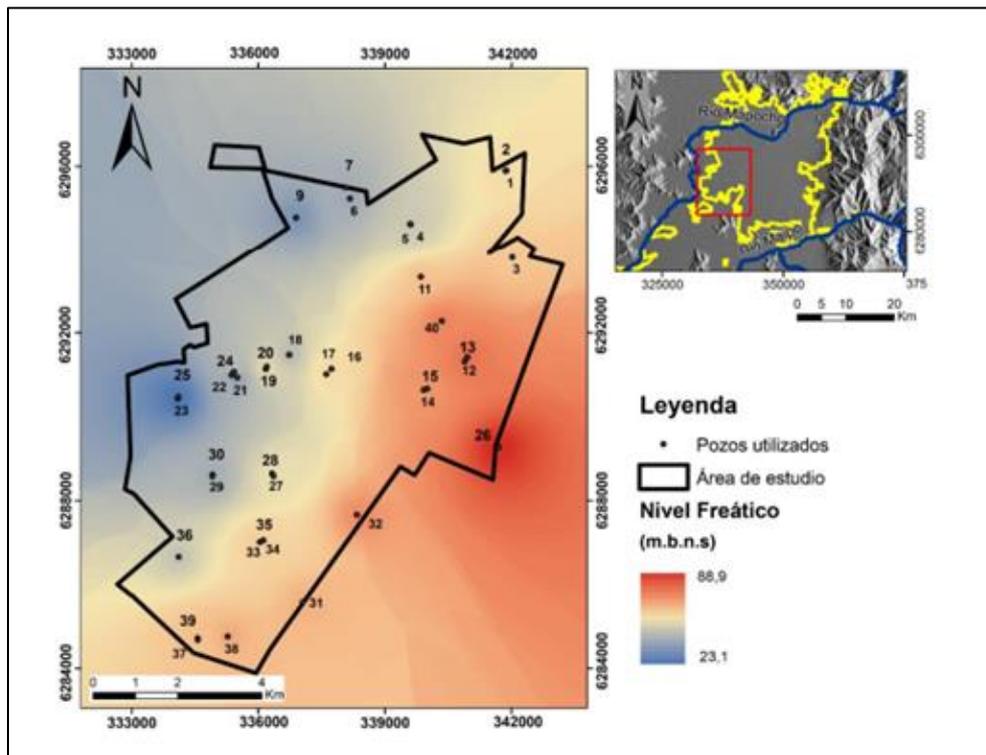


*Fuente: Carta Geológica de Chile SERNAGEOMIN escala 1:100.000, 2003.*

#### Nivel freático

Corresponde al nivel superior de un acuífero medido en metros bajo el nivel de la superficie o suelo (m.b.n.s). Lorca (2018) determinó en su estudio de los pozos de agua potable de SMAPA el nivel freático mediante una interpolación realizada con el método de Kriging Ordinario, utilizando mediciones del nivel estático realizadas en 38 pozos en una campaña de muestreo entre diciembre del 2015 y enero del 2016. La interpolación efectuada permitió crear datos puntuales de tipo ráster de información continua que luego fueron cartografiados, presentados en la Figura N°11.

**Figura 11. Cartografía de Nivel freático del área de estudio**

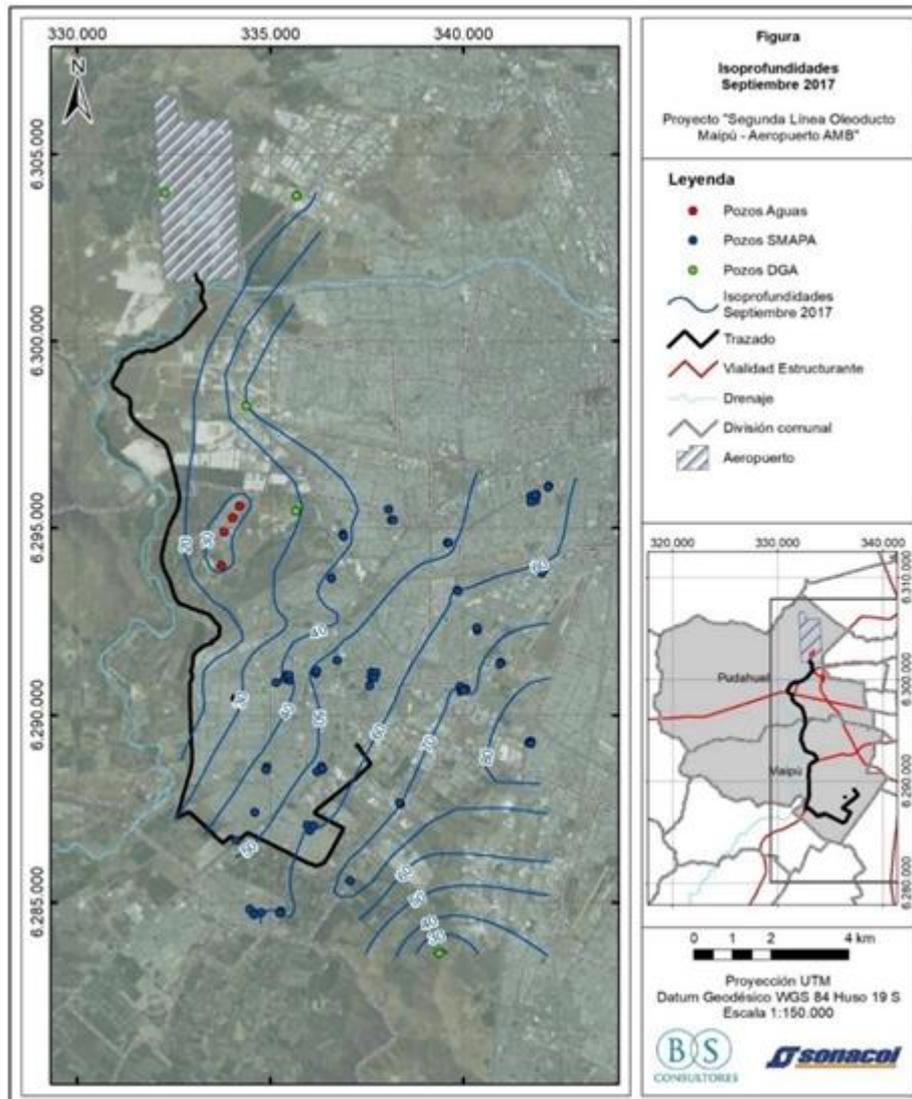


*Fuente: Lorca, 2018.*

Según la figura anterior, los niveles más someros del nivel freático se encuentran al norte y norponiente del área de estudio que definió Lorca (2018), correspondiendo a una profundidad de aproximadamente 23 m.b.n.s. Estos valores se encuentran en el sector poniente de la comuna de Maipú, área de interés de este análisis.

BS Consultores efectuó un catastro de pozos en el área de estudio utilizando los datos disponibles de profundidad del nivel de agua subterránea de diciembre de 2014 proporcionados por la SISS. Además, para complementar aquella información, en algunas zonas se utilizaron datos de la DGA de diciembre de 2010 como referencia. Los resultados obtenidos indican que al sureste del área de influencia la profundidad del acuífero alcanza su máximo valor, teniendo una profundidad aproximada de 70 metros al comienzo del trazado actual proyectado del oleoducto. En algunos sectores, como, por ejemplo, el tramo que abarca desde la confluencia del Zanjón de La Aguada hasta 1 kilómetro al sur de la confluencia del estero Lampa con el río Mapocho, el nivel del agua alcanza su valor más somero, menor a 10 metros de profundidad. Estos datos fueron actualizados el año 2017 para la línea de base de EIA del proyecto. Para ello, se elaboró un mapa de isopropfundidades para el mes de septiembre del año ya mencionado (ver Figura N°12). En aquella figura, se aprecia que la isopropfundidad mínima disponible es de 20 metros bajo la superficie, sin embargo, también se pueden apreciar algunos sectores del trazado sin información, como, por ejemplo el sector de tramo N°2, parte del trazado que se ubica al sector poniente de la comuna de Maipú.

**Figura 12. Cartografía de Isopropfundidades septiembre 2017**



Fuente: BS Consultores, 2016.

Vulnerabilidad Acuífero (BS Consultores, 2016):

La vulnerabilidad intrínseca de un acuífero se define como aquella compuesta por los factores hidrogeológicos característicos de éste, del suelo y de los materiales geológicos que le sobreyace. Foster (1987), define el concepto de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas como la interacción entre el contaminante que puede ser aplicada al subsuelo como resultado de la actividad antrópica y la vulnerabilidad intrínseca del acuífero (Foster, 1987 en SERNAGEOMIN, 2004). Las variables de mayor relevancia para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca son:

- La litología de la zona no saturada (o cobertura de acuífero). Puesto que este factor está directamente relacionado con la permeabilidad de esta zona, y, por ende, con la facilidad que podrían ingresar o filtrarse los contaminantes a través de ella hasta alcanzar el nivel freático.

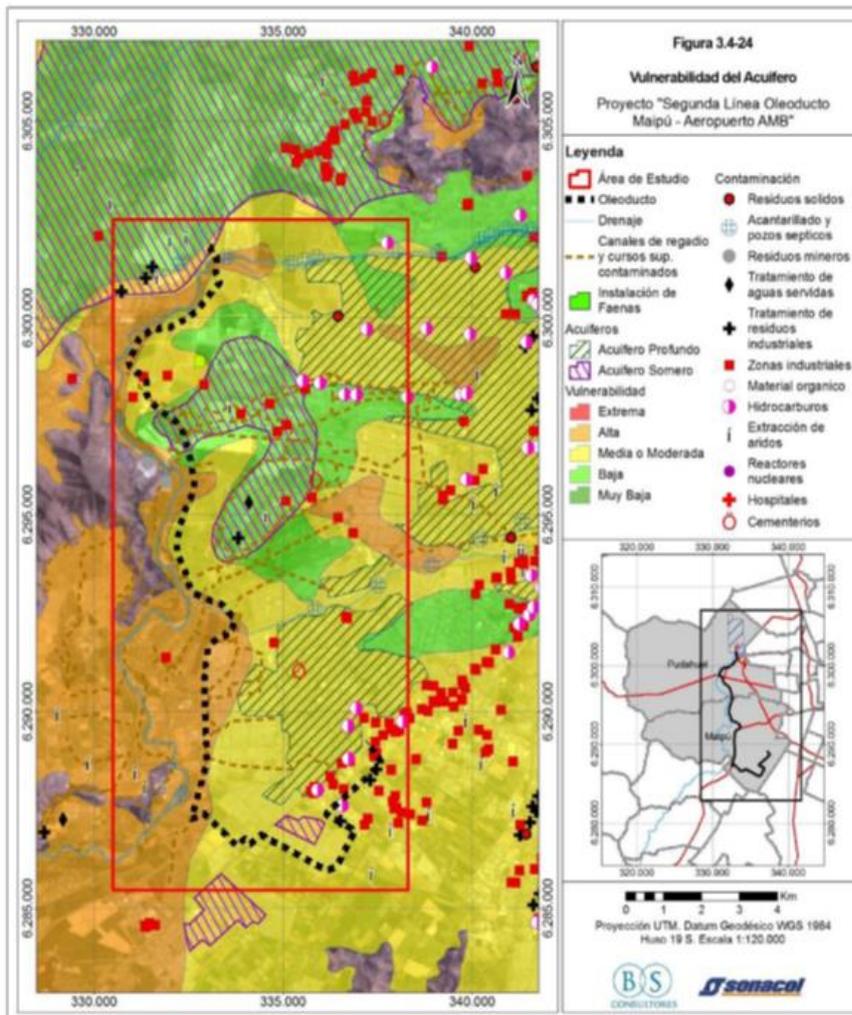
- Profundidad de nivel estático.

Otras variables también son la permeabilidad, textura, estructura, espesor, cantidad de materia orgánica, población bacteriana y minerales de arcilla, importantes en la capacidad de atenuar los contaminantes; la recarga hacia los acuíferos de forma natural o por acción antrópica; características de la zona saturada; tipo de acuífero (si éste es libre, semiconfinado, confinado, etc.), entre otros.

En la Figura N°13 se presenta el mapa de vulnerabilidad elaborado por Iriarte (2003) para el estudio “Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos de la Cuenca de Santiago”. Para ello, se considera el espesor que alcanza la zona no saturada y la composición de ésta en relación con la permeabilidad o facilidad de propagación de sustancias contaminantes a través de ella. El método GOD de Foster (1987) utilizado en ese estudio, estima la vulnerabilidad de un acuífero multiplicando tres parámetros que son: el tipo de acuífero o modo de ocurrencia del agua subterránea (G); la litología de la zona no saturada (O); y la profundidad del agua subterránea (D), generando cinco categorías o rangos: Vulnerabilidad Extrema; Vulnerabilidad Alta, Vulnerabilidad Baja; Vulnerabilidad Media; Vulnerabilidad Muy Baja o Nula Vulnerabilidad.

Es importante mencionar que, ya que el mapa fue elaborado respecto a datos del año 2003, estos pueden haber sufrido modificaciones durante los siguientes años, principalmente respecto a la profundidad de los niveles del agua subterránea.

**Figura 13. Cartografía de Vulnerabilidad del Acuífero**



Fuente: Iriarte, 2003 en BS Consultores, 2016.

La ubicación del trazado propuesto para el oleoducto corresponde a zonas de vulnerabilidad alta y media. Al sur del área de estudio, el trazado del oleoducto atraviesa un sector del acuífero profundo y, frente a las Lomas de Lo Aguirre, atraviesa un sector de acuífero somero. Ambas zonas se caracterizan por tener una Vulnerabilidad Alta. Para el caso del acuífero en profundidad, el grado de vulnerabilidad puede incrementar gracias a la ocurrencia de altos niveles de saturación en la zona no Saturada, produciendo, así, un aumento en la conductividad hidráulica de la zona. Para el caso de acuíferos someros, la alta vulnerabilidad se puede explicar por conexión directa con los cursos de agua superficiales (Iriarte, 2003 en BS Consultores, 2016).

### 1.3.6. DESCRIPCIÓN DE SERIES Y FASES DE CIREN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Serie Mapocho, franco arcilloso limoso - Símbolo Cartográfico: MPC

Las siguientes descripciones están basadas en la información entregada por CIREN, s.f. en BS Consultores, 2016.

#### Caracterización General

La Serie Mapocho está compuesta por suelos de origen aluvial, profundos, que ocupan la posición de terrazas antiguas del río Mapocho, sus texturas predominantes son las franco arcillo limosa o arcillo limosa.

#### Ubicación, Variaciones y Posición

Región Metropolitana, comuna de Maipú, 500 m. al poniente de salida al aeropuerto comandante Arturo Merino Benítez. En el área de relevancia para este análisis, se puede observar en la Figura N°14 que este suelo bajo la variación MPC-4, se presenta en cercano a la intersección de la ruta 78 con el oleoducto hacia el norte del trazado. La profundidad efectiva del suelo varía entre 70 y 130 cm. La Serie Mapocho es un suelo que se presenta en una topografía plana de terraza aluvial en las riberas del río Mapocho. La variación MPC-4 presente en el área de análisis corresponde a una fase moderadamente profunda y de drenaje moderado. Es un suelo de textura superficial franco arcillo limosa y plano.

Serie Santiago, franco arenoso - Símbolo cartográfico: STG

#### Caracterización General

La Serie Santiago está compuesta por suelos de origen aluvial, ligeramente profundos, que se presentan en una topografía plana con o sin micro relieve, en una posición de un gran cono aluvial que se extiende por decenas de kilómetros en ambos márgenes del río Maipo. Su textura predominante es la franco arenosa.

#### Ubicación, Variaciones y Posición

Región Metropolitana, por camino de Santa Marta, inmediatamente al Norte de Planta Goodyear. En el área de interés para el análisis, esta serie se ubica en el sector suroeste del trazado del oleoducto, cercano al Barrio El Abrazo, presentándose como la variación STG-2, como se puede apreciar en la Figura N°14. La profundidad efectiva del suelo varía de 30 a 73 cm. El suelo, además, posee buen drenaje, presentando ocasionalmente sectores de drenaje moderado. La variación encontrada en el área de interés, STG-2, corresponde a la fase de textura superficial franco arenoso muy fino. Es un suelo ligeramente profundo, casi plano y posee un buen drenaje.

Serie Rinconada de Lo Vial, franco arenoso - Símbolo Cartográfico: RLV

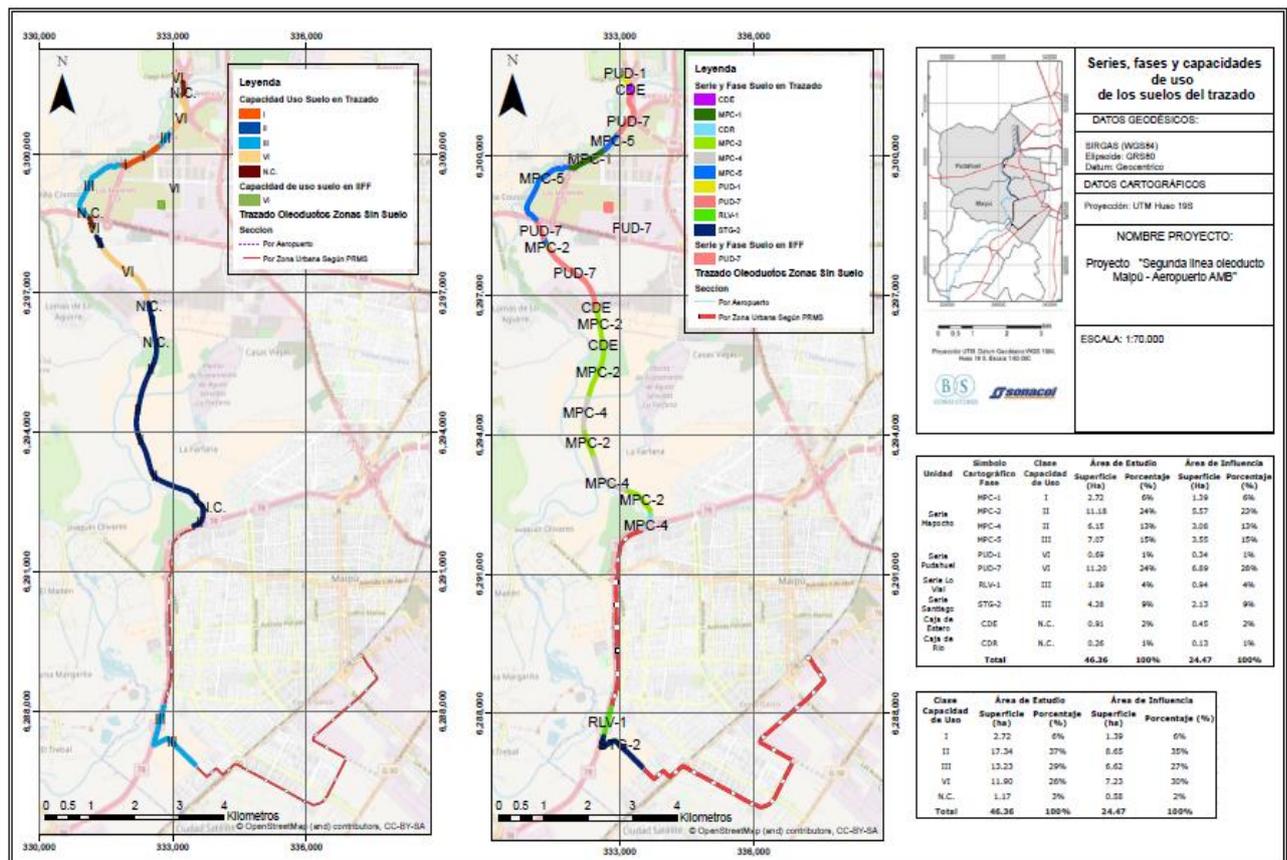
### Descripción General

La Serie Rinconada de Lo Vial está compuesta por suelos aluviales, estratificados y ligeramente profundos, que se presentan en terrazas planas con o sin micro relieve del río Mapocho en los alrededores de Maipú. Sus texturas predominantes son la franco arenosa, arena francosa y arenosa.

### Ubicación, Variaciones y Posición

Región Metropolitana, comuna de Maipú. En el área de interés para el análisis, se puede apreciar en la Figura N°14, que esta serie se presenta en la ruta 78 en el sector suroeste del trazado, en su variante RLV-1, junto a la serie STG-2. La profundidad efectiva del suelo varía entre 43 y 107 cm. El drenaje del suelo varía de bueno a imperfecto. Representa la Serie y corresponde a suelos ligeramente profundos, de textura superficial franco arenosa, bien drenado.

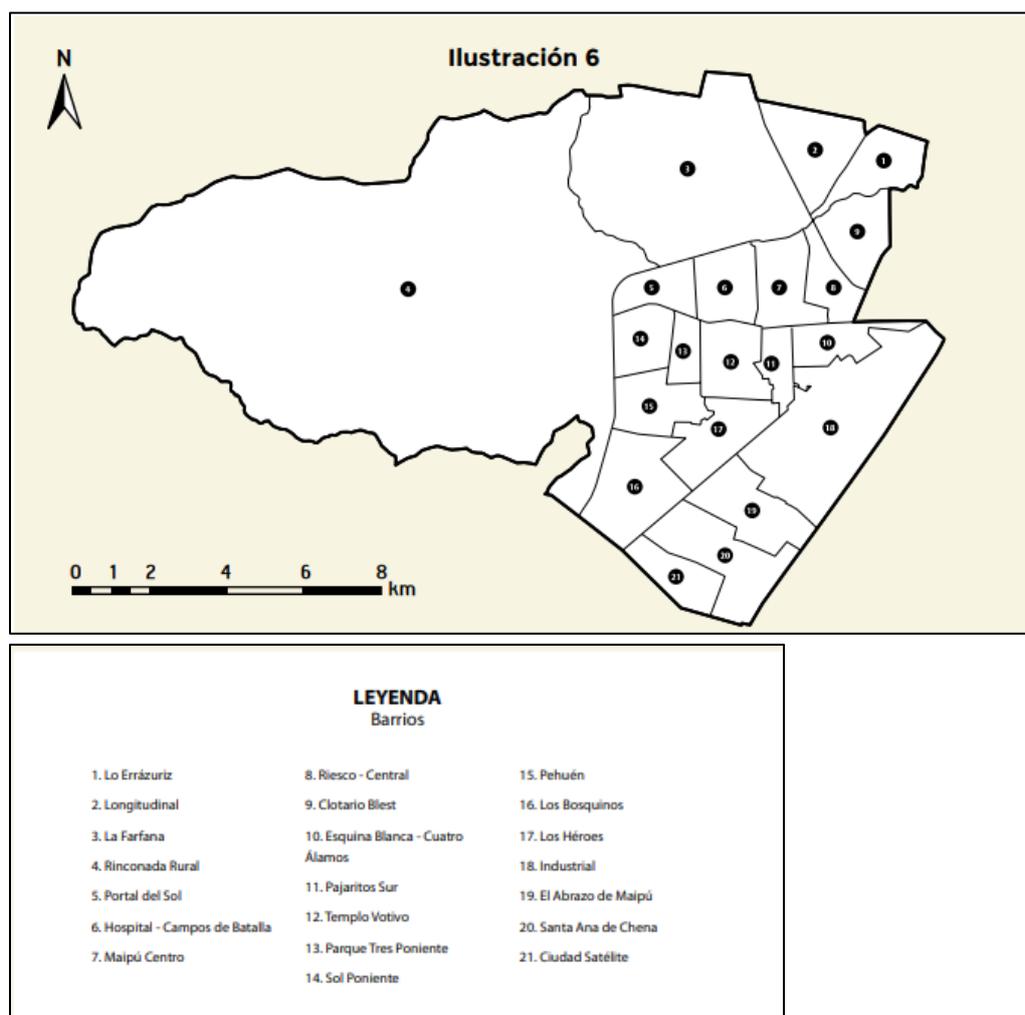
**Figura 14. Cartografía de Series de suelo y fases CIREN en el Área de Estudio**



Fuente: BS Consultores, 2016.

### 1.3.7. DESCRIPCIÓN DE LOS BARRIOS UBICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

**Figura 15. Barrios de la comuna de Maipú**



*Fuente: Municipalidad de Maipú, 2015.*

#### Barrio El Abrazo de Maipú

##### Características, Ubicación y Disposición

Barrio compuesto por sectores de distinta antigüedad. Colinda con los barrios Industrial y Santa Ana de Chena. El Abrazo de Maipú es un barrio de carácter únicamente residencial. El PRC (2004), establece un uso preferentemente habitacional para este barrio (ZH1, ZH2 Y ZH3). Sin embargo, hacia el norte de éste, en la intersección de Camino a Melipilla con Av. Cuatro Poniente, se contempla una reserva para zona de equipamiento con vivienda (ZE5). (Municipalidad de Maipú, 2015).

## Población y Características Socioeconómicas

Según la estimación de SECPLA Maipú del año 2015, en el Barrio El Abrazo de Maipú habitan 34.606 personas, que se distribuyen en los grupos etarios infantil de 0 a 14 (25%) y adulto de 30 a 64 años (46,1%). En el sector priman los estratos “medios” con mayor tendencia a un nivel socioeconómico “medio-bajo”, correspondientes a las categorías C3 y D, respectivamente. Los grupos ocupacionales mayoritarios corresponden a semi calificados (23,4%), seguido por los grupos técnicos (17,6%). Según la información brindada por la encuesta CASEN del año 2013, el sector posee un 7,5% de población vulnerable, bajo las dimensiones de educación, salud, trabajo, seguridad social y vivienda. El barrio cuenta con una densidad habitacional baja en comparación con el contexto comunal, correspondiente a 10.915 habitantes/km<sup>2</sup> (Municipalidad de Maipú, 2015).

Barrio Los Bosquinos

## Características, Ubicación y Disposición

Este barrio constituye uno de los territorios de más reciente poblamiento en la comuna. Los conjuntos habitacionales construidos correspondientes a subsidio tradicional no tienen una antigüedad superior a los 10 años. El barrio limita hacia el norte con el canal Santa Marta, al oriente con la Av. Cuatro Poniente y la calle presidente Gabriel González Videla, al sur con Camino a Melipilla y al poniente con la Autopista del Sol. Se encuentra rodeado por los barrios Pehuén, Los Héroes, Santa Ana de Chena, Ciudad Satélite y Rinconada Rural (Municipalidad de Maipú, 2015).

La normativa del PRC (2004), establece para este barrio zonas de uso preferentemente habitacional (ZH2 y ZH6), con una zona de equipamiento comunitario con vivienda (ZE5) en Camino El Bosque con Camino Vecinal y caracterizando a la Casona del Fundo El Bosque como inmueble de conservación histórica (ICH). Se trata, en consecuencia, de un territorio en proceso de conformación urbana, como también de conformación socio-comunitaria (Municipalidad de Maipú, 2015).

## Población y Características Socioeconómicas

Según estimaciones de SECPLA (2015), el Barrio Los Bosquinos posee 24.762 habitantes, que se distribuyen en los rangos etarios infantil, de 0 a 14 años (25,7%) y adulto, de 30 a 64 años (46%). Según la encuesta CASEN del año 2013, un 6,3% de la población del sector se encuentra en situación de vulnerabilidad según los indicadores de pobreza multidimensional. En términos de caracterización socioeconómica, se trata de un sector de estratos medios, principalmente C2 y C3. Los grupos ocupacionales predominantes son técnicos (23,7%), semi calificado (20,1%), administrativo (14,5%), servicios y comercio (13,4%). El barrio cuenta con una densidad habitacional baja en comparación con el contexto comunal (6.119 habitantes/km<sup>2</sup>) (Municipalidad de Maipú, 2015).

## Barrio Pehuén

### Características, Ubicación y Disposición

Este barrio corresponde a un territorio de reciente poblamiento y toma su nombre del conjunto habitacional que cubre la mayor parte del territorio. Compuesto por viviendas unifamiliares, pareadas, de un piso, para sectores medios “emergentes”. Conviven con ellas dos conjuntos de viviendas sociales; Bernardo O’Higgins (SERVIU) y la villa Isabel Riquelme (PET). El barrio se caracteriza por presentar zonas de uso habitacional por el PRC (2004), correspondientes a las zonas ZH5 y ZH7. Como equipamiento público cuenta desde mediados de la presente década con un Centro de Salud Familiar (CESFAM Dr. Carlos Godoy) y un establecimiento educacional municipal (Liceo Polivalente Enrique Kirberg). En las etapas más recientes se está complementando gradualmente con un par de supermercados, una estación gasolinera y establecimientos menores (Municipalidad de Maipú, 2015).

### Población y Características Socioeconómicas

Según estimaciones de SECPLA (2015), el Barrio Pehuén posee 29.664 habitantes, que se distribuyen en los grupos etarios infantil, de 0 a 14 años (25,2%) y adulto, de 30 a 64 años (45,5%). Según la encuesta CASEN del año 2013, un 9,0% de la población del sector se encuentra en situación de vulnerabilidad según los indicadores de pobreza multidimensional. En cuanto a su caracterización socioeconómica muestra una mixtura entre niveles C3 y C2, con una considerable presencia de estratos medios “emergentes” exhibido al alto porcentaje de trabajadores de nivel técnico (25%). Le siguen semi calificados (17,7%), administrativos (15,4%) y personal de servicios y comercio (13,8%). El barrio cuenta con una densidad habitacional media en el contexto comunal (12.147 habitantes/km<sup>2</sup>) (Municipalidad de Maipú, 2015).

## Barrio Sol Poniente

### Características, Ubicación y Disposición

El Barrio Sol Poniente, constituye el barrio de mayor densidad demográfica, de más explosivo poblamiento y de mayor concentración de demandas sociales de la comuna de Maipú. Se encuentra rodeado por los barrios Portal de Sol, Parque Tres Poniente, Pehuén y Rinconada Rural. Su creación como zona urbanizada surge con la política habitacional del Gobierno, que orientó la oferta habitacional subsidiaria del Estado, mediante viviendas sociales en terrenos de uso tradicionalmente agrícola en comunas periféricas de la Región Metropolitana. Se crearon conjuntos habitacionales en casas de un piso o dúplex (villa San Luis, etapas 4 y 5, e Isabel Riquelme) y en altura (villas Valle de la Esperanza, Divina Providencia, Bernardo O’Higgins, Héroe de Iquique y Javiera Carrera) (Municipalidad de Maipú, 2015).

Desde el punto de vista de la normativa territorial presente en el PRC (2004), el barrio está conformado en su casi totalidad por una zona de uso preferentemente habitacional (ZH7) y por dos zonas especiales destinadas a equipamiento comunitario exclusivo (ZE6), ocupado por el

Liceo San Luis (Av. Las Naciones 2020) y el Liceo Nacional (Av. Portales 2471) (Municipalidad de Maipú, 2015).

### Población y Características Socioeconómicas

Según estimaciones del SECPLA (2015), el Barrio Sol Poniente cuenta con 55.539 habitantes que se distribuyen en los rangos etarios infantil 32,1% entre 0 y 14 años y con un alto porcentaje de población joven (24,2%) entre 15 y 29 años. Según la CASEN (2013), el sector posee un 15,0% de población vulnerable según indicadores de pobreza multidimensional. En su conjunto, el barrio Sol Poniente exhibe un nivel socioeconómico predominantemente bajo, con presencia de estratos medio-bajos y, en tercer término, medio, principalmente de los grupos C3 y D. Los grupos ocupacionales en que se distribuye la población económicamente activa en todo el territorio son el semi calificado (26,9%), seguido por el no calificado (19,2%), servicios y comercio (16,8%) y técnico (11,9%). El barrio posee una densidad poblacional de 28.779 habitantes/km<sup>2</sup> (Municipalidad de Maipú, 2015).

Barrio Portal de Sol

### Características, Ubicación y Disposición

Este barrio es el de más reciente urbanización en la comuna. Limita con el Zanjón de la Aguada, por el norte; la Av. Tres Poniente, por el oriente; Camino Rinconada, por el sur y el límite comunal urbano por el poniente. La normativa vigente, según el PRC (2004), establece para la zona de El Porvenir una zona de uso preferentemente habitacional (ZH-9), con una zona habitacional de densidad condicionada, situada en el borde del límite urbano (al poniente del barrio) y de la Av. Tres Poniente (al oriente). De este mismo modo, se han destinado tres espacios para equipamiento exclusivo (ZE-6) y otras dos para zonas de equipamiento comunitario con vivienda. En la frontera norte del barrio se ubica una franja destinada por el PRMS al Parque Intercomunal Isabel Riquelme (Municipalidad de Maipú, 2015).

### Población y Características Socioeconómicas

Según estimaciones de SECPLA (2015), el Barrio Portal del Sol posee 21.839 habitantes, que se distribuyen en los rangos etarios infantil, de 15 a 29 años (29,8%%) y juvenil, de 15 a 29 años (24,8%%). El barrio cuenta con una densidad habitacional baja, en comparación con el contexto comunal (12.900 habitantes/ km<sup>2</sup>). Según la CASEN del año 2013, el sector posee un 6,8% de población vulnerable según indicadores de pobreza multidimensional. Los grupos socioeconómicos predominantes en el barrio son de estratos medios como C2 y C3. El barrio cuenta con una densidad habitacional baja, en comparación con el contexto comunal (12.900 habitantes/km<sup>2</sup>) (Municipalidad de Maipú, 2015).

## Barrio La Farfana

### Características, Ubicación y Disposición

Este barrio comprende una porción de su territorio inserta dentro del límite urbano y otra fuera de la misma. En la zona normativamente descrita como área excluida al desarrollo urbano, se ubica el tradicional pueblito de La Farfana y el caserío Casas Viejas. Delimitan el barrio la frontera comunal con Pudahuel por el norte; la Av. Américo Vespucio por el oriente; el Zanjón de la Aguada por el sur y el río Mapocho por el poniente. Se encuentra además rodeado por los barrios Longitudinal, Rinconada Rural, Portal del Sol, Hospital-Campos de Batalla, Maipú Centro y Riesco-Central. El PRC (2004) establece en este barrio una extensa zona de uso preferentemente habitacional (ZH-6), con un corredor habitacional de alta densidad (ZH-8) por la Avenida Américo Vespucio. Se contemplan cinco zonas destinadas a equipamiento comunitario exclusivo (ZE-6) y algunas porciones de franja destinada al Parque Intercomunal Isabel Riquelme en el deslinde sur del barrio (en zona ZE-4). Excepcionalmente, existen condominios de viviendas sociales (Villa Parque La Farfana) y no sociales (Jahuel) en altura (Municipalidad de Maipú, 2015).

### Población y Características Socioeconómicas

El Barrio La Farfana posee 54.089 habitantes según estimaciones de SECPLA, 2015, que se distribuye en los grupos etarios infantil, de 0 a 14 años (24%) y adulto, de 30 a 64 años (47%). El Barrio La Farfana cuenta con un 5,3% de población vulnerable según resultados de la CASEN del 2013. El nivel socioeconómico predominante es medio-bajo a bajo. Aquello se puede explicar en cierta medida por la escasez de agua potable y alcantarillado que experimenta la población al encontrarse fuera del área de concesión. El sector muestra un nivel socioeconómico medio que se encuentra principalmente entre los grupos C2 y C3. Sin embargo, podría catalogarse este barrio como el de mayor heterogeneidad socioeconómica relativa, con homogeneidad al interior de los conjuntos residenciales, pero con mayor diferenciación entre villas. Al analizar la composición de los grupos ocupacionales de la población económicamente activa, se constata una predominancia de las categorías técnica (21,5%), semi calificada (17,7%) y administrativa (16,5%). El barrio cuenta con una densidad habitacional baja, en el contexto comunal (3.222 habitantes/km<sup>2</sup>) (Municipalidad de Maipú, 2015).

## Barrio Industrial

### Características, Ubicación y Disposición

Este barrio es uno de los de mayor antigüedad en la comuna, llamado Barrio Industrial gracias a la concentración de industrias establecidas en torno al eje de Camino a Melipilla desde la década de 1940, cuando esta vía era corredor obligado del transporte de carga para embarque hacia el puerto de San Antonio. Es sector sólo contiene zonas de uso industrial y de riesgo, restricción o protección. Colinda por el norte y norponiente con la línea formada por Camino a Melipilla y las calles Alberto Llona, Santa María y Ferrocarril, por el sur y por el oriente

colinda con la población Pizarreño y calle Esquina Blanca, por el oriente con Av. Américo Vespucio, por el sur y sur oriente con Camino a Lonquén y por el sur y sur poniente con calle Judea. Este barrio alberga algunas de las más importantes industrias a nivel nacional, como, por ejemplo, Nestlé, Good Year, Industrias Pizarreño, Caffarena y CINTAC. De esta misma forma, es núcleo de plantas de gas licuado (Gasco y Abastible). En sus límites territoriales sólo incluye pequeños grupos de viviendas en el sector norte de Camino a Melipilla y en el borde de la calle Vicente Reyes. Según el PRC (2004), el sector abarca las zonas ZI1 de uso industrial exclusivo, siendo la más extensa y las zonas ZI2 y ZI3 de transición (Municipalidad de Maipú, 2015).

### Población y Características Socioeconómicas

La cantidad de población que habita en el Barrio Industrial corresponde a 148 habitantes según la estimación de SECPLA Maipú para el año 2015, que se distribuye principalmente en los grupos juvenil, de 14 a 29 años (correspondiente a un 22,8%) y adulto, de 30 a 64 años (correspondiente a un 44,4% de la población). La población residente del barrio posee un nivel socioeconómico “medio-bajo”, correspondiente a grupos D y E. Más de la mitad de la población económicamente activa que habita en el Barrio Industrial corresponde a trabajadores semi calificados (30,5%) y no calificados (28,6%). Según la información brindada por la CASEN del año 2013, el Barrio Industrial posee un 13,3% de población vulnerable, según los indicadores de pobreza multidimensional. El barrio cuenta con la menor densidad habitacional de toda la comuna correspondiente a 15 habitantes por km<sup>2</sup> (Municipalidad de Maipú, 2015).

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar y definir los posibles efectos que en caso de un derrame o fuga de Kerosene de Aviación transportado por el oleoducto del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB en la comuna de Maipú, en los Medios Hídrico, Suelo y Medio Social.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Revisión de antecedentes y material complementario del Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
2. Identificar los impactos asociados respecto a la instalación del Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB para los Medios Hídrico, Suelo y Medio Social de la comuna de Maipú.
3. Evaluación de impactos que integre los tres medios analizados en el territorio (Medio Hídrico, Suelo y Medio Social).

## 2. MARCO O PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 2.1. REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y MATERIAL COMPLEMENTARIO

Para llevar a cabo lo anteriormente mencionado, se hará revisión de documentos para obtener información respecto al medio hídrico, suelo y medio social. Algunos de éstos son: “Anexo 10.25 – Modelo de Transporte de Contaminantes (Kerosene de Aviación)” (BS Consultores, s.f.); “Respuesta por parte de la Municipalidad de Maipú (noviembre 2018) a la ORD N° 1726 (12/11/2018)” del Servicio de Evaluación Ambiental; “Anexo C Parte 1” (BS Consultores, 2016); “Capítulo 3 Sección 3.4” (BS Consultores, 2016); “Capítulo 3 Sección 3.3” (BS Consultores, 2016); “Anexo B, Parte 2” (BS Consultores, 2016); “Informe Final Diseño Monitoreo frente a Derrames de Hidrocarburos” (SAG, 2017); “Atlas Comunal de Maipú” (Municipalidad de Maipú, 2015); “Informe de Percepción del riesgo frente a Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB” (Serrailer, 2019), entre otras fuentes bibliográficas pertinentes.

### 2.2. ELABORACIÓN DE ANÁLISIS DE IMPACTOS ASOCIADOS AL MEDIO HÍDRICO, SUELO Y MEDIO SOCIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para ello, se identificarán los impactos que un accidente en las instalaciones de proyecto pueda generar en las distintas características de los componentes naturales a analizar; como la calidad del agua subterránea, estructura y fertilidad del suelo, así como también en el equilibrio de los ecosistemas, además de la salud y bienestar de la población. Con el objetivo de apoyar y justificar las aseveraciones efectuadas en el análisis, se utilizarán diferentes antecedentes e información de fuentes bibliográficas pertinentes.

#### 2.2.1 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS RESULTADOS MEDIO HÍDRICO Y MEDIO SOCIAL

Para lograr la visualización y complementar el análisis realizado anteriormente respecto a los impactos sobre el medio hídrico, suelo y medio social, haciendo especial énfasis en el peligro por derrame de combustible y su infiltración en el subsuelo y acuífero, así como también en una posible explosión e ignición del combustible en caso de fuga o derrame (y que este tenga contacto con la superficie). Aquellos elementos se elaborarán a partir del software ArcGIS, utilizando su programa ArcMap versión 10.6.

Se utilizarán las siguientes capas en formato Shapefile:

- Pozos Extracción Maipú (Subdirección del Medio Ambiente Maipú, s.f.).
- Estanques Agua Potable (Subdirección del Medio Ambiente Maipú, s.f.).
- División Político Administrativa (IDE, s.f.); División Comunal (BCN, s.f.).
- Trazado del oleoducto (BS Consultores, 2017).
- Área Urbana Santiago (IDE, s.f.).
- Terminal Sonacol Maipú (Elaboración propia, 2021).

Herramientas de programa ArcMap a utilizar:

- KML to Layer: Se creará un punto referente a la localización del Terminal Sonacol en la comuna de Maipú, específicamente el sector de los tanques de almacenamiento de la planta. Aquel punto en formato kmz se exportará a ArcMap 10.6 y convertirá a formato layer utilizando la herramienta descrita.
- Export data as Shape: El layer obtenido de la conversión anterior se exportará a la carpeta de archivos utilizados en formato Shapefile con el fin de ser utilizado para las cartografías a elaborar.
- Clip: Se utilizará para obtener los datos específicos a nivel comunal.
- Buffer: Se utilizará para elaborar el área de influencia de los posibles efectos sobre el medio hídrico, suelo y medio social.

Se elaborarán variadas áreas de influencia para el presente informe, correspondientes a:

1) Cuatro buffer que representan mediante un área de influencia alrededor del oleoducto, los valores obtenidos a través del cálculo de radio y diámetro de una circunferencia que se asume para efectos de esta investigación, como la forma que puede tomar el derrame de combustible del oleoducto. Los cuatro valores obtenidos, corresponden a:

- Escenario N°3 fisura desde el centro de tubería (radio circunferencia): 25 metros.
- Escenario N°3 fisura desde el borde de la tubería (diámetro circunferencia): 50 metros.
- Escenario N°4 fisura desde el centro de tubería (radio circunferencia): 46 metros.
- Escenario N°4 fisura desde el borde de la tubería (diámetro circunferencia): 92 metros.

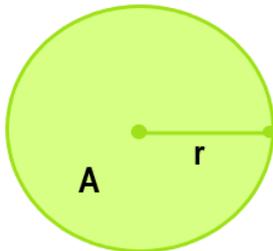
Para poder representar el área de desplazamiento del benceno en el acuífero, se utilizaron los datos expuestos en la tabla N°8 elaborada por BC Consultores (s.f.) en el informe de transporte de contaminantes (Anexo 10.25). Específicamente, los datos de área potencial horizontal de impacto en el acuífero para los escenarios N°3 y N°4 evaluados, representada en metros cuadrados. Ambos escenarios ocurren en suelos gravosos en los cuales el Kerosene de Aviación alcanzaría el acuífero y se expandiría tanto verticalmente (de 123 a 184 metros potencialmente) como horizontalmente, abarcando un área potencial de 2.000 y 6.600 metros cuadrados para el escenario 3 y 4, respectivamente.

Se consideró esta información de área de impacto como una circunferencia que se expandirá originalmente desde una fisura en el oleoducto que podría ocurrir tanto en el centro de la tubería como en los bordes de ésta. Para obtener el resultado conjunto de esta expansión del combustible en los tramos que se encuentran en el área de estudio, se asume una continuidad de circunferencias a lo largo de la extensión de la tubería, las cuales poseerán el mismo valor de área. Para poder obtener el valor de distancia potencial de desplazamiento horizontal de la pluma de benceno en el acuífero, se calculó el radio y diámetro de las circunferencias a partir de las áreas obtenidas por BS Consultores en la aplicación del modelo de transporte de contaminantes (s.f.).

El radio se utilizará para representar la posible expansión horizontal del contaminante asumiendo que la fisura se generó en un sector céntrico de la tubería, mientras que el diámetro calculado se utilizará para representar la expansión horizontal del contaminante de una fisura que podría generarse en los bordes del oleoducto. Esta representación se efectuará por medio de la herramienta *Buffer* del software ArcGIS, en su programa ArcMap versión 10.6.

A continuación (ver Figura N°16) se calculará el radio y diámetro del círculo a utilizar para representar el desplazamiento de derrame de combustible, a partir de los valores de área ya conocidos para los casos N°3 y N°4 del modelo de transporte de contaminantes (BS Consultores, s.f.).

**Figura 16. Radio de Circunferencia**



$$A = \pi * r^2$$

*Fuente: Elaboración propia, 2021.*

**A= 2.000 m<sup>2</sup> (escenario 3)**

$$2.000 \text{ m}^2 = 3,14 * r^2$$

$$2.000 \text{ m}^2 / 3,14 = r^2$$

$$636,9426751592 \text{ m}^2 = r^2$$

$$\sqrt{636,9426751592 \text{ m}^2} = r$$

$$25,2377232563 \text{ m} = r \text{ -----} > (25,2377232563 \text{ m}) * 2 = \text{diámetro}$$

$$25 \text{ m} \approx r \text{ -----} > 50,4754465126 \text{ m} = \text{diámetro}$$

$$\text{-----} > 50 \text{ m} \approx \text{diámetro}$$

**A= 6.600 m<sup>2</sup> (escenario 4)**

$$6.600 \text{ m}^2 = 3,14 * r^2$$

$$6.600 \text{ m}^2 / 3,14 = r^2$$

$$2.101,9108280255 \text{ m}^2 = r^2$$

$$\sqrt{2.101,9108280255 \text{ m}^2} = r$$

$$45,846601052 \text{ m} = r \text{ -----} > (45,846601052 \text{ m}) * 2 = \text{diámetro}$$

$$46 \text{ m} \approx r \text{ -----} > 91,693202104 \text{ m} = \text{diámetro}$$

$$\text{-----} > 92 \text{ m} \approx \text{diámetro}$$

Para esta representación se obvió el sentido de desplazamiento del agua subterránea (dirección Suroeste), puesto que, gracias a la compleja forma del trazado del oleoducto, no era posible representarlo adecuadamente.

2) Un buffer de 500 metros alrededor del oleoducto, representando la magnitud mínima estimada del área de influencia que podría ocasionar una explosión e inflamación del combustible a transportar en caso de que exista una fuga en el oleoducto y el compuesto halle una fuente de ignición cercana. Esta distancia se planteó basado en dos fuentes bibliográficas:

- Testimonios de vecinos de Barrio Los Bosquinos recopilados por Serrailier (2019), los cuales mencionan una fuga de un gasoducto de Sonacol y la evacuación de toda la población aledaña. Se estima que la población o área evacuadas corresponde a la mitad de Barrio, es decir (según la cartografía N°1), 500 metros aproximadamente. A su vez, como explican Batista & Godoy (2011), dos explosiones ocasionadas por hidrocarburos en plantas de almacenamiento y tratamiento de éstos (de gran magnitud) ocasionaron una explosión e incendio que tuvo un área de influencia entre 1.600 y 2.000 metros aproximadamente. Ya que la posible explosión y posible incendio en el oleoducto producto de fuga del compuesto sería de menor magnitud en comparación a los casos anteriormente mencionados (pero podría tener contacto con mayor superficie de la tubería), se planteó un área de impacto de 500 metros. Para la representación cartográfica se obvió el sentido del viento en la comuna de Maipú (Suroeste) (Frick, 2007).

Elaboración de Cartografía:

Se elaborarán dos cartografías, correspondientes a:

1) Área de Influencia (horizontal) del desplazamiento de la pluma de benceno en aguas subterráneas de la comuna de Maipú (Oleoducto M-AAMB). Representando, de esta manera, los Escenarios N°3 y N°4 analizado por el modelo de transporte de contaminantes (BS Consultores, 2016). Escala 1:42.000.

2) Área de Influencia posible explosión por fuga de Kerosene de Aviación en la tubería de Impulsión del Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB. Escala 1:125.000.

### 2.3. ANÁLISIS INTEGRADO DE IMPACTOS

Se realizará una evaluación de impactos que integre los tres medios analizados en el territorio, a partir de la realización de un Análisis Multicriterio que ayude a interpretar, visualizar y comprender de manera conjunta tanto los impactos sobre el medio hídrico y suelo, así como también los impactos sobre el medio social del territorio.

Según Rivera (2001), el análisis multicriterio se puede entender como un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos utilizados para ayudar a las tomas de decisiones, de manera que permita describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos a partir de una evaluación de variados criterios que pueden representar

objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (Colson & de Bruin, 1989 en Barredo, 1996).

Los principales componentes del AMC son: objetivos, criterios (factores y limitantes), regla de decisión, funciones y evaluación. Sus definiciones serían las siguientes (Barredo, 1996 en Rivera, 2001):

a) Los Objetivos: se puede entender como una función a desarrollar.

b) Los Criterios: son aquellos que dan la base para la toma de una decisión, la cual puede ser medida y evaluada. Pueden ser de dos tipos: factores y limitantes. El factor es un criterio que realiza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, éste por lo tanto debe ser medido en una escala continua. Los limitantes son criterios que restringen la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada; con este tipo de criterios se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación, generando una capa binaria (0 o 1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad y el otro, la no disponibilidad para la actividad.

La integración de la AMC y los SIG genera una eficaz herramienta para asistir en procesos de análisis espacial a través del modelado, pudiendo asistir a procesos de planificación urbana, regional y ordenamiento territorial, o bien, realizando operaciones de localización/asignación tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos (Barredo, 1996 en Rivera, 2001).

La combinación del Análisis Multicriterio (AMC) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), brindan herramientas analíticas importantes para la planificación y la toma de decisiones acerca del uso de territorios, permitiendo la integración de varios conjuntos de datos geográficos para producir un mapa final que sea útil para un objetivo específico. Aunque los mapas resultantes pueden hacer referencia a un territorio específico y sus características, los conceptos y procedimientos son aplicables en otros casos y lugares (López-Marrero et al., 2010).

El proceso analítico jerárquico (AHP), es una metodología utilizada para el análisis multicriterio, desarrollada a fines de la década de los 70' por el doctor en matemáticas Thomas L. Saaty. A través del tiempo se ha transformado en una de las metodologías multicriterio más utilizadas. El AHP incluye todos los aspectos del proceso de toma de decisiones: modela el problema a través de una estructura jerárquica, utiliza una escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento/variable por sobre otro, combinando la multiplicidad de escalas correspondientes a los diferentes criterios, sintetiza los juicios emitidos y entrega un ordenamiento y/o ranking de las alternativas de acuerdo con las ponderaciones obtenidas. Una explicación más exhaustiva del funcionamiento de la matriz de comparación desarrollada por T. Saaty, se encuentra en el Anexo 2. Para establecer las prioridades, se deben realizar comparaciones entre elementos de un mismo nivel de importancia. Las matrices de comparación son una de las formas más convenientes para trabajar esta etapa del proceso; en cada elemento de la matriz se ingresa el valor de la preferencia para la variable. Los valores y su explicación respectiva se pueden apreciar en la tabla N°5.

**Tabla 5. Escala Fundamental Para Comparaciones a Pares**

<b>INTENSIDAD</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo.
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta y totalmente clara.
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.
Recíprocos	Si la actividad $i$ se le ha asignado uno de los números distintos a cero mencionados cuando se compara con la actividad $j$ (por ejemplo), entonces $j$ tiene el valor recíproco cuando se la compara con $i$ ( $a_j = 1/a_i$ )	Hipótesis del método.

Fuente: T. Saaty, 1980 en Arancibia et al., s.f.

En AHP integra tanto aspectos cualitativos como cuantitativos en un proceso de decisión, de manera que hace posible incorporar simultáneamente valores personales y pensamiento lógico/fundamentos objetivos en una estructura de análisis, promoviendo la toma de decisiones bajo escenarios de multicriterio, facilitando la obtención de resultados más objetivos, amplios y confiables. Es por esta razón que utilizará para realizar el análisis multicriterio respecto a múltiples variables que poseen relevancia sobre el territorio (Arancibia et al., s.f.).

Este análisis se realizará con el objetivo de poder elaborar dos mapas iniciales mediante el software ArcGIS en su programa ArcMap versión 10.6, correspondientes a un "Mapa de Vulnerabilidad" y un "Mapa de Amenazas", para posteriormente obtener un "Mapa de Riesgo" en el área de estudio frente a posibles impactos que el Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB pudiese generar. La valorización se asigna a partir de recopilación y análisis de fuentes bibliográficas pertinentes, revisión de antecedentes y consulta con un panel de expertos de las diferentes temáticas tratadas en el análisis (por ejemplo; ciencias medioambientales, estudio del riesgo, conflictos socio-territoriales, entre otros).

A continuación, en las tablas N°6 y N°7 se expondrán las variables a utilizar y la justificación de aquellas. Las categorías definidas para la reclasificación de las variables corresponden a: Vulnerabilidad/Amenaza muy Alta; Vulnerabilidad/Amenaza Alta; Vulnerabilidad/Amenaza Media y Vulnerabilidad/Amenaza Menor. Las reclasificaciones de las variables (tanto de Vulnerabilidad como de Amenaza) realizadas en tablas Excel que serán aplicadas en las distintas herramientas del software ArcGIS, se encuentran ilustradas en el Anexo 3. De este mismo modo, la forma de obtención de los archivos utilizados para representar las variables en el software ArcGIS se puede encontrar en el Anexo 5.

**Tabla 6. Variables del Análisis de Vulnerabilidad en el Área de Estudio**

VARIABLE	COMENTARIO	REFERENCIAS
Distancia Área urbana Maipú al Oleoducto	Se considera que, a menor distancia que posea el área urbana del sector poniente de Maipú respecto al Oleoducto, existirá mayor vulnerabilidad sobre la población e infraestructura/áreas verdes en caso de que se genere algún accidente en la tubería, pudiendo verse sumamente afectadas.	ACHS, s.f.; Accesgas, s.f.; SAG, 2007; ISTAS, s.f.
Distancia Pozos Agua Potable SMAPA al Oleoducto	Se considera que, a menor distancia que se encuentren los pozos de agua potable pertenecientes a SMAPA respecto al Oleoducto, existirá mayor vulnerabilidad de estas fuentes de recurso hídrico que abastece a una importante cantidad de población. Pudiendo verse contaminadas en caso de algún accidente que ocurra en la tubería y donde el combustible infiltre hacia el acuífero.	Sonacol & BS Consultores, 2020; Barranco, 2018; Municipalidad de Maipú, 2018.
Densidad Poblacional Barrios	Se considera que mientras mayor sea la densidad poblacional de los barrios del sector poniente de la comuna de Maipú, mayor será la	Serrailler, 2019; Municipalidad de Maipú, 2015;

Sector Poniente Maipú	vulnerabilidad que se presentará frente a un posible accidente de derrame de combustible ocasionado por alguna fisura en el oleoducto. Esto se debería principalmente a la mayor posibilidad de que el combustible derramado encuentre una fuente de ignición de origen antrópico y, además, que un accidente relacionado al derrame de combustible afectaría a mayor porcentaje de población.	Accesgas, s.f.; ISTAS; s.f.
Nivel Socioeconómico Barrios Sector Poniente Maipú	Se considera que, a menor nivel socioeconómico se presente en los barrios del sector poniente de Maipú, mayor será la vulnerabilidad que se posea. Puesto que, a menor nivel socioeconómico, existen menores posibilidades y/o oportunidades para las personas de: poder trasladarse/desplazarse a una zona más segura (alejada del oleoducto), de poder recuperarse de un accidente/evento que afecte negativamente el territorio y su calidad de vida asociado a un derrame de combustible, y de poder acceder a información relevante en torno a estas posibles amenazas.	Astaburuaga, 2014; Castro, 2016; Fragkou, 2018; Espejo, 2010; Gajardo, 2014; Chenaut, 2017.
Ocurrencia/Presencia Aguas Subterráneas comuna de Maipú	Se considera que, a mayor ocurrencia de aguas subterráneas en la comuna de Maipú, existirá mayor vulnerabilidad. Pues se entiende que mientras mayor ocurrencia, mayor será también la posibilidad de que en caso de un derrame de combustible provocado por una fisura en el oleoducto, el compuesto que infiltre por el subsuelo pueda alcanzar aguas subterráneas (que representan un importante recurso hídrico para abastecer a la población de la comuna actualmente).	Sonacol & BS Consultores, 2020; BS Consultores, s.f.; Barranco, 2018.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 7. Variables del Análisis de Amenazas en el Área de Estudio**

VARIABLE	COMENTARIO	REFERENCIAS
Distancia de Desplazamiento Horizontal Hidrocarburo en el acuífero	Se considera que, existirá mayor amenaza en los sectores más cercanos a la posible fisura que ocasione un derrame de hidrocarburo, puesto que el compuesto no se encontrará disuelto/biodegradado de gran manera por los procesos naturales/transporte provocado por el movimiento de aguas subterráneas. Por este motivo, el hidrocarburo se considera una mayor amenaza mientras más cercana se encuentre alguna zona de el origen de una posible fisura. El hidrocarburo afectaría los	Municipalidad de Maipú, 2018; Barranco, 2018; BS Consultores, s.f.

	pozos de agua potable cercanos y al acuífero, que no sólo abastece de recurso hídrico a una gran cantidad de población, sino que, también cumple un rol de estabilizador ecosistémico.	
Área de Ignición Oleoducto provocada por fuga de combustible	Se considera que, a menor distancia, el área de ignición provocada por fuga del combustible del oleoducto generaría mayores daños y/o afectaciones en el territorio y su población, constituyendo entonces, una mayor amenaza. Puesto que el impacto de una explosión y/o incendio es más considerable en sus cercanías que en sectores más alejados del evento.	Serrailier, 2019; BS Consultores, s.f.; Batista & Godoy, 2011; Alonso, 2006; ISTAS, s.f.

*Fuente: Elaboración propia, 2021.*

Para la obtención de archivos de información espacial en formato ráster que representan las variables anteriormente descritas, se utilizaron las siguientes herramientas del programa ArcMap 10.6 (del software ArcGIS):

- Distancia Euclidiana (Spatial Analyst).
- Conversión a de Polígono a Ráster (Conversion Tools).
- Extract by Mask (Spatial Analyst).
- Reclasificación (Spatial Analyst).

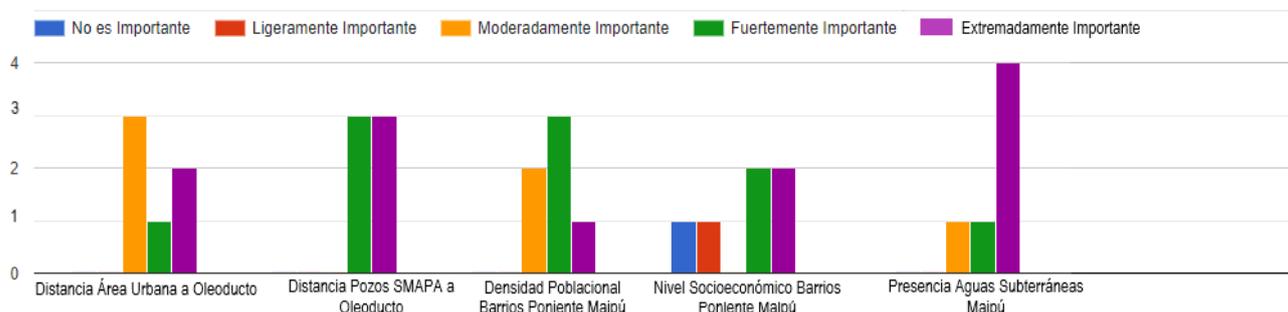
### 2.3.1. CONSULTA A PANEL DE EXPERTOS

Para poder recopilar la información de la consulta a expertos, se elaboró un formulario online que permite a los usuarios escoger diferentes alternativas a las preguntas señaladas. Aquellas alternativas se formularon haciendo referencia a las diferentes valoraciones presentes en la tabla de comparaciones de la AHP, siendo estas modificadas ligeramente con el fin de facilitar la comprensión de las preguntas. Aquellas son: No es Importante; Ligeramente Importante (2 y 3); Moderadamente Importante (4 y 5); Fuertemente Importante (6 y 7) y Extremadamente Importante (8 y 9). Estas respuestas, posteriormente, serán analizadas y comparadas con diferentes fuentes bibliográficas, con el objetivo de asignar un valor fijo y específico a cada factor con el fin de realizar el Análisis Multicriterio.

Se lograron recopilar las respuestas de 6 de expertos de las áreas de: Geomática, Glaciología, Geografía Ambiental, Gestión de Aguas, Geografía Humana y Social, Geomorfología y Estudios de riesgo socio-naturales. Las preguntas formuladas en la consulta y sus diferentes alternativas se encuentran ilustradas en los gráficos N°1 y N°2.

## Gráfico 1. Resumen Respuestas Panel de Expertos Variables Vulnerabilidad

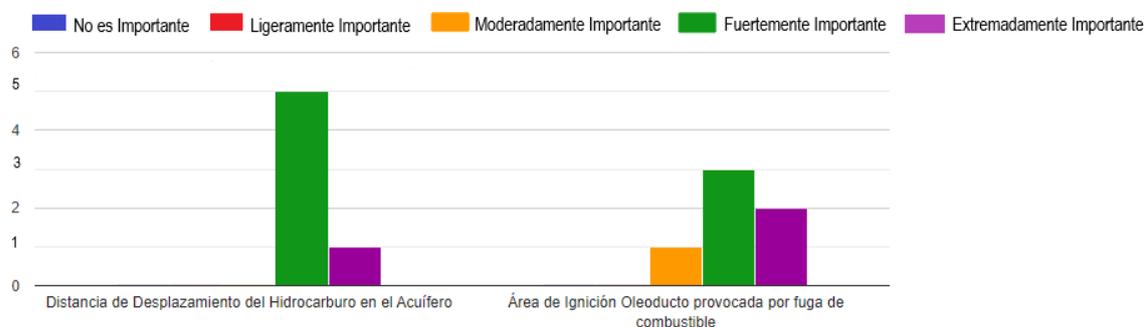
Las siguientes variables, ¿Qué relevancia cree usted que deberían tener en el Análisis de Vulnerabilidad sobre el área de estudio?



Fuente: Elaboración propia, 2021.

## Gráfico 2. Resumen Respuestas Panel de Expertos Variables Amenaza

Las siguientes variables, ¿Qué relevancia cree usted que deberían tener en el Análisis de Amenazas sobre el área de estudio?



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Gracias a la información recopilada por medio de revisión bibliográfica, así como también por parte del juicio y conocimientos del Panel de Expertos fue posible ponderar las diferentes variables utilizadas para la confección del mapa de riesgo. A continuación, en las Tablas N°8 y N°9 se resumirán las distintas variables de vulnerabilidad y de amenaza, junto a su valoración respectiva. La configuración específica de la Matriz de Saaty para las variables de vulnerabilidad y de amenaza se encuentra en el Anexo 4.

**Tabla 8. Variables de Vulnerabilidad y su Valoración**

VARIABLE	VALORACIÓN
Distancia Área urbana Maipú al Oleoducto	5 - Moderadamente Importante

Distancia Pozos Agua Potable SMAPA al Oleoducto	8 - Extremadamente Importante
Densidad Poblacional Barrios Sector Poniente Maipú	7 - Fuertemente Importante
Nivel Socioeconómico Barrios Sector Poniente Maipú	7 - Fuertemente Importante
Ocurrencia/Presencia Aguas Subterráneas comuna de Maipú	9 - Extremadamente Importante

*Fuente: Elaboración propia, 2021.*

**Tabla 9. Variables de Amenaza y su Valoración**

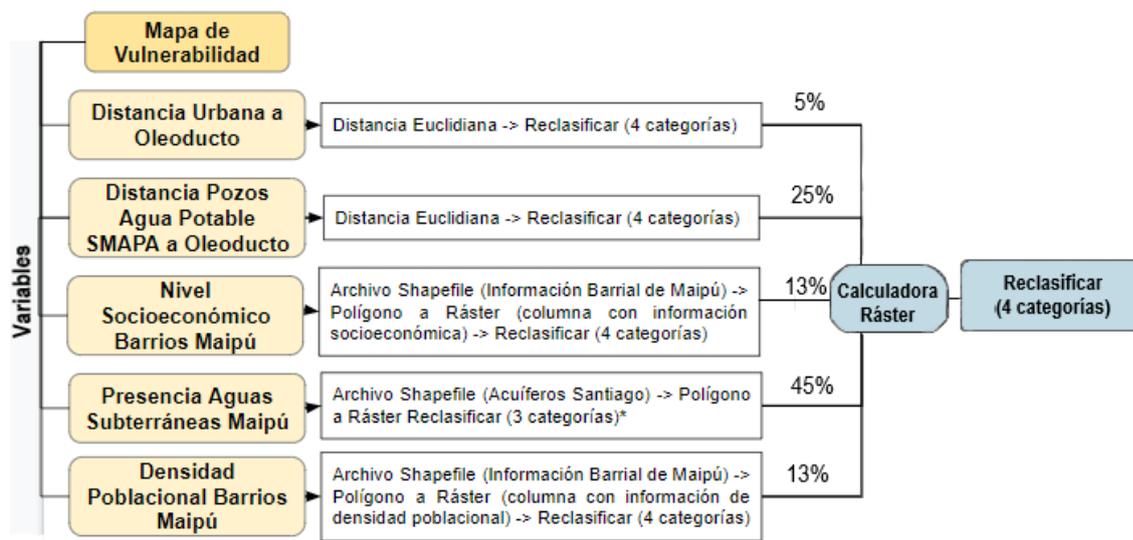
<b>VARIABLE</b>	<b>VALORACIÓN</b>
Distancia de Desplazamiento Horizontal Hidrocarburo en el acuífero	7 - Fuertemente Importante
Posible Área de Ignición Oleoducto provocada por fuga de combustible	8 - Extremadamente Importante

*Fuente: Elaboración propia, 2021.*

### 2.3.2. ELABORACIÓN CARTOGRAFÍAS DE ANÁLISIS INTEGRADO DE IMPACTOS

El proceso de elaboración del Mapa de Vulnerabilidad se explica a continuación en la Figura N°17.

**Figura 17. Proceso Elaboración Mapa de Vulnerabilidad**



\* Al reclasificar aquella variable, sólo se pudieron conseguir 3 de las 4 categorías, pues la información de la categoría 2 (Vulnerabilidad Media), no se encontraba en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El proceso de elaboración del Mapa de Amenaza se explica a continuación en la Figura N°18.

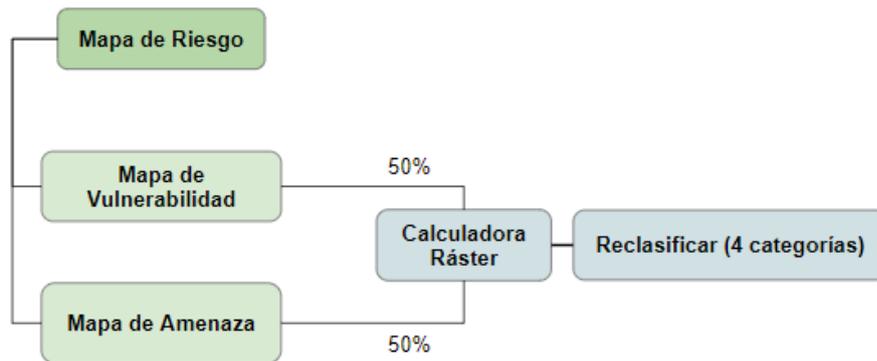
**Figura 18. Proceso Elaboración Mapa de Amenaza**



Fuente: Elaboración propia, 2021.

El proceso de elaboración del Mapa de Riesgo se explicará a continuación (ver figura N°19).

**Figura 19. Proceso Elaboración Mapa de Riesgo**



*Fuente: Elaboración propia, 2021.*

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. MEDIO HÍDRICO

El siguiente análisis se basa en la información presente en el ANEXO 10.25 MODELO CONCEPTUAL DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES, KEROSENE DE AVIACIÓN realizado por la empresa BS Consultores (s.f.) (ver Anexo 1). Aquel informe fue elaborado con el objetivo de comprobar si existe la posibilidad de infiltración de Kerosene de Aviación en el suelo y llegada de éste a las aguas subterráneas (en caso de un derrame de combustible por fallo en el oleoducto). Para ello:

- Se considera un modelo analítico que evalúa la migración del combustible en 3 zonas: zona vadosa o no saturada, franja capilar y zona saturada. En las dos primeras zonas se consideró el transporte del combustible de aviación y en la zona saturada se evaluó el transporte de un componente del combustible, en este caso del Benceno por su toxicidad.
- La resolución del transporte se realizó por medio de fórmulas analíticas y en el caso de la zona saturada se utilizó un programa analítico 2D, denominado “API Interactive LNAPL Guide, versión 2.0” del API (American Petroleum Institute).
- Para efectos de la evaluación se consideró un suelo homogéneo, cuyas características litológicas fueron obtenidas de terreno y bibliografía.
- Se evaluaron cuatro escenarios de fugas. Los escenarios que se definen a evaluar consideran el caudal de diseño de la línea (300-1.000 m<sup>3</sup>/h), las características constructivas del oleoducto, el tipo de suelo y el sistema de alarmas con el que contará la línea. El cálculo y los supuestos establecidos para la estimación de fuga se presenta a continuación:

Los supuestos:

- Flujo inicial de la línea: 300 m<sup>3</sup>/h,
- flujo final la línea: 1000 m<sup>3</sup>/h,
- No hay válvulas de retención en el trazado del oleoducto.
- Se asume un escenario de rotura menor (1% del flujo nominal del oleoducto) y un escenario de rotura mayor (5% del flujo nominal del oleoducto), en ambos casos provocada por la acción de terceros.
- Se asume que en el caso de una fuga del 1% el proceso de detención del oleoducto y cierre de válvulas tomará una hora. En el caso de fuga 5% se asume que este tiempo será de 5 minutos.
- El volumen de derrame se encuentra dado por el volumen que se pierde hasta que se detecta la fuga (en función del tipo de alarma que lo detecta) y por el volumen de descuelgue.

Se escogieron 4 escenarios para representar a la línea del oleoducto, cuyos resultados son extrapolables a lo largo de toda la línea. Se escogieron los volúmenes mayores y menores obtenidos de pérdida de producto (6,25 y 20 m<sup>3</sup>, respectivamente) y, en consideración a los tipos de suelos que existen y a la profundidad del agua subterránea, se les asignan las siguientes características a los escenarios planteados:

**Tabla 10. Escenarios a evaluar**

Escenario	Tipo de suelo	Profundidad de la napa subterránea (m)			Tipo de fuga	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo de fuga (hora)	Caudal de fuga (m <sup>3</sup> /d)
		Tipo	Desde la superficie	Desde el derrame				
1	Limo arcilloso	Mínima	16	12	Mayor (5%)	6.25	≈2	75
2	Limo arcilloso	Mínima	16	12	Menor (1%)	20	3	160
3	grava	Mínima	18	14	Mayor (5%)	6.25	≈2	75
4	grava	Mínima	18	14	Menor (1%)	20	3	160

Fuente: BS Consultores, s.f.

- Se considera un suelo homogéneo correspondiente a un estrato limo arcilloso en el sector norte del trazado (sondajes 5 y 6) y un estrato de grava al centro y sur del trazado (sondajes 1, 2, 3 y 4). Los parámetros hidráulicos del estrato se mantienen constantes espacialmente y a través del tiempo.
- No se consideran pérdidas por evaporación en la zona vadosa debido a que el derrame se produce a profundidad (2 m.b.n.s).
- Se considera un transporte unidimensional del hidrocarburo en la zona vadosa donde el hidrocarburo fluye en la vertical hacia el acuífero, despreciando la dispersión lateral.

- El nivel de la profundidad de la napa varía espacialmente y de acuerdo con el mapa de isopropundidades elaborado para la línea base del proyecto (de 14 a 67 m.b.n.s).
- Para la estimación de la llegada del frente de hidrocarburos a la capa freática se despreció la altura de agua determinada por capilaridad.
- Se consideró una saturación promedio del suelo de 0,5, es decir, un suelo con una humedad media en concordancia con los datos recolectados en terreno. permeabilidad relativa del hidrocarburo o NAPL identificado en las fórmulas 1), 2) y 4) como  $kr$ ,  $NAPL$ . En cuanto a la viscosidad del agua se utilizó un valor de 1 cp. ( $\nu_w=1 \text{ cp}= 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) y una densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup>.
- Se considera que la pérdida de producto ocurre constante a lo largo de un tiempo determinado y no como una rotura (pérdida instantánea).

El análisis que se desarrolla a continuación se basa en los resultados de los escenarios evaluados por el modelo de transporte de contaminantes mencionado anteriormente, específicamente aquellos escenarios de fuga que se encuentran dentro del área de estudio (Escenarios 3 y 4).

**Tabla 11. Resumen de Resultados Escenarios a Evaluar en el Modelo de Transporte de Contaminantes**

Resultados de los escenarios evaluados

Escenario	1	2	3	4
Volumen total del derrame (m <sup>3</sup> )	6,25	20	6,25	20
Tiempo de derrame (h)	2	3	2	3
Nivel napa desde el oleoducto (m bnr)	12	12	14	14
Tipo de suelo	Suelo Limoso	Suelo Limoso	Grava	Grava
Saturación del suelo	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Alcance del hidrocarburo	Zona Vadosa	Zona Vadosa	Acuífero	Acuífero
Profundidad total de avance (m)	<0,5	<0,5	14	14
Profundidad potencial de avance (m)	0,05	0,08	123	184
Área potencial de impacto en el suelo (m <sup>2</sup> )	2.900	6.200	6	14
Espesor del lente de NAPL (m)	-	-	0,22	0,22
Área potencial de impacto en el acuífero (m <sup>2</sup> )	-	-	2.000	6.600
Extensión máxima de concentración de Benceno por sobre la norma (m)	-	-	118	123
Tiempo máximo por sobre la norma (año)	-	-	3,57	4,85

Fuente: BS Consultores, s.f.

### 3.1.1. ANÁLISIS DEL MODELO UTILIZADO

Para la elaboración del modelo de transporte del elemento, la empresa BS Consultores consideró un suelo homogéneo correspondiente a un estrato de limo arcilloso en el sector norte del trazado (sondajes N°5 y N°6) y un estrato de grava al centro y sur del trazado (sondajes N°1; N°2; N°3 y N°4). Para la elaboración del presente análisis, se prestará especial atención

a los sondajes número N°1, N°2 y N°3 efectuados por la empresa consultora mencionada, pues son aquellos que se ubican dentro del área de interés (trazado del oleoducto que pasaría por la comuna de Maipú). Cabe mencionar que el modelo se realizó basado en ensayos e información acerca de suelos de granos gruesos, específicamente, arenas, sin embargo, se aplicó también en escenarios donde los suelos contenían granos de mayor tamaño, como, por ejemplo, grava (que, al ser granos gruesos, si serían aplicables los estudios consultados), así como también a escenarios donde se encontraban tamaño de grano fino, como limos y arcillas, ubicados al norte del trazado (que, podrían poner en duda la aplicabilidad del modelo utilizado debido a que los estudios consultados estaban destinados a ser utilizados en suelos de grano grueso). Los parámetros físicos considerados son:

**Tabla 12. Diámetro de la partícula considerada del suelo**

Litología	diámetro de partícula (mm)	diámetro de cuello de partícula ( $\sigma_{sw} = 0,42 d_p$ ) (m)
Suelo limoso	0,02 (0,02-0,2)	0,0000084
grava	10 (2-20)	0,0042

Fuente: Para el diámetro de partícula se presenta el valor adoptado y en paréntesis el rango del tamaño de partículas, Custodio y Llamas, 1976.

Fuente: BS Consultores, 2016.

Respecto a la consideración de un estrato de grava al sur del trazado de carácter homogéneo

Si bien tal aseveración, en otras ocasiones podría haber conllevado a resultados e información poco verídica, principalmente por la generalización de los datos (en este caso, de la granulometría, geomorfología e hidrogeología de la zona), para la elaboración de este estudio si es aplicable el nivel de síntesis de los datos.

Aquello se justifica ya que, según los antecedentes Geológicos y Geomorfológicos de la zona de interés para el análisis, la comuna de Maipú se ubica sobre la unidad geológica Qamp, correspondiente a depósitos no consolidados del río Maipo (generalmente más permeables), a los que se le atribuyen suelos de buen drenaje, características que poseen los suelos compuestos por materiales de gran tamaño, como arenas y gravas. Siguiendo esta misma línea, según los antecedentes geomorfológicos, el área de interés se emplaza sobre la unidad Qal, correspondiente a la llanura aluvial de los ríos Mapocho y Maipo, asociada a gravas fluviales, compuestas por material tamaño grava y gravas arenosas (Lorca, 2018; BS Consultores, 2016). De esta misma manera, según la información entregada por los sondajes realizados en el área de interés por la empresa BS Consultores, las características granulométricas subsuperficiales, profundidad y niveles de humedad de los suelos en los primeros tres sondajes corresponden a:

Sondaje N°1: Barrio el Abrazo Maipú, Grava arenosa superficial.

Sondaje N°2: Barrio Los Bosquinos; 0 cm - 30 cm profundidad limo arenoso-gravoso con humedad baja; 30 cm - indefinida profundidad grava

Sondaje N°3: Barrio Portal del Sol; 0 cm - 10 cm profundidad suelo vegetal; 10 cm - 135 cm profundidad relleno artificial; 135cm - indefinida profundidad grava.

Además, según el estudio elaborado por Morales (2002), la unidad hidrogeológica de mayor prevalencia aplicable a la zona de interés para el presente análisis corresponde a la Unidad Hidrogeológica B; compuesta por gravas arenosas y arenas gravosas. Además, está constituida por sedimentos de granulometría gruesa y por una fracción clástica mayor de gravas, arenas gruesas y gravas muy gruesas, manteniendo en todos los casos su carácter de buena permeabilidad, estimándose una de entre 10-2 a 10-4 cm/s. Esta unidad alberga el acuífero relevante para la zona de interés. Los depósitos que son susceptibles a contener acuíferos son el abanico aluvial del río Mapocho y Maipo, además de los depósitos fluviales, unidades geológicas y geomorfológicas anteriormente descritas, presentes en el área de interés (comuna de Maipú). Morales (2002), reconoce una potencia/profundidad de 100 a 130 metros para esta unidad. Como se puede apreciar en la columna estratigráfica Zona Sur (columna aplicable al área de interés de análisis), presentadas por Lorca (2018), en el primer estrato de ésta, se encuentran materiales tamaño grava (70%) y arena (30%); en los siguientes tres estratos, se presenta la Unidad Hidrogeológica B descrita por Morales (2002), compuesta principalmente por grava (con 70%, 80% y 50% por estrato respectivamente) y arena (20%, 20% y 40%, respectivamente). Según la revisión de antecedentes granulométricos, hidrogeológicos y geomorfológicos del área de interés, es posible notar una prevalencia de material tamaño grava y gravas arenosas, lo que justificaría la aseveración y generalización efectuada por la empresa BS Consultores en la aplicación del modelo de transporte del combustible Kerosene de Aviación a través del subsuelo.

### 3.1.2. ANÁLISIS DE IMPACTOS MEDIO HÍDRICO EN DIFERENTES TRAMOS

#### Tramo en el cruce con el canal Zanjón de La Aguada

Este tramo se localiza en suelo de grava, con una profundidad de la napa de 14,0 m desde la tubería. Para ambos escenarios 3 y 4, el producto derramado alcanza el acuífero, con un área de impacto en el suelo que va desde 6 a 14 m<sup>2</sup> para caudales de fuga entre 75 y 160m<sup>3</sup>/d (con una duración de 2 y 3 horas, respectivamente). El lente de LNAPL calculado tiene un espesor de 0,22 m y un área de 2.000 y 6.600 m<sup>2</sup>, para los caudales de fuga evaluados de 75 y 160 m<sup>3</sup>/d, respectivamente. La pluma de contaminación de benceno por sobre la Norma Chilena 409/06 de Agua Potable (10 ug/L) alcanzaría una extensión entre 118 y 123 m para ambos escenarios, cuyos valores disminuyen bajo el umbral establecido por la norma, a los 4 y 5 años (respectivamente) transcurrida la fuga debido a los procesos de dispersión, absorción y biodegradación presente en el transporte (ver Figura N°20).

La información expuesta anteriormente confirma que, tanto para la fuga de 1% de combustible, como para la fuga de 5% del combustible, el producto lograría llegar al acuífero, ubicado a 14 metros bajo la tubería, es decir, a 16 metros (aproximadamente) bajo la superficie, alcanzando una extensión entre 118 y 123 metros de profundidad que disminuirían al cabo de 4 a 5 años, poniendo en peligro las aguas subterráneas por medio de las cuales se abastece de agua potable a la población de Maipú. Además, no se puede descartar la posibilidad de ascensión del combustible o de algunos de sus componentes hasta el cauce del canal Zanjón de La Aguada, por medio de “lentes de arcilla” o de algún otro material de grano pequeño y con mayor

permeabilidad que conduzca al combustible hacia las aguas superficiales. Esta posibilidad está justificada gracias a la presencia de la unidad geomorfológica Qaf, correspondiente a la llanura de inundación del río Mapocho, así como también los canales de regadío que cruzan paralelos al trazado del oleoducto, como es el caso del canal Zanjón de La Aguada. Esta geoforma está asociada a los depósitos fluviales recientes definidos por Leyton et al. (2010), conformados por materiales que varían desde tamaño limo hasta tamaño grava (Frick, 2007; Vergara & Verdugo, 2015). Además, es posible identificar la Unidad hidrogeológica A, identificada por Morales (2002) como limos arcillosos y arcillas limosas, más o menos arenosos gravosos, caracterizada por presentar granulometría fina. Gracias a su alto contenido de materiales de tamaño fino, la unidad posee baja permeabilidad y se estima un espesor mínimo de más de 200 metros de profundidad. En las columnas estratigráficas presentadas por Lorca (2018), es posible identificar la columna de la zona centro como aquella más cercana a la intersección del trazado del oleoducto con el canal Zanjón de La Aguada. En esta columna es posible identificar en el primer estrato la Unidad A (de materiales finos) y, bajo esta, la Unidad B que contiene al acuífero de Santiago. Gracias a la información presentada es posible plantear que, en caso de que el combustible logre penetrar hacia el subsuelo, es posible que éste o ciertos compuestos del kerosene sean transportados a través de lentes de arcilla o material fino poco permeable hasta la superficie del cauce o hasta cercanías de ésta, por ejemplo, a través de lentes arcillosos correspondientes a materiales de la Unidad Hidrogeológica A (Morales, 2002 en BS Consultores, 2016) y luego, conducidos por los materiales finos de la unidad geomorfológica Qaf (Leyton et al., 2010; BS Consultores, 2016).

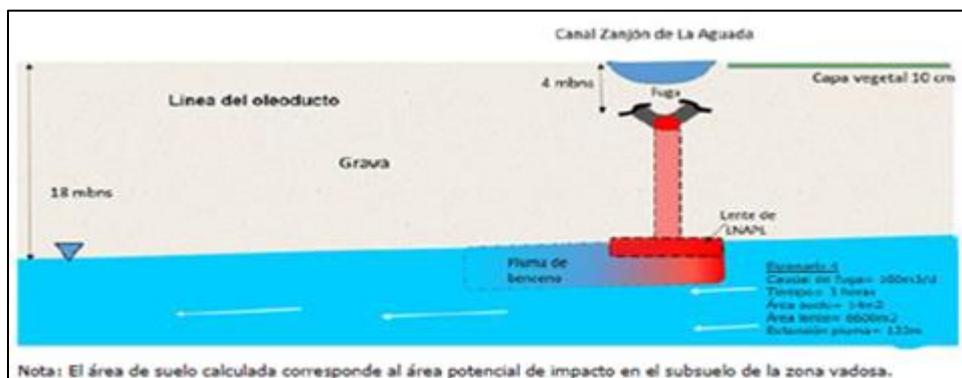
Cabe mencionar que la presencia de Kerosene de Aviación en las aguas superficiales supondría una gran amenaza para el ecosistema, debido a sus características de inestabilidad y permanencia en los cuerpos de agua al no ser soluble en ésta. Por una parte, podría intervenir y dañar la fauna y flora que tenga contacto con el cauce contaminado y, además, podría ocasionar graves daños a la población si las aguas se utilizan para el riego de alimentos para el consumo humano, pudiendo generar intoxicaciones. Otros peligros que el Kerosene de aviación representa para el medio humano y el medio ambiente pueden ser (BS Consultores, s.f.):

- Por exposición aguda al combustible: Irritación de la piel, náuseas, dolores de cabeza, depresión del sistema nervioso central, mareos y congestión respiratoria.
- Por inhalación: Irritación de mucosas, asfixia, pérdida de coordinación muscular, visión borrosa, convulsiones.
- Para el medio ambiente: Tóxico para flora y fauna, la ingesta del combustible puede ocasionar una grave intoxicación y hasta la muerte.

Si bien el titular de proyecto asegura que en la intersección del oleoducto con el canal Zanjón de La Aguada, la tubería será instalada a 2 metros de profundidad con respecto al cauce del canal y, además, que este será revestido con una cobertura de acero corrugado denominado Tunnel Liner, la cual posee gran resistencia frente al movimiento del subsuelo, así como también a posibles fisuras generadas por presión o acciones de terceros, ésta sólo cubriría 38 metros de extensión del oleoducto. Aquello dejaría al descubierto una porción considerable de la tubería que estaría propensa a fisuras y, por ende, a generar un derrame de producto en el

subsuelo que puede infiltrarse hasta alcanzar el acuífero y, además, en cercanías de la Unidad Hidrogeológica A, puede ser transportado por lentes de arcilla y/o limos hasta las aguas superficiales del canal aguas abajo (siguiendo la dirección del movimiento de las aguas subterráneas hacia el suroeste).

**Figura 20. Caracterización de un derrame en el sector del Zanjón de la Aguada**



Fuente: BS Consultores, 2016.

#### Tramo cercano al pozo de Agua Potable de SMAPA

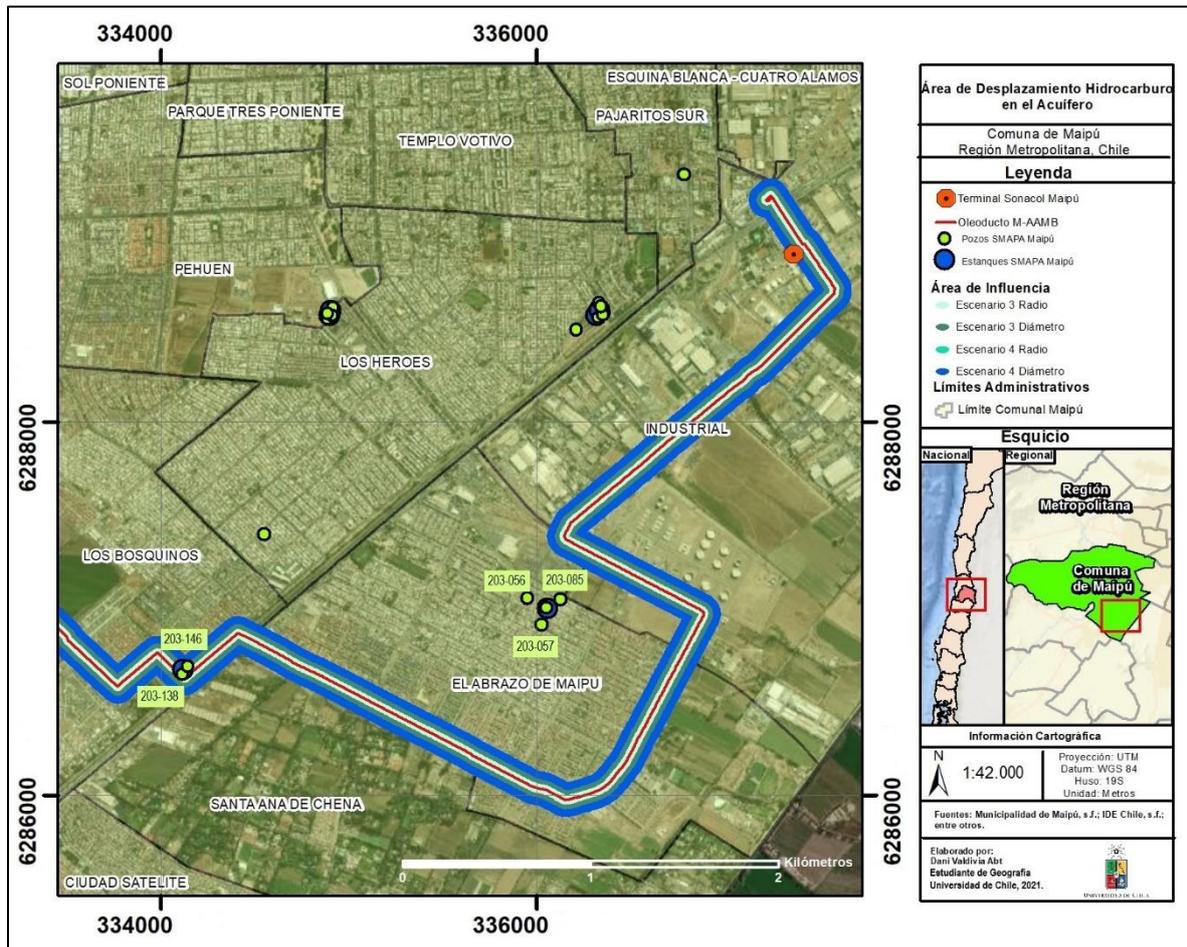
Este tramo se localiza en suelo de grava con una profundidad de la napa de 45 m desde la tubería. Cabe destacar, que, a menos de 10 m aguas arriba del trazado se encuentra el pozo de agua potable de SMAPA 203-138 (y extremadamente cercano también al pozo 204-146), ubicado en el barrio El Abrazo de Maipú. Para ambos escenarios de volumen derramado 3 y 4, el producto alcanza el acuífero con un área de impacto en el suelo que va de 6 a 14 m<sup>2</sup> para caudales de fuga entre 75 y 160 m<sup>3</sup>/d (con una duración de 2 y 3 horas, respectivamente). El lente de LNAPL calculado tiene un espesor de 0,22 m y un área de 2.000 y 6.600 m<sup>2</sup>, para los caudales de fuga evaluados de 75 y 160 m<sup>3</sup>/d, respectivamente. La pluma de contaminación de benceno por sobre la Norma Chilena 409/06 de Agua Potable (10 ug/L) alcanzaría una extensión de entre 118 a 123 m, respectivamente, cuyos valores disminuyen bajo la norma entre 4 y 5 años respectivamente transcurrida la fuga debido a los procesos de dispersión, absorción y biodegradación presente en el transporte. Si bien, el producto derramado se localiza principalmente en la zona freática, el bombeo del pozo de producción podría inducir un flujo preferente y movilizar los componentes del combustible junto con el agua hacia el pozo.

Este resultado denota el grave peligro que corre el abastecimiento de agua potable de para la comuna de Maipú, en el caso de la generación de una fisura en el oleoducto, puesto que el combustible, dadas las características granulométricas subsuperficiales, lograría infiltrarse hasta llegar al acuífero, ubicado a 45 metros de profundidad en el sector mencionado (y tan sólo a 10 metros del pozo SMAPA 203-138) (BS Consultores, 2017; Lorca, 2018).

Los pozos 203-056, 203-057 y 203-085 también correrían peligro de ser contaminados, pues se ubican a menos de 500 metros del trazado en dirección suroeste, muy cercanos uno del otro, en el barrio El Abrazo de Maipú (ver Figura N°21). Los pozos mencionados se ubican sobre la

unidad geomorfológica Qal, asociada a los depósitos no consolidados del río Maipo, compuestos por gravas fluviales y gravas arenosas (materiales con buen drenaje), y por sobre la unidad hidrogeológica B (Morales, 2002), compuesta por gravas arenosas y arenas gravosas, que posee buena permeabilidad, constituyendo el acuífero relevante en la zona de interés, siendo los depósitos fluviales del río Mapocho y río Maipo (unidad geomorfológica descrita anteriormente) aquellos que se encuentran más susceptibles a contener aguas subterráneas. En aquella ubicación, el nivel del nivel freático se ubica entre 50 a 60 metros de profundidad (BS Consultores, 2017; Lorca, 2018) y, ya que la pluma de benceno alcanzaría una extensión entre 118 metros a 123 metros de profundidad, este compuesto contaminante, alcanzaría el acuífero en suelos que estuviesen constituidos mayoritariamente por material tamaño grava. Gracias tanto al movimiento de las aguas subterráneas que transportan el recurso hídrico hacia el suroeste (Sernageomin, 2003; Lorca, 2018), así como también al bombeo de los pozos (BS Consultores, 2017), el componente benceno, en caso de que se encontrara el nivel freático, sería transportado y/o movilizado preferentemente hacia los pozos mencionados. En el caso de que se presente una emergencia referente a una fuga del producto a transportar en el oleoducto, los daños que aquello puede provocar, como se ha mencionado anteriormente, pueden dejar sin suministro de agua potable a 34.606 habitantes del Barrio El Abrazo de Maipú (Municipalidad de Maipú, 2015).

**Figura 21. Cartografía del Área de Influencia Desplazamiento Hidrocarburo en Aguas Subterráneas**



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cabe mencionar, además, que el modelo elaborado para calcular los posibles impactos del derrame de combustible de aviación gracias a una fisura en el oleoducto, se efectuó utilizando un valor de vida media del benceno correspondiente a 90 días (compuesto evaluado), sin embargo, según la bibliografía a la que la empresa BS Consultores hace alusión, este compuesto, además de ser insoluble en agua (como el Kerosene de Aviación), puede tener una vida de hasta 789 días, es decir, más de dos años (Chiao, 1994 en BS Consultores, 2017). Este dato es relevante, puesto que a partir del término de vida media del benceno se calculan aproximadamente entre 4 a 5 años para que los valores de este compuesto disminuyan bajo la norma chilena gracias a procesos naturales de dispersión, absorción y biodegradación de las aguas subterráneas, luego de 90 días de vida del benceno, es decir, 3 meses. En el caso de que la vida media del benceno se extendiera hasta su máximo, el tiempo en que las aguas subterráneas y el suelo contaminado con el Kerosene de Aviación (en caso de que ocurriera una fisura en el oleoducto), podría contemplar hasta 7 años (tiempo máximo estimado), entregando tiempo suficiente para que este compuesto se transporte por el acuífero hasta distancias superiores a las calculadas por el modelo realizado por la empresa BS Consultores.

### Tramos con Potencial Medio de Impacto

Según BS Consultores (s.f.), los sectores del trazado que se enmarcan en esta categoría de Medio Impacto cumplen con los criterios que generan preocupación frente a una posible contaminación del recurso hídrico debido a la existencia de una pérdida del producto a transportar. En este ámbito, la información utilizada se basa en el reconocimiento de cuerpos de aguas cercanos que pudieran ser afectados, ya sean subterráneos o superficiales, y que no han sido incluidos en la categoría de Alto Impacto puesto que se estima que la propagación de los impactos una vez alcanzado el recurso hídrico, se produce a una tasa inferior que en la categoría anterior o que las aguas subterráneas en este sector no van directamente destinadas a consumo humano actual. Sin embargo, es importante resaltar la relevancia intrínseca de las aguas subterráneas, estén siendo utilizadas para el consumo humano directo en la actualidad o no.

Además, es sumamente relevante considerar la importancia del agua subterránea para sociedades que habitan en climas semiáridos y áridos, o se encuentran pasando por un periodo de sequía extendido, puesto que este recurso podría llegar a transformarse en su única fuente de abastecimiento (Barranco, 2018). Esta última situación es el escenario actual al cual se ve enfrentada la Región Metropolitana de Chile, pues hace más de diez años que la zona sufre una “mega sequía”. Si bien, este tipo de fenómenos generalmente son cíclicos, este en particular ha sido más largo y con mayor alcance geográfico, lo que, según diversos estudios, lo vuelven una anomalía atribuible al cambio climático. Algunas consecuencias que el cambio climático podría traer para la Zona Central de Chile respecto a las aguas superficiales y subterráneas podrían ser (Santibáñez, 2018):

- Disminución del número de días de lluvia.
- Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida.

Esto es relevante puesto que ambos ríos que cruzan la Región Metropolitana tienen un régimen nival, por ende, la disminución de la precipitación sólida puede indicar una disminución también de la cantidad del recurso hídrico superficial con el que se abastece una gran parte de la Región. El sistema de captación de agua superficial para la Región Metropolitana depende en un 70% del río Maipo, el cual es sumamente sensible a los niveles de turbiedad que puedan presentarse.

- Aumento de la evapotranspiración y requerimientos de riego.
- Posible disminución de la recarga de los acuíferos.

El estado del Embalse el Yeso, en la Región Metropolitana, el pasado enero del 2020, almacenando únicamente un 27% de su capacidad en agua, es una señal inminente de la escasez hídrica que está enfrentando la región. Esta situación es alarmante, ya que este embalse es una de las fuentes principales de agua potable para la capital. Las razones que justifican esta situación incluyen tanto factores como el cambio climático, así como también factores de origen antrópico. Entre los primeros, se incluye la reducción de los niveles de precipitación alrededor del 30% en la zona central durante el último siglo, la mega sequía que afecta al país desde el año 2010 atribuible al cambio climático, un empobrecimiento del ciclo hidrológico, ya que la línea de nieves ha subido entre 300 y 400 metros, lo cual significa que la cubierta

total de nieve se ha reducido en cientos de km cuadrados, y, ahora, en donde el agua antes caía en forma sólida y podía alimentar por mayor tiempo los cauces de los que se abastece la Región Metropolitana, ahora escurre directamente al mar, pues existe una aceleración de la escorrentía por el aumento de la precipitación líquida (Santibáñez, 2018). A esto, se le suman factores de origen antrópico, como la construcción en las cuencas, lo que dificulta la infiltración del agua lluvia en las napas subterráneas, la deforestación de las partes altas de las cuencas y el aumento sostenido del consumo de agua en los últimos años, tanto por la concentración urbana como por la expansión del sector agrícola. Esta última actividad, concentra más del 70% del consumo nacional, mientras que el agua potable sólo representa un 2% del total (Prensa Universidad de Chile, 2020). El cambio climático producirá en muchas regiones un clima más seco. Por lo tanto, el acceso al agua en aquellos lugares será cada vez más difícil, como ya se está pudiendo comprobar en la Región Metropolitana. Esto posiciona a las aguas subterráneas como una de las principales reservas mundiales de agua potable para abastecer a la población, así como una reserva estratégica para luchar contra las sequías y contaminación del agua superficial.

La importancia del agua subterránea no sólo radica en ser una de las principales fuentes de agua para el consumo humano, sino que, además, su papel ecológico es fundamental para mantener el equilibrio de los ecosistemas y el desarrollo de todos los seres vivos (Vargas, 2012 en Barranco, 2018).

Un tipo de procesos donde el agua subterránea juega un rol primordial en el funcionamiento de los ecosistemas es cuando el agua subterránea, si bien, no llega a emerger hacia la superficie, humedece el subsuelo y favorece el crecimiento de la vegetación. Hay zonas donde coexisten diferentes tipos de vegetación pese a no contar con alguna fuente de agua superficial próxima, sin embargo, las plantas obtienen la humedad necesaria para su crecimiento de agua subterránea infiltrada en el subsuelo, la cual puede encontrarse a tan sólo unos pocos metros de profundidad. Por lo tanto, cualquier factor que incida en la cantidad y calidad del agua subsuperficial, no sólo repercute en el propio estado de los acuíferos, sino que también en el mantenimiento y equilibrio de varios ecosistemas naturales que directa o indirectamente dependen del recurso hídrico subterráneo (Barranco, 2018). Un gran porcentaje de la fertilidad de los suelos de Maipú y de su capacidad para la mantención de la vegetación, recae en la presencia del acuífero de Santiago, encontrado a niveles someros bajo la superficie.

Gracias a la información expuesta anteriormente, es posible plantear que la infiltración de contaminantes hacia las aguas subterráneas pone en peligro el equilibrio natural de los acuíferos y de los ecosistemas, además de comprometer el abastecimiento de agua potable futuro para la población (Barranco, 2018). La población de Maipú depende únicamente de los servicios que otorga SMAPA para el abastecimiento de agua potable, obtenida a partir de bombeo de pozos que almacenan agua subterránea. Gracias a la creciente demanda del recurso hídrico en la Región, debido a la mega sequía que está experimentando el país y al crecimiento poblacional y expansión urbana que se puede apreciar claramente en la comuna de Maipú (segunda comuna más poblada del país después de Puente Alto que para el año 2017 poseía una población de 521.627 habitantes con un crecimiento de 11,37% respecto al Censo del año 2002 y, según las proyecciones, un incremento del 11,97% respecto al Censo 2017 para el año 2021, con un total

de 584.053 habitantes), es factible plantear que, en un futuro próximo será necesaria la instalación de una mayor cantidad de pozos en la comuna para poder abastecer de manera efectiva a la creciente población (BCN, 2017; BCN, 2021). Por ende, la contaminación del acuífero, en especial en sectores en los que aún no se han establecido pozos de bombeo, es preocupante, pues supondría un impedimento para la extracción del recurso hídrico a futuro, en especial si la pluma de contaminación demora entre 4 a 5 años en decaer. Siguiendo esta línea, cabe mencionar que el informe elaborado el año 2020 por el titular del proyecto a analizar (Sonacol), respecto al derrame ocurrido en Concón el año 2001, denota que, un accidente por filtración de hidrocarburos podría contaminar el agua subterránea por más de una década (Sonacol & BS Consultores, 2020), tensionando aún más la disponibilidad futura del recurso hídrico.

Además, gracias a las condiciones de escasez hídrica y mega sequía en la que se encuentra la Región Metropolitana, el acuífero de Santiago y empresas como SMAPA, cumplirán con un rol fundamental; como un núcleo estratégico para hacerle frente a la sequía y tensión hídrica que enfrentaría la región en los próximos años.

### 3.1.3. VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

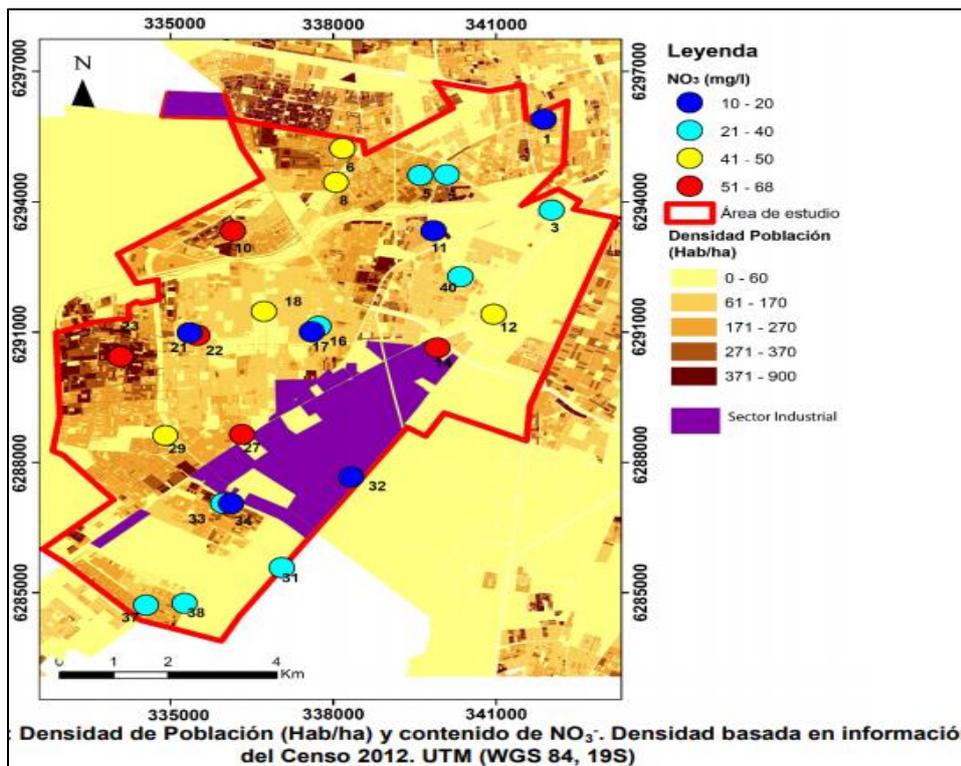
Para abastecer a cerca de un millón de habitantes de las comunas de Maipú, Cerrillos y parte de Estación Central, SMAPA produce más de 90 millones de metros cúbicos anuales de agua potable, a través de 82 pozos profundos (de un total existente de 143), con un caudal de producción promedio anual de 4.500 L/s. A la fecha, el territorio que abastece SMAPA, cuenta con una cobertura en agua potable del 100% y un 99,8% de alcantarillado (SMAPA Online, 2017 en Lorca, 2018). La profundidad de perforación de los sondajes y pozos realizados por SMAPA ha ido aumentando con el tiempo. Los primeros pozos eran de 50 metros de profundidad, sin embargo, debido al descenso gradual del nivel freático, aquellos pozos disminuyeron paulatinamente su caudal de producción, haciendo necesario perforar más profundamente (100 a 150 metros bajo la superficie). Actualmente, la mayoría de los pozos menores a 100 metros de profundidad se encuentran fuera de uso o abandonados. Posteriormente, y gracias al aumento de las concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el nivel freático, SMAPA se vio en la necesidad de profundizar nuevamente sus pozos, llegando a los 300 metros, obteniendo así una mejora sustancial en la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Lorca, 2018).

Lorca (2018) ha podido reconocer posibles focos de contaminación responsables de las concentraciones más elevadas de NO<sub>3</sub>, asociadas a las zonas de mayor densidad de población, correspondientes a las zonas de mayor antigüedad de sus redes de distribución de agua potable y alcantarillado, lo cual podría significar que la filtración de este tipo de agua (residuos domésticos), sería un proceso de origen antrópico relevante en el área de estudio y presente en varios puntos. Las fuentes puntuales identificadas corresponden a cementerios ubicados cerca e incluso dentro del área de estudio, debido a la descomposición de los cuerpos y al riego excesivo, que moviliza el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> hacia el acuífero, y además, la planta de tratamiento de aguas servidas de la Farfana, ubicada hacia el norte de la comuna, que, en caso de que se generen filtraciones en sus tuberías y/o piscinas, contribuiría a la infiltración de altos contenidos de

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, además de Cl<sup>-</sup> y bacterias hacia las aguas subsuperficiales. Las muestras ubicadas al sur del área, donde se desarrolla la mayor actividad agrícola, presentan las menores concentraciones del anión NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, lo que indicaría que estas actividades no son un factor de primer orden en la contaminación del acuífero (Lorca, 2018), sin embargo, sigue estando presente la amenaza de posible contaminación por filtraciones de otras fuentes.

Otro factor que es necesario recalcar es la vulnerabilidad (referida a la incapacidad del sistema para absorber alteraciones de cualquier fuente sin que modifique sus valores naturales) que presenta el acuífero en el sector de la comuna de Maipú, específicamente en el sector donde se instalaría el Tramo N°2 de la Tubería de Impulsión. Como se puede apreciar en la Figura N°12, hacia el sur del área de estudio, el trazado del oleoducto atraviesa un sector del acuífero profundo, caracterizándose por tener una Vulnerabilidad Alta. Para el caso del acuífero en profundidad, el grado de vulnerabilidad puede incrementar gracias a la ocurrencia de altos niveles de saturación en la zona no Saturada, produciendo, así, un aumento en la conductividad hidráulica de la zona. Además, la cartografía muestra la potencial contaminación hacia los recursos hídricos en el área de estudio, pudiendo observarse que hacia el sur del trazado, y en la zona de interés para este análisis, se concentran fuentes puntuales de contaminación por hidrocarburos y Zonas Industriales. En estos sectores, dadas las características mencionadas anteriormente, podría ocurrir contaminación directa a través de derrames accidentales o infiltraciones en la superficie (Iriarte, 2003 en BS Consultores, 2016).

**Figura 22. Cartografía de Densidad de Población habitante/ha. y contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**



Fuente: Lorca, 2018.

Los antecedentes expuestos anteriormente, denotan la situación en la que se encuentra el acuífero de Santiago en el sector poniente, principalmente en la comuna de Maipú; el aumento del compuesto NO<sub>3</sub>- en los sectores con mayor densidad de población (entre 271 y 900 habitantes por hectárea), correspondientes a los barrios del sector norte de la comuna, como Portal del Sol, Sol Poniente y La Farfana, dificultando la utilización del recurso hídrico subsuperficial para el consumo humano. Además, es importante mencionar que, tanto por el barrio Portal del Sol como también por el barrio Sol Poniente, atravesaría el Tramo N°2 de la Tubería de Impulsión del proyecto. La amenaza que supone la posible contaminación por parte de compuestos altamente dañinos para el medio ambiente, como es el caso del Kerosene de Aviación, sólo incrementaría la vulnerabilidad que este acuífero actualmente posee, así como también la dificultad para abastecer de agua potable a las comunas de Maipú, Cerrillos y Estación Central, tensionando, por una parte, el recurso hídrico que proporciona el acuífero y por otra, el sistema de agua potable comunal que otorga un servicio esencial a la población. En este sentido, la amenaza por contaminación de las aguas subterráneas deja de ser una temática meramente física-ambiental, sino que se transforma en una temática socioambiental y de salud pública.

Los resultados obtenidos en el estudio elaborado por Sonacol y BS Consultores denotan la gravedad que implica un derrame de hidrocarburos y el riesgo que corre el medio ambiente y la población (en caso de contaminación del agua subterránea y, por ende, restricción en el acceso a ésta) debido a la gran duración de los efectos negativos que estos accidentes implican. Si bien, en el informe elaborado por la empresa BS Consultores (2016), ANEXO 10.25 MODELO CONCEPTUAL DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES KEROSENE DE AVIACIÓN, se menciona que, en caso de derrame del combustible a transportar (Kerosene de Aviación A1) y su posible filtración hacia las aguas subterráneas y capas del suelo, los elementos presentes en éstos, gracias a la acción biológica, podrían disminuir en cantidad en un lapso de 4 a 5 años, el informe elaborado el año 2020 por el titular del proyecto a analizar (Sonacol), respecto al derrame ocurrido en Concón el año 2001, denota que, un accidente por filtración de hidrocarburos podría contaminar el agua subterránea por más de una década (Sonacol & BS Consultores, 2020), pudiendo poner en riesgo la salud de las personas que consumen este recurso, así como también tensionando la gestión de abastecimiento de agua potable.

Es relevante señalar que al respecto, el titular solo ha planteado medidas de diseño, construcción, inspección, operación, mantenimiento y prevención de contingencias para minimizar el riesgo de derrame del producto transportado, sin embargo, no se plantean medidas de control y/o reparación en caso de derrame de combustibles, producidos por corrosión en la línea, intervención de la línea por terceros, defecto del material, falla durante el mantenimiento o falla de la línea en caso de una sobre presión de bombeo y que este alcance el acuífero en el escenario planteado por el estudio incluido en el Anexo 10.25. Se debe tener presente que estas medidas presentadas por el Titular corresponden a un incumplimiento de lo establecido en el D.S. 160, por lo que en virtud de lo señalado en el inciso tercero del artículo 97° del D.S. 40/2012 MMA, el solo cumplimiento de la normativa ambiental no constituye necesariamente una medida de mitigación, reparación o compensación (Municipalidad de Maipú, 2018).

## 3.2. SUELO

### 3.2.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR HIDROCARBUROS

Los efectos negativos que el elemento transportado puede ocasionar sobre los estratos del suelo en caso de ser derramado son de gran envergadura, pues ocasionan efectos sobre las propiedades microbiológicas, físicas, químicas y edafológicas de los suelos afectados por este tipo de contingencia, en caso de verse seriamente afectadas. Las propiedades físicas del suelo que se ven más afectadas por derrames de hidrocarburos y derivados son (SEMARNAP, 1996 en SAG, 2007):

- Estructura del suelo debido a la ruptura de los agregados (unión de partículas primarias como limo, arcilla y arena).
- Aumento de la retención de agua en la capa superficial.
- Condiciones adversas para el crecimiento de vegetación.
- Degradación del horizonte superficial (erosión), a veces hasta ocasionar su pérdida total, como resultado de la ausencia de vegetación.

Por otra parte, las propiedades químicas de suelo que se ven más afectadas por un derrame de hidrocarburos son (SEMARNAP, 1996 en SAG, 2007):

- Aumento de carbono orgánico, ya que el 75% del carbono del petróleo crudo es oxidable.
- Disminución del pH, debido a la acumulación del carbono orgánico y generación de ácidos orgánicos. Un pH muy bajo puede no ser favorable para el crecimiento de la vegetación.
- Aumento del fósforo disponible. Altos niveles de fósforo pueden disminuir la movilidad del hierro presente en las especies vegetales, impidiendo, muchas veces, su crecimiento.

Como se pudo apreciar anteriormente, un derrame de hidrocarburos en el suelo provoca múltiples efectos negativos en las características físicas y químicas de éstos, disminuyendo su fertilidad y generando condiciones adversas para el crecimiento de vegetación. Cada vez que ocurre un derrame de hidrocarburos y derivados, se provoca la afectación del suelo, involucrando daños ecológicos sobre la estructura y calidad del suelo. Algunos terrenos pueden volver a ser productivos después de meses de tratamiento, sin embargo, otros quedan inhabilitados, abandonados o como basureros (Cavazos et al., 2014). Por un lado, la contaminación del suelo por hidrocarburos y sus derivados, afecta a la flora, fauna y microorganismos del suelo (Madigan et al., 1999 en Cavazos et al., 2014), la fertilidad de los suelos, el crecimiento de las plantas y la existencia y sobrevivencia de los animales que se alimentan de éstas. Por otro lado, cuando los siniestros dañan suelos agrícolas, pueden provocar un perjuicio económico y social, debido a la inutilización de estos suelos para la producción agrícola, de la cual muchas comunidades son dependientes económicamente (Infante, 1998 en Cavazos et al., 2014). Como ha planteado la empresa BS Consultores en el Anexo 10.25, según el modelo de transporte de contaminantes utilizado, tanto en el caso N°3 como el caso N°4

(ambos analizados para suelos compuestos por granos tamaño grava en la comuna de Maipú), el producto derramado alcanzaría el acuífero con un área de impacto en el suelo de 6 a 14 m<sup>2</sup> para caudales de fuga entre 74 y 160 m<sup>3</sup>/d (con una duración de 2 y 3 horas, respectivamente) (BS Consultores, s.f.). Esta información es relevante ya que gracias a ella, es posible plantear que una fuga de combustible por fallas en el oleoducto del proyecto lograría infiltrarse por el suelo y llegar al acuífero, lo cual no sólo contaminaría el agua subterránea, sino que también el suelo por el cual se transportaría, pudiendo producir múltiples efectos adversos en sus características físicas y químicas. Aquello adquiere suma relevancia si se analiza además, que los casos 3 y 4 del modelo aplicado por la empresa consultora poseen características similares a tramos de la tubería que interceptan con el canal Zanjón de la Aguada. Una posible contaminación del suelo en aquellos sectores significaría afectaciones a la flora, fauna y microorganismos del suelo (Madigan et al., 1999 en Cavazos et al., 2014), la fertilidad de los suelos, el crecimiento de las plantas y la existencia y sobrevivencia de los animales que se alimentan de éstas.

### 3.2.2. MODIFICACIÓN DE NIVEL FREÁTICO POR ACCIONES DE ORIGEN ANTRÓPICO

Las descripciones de la instalación del proyecto están indicadas en el informe CAPÍTULO 1 - DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB (BS Consultores, 2016).

#### Instalación del proyecto - Excavación y preparación de la zanja

El método universalmente utilizado para la construcción de oleoductos es por medio de zanja que es la alternativa considerada para este proyecto. La instalación típica de la tubería será dentro de una zanja. El ancho y profundidad de la zanja variarán según el tipo de suelo y los recubrimientos necesarios. La zanja será de aproximadamente 1,3 m de ancho en superficie y de 0,8 m en su base. La profundidad de recubrimiento mínima será de 1,8 m, variando según las condiciones locales. El fondo de la zanja quedará libre de rocas y, donde sea necesario, se agregará material fino seleccionado para acojinar la tubería.

#### Instalación del proyecto - Actividades previas a la instalación de la tubería

Si existe aparición de agua proveniente del nivel freático, se excavará un pozo de achique para recibir las aguas, las cuales se sacarán mediante bombas de agotamiento que cumplan la función de mantener el nivel requerido de la napa y evitar así socavaciones y derrumbes en la zanja, para luego evacuarlas hacia las zonas de quebradas y/o canaletas de riego, según aprobación de SONACOL. Las bombas hidráulicas que son empleadas para controlar el nivel freático se diseñan para agotar aguas que están en contacto con el suelo, lo cual implica el arrastre de partículas. Este tipo de bombas solamente se emplean con aguas sucias, que pueden presentar material granular de 10 mm (máximo). El bombeo debe reservarse a los casos imprescindibles, donde el drenaje por gravedad de los suelos sea insuficiente, o bien, donde la disposición de medidas de contención no sea rentable. Las bombas de achique (Portillo, 2012), son útiles para evacuar pequeños caudales en excavaciones con entrada esporádica de agua.

## Efectos derivados de los descensos de nivel del agua subterránea por utilización de bombas de achique

Efectos derivados de un descenso del nivel freático por acciones antrópicas pueden ser (Ferrer, 2010): Reducción del rendimiento de pozos de alimentación próximos a la obra, por hallarse en su zona o radio de influencia. Utilizar sistemas de bombeo parcialmente penetrantes en el acuífero, provocará mayores descensos de piezometría. En zonas urbanas, un sistema de descenso artificial del nivel freático puede afectar a determinadas zonas de áreas verdes, así como también terreno donde se ubiquen construcciones fabricadas con materiales poco estables. En áreas rurales o de uso agrícola, esto podría significar efectos sobre el terreno cultivable, pudiendo deteriorarlos. Los bombeos prolongados pueden provocar daños en los acuíferos por intrusión salina o acelerar la migración de plumas de contaminantes. Aquello adquiere suma relevancia en especial si ocurre una fisura en el trazado durante y aquello permite la filtración del elemento transportado (Kerosene de Aviación) altamente contaminante hacia el suelo.

Según la empresa BS Consultores, si existe la aparición de agua proveniente del freático, esta se extraerá mediante la utilización de bombas de agotamiento o achique, que cumplan la función de mantener el nivel requerido de la napa, para posteriormente evacuar el agua extraída hacia zonas de quebradas y/o canaletas de riego según aprobación del titular (SONACOL). Aquello representaría un problema ya que existe la posibilidad de una disminución del nivel freático en el caso de un uso prolongado de las bombas de achique durante la construcción del proyecto. Aquello pondría en tensión la utilización futura de las aguas subterráneas y, además, la conservación del acuífero como elemento fundamental para la preservación y mantención de los ecosistemas (Barranco, 2018), así como también una posible reserva estratégica de agua potable para hacerle frente a las sequías, escasez hídrica y contaminación del agua superficial a la que se vería enfrentada la Región Metropolitana. Es relevante también, analizar la posible contaminación que un uso prolongado de la bomba de achique pueda ocasionar sobre el acuífero, permitiendo la introducción de sales que deterioran la calidad del agua presente en el acuífero, dificultando así, las tareas de abastecimiento de agua potable para la población, ya sea en la actualidad o en un futuro.

## Efectos Permanentes de la Instalación de Estructuras cercanas al Nivel Freático sobre el Medio Hidrogeológico

Los niveles del nivel freático continúan manteniéndose entre los 10 y 20 metros de profundidad, según la información entregada por la SISS, lo cual es relevante para posibles efectos adversos que pueda ocasionar una ruptura o fisura del oleoducto, así como también la instalación misma de la tubería cercana al nivel freático, en las aguas subterráneas y todo lo que aquello puede significar tanto para el medio ambiente como para los habitantes de la comuna.

Los proyectos construidos total o parcialmente enterrados, pueden provocar cambios en los niveles y en la red de flujo del agua subterránea, principalmente cuando se trata de obras enterradas lineales, lo cual es el caso del oleoducto que se quiere instalar. Cuando estas obras

lineales son proyectadas de modo perpendicular a las líneas de flujo de descarga natural de los acuíferos, provocarán sobre éste, un efecto “barrera” o de presa, que en lo esencial representa una elevación de cota hidráulica aguas arriba y un descenso aguas abajo en la dirección del flujo (Ferrer, 2010; GEOSEC, s.f.). Esta situación ocurriría en el tramo N°2 de la tubería de impulsión del proyecto ubicado en la comuna de Maipú, pues, según la información expuesta por SERNAGEOMIN (2003) y Lorca (2018), la dirección del flujo subterráneo en aquel sector corresponde es suroeste, mientras que la tubería de impulsión está ubicada en sentido norte, interceptando perpendicularmente al flujo preferencial del agua subterránea en este sector. La elevación de la cota hidráulica aguas arriba no necesariamente tendría efectos adversos, sin embargo, el descenso aguas abajo en dirección del flujo, podría traer consigo efectos negativos que se verían reflejados en menor capacidad de extraer agua potable para abastecer a la población de la comuna, debido a que gran porcentaje de los pozos que abastecen barrios de gran densidad poblacional se ubican en el sector sur oeste de Maipú.

Si por el contrario, las obras se construyen en sentido coincidente con el flujo del agua subterránea, pueden provocar un descenso generalizado del nivel freático, puesto que la obra puede actuar como drenaje horizontal lineal. Estos cambios pueden provocar en el largo plazo, una alteración de niveles permanentes del agua subterránea y, estos, a su vez, pueden derivar en daños a las estructuras próximas, existentes o futuras. Esta situación ocurriría desde el tramo N°3 y en el tramo N°4 de la tubería de impulsión de proyecto, debido a que la tubería se instalaría hacia el norte y, según SERNAGEOMIN (2003), la dirección del flujo del agua subterránea en este sector es de norte a sur.

### 3.3. MEDIO SOCIAL

#### 3.3.2. PREPARACIÓN Y ENTREGA DE INFORMACIÓN POR PARTE DEL TITULAR

Los pobladores de los barrios que contempla el proyecto han tenido la posibilidad de asistir a las instancias participativas que otorgan las instituciones del estado, denominadas “Reuniones de participación ciudadana”, en las cuales los trabajadores de la empresa Sonacol, han informado y discutido sobre el proyecto con los habitantes de los barrios de Maipú. Las reuniones se realizaron durante el período del 31 de enero al 7 de marzo del 2017. Sin embargo, estas reuniones informativas se realizaron en un periodo en que las personas ya no están en sus casas, sino que fuera de la ciudad (enero-marzo), por lo que los vecinos se vieron imposibilitados de asistir a aquellas instancias. Aquello significó una baja asistencia a las reuniones, lo cual conlleva a un bajo nivel de población involucrada en el proyecto de estos Barrios. A estas reuniones solo asistieron dirigentes vecinales y no todos los pobladores de los barrios, ya que los dirigentes recibieron la información acerca de las reuniones mediante contactos municipales y no a través del titular del proyecto (empresa Sonacol), quien, según testimonios de vecinos de los barrios que se verán afectados por el proyecto, jamás difundió información de manera afectiva acerca de la realización de las reuniones (Serrailier, 2019).

### 3.3.1. EXISTENCIA DE UNA AMENAZA FÍSICA CONCRETA

Según el Anexo B Parte 2 - Antecedentes complementarios, descripción del Proyecto, Características del Combustible de Aviación a Transportar, EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB (BS Consultores, s.f.), el producto a transportar, es decir, el Kerosene de Aviación A1, presenta una gran amenaza para las salud de las personas y para el medio ambiente.

Dentro de sus características, se destacan; una Inflamabilidad de rango 3 (máxima) lo cual hace referencia a una gran posibilidad de provocar fuego o explosiones si el compuesto tiene contacto con altas temperaturas, chispas y/o fuego. Es propenso a generar rupturas de los envases donde se almacena el producto si estos son expuestos a altas temperaturas. Durante la combustión del Kerosene, se generan monóxido y dióxido, ambos compuestos altamente tóxicos en caso de generar combustión completa. Es insoluble en agua, y presenta los siguientes riesgos para la salud de las personas (BS Consultores, s.f.):

- 1) Peligro para la salud efectos de exposición aguda: Irritante a la piel. Efectos adicionales pueden producir náuseas, dolores de cabeza, mareos y congestión respiratoria. Depresor del sistema nervioso central.
- 2) Inhalación: Los vapores pueden irritar las mucosas, asfixia por desplazamiento de oxígeno, dolor de cabeza, dificultad para respirar, pérdida de coordinación muscular, visión borrosa, y convulsiones.

A temperatura ambiente, los hidrocarburos, grupo de compuestos derivados del petróleo, como el Kerosene de Aviación A1, se encuentran en estado líquido y pueden desprender vapores que son fácil y rápidamente absorbidos por el sistema respiratorio, cruzando las membranas celulares y, gracias a su gran solubilidad en grasas, logran alcanzar grandes concentraciones en el sistema nervioso central, intoxicando a las personas. La vía de intoxicación más común es la inhalatoria, sin embargo, también se puede producir intoxicación por hidrocarburos por las vías digestiva y cutánea (SAG, 2007).

Como se presenta en el informe elaborado por Batista & Godoy (2011), el desastre de Puerto Rico el año 2009, ocurrió debido a que uno de los tanques de contención del hidrocarburo almacenado en la planta afectada alcanzó su límite de capacidad de contención, produciendo una presión dentro del tanque y permitiendo la fuga de una cantidad mínima del compuesto. O además, se plantea que pudo haberse infiltrado a través del sistema de drenaje de la planta y traslado hasta la planta de aguas residuales de la planta de almacenamiento. El combustible derramado por el sobrellenado del tanque posiblemente halló una fuente de ignición dentro del área de la planta de almacenamiento. Una de las fuentes mencionadas fue una lámpara de luz fluorescente que genera una chispa eléctrica ubicada dentro de las instalaciones, la cual pudo haber sido suficiente para ocasionar la ignición del combustible. Por este motivo, es posible confirmar la información presente en la ficha de características del elemento a transportar elaborada por BS Consultores (s.f.), acerca del Kerosene de Aviación, referente a la gran capacidad de inflamación que posee el producto, convirtiéndolo en una gran amenaza, en

especial si éste se encuentra cercano a fuentes de ignición (por más pequeñas que estas sean) y a la población, pues pondría en riesgo su salud.

Para el caso específico de la posible instalación de la Segunda Línea Oleoducto M-AAMB a 1,8 metros bajo la superficie en la comuna de Maipú y Pudahuel, la posibilidad de ignición del producto a transportar estaría dada por una posible rotura o fisura del ducto y posteriormente, el contacto del compuesto con una posible fuente de ignición (por menor que esta sea). Referente a la generación de fisuras o roturas en el oleoducto, gracias a la recopilación de antecedentes, es posible plantear que aquello es una situación que fácilmente podría ocurrir ya sea por errores en la instalación de la estructura, accidentes durante la construcción de ésta, acciones de terceros, elementos naturales, entre otros factores. Un ejemplo de esto es el derrame ocurrido en enero del año 2001 en el oleoducto Concón-Maipú perteneciente a Sonacol, mismo titular del proyecto analizado actualmente. Durante la instalación del proyecto, la protección del ducto se vio dañada debido a la corrosión acelerada y acción de corrientes subterráneas a varios metros bajo la superficie, originando la fisura de 1,7 mm que provocó el derrame de 15 m<sup>3</sup> de combustible (Mercurio Valparaíso, 2001a; Mercurio Valparaíso, 2001b).

Otros ejemplos de accidentes donde existen roturas o fisuras de tuberías pertenecientes a Sonacol, titular del proyecto actual, son mencionados en el informe elaborado por Serrailler (2019), en donde, vecinos entrevistados comentan sobre emergencias ocurridas en las infraestructuras de Sonacol ya instaladas en Maipú. Una de ellas ocurrida el 6 de marzo del 2017 en el Barrio Los Bosquinos de Maipú, se ocasionó por la realización de trabajos de excavación de una empresa externa en la zona, que, al tener contacto con el ducto de Sonacol que transportaba gas, produjeron una fuga y un llamado a la inmediata evacuación de la población aledaña.

Otro factor que podría contribuir a generar una fuga del combustible a transportar, lo constituye una falla en las válvulas de control durante el funcionamiento del proyecto. Un ejemplo de esto se puede hallar en lo presentado por Batista & Godoy (2001), referente al accidente ocurrido en la ciudad de Jaipur, India el año 2009. Este accidente involucró explosiones de gran magnitud y un incendio que se mantuvo durante 11 días, ocasionado por una fuga de combustible ocurrida durante la transferencia del compuesto ubicado en un tanque de almacenamiento hacia otro tanque ubicado en las cercanías. La fuga habría ocurrido por una falla de una de las válvulas de control de la tubería que transportaba el combustible. Este caso, no solo ayuda a justificar el gran riesgo para la población que constituye una fuga del producto a transportar en caso de que éste tenga contacto con una fuente de ignición, si no, que también denota la gran posibilidad de que ocurra algún accidente producto de un fallo en las válvulas de control durante el funcionamiento del proyecto.

Haciendo referencia al proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB y respecto al contacto del compuesto con una posible fuente de ignición (por menor que esta sea), posteriormente a ser derramado a través de una hipotética fuga en la tubería, el Kerosene de Aviación A1, podría hallar una fuente de ignición en los siguientes escenarios:

- 1) Si la fuga ocurre cuando hay altas temperaturas y/o radiación solar que, al tener contacto con el suelo, calienta las capas más superficiales de éste. El compuesto derramado, al tener contacto con altas temperaturas albergadas en el suelo, podría reaccionar frente a estas, al ser altamente inflamable (Accsesgas, s.f.; ISTAS, s.f.).
- 2) Si la fuga ocurre en momentos donde se estén realizando trabajos de excavación, mantención, etc., y dejen la tubería descubierta o semi descubierta, el Kerosene de Aviación podría reaccionar frente a altas temperaturas, pequeñas chispas que produzcan los trabajos, cenizas de cigarrillo o llamas de encendedor, entre otros tipos de fuentes que se encuentren en la superficie y sea de origen antrópico o “natural” (Accsesgas, s.f.; ISTAS, s.f.).

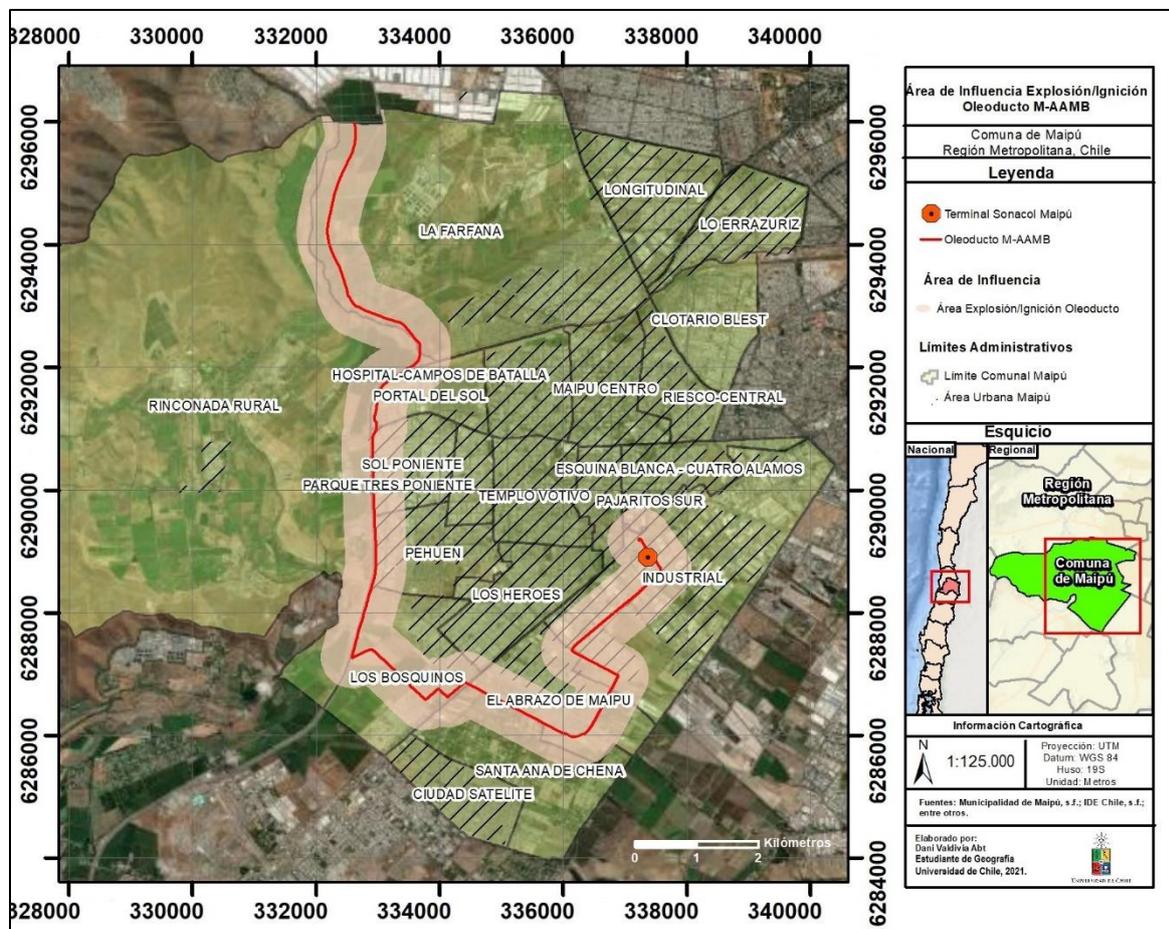
Cabe mencionar, nuevamente, que el producto a transportar no sólo produciría explosiones y/o incendios al tener contacto con alguna fuente de ignición (por mínima que esta sea), sino que también, a temperatura ambiente, genera gases tóxicos si son inhalados por las personas, además de poder producir intoxicación vía cutánea, en el caso del contacto físico con personas o animales. Y, además, durante la combustión del Kerosene, se generan monóxido y dióxido, compuestos altamente tóxicos.

Los antecedentes y descripciones mencionados anteriormente cobran suma importancia cuando se analiza la distancia que existe entre la propuesta actual del trazado del oleoducto M-AAMB y la ubicación de viviendas de los barrios del sector poniente de la comuna de Maipú. Según el Anexo 4.23.A VIVIENDAS E INSTALACIONES HASTA 30 METROS DEL OLEODUCTO, se aprecia que se los conjuntos habitacionales de la villas Pehuén 7 (26 viviendas), se ubican entre los 11 a 13 metros; Villa Los Robles 3 (46 viviendas) se encuentran en torno a los 11 y 13 metros también; sector Los Héroes de Iquique (3 Blocks de departamentos y un Templo de culto) se encuentran dispuestas en torno a los 7 y 14,67 metros y el sector Portal del Sol (8 viviendas) se ubican entre los 19 y 33 metros (Municipalidad de Maipú, 2018). Como se puede apreciar, la distancia entre los conjuntos de viviendas mencionados y el oleoducto es menor de 30 metros, es decir, que ante cualquier tipo de accidente referente a una posible fuga del combustible en el oleoducto, aquellas comunidades se verían enormemente afectadas (ya sea por amenaza de incendio, explosión, posible intoxicación por inhalación o contacto físico con el compuesto, etc.), sobre todo, si ocurre un accidente de gran envergadura. Esta alta exposición a la amenaza que constituye el oleoducto perteneciente a Sonacol, es sumamente preocupante, puesto que pone en peligro la salud y el bienestar de la comunidad que habita en la zona, así como también su percepción de seguridad.

También cabe mencionar que se puede considerar una amenaza concreta para la población de la comuna de Maipú la posible contaminación del agua subterránea, producto de un derrame de combustible en el subsuelo y posterior infiltración del combustible hasta el nivel freático, ocasionado por una fisura en la tubería, lo cual derivaría en una restricción al acceso de agua potable de más de 30.000 personas (por ejemplo, en el barrio Los Bosquinos) que perduraría posiblemente por más de 5 años. En este sentido, la amenaza por contaminación de las aguas subterráneas deja de ser una temática meramente física-ambiental, sino que se transforma en una temática socioambiental y de salud pública.

Para poder visualizar fácilmente un posible accidente en torno a una explosión y/o incendio producido gracias al derrame o fuga del combustible a transportar por el Oleoducto M-AAMB, se elaboró un área de influencia de 500 metros alrededor del oleoducto, representando la magnitud estimada si un accidente ocurriera en las inmediaciones de la estructura (ver Figura N°23). La distancia se planteó basándose en testimonios de vecinos de Barrio Los Bosquinos recopilados por Serrailler (2019), los cuales mencionan una fuga de un gasoducto de Sonacol y la evacuación de toda la población aledaña. Se estima que la población o área evacuadas corresponde a la mitad de Barrio, es decir (según la Figura N°14), 500 metros aproximadamente. A su vez, como explican Batista & Godoy (2011), dos explosiones ocasionadas por hidrocarburos en plantas de almacenamiento y tratamiento de éstos (de gran magnitud) ocasionaron una explosión e incendio que tuvo un área de influencia entre 1.600 y 2.000 metros aproximadamente. Ya que la posible explosión y posible incendio en el oleoducto producto de fuga del compuesto sería de menor magnitud en comparación a los casos anteriormente mencionados (pero podría tener contacto con mayor superficie de la tubería), se planteó un área de impacto de 500 metros. Para la representación cartográfica se obvió el sentido del viento en la comuna de Maipú (Suroeste) (Frick, 2007).

**Figura 23. Cartografía del Área de Influencia Explosión/Ignición Oleoducto M-AAMB**



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Según lo expuesto en la cartografía anterior, es posible observar que el área de influencia de una explosión y/o incendio producido por algún tipo de fuga del combustible en el oleoducto, abarca una superficie importante de los barrios del sector poniente de la comuna de Maipú, siendo los principalmente afectados; el Barrio El Abrazo, Barrio Industrial, Los Bosquinos, Portal del Sol, Sol Poniente, Pehuén y La Farfana. Es importante mencionar, además, que no es posible descartar una reacción en cadena frente a la explosión, pues aquel evento podría comprometer gasoductos presentes en el territorio, específicamente en los barrios El Abrazo de Maipú y Los Bosquinos. A esta problemática, contribuye además, el hecho de que el Titular no haya planteado medidas de control y/o reparación en caso de derrame de combustibles, producidos por corrosión de la línea, intervención de ésta por terceros, defecto del material, falla durante mantenimiento o falla de la línea en caso de presión de bombeo (Municipalidad de Maipú, 2018).

### 3.3.3. PREPARACIÓN DE LA POBLACIÓN FRENTE A LA AMENAZA

El titular, frente a las preguntas de los pobladores de los barrios de Maipú que se verían afectados por la instalación del proyecto en las reuniones de participación ciudadana y respecto al peligro que éste constituirá para el territorio, simplemente evadieron las preguntas o no respondieron, dejando a los vecinos con una incertidumbre de los posibles efectos que podrían tener lugar una vez que el proyecto comience a instalarse. Respecto a las preguntas realizadas por la población en relación con accidentes como explosión o incendio, la respuesta de los representantes del titular fue que el proyecto no constituye un peligro para la población pues es seguro y no inflamable (Serrailler, 2019). Aquella aseveración está errada y se puede justificar la amenaza por explosión e incendio gracias a la ficha que el propio titular incluyó en el EIA del proyecto donde se exponen las características del elemento a transportar (Kerosene de Aviación) (BS Consultores, s.f.).

Como plantea Serrailler (2019), el grado de conocimiento, nivel de conciencia, autoprotección y preparación, afectan directamente a la percepción del riesgo que la comunidad posee sobre el proyecto en cuestión. La instalación del oleoducto en el trazado definido se percibe como un gran riesgo para el territorio debido a que la comunidad no ha sido receptora de la información necesaria por parte de las instituciones pertinentes ni del titular acerca del proyecto, su funcionamiento, medidas de mitigación para accidentes, ni medidas de evacuación para aquellos casos donde ocurra algún tipo de fuga. Además, la población ya cuenta con información de diferentes fallos en la infraestructura de la empresa Sonacol (por medio de información externa y gracias a ser ellos mismos testigos de situaciones de esta índole), lo cual ayuda a justificar la sensación de temor e incertidumbre frente a un posible accidente referente al oleoducto.

Según el levantamiento de información efectuado a partir de entrevistas en los barrios que se verían afectados por la instalación de proyecto, Serrailler (2019) plantea que ninguno de estos barrios posee un protocolo de medidas de evacuación ni definición de zonas seguras a las cuales dirigirse en caso de algún tipo de emergencia, ya sea de origen natural como antrópica. Además, los pobladores declaran que actualmente no existen medidas de seguridad dentro de sus

comunidades, aumentando, de esta manera, la sensación de inseguridad e incertidumbre frente a un posible accidente y/o emergencia respecto al oleoducto.

### 3.3.4. JUSTICIA AMBIENTAL EN EL CASO DEL PROYECTO SEGUNDA LÍNEA OLEODUCTO M-AAMB

Algo que mantiene inquieta a la comunidad del sector poniente de Maipú, como plantea Serrailier (2019), es que el proyecto será construido en sus barrios de manera impositiva, pues sienten que no tienen poder de decisión sobre la aprobación o reprobación del proyecto. Aquello genera una sensación de impotencia, y, en consecuencia, un rechazo al proyecto. A esto se suma la escasa inclusión efectiva de la comunidad en el proceso obligatorio de “Consulta Ciudadana” que deben realizar todos aquellos proyectos que ingresan al SEA, pues si bien representa una instancia donde las personas pueden aprender sobre el proyecto y dar a conocer sus opiniones al respecto, no es un proceso vinculante, por ende, no incide en la realización del proyecto como tal. Por este motivo y como plantea Miraftab (2016), implica una inclusión simbólica de la población en la toma de decisiones respecto a su territorio, sin embargo no representa una verdadera oportunidad para la comunidad de acceder a oportunidades equitativas en torno a esta materia. Durante el proceso de consulta ciudadana del proyecto en cuestión, sólo asistieron dirigentes vecinales y no una gran cantidad de pobladores de los barrios, ya que los dirigentes recibieron la información acerca de las reuniones mediante contactos municipales y no a través del titular del proyecto (empresa Sonacol), quien, según testimonios de vecinos de los barrios que se verían afectados por el proyecto, jamás difundió información de manera afectiva acerca de la realización de las reuniones (Serrailier, 2019).

Respecto a las características socioeconómicas de los barrios que se verían afectados por la instalación del oleoducto, los 7 barrios en cuestión poseen más de un 5% de población vulnerable según las dimensiones de educación, salud, trabajo, seguridad social y vivienda, correspondientes a los diferentes indicadores de pobreza multidimensional evaluados por la CASEN del año 2013. Aquellos tres con mayor porcentaje de población vulnerable corresponden al Barrio Sol Poniente, con un 15% de población vulnerable, exhibiendo un nivel socioeconómico predominantemente bajo, con presencia de estratos medios-bajos y medios, predominando los grupos C3 y D. Luego, se encuentra el Barrio Pehuén que presenta un 9% de población vulnerable según indicadores de pobreza multidimensional y que, en cuanto a su caracterización socioeconómica muestra una mezcla entre niveles C3 y C2 con una considerable presencia de estratos medios “emergentes” justificado por el alto porcentaje de trabajadores de nivel técnico en el barrio (25%). Y, por último, el Barrio Abrazo de Maipú, que cuenta con un 7.5% de población vulnerable según indicadores de pobreza multidimensional y priman los estratos “medios” con mayor tendencia a un nivel socioeconómico “medio-bajo”, correspondientes a las categorías C3 y D, respectivamente (Municipalidad de Maipú, 2015).

Algunas características en común que poseen los 7 barrios que se verían afectados por la instalación del oleoducto (Barrio El Abrazo de Maipú, Barrio Pehuén, Barrio Los Bosquinos, Barrio Portal del Sol, Barrio Sol Poniente, Barrio la Farfana y Barrio Industrial), son, por

ejemplo, la predominancia de estratos socioeconómicos medios-bajos (C3 y D) en la población que habita estos barrios, así como también la presencia de grupos ocupaciones semi calificados y técnico, predominantemente (Municipalidad de Maipú, 2015).

### 3.3.5. EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD

Es importante también destacar que el trazado actual del oleoducto pasaría a tan sólo de 11 a 13 metros de las villas Pehuén 7 (26 viviendas), de 11 a 13 metros de Villa los Robles 3 del Barrio Sol Poniente (46 viviendas), de 7 a 14 metros (aproximadamente) del sector Los Héroes de Iquique del Barrio Los Bosquinos (3 blocks de departamentos y un templo de culto) y entre 19 y 33 metros del sector Portal del Sol (8 viviendas) (Municipalidad de Maipú, 2018). De esta información se puede apreciar que en los dos sectores donde el oleoducto tendría la mayor cercanía respecto a las viviendas (de 11 a 13 metros de distancia), corresponden a dos de los barrios con mayor porcentaje de población vulnerable socioeconómicamente según indicadores de pobreza multidimensional analizados por la encuesta CASEN del año 2013, correspondientes al Barrio Sol Poniente (15% de población vulnerable) y al Barrio Pehuén (9% de población vulnerable). Y, además, es importante destacar que ambos barrios mencionados están conformados principalmente por conjuntos de viviendas sociales. Por ejemplo, el Barrio Sol Poniente surgió como una zona urbanizada gracias a la política habitacional del Gobierno que logró la creación de viviendas sociales en terrenos de uso tradicionalmente agrícola en comunas periféricas de la Región Metropolitana. Y, por otra parte, el Barrio Pehuén, si bien está compuesto por viviendas unifamiliares, pareadas de un piso para sectores medios “emergentes”, también lo conforman dos conjuntos de viviendas sociales; Bernardo O’Higgins (SERVIU) y villa Isabel Riquelme (PET) (Municipalidad de Maipú, 2015).

Es relevante mencionar la preocupación que genera en los vecinos, según testimonios recopilados por Serrailler (2019), la cercanía que tendría el oleoducto respecto a las áreas verdes correspondientes a Parque Esdras (ubicado en Barrio el Abrazo) y al Parque Valle Los reyes (ubicado en el Barrio Pehuén), pues se instalaría a una distancia de 3 a 4 metros de éstos, amenazando la calidad de vida de la comunidad, seguridad de los vecinos y la posibilidad de que ellos puedan utilizar estos espacios para la recreación o contacto con el “medio ambiente”. Ambos barrios mencionados que podrían verse afectados por un posible accidente referente al oleoducto poseen unos de los mayores porcentajes de vulnerabilidad social de sus habitantes a nivel comunal, siendo estos valores un 9% de población vulnerable para el Barrio Pehuén y un 7,5% de población vulnerable para el Barrio Abrazo de Maipú, según indicadores de pobreza multidimensional evaluados por la encuesta CASEN (2013) (Municipalidad de Maipú, 2015).

La información expuesta anteriormente es relevante en la medida que permite analizar la injusticia ambiental que se está viviendo en torno a la planificación y posible instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, puesto que, como se ha podido apreciar, la gran amenaza que constituye la construcción del proyecto, referente principalmente a las posibilidades de ocurrencia de un accidente en el cual se vertiera cierta cantidad de combustible, afectaría enormemente a un sector específico de la población; a un sector vulnerable socioeconómicamente, ubicado en un barrio periférico de la comuna y, que no

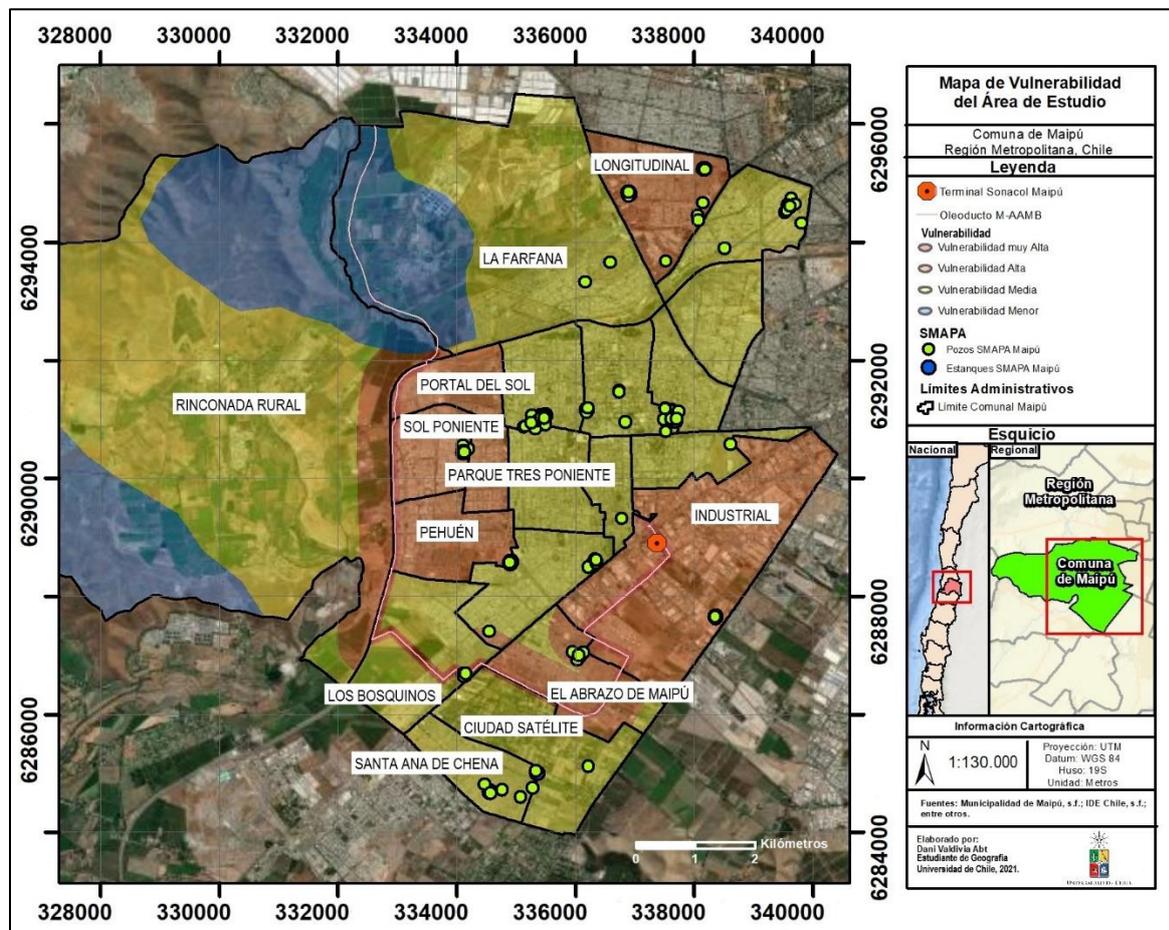
cuenta con los recursos u oportunidades para poder ser partícipe de en la toma de decisiones que afectan a su territorio en materia ambiental ni planificación, tanto por la escasez de mecanismos que generen una inclusión efectiva de la población, como también por la falta de tiempo, educación y motivación de los habitantes de ser partícipes de este tipo de instancias.

Según lo planteado por Hervé Espejo (2010) y Ramírez Guevara et al. (2015), para lograr una justicia ambiental efectiva, en la distribución de beneficios y perjuicios ambiental se debe tener en cuenta el contexto y capacidades de distintas comunidades, promoviendo la participación en la toma de decisiones que afecten al medio donde habitan, considerando que aquellos grupos que se identifican con perfiles socioeconómicos bajos son quienes reciben mayor carga o perjuicios ambientales y son estos mismos quienes poseen menor acceso a recursos y oportunidades de participar e involucrarse en la toma de decisiones en materia ambiental de su propio territorio. La posible instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, representa un claro caso de injusticia ambiental, puesto que, no existe una distribución equitativa de los beneficios y perjuicios ambientales que conlleva la instalación de un proyecto de aquella envergadura, y, además, como se ha planteado anteriormente, la comunidad afectada posee características de vulnerabilidad socioeconómica y se enfrenta a una escasez de oportunidades en las cuales puedan ser partícipes en la toma de decisiones que afectan a su territorio en materia ambiental.

### 3.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS INTEGRADO DE IMPACTOS

#### 3.4.1. ANÁLISIS MAPA DE VULNERABILIDAD

**Figura 24. Mapa de Vulnerabilidad del Área de Estudio**



Fuente: Elaboración propia, 2021.

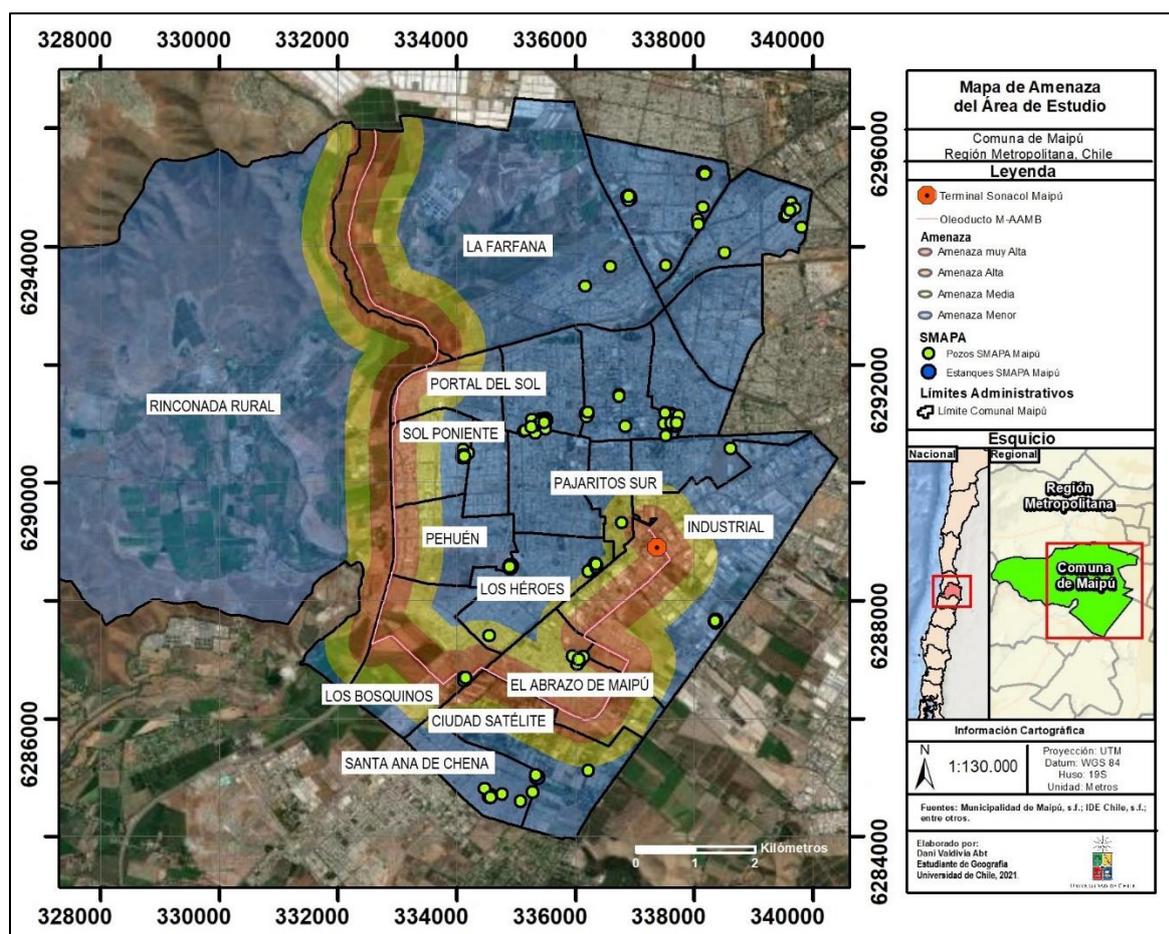
Como se puede apreciar en la Cartografía N°24, las zonas de Vulnerabilidad muy Alta se encuentran sumamente cercanas al oleoducto, presentes en los barrios Industrial, El Abrazo de Maipú, Los Bosquinos, Pehuén, Sol Poniente y Portal del Sol. Aquello se explica gracias a la poca distancia entre el área urbana de éstos y la tubería, la densidad poblacional y nivel socioeconómico de los barrios aledaños, así como también por la presencia de aguas subterráneas en aquella zona. En el barrio Los Bosquinos, se puede apreciar que dos pozos (203-138 y 203-146) y un estanque de agua potable de la empresa SMAPA, están dentro del área de Vulnerabilidad muy Alta, puesto que la distancia a la que se encuentran del oleoducto es mínima. Las zonas de Vulnerabilidad Alta se encuentran en su mayoría en las zonas aledañas al oleoducto. Como, por ejemplo, en los barrios Industrial, El Abrazo de Maipú, Pehuén, Sol Poniente, Parque Tres Poniente, Portal del Sol y ciertos sectores del barrio Rinconada Rural. Este resultado se explica gracias a la cercanía de la zona urbana al oleoducto, nivel

socioeconómico de la población de los barrios, densidad poblacional y por la presencia de aguas subterráneas en la zona donde éstos se ubican.

Las zonas de Vulnerabilidad Media se pueden apreciar en casi toda la comuna. Aquello se explica por la presencia de aguas subterráneas en toda la zona (variable que posea una ponderación bastante elevada). Finalmente, las zonas de Vulnerabilidad Menor se pueden apreciar en el sector de intersección del barrio La Farfana con el barrio Rinconada Rural, así como también en el sector suroeste de este mismo. Aquello se explica por la nula o muy baja presencia de aguas subterráneas en aquella zona, así como también por la baja densidad poblacional y lejanía del oleoducto respecto a las áreas urbanas.

### 3.4.2. ANÁLISIS MAPA DE AMENAZA

**Figura 25. Mapa de Amenaza del Área de Estudio**



(Fuente: Elaboración propia, 2021).

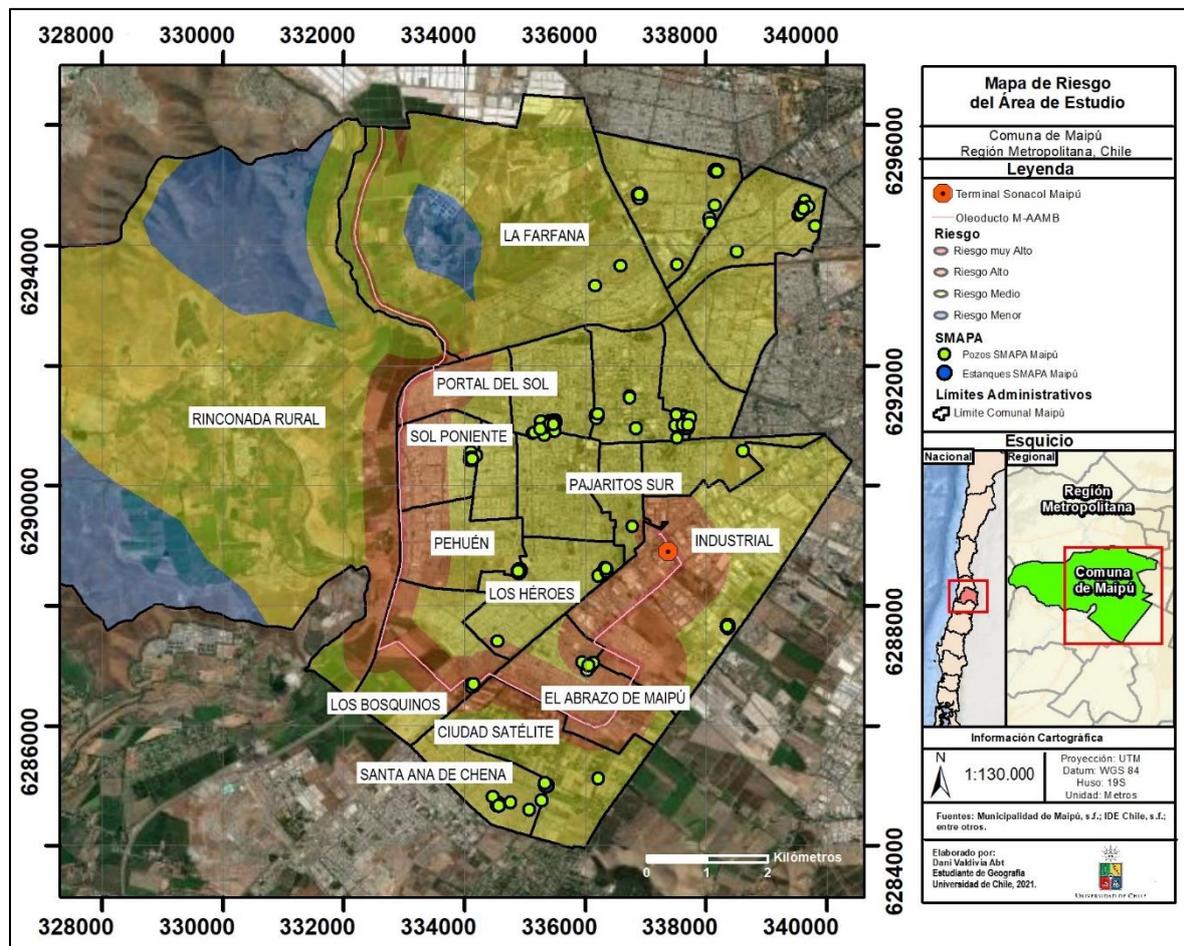
En la Figura N°25 se puede apreciar que el área de Amenaza muy Alta se ubica junto al oleoducto, presente en aquellos barrios por donde se emplazaría la tubería (Industrial, El Abrazo de Maipú, Los Bosquinos, Pehuén, Sol Poniente, Portal del Sol y La Farfana) en un área relativamente reducida. Sin embargo, ésta logra abarcar los pozos 203-138 y 203-146, así como también un tanque de agua potable de la empresa SMAPA. Aquella distribución se explica por la reducida distancia entre aquellos sectores y el oleoducto propiamente tal, lo cual

se traduce como una amenaza importante si se considera que una posible fisura en la estructura podría producir infiltración del combustible hacia el subsuelo y consecuentemente hacia el acuífero, desplazándose tanto horizontal como verticalmente. Así como también una posible explosión/ignición ocasionada por el contacto del combustible con alguna chispa u otro material que genere aquel tipo de reacciones químicas por parte del compuesto. Los sectores que se encuentran dentro del área de Amenaza muy Alta podrían recibir los impactos de mayor magnitud/relevancia referentes a la contaminación del subsuelo por el desplazamiento del hidrocarburo de manera horizontal, así como también de una posible explosión y/o ignición del combustible.

El área de Amenaza Alta abarca una importante extensión de los barrios anteriormente mencionados, así como también sectores del barrio Ciudad Satélite y Rinconada Rural. Aquel resultado se puede explicar tanto por la cercanía al área de desplazamiento horizontal del hidrocarburo por el subsuelo, haciendo a la zona más propensa a una mayor contaminación, así como también por la cercanía con el área de ignición/explosión del Kerosene de Aviación, pudiendo estar expuesto a un impacto de mayor envergadura. La zona de Amenaza Media abarca una importante extensión de los barrios Industrial, El Abrazo de Maipú, Ciudad Satélite, Los Bosquinos, Pehuén, Sol Poniente, Portal del Sol, La Farfana y Rinconada Rural. Dentro de esta área, los efectos del desplazamiento del hidrocarburo por el subsuelo y de una posible ignición/explosión de éste, se reduce (gracias a la distancia), sin embargo, no se deja de considerar una zona propensa al impacto de las amenazas descritas, pues, según los antecedentes recopilados, inclusive en aquella distancia, los efectos de estos fenómenos aún pueden ser percibidos e impactar negativamente sobre el territorio. El área de Amenaza Menor abarca todo el resto de la extensión comunal, aludiendo a un impacto reducido por parte de las amenazas descritas (avance horizontal del hidrocarburo por el subsuelo y explosión/ignición del combustible), ya que el área de afectación de estos fenómenos no abarcaría las zonas mencionadas, alejadas del origen de las amenazas, es decir, del oleoducto.

### 3.4.3. ANÁLISIS MAPA DE RIESGO

**Figura 26. Mapa de Riesgo del Área de Estudio**



(Fuente: Elaboración propia, 2021).

En la Figura N°26 es posible apreciar que la zona de Riesgo muy Alto se ubica junto al oleoducto, lo cual indica que aquel área aledaña a la estructura posee características de muy alta vulnerabilidad y amenaza, encontrándose sumamente propensa a recibir los impactos referentes a posibles accidentes que ocurran en la tubería asociados a una fisura de esta y, consecuentemente, un derrame del combustible. La zona de Riesgo muy Alto, abarca además, los pozos 203-138 y 203-146 y un tanque de agua potable de la empresa SMAPA. Aquello, convierte el área en una zona de preocupación y necesidad de protección frente a un posible accidente referente al oleoducto.

La zona de Riesgo Alto se ubica sobre una extensión importante del sector poniente de la comuna de Maipú, abarcando cerca de la mitad de los barrios Industrial, El Abrazo de Maipú, Los Bosquinos, Pehuén, Sol Poniente y Portal del Sol. Aquello se explica por la extensión de la posible área de impacto de una explosión y/o ignición ocasionada por un derrame de combustible, por el área de desplazamiento de éste por el subsuelo y por variables de vulnerabilidad como una gran densidad poblacional, nivel socioeconómico bajo y presencia de

aguas subterráneas en aquella zona, principalmente. El área perteneciente a la categoría de Riesgo Alto denota el peligro al que se ve expuesta una gran parte del sector poniente de la comuna frente a la instalación del oleoducto, siendo necesario poner énfasis y preocupación en aquella situación para realizar una gestión de riesgo preventiva de manera efectiva.

La zona de Riesgo Medio se puede apreciar en prácticamente el resto de la extensión comunal (salvo en algunas excepciones). El riesgo medio se justifica por la presencia de aguas subterráneas en toda la comuna, así como también por la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno de gran magnitud asociado a la ignición/explosión que ocasione el combustible a transportar. Las zonas Riesgo Menor son reducidas y se encuentran en tres sectores específicos del mapa de riesgo. Su ubicación se explica por la nula o baja presencia de aguas subterráneas y por la lejanía tanto de la infraestructura del oleoducto así como del área urbana de Maipú.

#### 4. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### 4.1 DISCUSION

Para disminuir y contrarrestar las situaciones de injusticia ambiental que en ocasiones generan protestas o movilizaciones por parte de las comunidades, el gobierno de Chile estudia la introducción de mecanismos de compensación para las comunidades cercanas a estas instalaciones que generan descontento, mediante la reinversión de un porcentaje de sus ganancias, indemnizando, de esta forma, las cargas ambientales sufridas por el territorio y su población. Los autores y políticos que suelen respaldar que estos mecanismos se basan en un enfoque meramente de teoría económica, mientras que otros argumentan que la aplicación de estas técnicas podría generar efectos perjudiciales. La lógica de los mecanismos de compensación deriva de la teoría económica, cuyo argumento principal consiste en afirmar que las comunidades tendrían beneficios netos positivos después de la compensación. Inclusive, se llega a argumentar que las negociaciones entre las partes involucradas (comunidad y titulares de proyectos) podrían incluso alterar la opinión original de las comunidades de acogida, derivando en un establecimiento exitoso de las instalaciones (Astaburuaga, 2014).

Una gran cantidad de proyectos económicos privados obtienen aprobación del Estado sin haber desarrollado mecanismos de consulta vinculante ni asociada a las decisiones y/o consideraciones de actores locales. Aquello, justificado por el exacerbado centralismo chileno, así como también el modelo económico y de producción actual, que prioriza el beneficio económico y privado por sobre el beneficio social y colectivo, genera, muchas veces, un fuerte rechazo por parte de la comunidad que se ve directamente afectada y, que al mismo tiempo, muchas veces valoriza y resignifica el cuidado del medio ambiente. Cuando estas comunidades logran organizarse en términos de sociedad civil, es cuando iniciaría un conflicto ambiental (Fuenzalida & Quiroz, 2012).

Se plantea la existencia de “La Trampa de la Injusticia Ambiental”, pues, debido a la lógica de los mecanismos de compensación que recaen en teorías meramente económicas, estos tienden a minimizar los costos sociales totales. Por ende, y siguiendo esa lógica, los proyectos locales

no deseados buscarían ser instalados justamente en cercanía a comunidades más susceptibles de tolerar mayores riesgos a menores costos, lo que usualmente coincidiría con aquellas comunidades de mayor riesgo socioeconómico (Astaburuaga, 2014; Fragkou, 2018). Esto, por consiguiente, podría generar un círculo vicioso de injusticia ambiental, gatillado por la aplicación de mecanismos de compensación (Astaburuaga, 2014).

Para el caso específico del análisis de la instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, según testimonios de los vecinos presentados por Serrailier (2019), la comunidad rechaza completamente las medidas de “compensación” que planteó la empresa durante las sesiones de participación ciudadana, las cuales, cabe recalcar, no han presentado propiamente tal en el informe de Estudio de Impacto Ambiental del proyecto en cuestión. Estas medidas corresponderían, por ejemplo, a la mejora de ciertas instalaciones o construcción de sedes vecinales. Estas son rechazadas por la población debido a que los vecinos plantean que el gobierno perfectamente puede otorgar aquellos beneficios mediante concursos a los que postulan las comunidades (juntas de vecinos, centros de madres, etc.), por ende, la comunidad no encuentra relevantes aquellos ofrecimientos, ya que se pueden conseguir por otros medios, sin necesariamente requerir de la aprobación del proyecto de la segunda línea del oleoducto (Serrailier, 2019). Esto da cuenta de una falencia por parte del titular y de las instituciones mediadoras de generar un diálogo con la población que se vería afectada por la instalación del proyecto, así como también una falta de preocupación y verdadera intención de colaborar y compensar a la comunidad afectada por parte del titular (Sonacol), puesto que no ha generado instancias de participación activa ni vinculante con la población, ha evadido las demandas y críticas por parte de ésta y no ha planteado medidas de compensación efectivas ni claras en el informe de Estudio de Impacto Ambiental.

El riesgo está determinado, muchas veces, por la acción y presión ejercida sobre el territorio por los agentes que influyen en el desarrollo económico y por la debilidad de la planificación territorial y de la gestión del riesgo a nivel local (entre otros factores). Lo anteriormente mencionado, ha generado una tendencia al aumento de la exposición y vulnerabilidad de la población a ser afectada por eventos extremos que pueden conllevar a desastres, además de la mantención de una gestión del riesgo de tipo reactiva y correctiva, la cual no se ocupa de reducir los factores impulsores, es decir, no existe una gestión preventiva del riesgo (Castro, 2016). De acuerdo con lo anterior, Andrés Sáez de la ONG FIMA (2014), identifica la participación ciudadana débil como uno de los principales causantes de conflictos ambientales, cuando esta escasez de participación se puede observar en una ausencia de instancias de negociación o reunión para obtener información sobre impactos de proyectos que se pretenden instalar en cercanías de comunidades, además de poco adecuados mecanismos de compensación, como es el caso del proyecto actual a evaluar. Como mencionan Cavazos et al. (2014), frente a situaciones de conflictos ambientales por contaminación de hidrocarburos en México, la desorganización y desarticulación de la comunidad solo debilitan la posibilidad de desarrollar estrategias comunitarias para la prevención del riesgo, y, además, impide una participación en la toma de decisiones en torno a materia ambiental y territorial (Bhattamishra & Barrett, 2010 en Cavazos et al., 2014).

## 4.2. CONCLUSIONES

Según la información entregada por la empresa BS Consultores en el Anexo 10.25 (BS Consultores, s.f.), los escenarios de derrame en los tramos ubicados sobre suelos compuestos principalmente de granos tamaño grava o gravas arenosas, como el tramo de cruce con el canal Zanjón de la Aguada (con una profundidad del agua subterránea de 14 metros desde la tubería) y en el tramo del oleoducto ubicado a menos de 10 metros de cercanía los pozos de agua potable de SMAPA, 203-138 y 204-146 (con una profundidad del agua subterránea de 45 metros desde la tubería), el compuesto alcanzaría el acuífero con un área de impacto en el suelo que va desde 6 a 14 m<sup>2</sup> para caudales de fuga entre 75 y 160 m<sup>3</sup>/d (con una duración de 2 y 3 horas, respectivamente). La pluma de contaminación de benceno por sobre la Norma Chilena 409/06 de Agua Potable (10 ug/L) alcanzaría una extensión entre 118 y 123 metros para ambos escenarios mencionados, cuyos valores disminuyen bajo el umbral establecido por la norma, de 4 a 5 años transcurrida la fuga debido a los procesos de dispersión, absorción y biodegradación presente en el transporte. Para el primer caso mencionado, si bien el titular de proyecto asegura que en la intersección del oleoducto con el canal Zanjón de La Aguada, la tubería será instalada a 2 metros de profundidad con respecto al cauce del canal y, además, que este será revestido con una cobertura de acero corrugado denominado Tunnel Liner, la cual posee gran resistencia frente al movimiento del subsuelo, así como también a posibles fisuras generadas por presión o acciones de terceros, ésta sólo cubriría 38 metros de extensión del oleoducto. Aquello dejaría al descubierto una porción considerable de la tubería que estaría propensa a fisuras y, por ende, a generar un derrame de producto en el subsuelo que puede infiltrarse hasta alcanzar el acuífero (BS Consultores, s.f.).

La infiltración de contaminantes hacia las aguas subterráneas pone el peligro el equilibrio natural de los acuíferos y de los ecosistemas, además de comprometer el abastecimiento de agua potable futuro para la población (Barranco, 2018). La población de Maipú depende únicamente de los servicios que otorga SMAPA para el abastecimiento de agua potable, obtenida a partir de bombeo de pozos que almacenan agua subterránea. Gracias a la creciente demanda del recurso hídrico en la Región, debido a la mega sequía que está experimentando el país y al crecimiento poblacional y expansión urbana que se puede apreciar claramente en la comuna de Maipú, es factible plantear que, en un futuro próximo será necesaria la instalación de una mayor cantidad de pozos en la comuna para poder abastecer de manera efectiva a la creciente población (BCN, 2017; BCN, 2021). Por ende, la contaminación del acuífero es preocupante, pues supondría un impedimento para la extracción del recurso hídrico a futuro, en especial si la pluma de contaminación demora entre 4 a 5 años en decaer. Siguiendo esta línea, cabe mencionar que el informe elaborado el año 2020 por el titular del proyecto a analizar (Sonacol), respecto al derrame ocurrido en Concón el año 2001, denota que, un accidente por filtración de hidrocarburos podría contaminar el agua subterránea por más de una década (Sonacol & BS Consultores, 2020), tensionando aún más la disponibilidad futura del recurso hídrico.

Según la empresa BS Consultores, si existe la aparición de agua proveniente del freático, esta se extraerá mediante la utilización de bombas de agotamiento o achique, que cumplan la

función de mantener el nivel requerido de la napa, para posteriormente evacuar el agua extraída hacia zonas de quebradas y/o canaletas de riego según aprobación del titular (SONACOL). Aquello representaría un problema ya que existe la posibilidad de una disminución del nivel freático en el caso de un uso prolongado de las bombas de achique durante la construcción del proyecto. Aquello pondría en tensión la utilización futura de las aguas subterráneas y, además, la conservación del acuífero como elemento fundamental para la preservación y mantención de los ecosistemas (Barranco, 2018), así como también una posible reserva estratégica de agua potable para hacerle frente a las sequías, escasez hídrica y contaminación del agua superficial a la que se vería enfrentada la Región Metropolitana.

Gracias al análisis elaborado en el apartado “Existencia de una Amenaza Física”, se puede plantear que la instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB sí es una amenaza concreta y ayudaría a constituir un riesgo objetivo para la población, puesto que, según la recopilación de antecedentes internacionales y nacionales, la generación de fisuras o roturas en las tuberías que transportan hidrocarburos, pueden ocurrir gracias a errores de instalación en las estructuras, accidentes durante la construcción, acciones de terceros, elementos naturales u otros factores. Además, y respecto al proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB y al contacto del compuesto con una posible fuente de ignición (por menor que esta sea), posteriormente a ser derramado a través de una hipotética fuga en la tubería, el Kerosene de Aviación A1, podría hallar una fuente de ignición en los siguientes escenarios; Si la fuga ocurre cuando haya altas temperaturas y/o radiación solar que, al tener contacto con el suelo, calienta las capas más superficiales de éste. El compuesto derramado, al tener contacto con altas temperaturas albergadas en el suelo, podría reaccionar frente a estas, al ser altamente inflamable (Accsesgas, s.f.; ISTAS, s.f.). Además, si la fuga ocurre en momentos donde se estén realizando trabajos de excavación, mantención, etc., y dejen la tubería descubierta o semi descubierta, el Kerosene de Aviación podría reaccionar frente a altas temperaturas, pequeñas chispas que produzcan los trabajos, cenizas de cigarrillo o llamas de encendedor, entre otros tipos de fuentes que se encuentren en la superficie y sea de origen antrópico o “natural” (Accsesgas, s.f.; ISTAS, s.f.).

El riesgo objetivo hacia la población se justificaría, además, por la exposición de la comunidad frente a las instalaciones del proyecto y cercanía que el actual trazado del oleoducto tendría con viviendas de barrios del sector poniente de la comuna de Maipú. El oleoducto pasaría a tan sólo 13 metros de la villa Pehuén 7 (26 viviendas), de 11 a 13 metros de Villa los Robles 3 del Barrio Sol Poniente (46 viviendas), de 7 a 14 metros (aproximadamente) del sector Los Héroes de Iquique del Barrio Los Bosquinos (3 blocks de departamentos y un templo de culto) y entre 19 y 33 metros del sector Portal del Sol (8 viviendas) (Municipalidad de Maipú, 2018). De este mismo modo, el parque Esdras (ubicado en Barrio Villa el Abrazo) y Valle Los Reyes (ubicado en el Barrio Pehuén), que se ubican de 3 a 4 metros de distancia de las áreas verdes mencionadas, amenazando la calidad de vida de la comunidad y la posibilidad de que esta pueda utilizar los sectores mencionados de áreas verdes como zonas de recreación y contacto con el “medio ambiente” (Serrailler, 2019).

Cabe mencionar, que el producto a transportar no sólo produciría explosiones y/o incendios al tener contacto con alguna fuente de ignición (por mínima que esta sea), sino que también, a temperatura ambiente, genera gases tóxicos si son inhalados por las personas, además de poder producir intoxicación vía cutánea, en el caso del contacto físico con personas o animales. Y, además, durante la combustión del Kerosene, se generan monóxido y dióxido, compuestos altamente tóxicos, pudiendo afectar gravemente la salud de las personas (BS Consultores, s.f.; SAG, 2007).

También es relevante mencionar que se puede considerar una amenaza concreta para la población de la comuna de Maipú la posible contaminación del agua subterránea, producto de un derrame de combustible en el subsuelo y posterior infiltración del combustible hasta el nivel freático, ocasionado por una fisura en la tubería, lo cual derivaría en una restricción al acceso de agua potable de más de 30.000 personas (por ejemplo, en el barrio Los Bosquinos) que perduraría posiblemente por más de 5 años, atentando contra un servicio básico para la población.

Respecto a la Justicia Ambiental, se pudo apreciar, gracias a la recopilación de antecedentes, que en ambos sectores donde el oleoducto tendría mayor cercanía respecto a las viviendas (de 11 a 13 metros de distancia), corresponden a dos de los barrios con mayor porcentaje de población vulnerable socioeconómicamente según indicadores de pobreza multidimensional analizados por la encuesta CASEN del año 2013, correspondientes al Barrio Sol Poniente (15% de población vulnerable) y al Barrio Pehuén (9% de población vulnerable). Y, en los sectores donde el proyecto tendría mayor cercanía con áreas verdes, corresponden al Parque Esdras (ubicado en Barrio el Abrazo) y al Parque Valle Los reyes (ubicado en el Barrio Pehuén), pues se instalaría a una distancia de 3 a 4 metros de éstos, amenazando la calidad de vida de la comunidad y seguridad de los vecinos. Además, es importante destacar que ambos barrios mencionados están conformados principalmente por conjuntos de viviendas sociales. Aquella información anteriormente expuesta es relevante en la medida que permite analizar la injusticia ambiental que se está viviendo en torno a la planificación y posible instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, puesto que, como se ha podido apreciar, la gran amenaza que constituye la construcción del proyecto, referente principalmente a las posibilidades de ocurrencia de un accidente en el cual se vertiera cierta cantidad de combustible, afectaría enormemente a un sector específico de la población; a un sector vulnerable socioeconómicamente, ubicado en un barrio periférico de la comuna y, que no cuenta con los recursos u oportunidades para poder ser partícipe de en la toma de decisiones que afectan a su territorio en materia ambiental ni planificación, tanto por la escasez de mecanismos que generen una inclusión efectiva de la población, como también por la falta de tiempo, educación y motivación de los habitantes de ser partícipes de este tipo de instancias.

Respecto al Análisis de Riesgo, es posible apreciar una zona de Riesgo Medio en la Figura N°26 en una gran parte de la extensión comunal, justificado por la presencia de aguas subterráneas en toda la comuna y por la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno de gran magnitud, asociado a la ignición y/o explosión del combustible a transportar por el oleoducto. Esta presencia de un área sumamente extensa de Riesgo Medio se puede analizar, además,

como un riesgo latente que podría presentar la comuna casi su totalidad (exceptuando las zonas que se encontrarían más cercanas a la tubería y a aquellas que se encuentran bajo la categoría de Riesgo Menor), debido a la tensión que existiría respecto a la explotación del recurso hídrico. Es decir, si bien, sólo 2 pozos de extracción de agua potable de la empresa SMAPA se encontrarían en alto riesgo de ser contaminados frente a un derrame de Kerosene de Aviación (ubicados en el barrio Los Bosquinos), su potencial contaminación no sólo dejaría inutilizables los pozos de aquella zona por un período de 4 a 5 años (o tal vez superior), sino que, para poder abastecer efectivamente de agua potable a la población dependiente de ellos, se deberá recurrir a otros pozos de extracción dentro de la comuna, tensionando, en consecuencia, el abastecimiento de agua potable para otros barrios. Lo cual, sumado a la creciente demanda de recurso hídrico en la Región Metropolitana y en la propia comuna (gracias a su expansión urbana y crecimiento demográfico), sólo traerá consigo mayor tensión hídrica por la utilización de las aguas subterráneas, poniendo en riesgo, así, a toda la comuna frente a la inutilización de cierta infraestructura de bombeo.

Además, es posible apreciar que la zona de Riesgo muy Alto se ubica junto al oleoducto, lo cual indica que aquel área aledaña a la estructura posee características de muy alta vulnerabilidad y amenaza, haciéndola sumamente propensa a recibir los impactos referentes a posibles accidentes que ocurran en la tubería asociados a una fisura de esta y, consecuentemente, un derrame del combustible. La zona de Riesgo Alto se ubica sobre una extensión importante del sector poniente de la comuna de Maipú, abarcando cerca de la mitad de los barrios Industrial, El Abra de Maipú, Los Bosquinos, Pehuén, Sol Poniente y Portal del Sol. Coincidiendo con aquellos barrios que se encontrarían más próximos a la infraestructura del oleoducto, así como también aquellos que poseen los mayores índices de vulnerabilidad dentro de la comuna de Maipú, denotando, de esta forma, una problemática multidimensional que requiere poner énfasis en una gestión de riesgo efectiva para abordar la amenaza que un accidente referente al Oleoducto M-AAMB pueda ocasionar, así como también las diferentes características que convierten a la zona en una de muy alta vulnerabilidad (tanto sociales como ambientales).

Según Castro (2016), zonas de importante vulnerabilidad social, ubicadas en áreas urbanas y que se encuentran expuestas a algún tipo de amenaza, sea esta de origen “natural” o antrópico, son aquellas que presentarían un mayor porcentaje de riesgo para la población y el territorio (puesto que corre peligro la vida de los habitantes, la sostenibilidad de la calidad de vida y los bienes que éstos posean). Se puede apreciar que los procesos de desarrollo socioeconómico junto con el crecimiento urbano implican un aumento de las condiciones de riesgo en territorios urbanos expuestos a amenazas naturales o antrópicas y que presentan características de vulnerabilidad en su población. Aquella descripción coincide con el caso actual analizado, puesto que, gracias a la instalación de proyectos, que traerían beneficios económicos a largo plazo para el país, en este caso el Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, se está poniendo en peligro la salud y calidad de vida de comunidades que ya poseían condiciones previas de vulnerabilidad socioeconómica y escasez de mecanismos de organización comunitaria de prevención y gestión del riesgo de desastres. Siguiendo esta línea, Andrés Sáez de la ONG FIMA (2014) plantea que el sistema y desarrollo económico de los últimos años y

sus particulares patrones de funcionamiento (consumo y producción) han generado la existencia de una serie de proyectos cuyas externalidades negativas suelen generar oposición entre las comunidades que los deben acoger.

#### 4.3. RECOMENDACIONES

La gran oposición que generó la presentación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB en los vecinos de los barrios que se podrían ver afectados (sector poniente de la comuna de Maipú), conllevó a la conformación de la *Coordinadora No al Oleoducto*. Creado a finales del año 2016, este movimiento social constituido por vecinos de barrios de sector poniente de Maipú, se ha hecho presente en reuniones participativas con el titular del proyecto y en actividades comunitarias para entregar información a la población de los barrios afectados acerca de los posibles efectos adversos que el proyecto podría ocasionar en el territorio. También, ha utilizado las redes sociales como Instagram y Facebook para la difusión de información y convocatoria a manifestaciones públicas, como la marcha realizada el 28 de octubre del 2018 en el centro de Maipú (apoyada por cientos de personas, entre ellas, algunos concejales y diputados de la comuna) (Revista Mi Gente, 2018 en Serrailler, 2019). Brindar la información sobre el proyecto y las reuniones con el titular de éste a la población fue y está siendo una tarea que lleva a cabo la misma comunidad, mediante la difusión de conocimientos en juntas de vecinos, redes sociales y trabajo en terreno. Según Howell (2012), la organización social, si se extiende hacia la construcción de una red de conocimiento y solidaridad, puede desarrollar competencias y actividades en materias de seguridad, salud, legalidad y ecología que funcionan para hacerle frente a los cada vez más comunes accidentes y posibles desastres relacionados con los derrames de hidrocarburos (Howell, 2012 en Cavazos et al., 2014). La conformación de esta coordinadora, entonces, podría presentar una alternativa para poder generar redes de apoyo, acciones de prevención y mitigación de desastres referentes a un posible derrame de combustible, contribuyendo así, a constituir una gestión local del riesgo, así como también a la educación comunitaria en torno a estas materias.

Sin embargo, aquello no será suficiente para poder prevenir y, en caso de ser necesario, mitigar los posibles accidentes que la instalación del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB pueda ocasionar en un caso de fisura en la tubería y derrame del combustible a transportar, pues es necesario contar con el apoyo de diversos organismos, (ya sean municipales, regionales, entre otros) que velen por la seguridad, resiliencia y bienestar de la población, y, que tengan la disposición de trabajar en conjunto con las organizaciones de la sociedad civil con el objetivo de lograr en conjunto una gestión de riesgo efectiva.

Es importante, además, considerar la relevancia de las aguas subterráneas no tan sólo desde una perspectiva de recurso hídrico propiamente tal, sino también, como un elemento crucial para el funcionamiento y equilibrio del ecosistema.

## 5. REFERENCIAS

- Accesgas. (s.f.). *Capítulo 6: Análisis y evaluación de riesgos*. Estudio de Riesgo Ambiental - Proyecto: Estación de Compresión GNC Bajío.
- ACHS. (s.f.). *Taller de Sustancias Peligrosas - Manual de Principiante*. From Portal ACHS - C.C.C. Control de Comportamientos Críticos: [achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrosdeFichas/Documents\\_pdf/taller-de-sustancias-peligrosas.pdf](https://achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrosdeFichas/Documents_pdf/taller-de-sustancias-peligrosas.pdf)
- Alonso, F. D. (2006). *Análisis de Consecuencias y Zonas de Planificación para Explosiones Industriales Accidentales (en el ámbito de las Directivas Seveso)*. Murcia, España: Universidad de Murcia, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química .
- Arancibia, S., Contreras, E., Mella, S., Torres, P., & Villablanca, I. (s.f.). *Evaluación Multicriterio: aplicación para la formación de proyectos de infraestructura*. Centro de Gestión del Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- Astaburuaga, A. S. (2014). Compensación por Instalación de Proyectos Locales no Deseados: Consideraciones para su Discusión . *Revista de Derecho Ambiental ONG FIMA*, 145-158.
- Barranco, A. R. (2018). El agua subterránea y su importancia socioambiental. *UNIVERSITARIOS POTOSINOS*, 16 A 21.
- Barton, J. (2006). Sustentabilidad urbana como planificación estratégica. *EURE*, 27-45.
- Batista, J., & Godoy, L. (2011). Investigación de Causas de Explosiones en una Planta de Almacenamiento de Combustible en Puerto Rico. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.*, 109-122. From <https://core.ac.uk/download/pdf/296528199.pdf>
- BCN. (2017). *Reportes Comunales Maipú*. From Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: [bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2017&idcom=13119](https://bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2017&idcom=13119)
- BCN. (2021). *Reportes Comunales Maipú*. From Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: [https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2021&idcom=13119](https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2021&idcom=13119)
- BCN. (s.f.). *Labor Parlamentaria Participación*. From Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/laborparlamentaria/wsgi/consulta/verParticipacion.py?idParticipacion=1390258>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). *Nature and Properties of Soils, The, 13th Edition*. Pearson.
- BS Consultores. (2016). *Línea Base de Hidrología, Hidrogeología y Calidad del Agua Subterránea*. Capítulo 3 Sección 3.4. EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.

- BS Consultores. (2016). *Antecedentes Complementarios Línea Base, Suelo*. Anexo C, Parte 1. EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
- BS Consultores. (2016). *Canales - Contenido Sectorial*. Actualización PAS 156. Anexo 6.7.B. Adenda al EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
- BS Consultores. (2016). *Descripción del Proyecto*. Capítulo 1. EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
- BS Consultores. (2016). *Línea de Base de Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales*. Capítulo 3 Sección 3.3. EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
- BS Consultores. (s.f.). *Antecedentes Complementarios Descripción del Proyecto, Características del combustible de Aviación a transportar*. Anexo B, Parte 2. EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
- BS Consultores. (s.f.). *Modelo Conceptual de Transporte de Contaminantes (Kerosene de Aviación A1)*. Anexo 10.25. Adenda al EIA Segunda Línea Oleoducto M-AAMB.
- Castro, C. P. (2016). *Los Riesgos como Efectos no deseados del Desarrollo: Hacia la Construcción de Territorios Seguros*. Santiago Chile: Programa Fondecyt Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica.
- Cavazos, J., Pérez, B., & Mauricio, A. (2014). *Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México*. Agricultura, sociedad y desarrollo.
- Chenaut, V. (2017). *Impactos sociales y ambientales de la explotación de hidrocarburos en el municipio de Papantla, Veracruz (México)*. From OpenEdition Journals: <https://journals.openedition.org/eces/2433#tocto1n2>
- CIIFEN. (s.f.). *Aproximación para el cálculo del riesgo. Obtenido de Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño*. From [https://ciifen.org/?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es](https://ciifen.org/?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es)
- CIREN. (s.f.). *Estudio de Suelos del Proyecto Maipo*. Santiago de Chile: Comisión Nacional de Riego.
- DGA. (2014). *Registro de precipitaciones, caudales de estaciones, niveles de agua subterránea y calidad química de aguas superficiales*. Santiago de Chile.
- Espejo, D. (2010). *Noción y elementos de la Justicia Ambiental: Directrices para su Aplicación en la Planificación Territorial y en la Evaluación Ambiental Estratégica*. Scielo, 23(1).
- Ferrer, A. J. (2010). *Control de las Aguas Subterráneas en la Ingeniería Civil. Interacción entre la obra y el Medio Hidrogeológico, Síntesis de Métodos de Control y Aplicación de Modelos Matemáticos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- Fragkou, M. C. (2018). *Environmental Justice*. Santiago de Chile.: Universidad de Chile.
- Frick, J. P. (2007). *Efectos Ambientales en los Suelos del Sector Poniente de Santiago como consecuencia del Proceso de Expansión Urbana. Comunas de Maipú y*

*Pudahuel*. Santiago: Memoria para Optar al Título Profesional de Geógrafo, Universidad de Chile.

- Fuenzalida, M., & Quiroz, R. (2012). *La dimensión espacial de los conflictos ambientales en Chile*. Polis, revista Latinoamericana, 157-168.
- Gajardo, S. M. (2014). *El Acceso a la Justicia Ambiental*. Revista de Derecho Ambiental ONG FIMA, 17-38.
- GEOSEC Ground Engineering. (s.f.). *Asentamiento del Terreno*. From GEOSEC Ground Engineering: <https://www.geosec.es/mejora-de-terreno/asentamiento-del-terreno/#:~:text=Se%20entiende%20por%20tanto%20como,lo%20sustenta%20debido%20a%20la>
- Hurtado, T., & Bruno, G. (s.f.). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*. Lima, Perú: Tesis Digitales Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).
- Iriarte, S. (2003). *Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago, Escala 1:100.000*. Santiago de Chile: Sernageomin N°68.
- ISTAS. (s.f.). *Incendio y Explosión*. From Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud de España (ISTAS): [http://istas.net/descargas/gverde/INCENDIO\\_EXPLOSION.pdf](http://istas.net/descargas/gverde/INCENDIO_EXPLOSION.pdf)
- Leyton, F., Sepúlveda, S., Astroza, M., Rebolledo, S., González, L., Rúaiz, R., . . . Lavado, J. (2010). *Zonificación sísmica de la cuenca de Santiago*. Santiago de Chile: Décimo Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA).
- López-Marrero, T., González-Toro, A., Heartsill-Scalley, T., & Hermansen-Báez, A. (2010). *Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la planificación y la toma de decisiones acerca del uso de terrenos. El Yunque y sus Servicios Ecológicos*.
- Lorca, O. (2018). *Calidad y Procesos Hidrogeoquímicos en el Agua de la Región Metropolitana: Estudio del Área Concesión SMAPA*. Santiago de Chile: Memoria para Optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile.
- Mercurio Valparaíso. (2001, julio 28). *Error en instalación de ducto provocó derrame de petróleo en Reñaca Alto*. From Mercurio Valparaíso: <https://www.mercuriovalpo.cl/site/edic/20010727203312/pags/20010727232929.html>
- Mercurio Valparaíso. (2001, agosto 27). *Sonacol remediará daños en un año*. From Mercurio Valparaíso: <https://www.mercuriovalpo.cl/site/edic/20010826203658/pags/20010827000122.html>
- Mercurio Valparaíso. (2004, julio 30). *Rotura de estanque contenedor de residuo de petróleo derramó más de 80 mil litros de hidrocarburo en estero Marga Marga*. From Mercurio Valparaíso: [https://www.mercuriovalpo.cl/prontus4\\_noticias/site/artic/20040730/pags/20040730045637.html](https://www.mercuriovalpo.cl/prontus4_noticias/site/artic/20040730/pags/20040730045637.html)
- Mirafteb, F. (2016). *Insurgent Planning: Situating Radical Planning in the Global South*. Readings in Planning Theory, 480-498. From [https://www.researchgate.net/publication/305546909\\_Insurgent\\_Planning\\_Situating\\_Radical\\_Planning\\_in\\_the\\_Global\\_South](https://www.researchgate.net/publication/305546909_Insurgent_Planning_Situating_Radical_Planning_in_the_Global_South)

- Municipalidad de Maipú. (2015). *Atlas Comunal Maipú*. Santiago.
- Municipalidad de Maipú. (2018). *Hipótesis compatibilidad territorial Segunda Línea Oleoducto M-AAMB*. Santiago, Maipú, Chile.
- Municipalidad de Maipú. (2018, Noviembre). *Pronunciación Municipalidad de Maipú sobre Adenda Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Segunda Línea Oleoducto M-MAAMB*. Santiago, Maipú, Chile.
- Portillo, X. (2012). *Evacuación de Aguas Subterráneas por Bombeo en la Construcción de Túneles, Caso Hidroeléctrica Amoyá*. Bogotá, Colombia: Tesis de Especialización Ingeniería de Sistemas Hídricos Urbanos, Universidad de los Andes Facultad De Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Prensa Universidad de Chile. (2020, enero 7). *Escasez hídrica en Chile, ¿cómo la enfrentamos?* From Prensa Universidad de Chile: <https://www.uchile.cl/noticias/160634/escasez-hidrica-en-chile-como-la-enfrentamos>
- Quiroga, S., Bustamante, M., Vila, B., & Videla. (2015). *Factores subyacentes del riesgo y Ordenamiento Territorial en el Gran Mendoza, Argentina*. Mendoza: Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur, CETEM, UNCuyo.
- Ramírez Guevara, S., Galindo Mendoza, M., & Servín, C. (2015). *Justicia ambiental. Entre la utopía y la realidad social*. Scielo, 3(1).
- Rivera H., H. (2001). *Aplicación de la Evaluación Multicriterio para la Asignación de Funciones al Territorio de la Reserva Nacional Valdivia*. Subproyecto Plan de Ordenación Reserva Nacional Valdivia (CONAF / GTZ).
- Rodríguez, F. D. (2014). *El Deber - Obligación del Estado de Proteger el Derecho a la vida de las personas*. *Revista de Derechok Ambiental ONG FIMA*, 95-114.
- SAG. (2007). *Informe Final Diseño Monitoreo Frente Derrames de Hidrocarburos*. Santiago: Ministerio de Agricultura.
- Santibáñez, F. (2018). *El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. Reflexiones y Desafíos al 2030: Perspectiva de Especialistas Externos*, 147-178.
- SEIA. (2016, diciembre 29). *Ficha del Proyecto: Segunda Línea Oleoducto M-AAMB*. Santiago, Chile.
- Sellés, D., & Gana, P. (2001). *Geología del área de Talagante-San Francisco de Mostazal, regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geológica Básica, N°74.
- Sernageomin. (2004). *Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región Metropolitana de Santiago*. Santiago de Chile.
- Serrailler, B. (2019). *Perpción del riesgo y conflicto por la construcción del oleoducto de SONACOL en Maipú. (2015-2018)*. Santiago Chile: Informe de seminario de grado para optar al grado de licenciatura en historia, Universidad de Chile, Facultad de Filosofía y Humanidades, Departamento de Ciencias Históricas.
- Sevilla Buitrago, Á. (2012). *Hegemonía, gubernamentalidad, territorio. Apuntes metodológicos para una historia social de la planificación*. Madrid.
- SISS. (2014, diciembre). *Registro de niveles y calidad química de aguas subterráneas (actualización)*. Santiago de Chile.

- Sonacol & BS Consultores. (2020). *Contingencia en el Oleoducto Concón-Maipú Ocurrida el 27 de Enero de 2001 - Campaña de Monitoreo N°62*.
- Vergara, A., & De Las Rivas, J. (2016). *La Inteligencia del Territorio Supercities*. Findeter.
- Vergara, L., & Verdugo, R. (2015). *Condiciones geológicas-geotécnicas de la cuenca de Santiago y su relación con la distribución de daños del terremoto del 27F*. Obras y Proyectos, 52-59.

## 6. ANEXOS

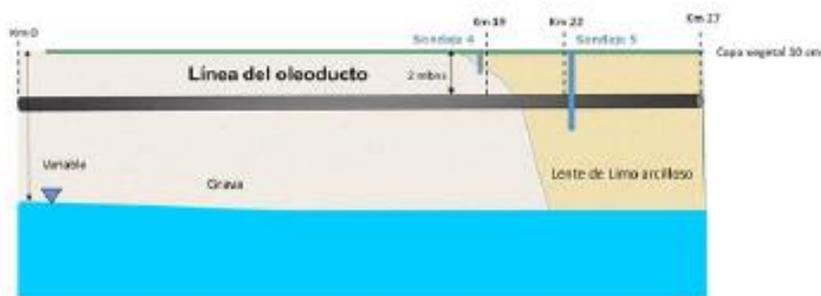
### ANEXO 1. MODELO DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES (KEROSENE DE AVIACIÓN A1)

Este informe fue elaborado por la empresa BS Consultores (s.f.) en conjunto con el titular del proyecto Segunda Línea Oleoducto M-AAMB, la empresa Sonacol.

Utilización de modelo en la Zona Vadosa

La Zona Vadosa hace referencia al área no saturada que posee un cierto grado de humedad. El transporte de fluido en esta zona se evaluó por fórmulas multifase que simulan el avance de un hidrocarburo en el subsuelo. El avance está en función de: las características del suelo, características de fluido, volumen derramado, tiempo de duración del derrame y área del derrame. El cálculo predictivo se realizó aplicando las fórmulas simplificadas de Grimaz et al. (2015). Las cuales se presentan a continuación:

Figura 6-1: Caracterización del suelo a lo largo del trazado del oleoducto



Área por un evento de Fuga (caudal a través del tiempo):

$$A_{\text{pool}} = 1,7715 \frac{Q_{\text{pool}} \cdot t_{\text{derr}}}{g \cdot k_f \cdot H_{\text{napl}}} \quad (1)$$

Área por un evento de Rotura (volumen instantáneo):

$$A_{pool} = 2,3782 \frac{V_{spill}^{4/3}}{(k_i k_{r,NAPL})^{1/3}} \quad (2)$$

donde,

- $A_{pool}$  = Área del derrame de hidrocarburo sobre la superficie (m<sup>2</sup>)
- $q_{spill}$  = Flujo o tasa de hidrocarburo derramado (m<sup>3</sup>/s)
- $V_{spill}$  = Volumen total de hidrocarburo derramado
- $\nu_{oil}$  = Viscosidad cinemática del hidrocarburo o NAPL (m<sup>2</sup>/s)
- $g$  = Aceleración por gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- $k_i$  = Permeabilidad intrínseca del suelo (m<sup>2</sup>)
- $k_{r,NAPL}$  = Permeabilidad relativa del hidrocarburo o NAPL

Avance en la zona vadosa:

$$D_{mp} = \frac{V_{spill}}{A_{pool} R \xi} \quad (3)$$

donde,

- $D_{mp}$  = Máxima profundidad de avance del NAPL en la zona vadosa (m)
- $V_{spill}$  = Volumen total de hidrocarburo derramado
- $A_{pool}$  = Área del derrame de hidrocarburo sobre la superficie (m<sup>2</sup>)
- $R$  = Capacidad de retención (Ver Tabla 6-3)
- $\xi$  = Parámetro que depende de la viscosidad del fluido (ver Tabla 6-4.)

Tiempo de llegada al acuífero

$$t_{AT} = \frac{D_{FC}}{v_{p,un}} = \frac{D_{FC}}{\frac{k_{r,NAPL} q_{sp}}{g - \nu_{oil}}} \quad (4)$$

donde,

- $t_{AT}$  = Tiempo de llegada del NAPL al acuífero (s)
- $D_{FC}$  = Profundidad del acuífero
- $v_{p,un}$  = Velocidad de penetración del NAPL en la zona no saturada (m/s)
- $k_{r,NAPL}$  = Permeabilidad relativa del hidrocarburo o NAPL

Espesor del lente (Schroth et al., 1995):

$$T = \frac{4(\sigma_{aw} - \sigma_{ai} - \sigma_{oi})}{4\gamma(\rho_w - \rho_o)} \quad (5)$$

donde,

- $T$  = Espesor del lente (m)
- $\sigma_{aw}$  = Tensión interfacial aire-agua
- $\sigma_{ai}$  = Tensión interfacial aire-NAPL
- $\sigma_{ow}$  = Tensión interfacial NAPL-agua

Según la información recopilada por BS Consultores, así como por sus visitas a terreno, se considera lo siguiente:

**Tabla 6-2: Propiedades físicas del combustible**

Tipo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	viscosidad cinemática (cp)
Combustible de aviación (Jet 1A)	806	1,2

Nota: En el Anexo B, Parte 2 "Antecedentes complementarios descripción del proyecto, características del combustible de aviación a transportar" del EIA se presenta la Hoja de Seguridad del combustible cuya densidad del combustible presenta un rango entre 775 a 840 kg/m<sup>3</sup>. Fuente: Densidad obtenida de EETD, 1989 y a viscosidad fue obtenida de DUKEK, 1978.

**Tabla 6-3: Capacidad de retención**

Litología	Capacidad de retención (m <sup>3</sup> NAPL/ m <sup>3</sup> suelo)
Piedras- grava gruesa	5 x10 <sup>-3</sup>
Grava - arena gruesa	8 x10 <sup>-3</sup>
arena gruesa- arena media	15 x10 <sup>-3</sup>
arena media- arena fina	25 x10 <sup>-3</sup>
Arena fina- limo	40 x10 <sup>-3</sup>

Fuente: Concawe, 1979.

**Tabla 6-4: Parámetro  $\xi$** 

Fluido	$\xi$
Viscosidad baja (gasolina, petróleo)	0,5
Viscosidad media (kerosene, parafina, diésel)	1,0
Viscosidad alta	2,0

Fuente: Concawe, 1979.

### Utilización modelo en la Franja Capilar

Cuando el hidrocarburo alcanza el acuífero, debe alcanzar suficiente carga para desplazar el nivel freático hacia abajo y comenzar el esparcimiento lateral. Existe una disolución de componentes en el acuífero y evaporación de algunos elementos del combustible. En esta zona el combustible coexiste con el agua. Para la evaluación de un posible derrame, se simplificaron las ecuaciones mediante la suposición de un volumen finito de paralelepípedo rectangular para el lente de hidrocarburo. Las fórmulas utilizadas se encuentran a continuación:

- g = gravedad
- $\rho_w$  = Densidad del agua
- $\rho_0$  = Densidad del LNAPL
- $d_m$  = diámetro de cuello de partícula ( $\sigma_{ow} = 0,42 dp$ )
- $d_p$  = diámetro de partícula

Esesor del lente (Chevallier, 1998):

$$T = \frac{4(\sigma_{ow})}{d \rho_0} \quad (6)$$

donde,

- T = Espesor del lente (m)
- $\sigma_{ow}$  = Tensión interfacial NAPL-agua
- g = gravedad
- $\rho_0$  = Densidad del LNAPL
- d = diámetro de partícula

Volumen de LNAPL que alcanza el acuífero:

$$V_{LNAPLw} = V_{total} - D_{TC} \cdot A_{poc} \cdot R \cdot \xi \quad (7)$$

donde,

- $V_{LNAPLw}$  = Volumen del LNAPL disponible para el lente ( $m^3$ )
- $V_{total}$  = Volumen total de hidrocarburo derramado ( $m^3$ )
- $D_{TC}$  = Profundidad del acuífero (m)
- R = Capacidad de retención
- $\xi$  = Parámetro que depende de la viscosidad del fluido

Espacio que ocupa el lente de NAPL:

$$V_{lente} = \frac{V_{LNAPLw}}{\eta S_m} \quad (8)$$

donde,

- $V_{LNAPLw}$  = Volumen del LNAPL disponible para el lente ( $m^3$ )
- $V_{lente}$  = Espacio que ocupa el lente de LNAPL ( $m^3$ )

- $\eta$  = Porosidad del suelo
- $S_m$  = Saturación media del LNAPL

Dimensiones del lente:

$$\text{Ancho} = \sqrt{\frac{V_{lente}}{\pi \cdot 2}} \quad (9)$$

$$\text{Largo} = 2 \cdot \text{Ancho} \quad (10)$$

donde,

- $V_{lente}$  = Espacio que ocupa el lente de LNAPL ( $m^3$ )
- T = Espesor del lente

## Utilización del modelo en el Acuífero

El transporte de la pluma de hidrocarburo en el acuífero sucede gracias a la disolución de los diferentes componentes del combustible. Para la aplicación del modelo, se considera un suelo homogéneo y un flujo de agua unidimensional con dispersión y reacciones en todas las direcciones. El transporte está en función de las concentraciones existentes disueltas, la

solubilidad efectiva, la velocidad del agua subterránea y otros factores tales como el área de contacto de lente de hidrocarburo y la difusividad molecular de los elementos del combustible en el agua. Las fórmulas utilizadas se encuentran a continuación:

Ley de Raoult: Estimación de la solubilidad efectiva o concentración de equilibrio del constituyente del NAPL.

$$c_i^{eq} = S_i \cdot MF_i \quad (11)$$

donde,

- $c_i^{eq}$  = Concentración de equilibrio acuoso del componente i del NAPL
- $S_i$  = Solubilidad de la fase pura del componente i del NAPL
- $MF_i$  = Fracción molar del componente i del NAPL

Ecación de primer orden para la transferencia de masa:

$$T_i = k_0 \cdot q \cdot (c_i^{eq} - c_i^a) \quad (12)$$

donde,

- $T_i$  = Tasa de transferencia de masa entre el NAPL y el agua del componente i del NAPL
- $k_0$  = Coeficiente de transferencia de masa entre el NAPL y el agua
- $q$  = Magnitud de la velocidad del agua
- $c_i^a$  = Concentración actual del componente i en el agua del acuífero

Coefficiente de retardo:

$$R = \frac{v}{v_c} = 1 + K_d \cdot (\rho_b / \eta) \quad (13)$$

donde,

- $R$  = Coeficiente de retardo
- $v$  = Velocidad del agua subterránea
- $v_c$  = Velocidad del componente i del NAPL en el agua
- $K_d$  = Coeficiente de partición
- $\rho_b$  = densidad del suelo
- $\eta$  = Porosidad del suelo

Coefficiente de partición:

$$K_d = K_{oc} \cdot F_{oc} \quad (14)$$

- $K_d$  = Coeficiente de partición
- $K_{oc}$  = Coeficiente de partición de carbón orgánico para el componente i
- $F_{oc}$  = Contenido de fracción orgánica del suelo

Como compuesto de interés se evaluará el benceno por sus características tóxicas. De acuerdo a información bibliográfica la fracción de masa de benceno que se encuentra en el combustible de aviación es del orden de 0,001 y tiene una solubilidad de la fase pura de 1.780 mg/L (Dunlap and Beckman, 1988). Adicionalmente, se consideró una vida media de 90 días. Este tiempo se obtuvo del valor de vida media para el benceno a partir de bibliografía, que presenta un rango entre 50 a 789 días (Chiao, 1994).

Tiempo de derrame:

Se considera que el tiempo en que ocurre el descuelgue es fijo para ambas zonas geográficas y toma un valor de 2 horas. La estimación del tiempo fue obtenida a partir de la fórmula (15 elaborada por Rincón (2011) y de la formula (16 que relaciona caudal con tiempo.

$$Q = CdAh \sqrt{2(P - Pa)\rho} \quad (15)$$

- donde,
- Q = Caudal másico
  - Cd = Coeficiente de descarga (0,96)
  - Ah = Área transversal del agujero (diámetro de 2 cm = 0,000314 m<sup>2</sup>)
  - P = Presión total de la apertura (N/m<sup>2</sup>)
  - Pa = Presión atmosférica (N/m<sup>2</sup>)
  - ρ = Densidad del líquido (kg/m<sup>3</sup>)

$$\text{Tiempo}_{\text{descuelgue}} = \frac{\text{Volumen de descuelgue}}{\text{Caudal de descuelgue}} \quad (16)$$

- donde,
- Volumen de descuelgue = 10 m<sup>3</sup> (Se usó el valor mayor)
  - Caudal de descuelgue = 0,002 m<sup>3</sup>/s (obtenido de la aplicación de la fórmula anterior)
  - Tiempo de descuelgue = 2 h

De acuerdo a lo anterior, los tiempos de fuga son:

- Fuga menor (1%) = 1 hora + 2 horas = 3 horas
- Fuga mayor (5%) = 0,083 hora + 2 horas = 2,083 horas = 2 horas

Definición de escenarios:

$$\text{Caudal de fuga} = \frac{\text{Volumen total derramado}}{\text{tiempo descuelgue} + \text{tiempo detección}} \quad (17)$$

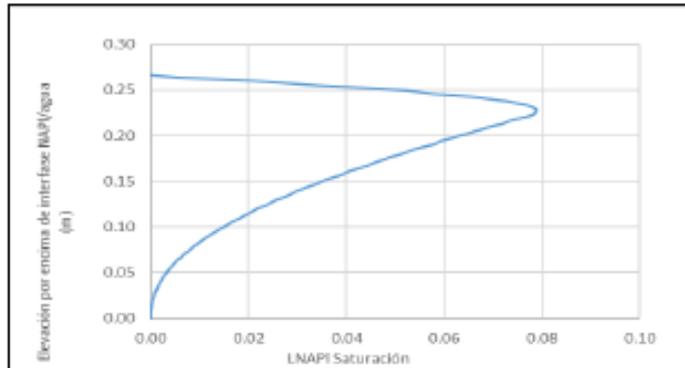
## Evaluación de Escenarios

**Tabla 7-1: Escenarios a evaluar**

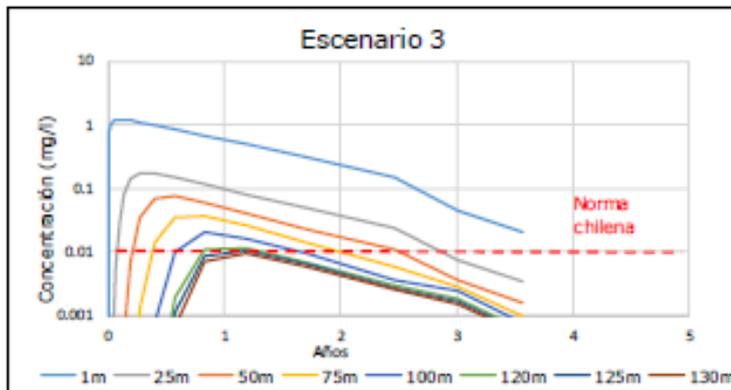
Escenario	Tipo de suelo	Profundidad de la napa subterránea (m)			Tipo de fuga	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo de fuga (hora)	Caudal de fuga (m <sup>3</sup> /d)
		Tipo	Desde la superficie	Desde el derrame				
1	Limo arcilloso	Mínima	16	12	Mayor (5%)	6.25	≈2	75
2	Limo arcilloso	Mínima	16	12	Menor (1%)	20	3	160
3	grava	Mínima	18	14	Mayor (5%)	6.25	≈2	75
4	grava	Mínima	18	14	Menor (1%)	20	3	160

En la Figura 7-1 se presenta la saturación del lente de hidrocarburo en el lente de LNAPL, es decir, el porcentaje de hidrocarburo que ocupa los espacios vacíos del subsuelo para un suelo de grava y un espesor de lente de 0,22 m. En la Figura 7-2 se presenta la concentración de benceno (mg/l) para diferentes distancias hacia aguas abajo del lente de hidrocarburo y a lo largo del tiempo. Finalmente, en la Figura 7-3 se presenta la extensión de la pluma de benceno por sobre la referencia a lo largo del tiempo. Cabe señalar, que este decaimiento se encuentra relacionado a proceso de transporte y biodegradación del benceno.

**Figura 7-1: Saturación del lente de hidrocarburo - escenario 3 y 4**



**Figura 7-2: Concentración del benceno a diferentes distancias desde el lente y tiempo - Escenario 3.**



**Figura 7-3: Extensión de la pluma de benceno por sobre la referencia- Escenario 3**

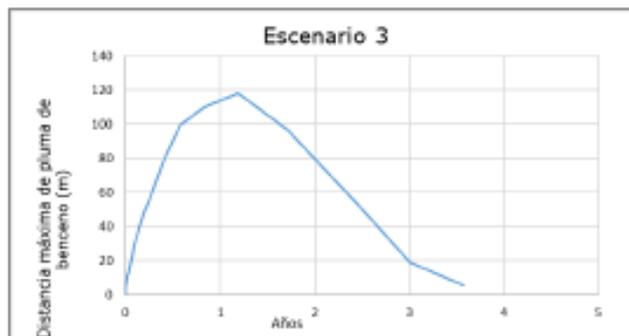


Figura 7-4: Concentración del benceno a diferentes distancias desde el lente y tiempo - Escenario 4.

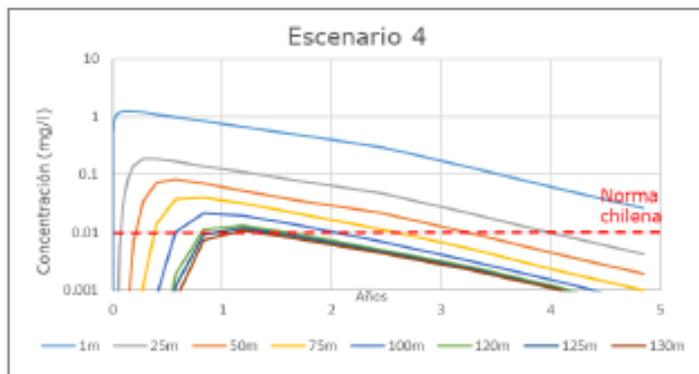


Figura 7-5: Extensión de la pluma de benceno por sobre la referencia- Escenario 4

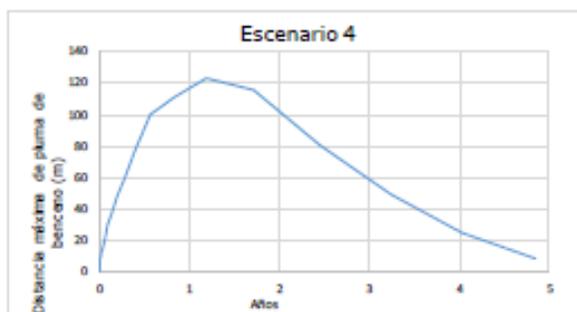
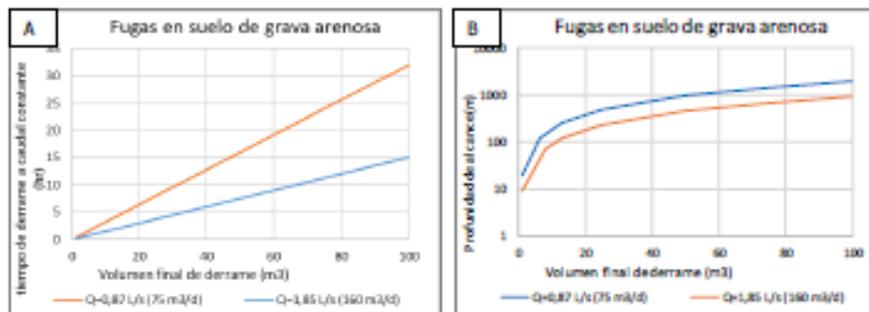
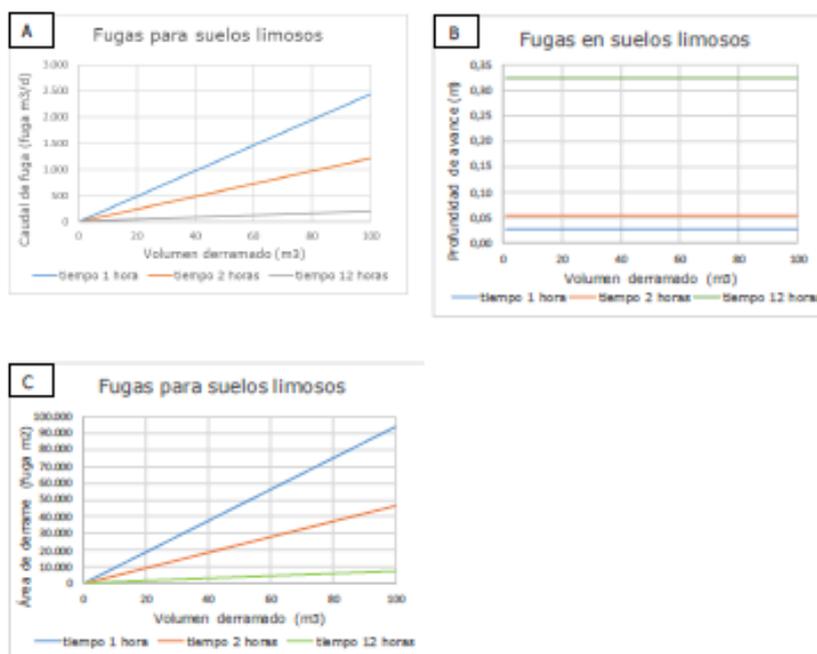


Figura 7-7: Profundidad potencial de avance en la zona vadosa respecto al volumen final de derrame para fugas en grava (Q=75 m<sup>3</sup>/d y Q (160 m<sup>3</sup>/d)



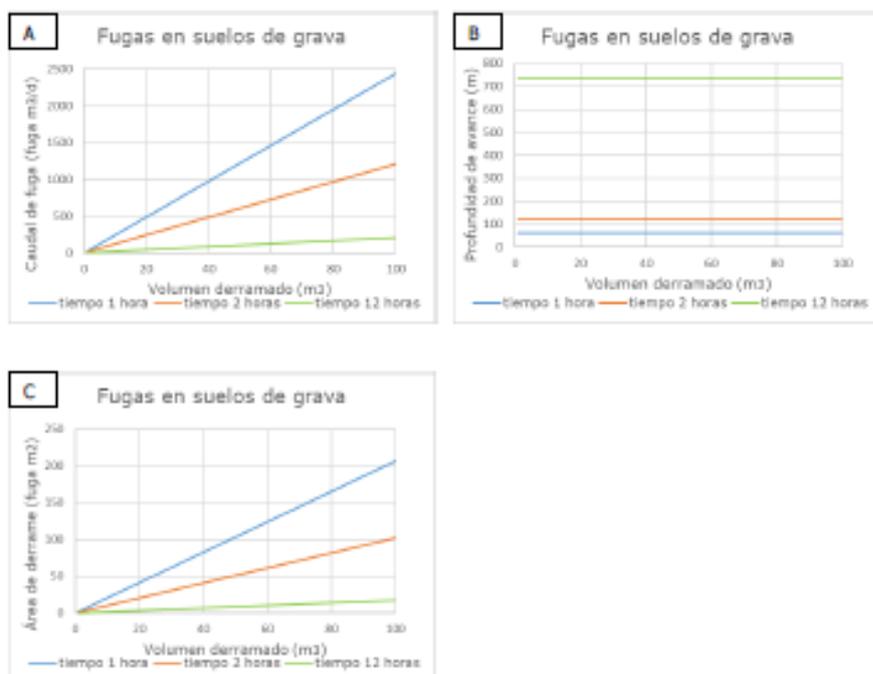
Nota: A. Gráfico de volumen de derrame versus tiempo para caudales constantes de fuga (Q= 75 y 160 m<sup>3</sup>/d). B. Gráfico de profundidad potencial de avance versus volumen de derrame, parámetro que se encuentra en función del tiempo y de un caudal constante (Gráfico A).

**Figura 7-8: Análisis de sensibilidad de caudal -Profundidad total de avance y área de impacto en el suelo para suelos limosos**



Nota: A. Gráfico de volumen de derrame versus caudales de fuga (m<sup>3</sup>/d) para tiempos constantes de fuga (1, 2 y 12 horas). B. Gráfico de profundidad potencial de avance versus volumen de derrame, parámetro que se encuentra en función de tiempo constante y caudal variable (Gráfico A). C Gráfico de área del frente de derrame versus volumen de derrame, parámetro que se encuentra en función de tiempo constante y caudal variable (Gráfico A).

**Figura 7-9: Análisis de sensibilidad de caudal -Profundidad total de avance y área de impacto en el suelo para suelos de grava**



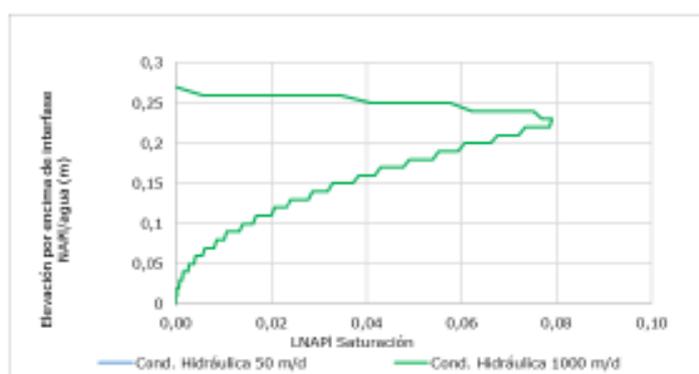
**Tabla 7-3: Análisis de sensibilidad para la saturación del suelo**

Caudal de fuga (m <sup>3</sup> /d)	Tiempo de derrame (horas)	Tipo de suelo	Saturación del suelo	Alcance del hidrocarburo	Profundidad potencial de avance (m)	Área potencial de impacto en el suelo (m <sup>2</sup> )
160	3	Suelo limoso	Poco húmedo (0,25)	Zona vadosa	0,12	4.110
160	3	Suelo limoso	Promedio (0,5)	Zona vadosa	0,08	6.166
160	3	Suelo limoso	Húmedo (0,75)	Zona vadosa	0,04	12.331
160	3	Suelo grava	Poco húmedo (0,25)	Acuífero	276	9
160	3	Suelo grava	Promedio (0,5)	Acuífero	184	14
160	3	Suelo grava	Húmedo (0,75)	Acuífero	92	27

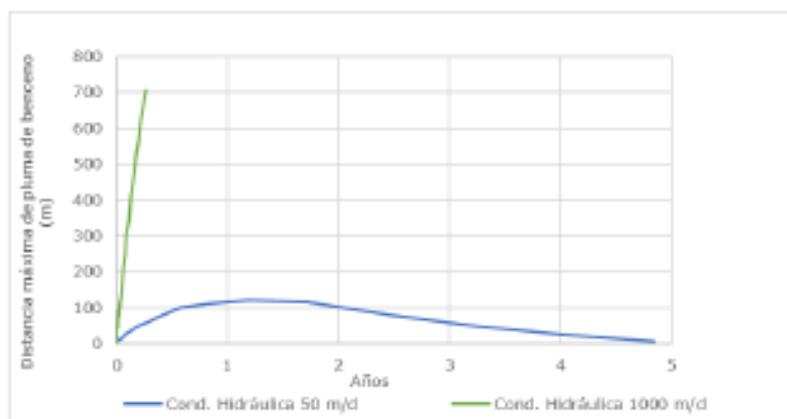
**Tabla 7-4: Análisis de sensibilidad para la conductibilidad hidráulica en la zona no saturada**

Caudal de fuga (m <sup>3</sup> /d)	Tiempo de derrame (h)	Nivel napa desde el oleoducto (metros)	Tipo de suelo (cond. Hidráulica)	Saturación del suelo	Espesor del lente de LNAPL (m)	Alcance del hidrocarburo	Prof. potencial de avance (m)	Área potencial de impacto en el suelo (m <sup>2</sup> )	Área potencial del lente del LNAPL (m <sup>2</sup> )	Extensión máxima de concentración de Benceno por sobre la norma (m)	Tiempo máximo por sobre la norma (año)
160	3	14	Grava (1 m/d)	Promedio	0,22	Zona vadosa	3,69	678	-		
160	3	14	Grava (50 m/d)	Promedio	0,22	Acuífero	184	14	6617	123	4,85
160	3	14	Grava (1000 m/d)	Promedio	0,22	Acuífero	3686	1	7134	704	0,262

**Figura 7-10: Análisis de sensibilidad de la conductibilidad hidráulica - Saturación del lente de hidrocarburo en la franja capilar**



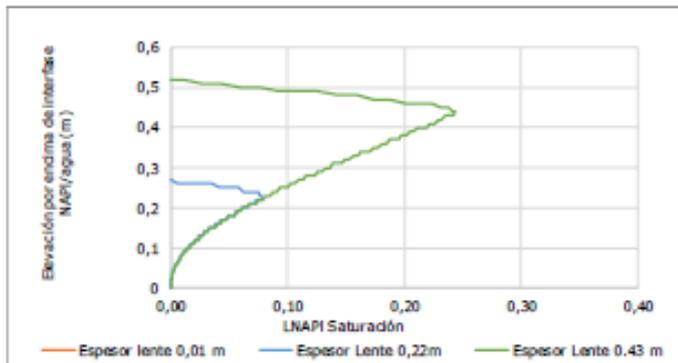
**Figura 7-11: Análisis de sensibilidad de la conductibilidad hidráulica - Extensión de la pluma de benceno a través del tiempo**



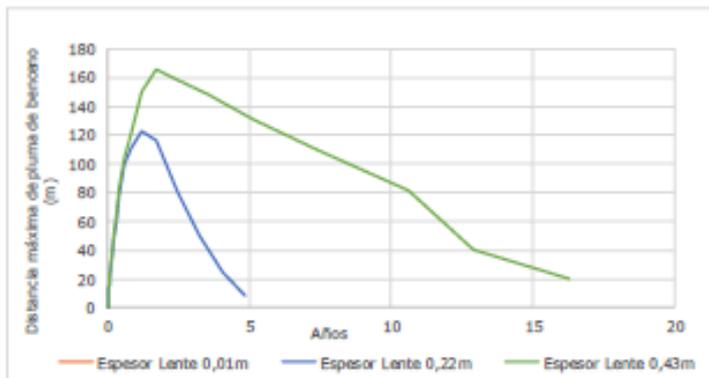
**Tabla 7-5: Resultados del análisis de sensibilidad del espesor del lente**

Caudal de fuga (m <sup>3</sup> /d)	Tiempo de derrame (h)	Nivel napa desde el oleoducto (mbsa)	Tipo de suelo (cond. hidráulica)	Saturación del suelo	Espesor del lente de LNAPL (m)	Alcance del hidrocarburo	Prof. potencial de avance (m)	Área potencial de impacto en el suelo (m <sup>2</sup> )	Área potencial del LNAPL (m <sup>2</sup> )	Extensión máxima de concentración de Benceno por sobre la norma (m)	Tiempo máximo por sobre la norma (año)
160	3	14	Grava (50 m/d)	Promedio	0,22	Acuífero	184	14	119885207	0,989	0,003
160	3	14	Grava (50 m/d)	Promedio	0,22	Acuífero	184	14	6617	123	4,85
160	3	14	Grava (50 m/d)	Promedio	0,22	Acuífero	184	14	1027	166	16,3

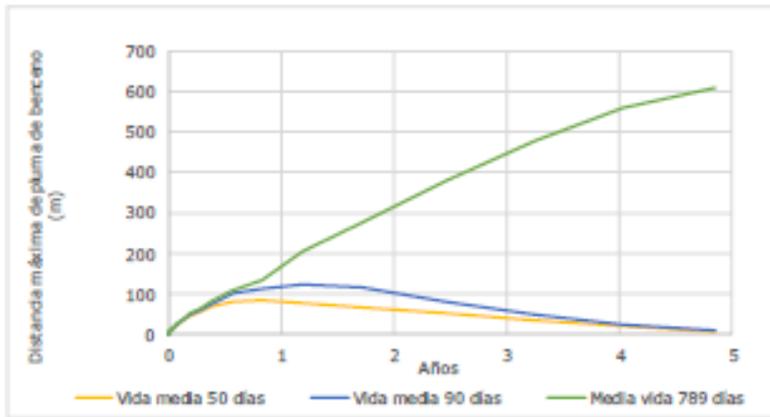
**Figura 7-12: Análisis de sensibilidad del espesor del lente - Saturación del lente de hidrocarburo en la franja capilar**



**Figura 7-13: Análisis de sensibilidad del espesor del lente - Extensión de la pluma de benceno a través del tiempo**



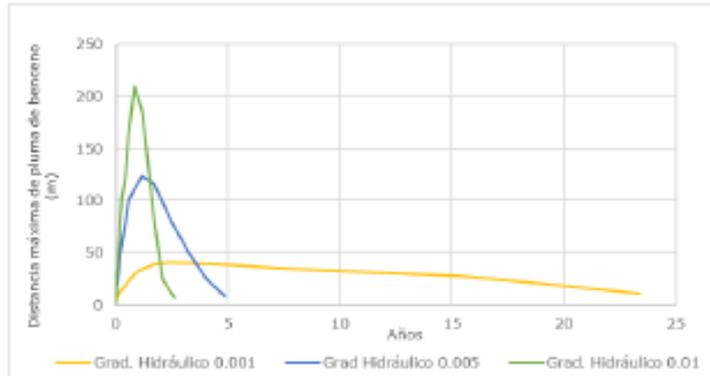
**Figura 7-14: Análisis de sensibilidad de la vida media del benceno –extensión de la pluma de contaminación**



**Tabla 7-7 : Resultados del análisis de sensibilidad del gradiente hidráulico**

Caudal de fuga (m <sup>3</sup> /d)	Tiempo de derrame (h)	Nivel nape desde el conducto (metros)	Tipo de suelo (cond. hidráulica)	Espesor del lente de NAPL (m)	Gradiente hidráulico	Alcance del hidrocarburo	Prof. potencial de avance (m)	Área potencial de impacto en el suelo (m <sup>2</sup> )	Área potencial del lente del LNAPL (m <sup>2</sup> )	Extensión máxima de concentración de Benceno por sobre la norma (m)	Tiempo máximo por sobre la norma (año)
160	3	14	Grava (50 m/d)	0,22	0,01	Acuífero	184	14	6617	210	2,63
160	3	14	Grava (50 m/d)	0,22	0,005	Acuífero	184	14	6617	123	4,85
160	3	14	Grava (50 m/d)	0,22	0,001	Acuífero	184	14	6617	41	23,4

**Figura 7-15: Análisis de sensibilidad del gradiente hidráulico del acuífero –extensión de la pluma de contaminación**



## ANEXO 2. EXPLICACIÓN FUNCIONAMIENTO MATRIZ DE T. SAATY

Lo señalado a continuación se obtuvo del informe *Escala Fundamental Para Comparaciones a Pares* elaborado por Toskano Hurtado y Gérard Bruno (s.f.) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Perú.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Además se cumple que:  $a_{ij}a_{ji}=1$ , es decir

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

El AHP sustenta esto con los siguientes axiomas:

**Axioma N°1:** Referido a la condición de residuos recíprocos. Si A es una matriz de comparaciones pareadas se cumple que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$

**Axioma N° 2:** Referido a la condición de homogeneidad de los elementos. Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud, o jerarquía.

**Axioma N°3:** Referido a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente. Existe dependencia jerárquica en los elementos de dos niveles consecutivos.

**Axioma N°4:** Referido a la condición de expectativas de orden de rango: Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

### SÍNTESIS

Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se puede calcular lo que se denomina prioridad de cada uno de los elementos que se comparan. A esta parte del AHP se le conoce como sinterización. El proceso matemático preciso que se requiere para realizar tal sinterización implica el cálculo de valores y vectores característicos. El siguiente procedimiento de tres pasos proporciona una buena aproximación de las prioridades sintetizadas.

### PROCEDIMIENTO PARA SINTETIZAR JUICIOS

**Paso 1:** Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

**Paso 2:** Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

**Paso 3:** Calcular el promedio de los elementos de cada región de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

## MATRIZ DE PRIORIDADES

Se considera las prioridades de cada criterio en términos de la meta global:

$$\begin{array}{c} \text{Meta} \\ \text{Global} \\ \text{Criterio 1} \\ \text{Criterio 2} \\ \dots \\ \text{Criterio } m \end{array} \begin{pmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ \dots \\ P'_m \end{pmatrix}$$

Donde  $m$  es el número de criterios y  $P'_i$  es la prioridad del criterio  $i$  con respecto a la meta global, para  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Se denomina matriz de prioridades a la que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. Para  $m$  criterios y  $n$  alternativas tenemos:

$$\begin{array}{c} \text{Alternativa 1} \\ \text{Alternativa 2} \\ \dots \\ \text{Alternativa } n \end{array} \begin{pmatrix} \text{Criterio 1} & \text{Criterio 2} & \dots & \text{Criterio } m \\ P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{pmatrix}$$

Donde  $P_{ij}$  es la prioridad de la alternativa  $i$  con respecto al criterio  $j$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ ; y  $j = 1, 2, \dots, m$ .

La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ \dots \\ P'_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Pg_1 \\ Pg_2 \\ \dots \\ Pg_n \end{pmatrix}$$

Donde  $Pg_i$  es la prioridad global (respecto a la meta global) de la alternativa  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

## CONSISTENCIA

Una consideración importante en términos de la calidad de la decisión final se refiere a la consistencia de los juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. Se debe tener presente que la consistencia perfecta es muy difícil de lograr y que es de esperar cierta inconsistencia en casi cualquier conjunto de comparaciones pareadas, después de todo son juicios rendidos por seres humanos.

El AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas que proporciona el decisor. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis.

De forma matemática, decimos que una matriz de comparación  $\mathbf{A}$   $n \times n$  es consistente si:  $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$ , para  $i, j, k = 1, 2, \dots, n$

Esta propiedad requiere que todas las columnas (y renglones) de  $\mathbf{A}$  sean *linealmente independientes*. En particular, las columnas de cualquier matriz de comparación  $2 \times 2$  son dependientes y, por tanto una matriz  $2 \times 2$  siempre es consistente.

Para determinar si un nivel de consistencia es o no “razonable”, necesitamos desarrollar una medida cuantificable para la matriz de comparación  $\mathbf{A}$   $n \times n$  (donde  $n$  es el número de alternativas a comparar). Se sabe que si la matriz  $\mathbf{A}$  es perfectamente consistente produce una matriz  $\mathbf{N}$   $n \times n$  normalizada, de elementos  $w_j$  (para  $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), tal que todas las columnas son idénticas, es decir,  $w_{12} = w_{13} = \dots = w_{1n} = w_1$ ;  $w_{21} = w_{23} = \dots = w_{2n} = w_2$ ;  $w_{n1} = w_{n2} = \dots = w_{nn} = w_n$ .

Se dice que una matriz es normal o está normalizada, si conmuta con su transpuesta. Las matrices simétricas, antisimétricas u ortogonales son necesariamente normales. Sea  $M$  una matriz, se dice que es normal si  $MM^T = M^T M$ .

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \end{pmatrix}$$

Se concluye entonces que la matriz de comparación correspondiente  $\mathbf{A}$ , se puede determinar a partir de  $\mathbf{N}$ , dividiendo los elementos de la columna  $i$  entre  $w_j$  (que es el proceso inverso de determinación de  $\mathbf{N}$  a partir de  $\mathbf{A}$ ). Entonces tenemos:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

De la definición dada de  $\mathbf{A}$ , tenemos:

$$\begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

De forma más compacta, decimos que  $\mathbf{A}$  es consistente si y solo si,

$$\mathbf{AW} = n\mathbf{W}$$

Donde  $\mathbf{W}$  es un vector columna de pesos relativos  $w_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) se aproxima con el promedio de los  $n$  elementos del renglón en la matriz normalizada  $\mathbf{N}$ . Haciendo  $\mathbf{W}$  el estimado calculado, se puede mostrar que:

$$AW = n_{max}W$$

Donde  $n_{max} \geq n$ . En este caso, entre más cercana sea  $n_{max}$  a  $n$ , más consistente será la matriz de comparación  $\mathbf{A}$ . Como resultado, el AHP calcula la razón de consistencia ( $\mathbf{RC}$ ) como el cociente entre el índice de consistencia de  $\mathbf{A}$  y el índice consistencia aleatorio.

$$\mathbf{RC} = \frac{\mathbf{IC}}{\mathbf{IA}}$$

Donde  $\mathbf{IC}$  es el índice de consistencia de  $\mathbf{A}$  y se calcula como sigue:

$$\mathbf{IC} = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

El valor de  $n_{max}$  se calcula de  $\mathbf{AW} = n_{max}\mathbf{W}$  observando que la  $i$ -ésima ecuación es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}w_j = n_{max}w_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Dado que  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ , obtenemos:

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n a_{ij}w_j \right) = n_{max} \sum_{i=1}^n w_i$$

Esto significa que el valor de  $n_{max}$  se determina al calcular primero al vector columna  $\mathbf{A}$  y después sumando sus elementos.

$\mathbf{IA}$  es el índice de consistencia aleatoria de  $\mathbf{A}$ , es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada en forma aleatoria. Se puede mostrar que el  $\mathbf{IA}$  depende del número de elementos que se comparan, y asume los siguientes valores:

N° de Elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Indice Aleatorio de Consistencia (IA)	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

(Tabla 3.2)

Algunos autores sugieren la siguiente estimación para  $IA$ :

$$IA = \frac{1.98(n - 2)}{n}$$

Se calcula la razón de consistencia ( $RC$ ) (o CR, de Consistency Ratio). Esta razón o cociente está diseñado de manera que los valores exceden de 0.10 son señal de juicios inconsistentes; es probable que en estos casos el tomador de decisiones desee reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas. Se considera que los valores de la razón de consistencia de 0.10 o menos son señal de un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$RC \leq 0.10$ : Consistencia Razonable

$RC > 0.10$ : Inconsistencia

## PREPARACIÓN Y ORGANIZACIÓN PARA APLICAR EL AHP

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Además se cumple que:  $a_{ij}a_{ji} = 1$ ; es decir:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

El AHP sustenta esto con los siguientes axiomas:

**Axioma N°1:** Referido a la condición de juicios recíprocos: Si  $A$  es una matriz de comparaciones pareadas se cumple que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$

**Axioma N°2:** Referido a la condición de homogeneidad de los elementos. Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud, o jerarquía.

## ANEXO 3. RECLASIFICACIÓN DE VARIABLES

### Reclasificación Variables de Vulnerabilidad

<b>OCURRENCIA AGUA SUBTERRÁNEA</b>		
<b>Ocurrencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Categoría</b>
Nula	4	Vulnerabilidad Menor
Muy Baja	3	Vulnerabilidad Media
Media	2	Vulnerabilidad Alta
Alta	1	Vulnerabilidad muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

<b>DISTANCIA ÁREA URBANA A OLEODUCTO</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Valor</b>	<b>Categoría</b>
<400	4	Vulnerabilidad Menor
401-600	3	Vulnerabilidad Media
601-800	2	Vulnerabilidad Alta
801<	1	Vulnerabilidad muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

<b>DISTANCIA POZOS SMAPA A OLEODUCTO</b>		
<b>Distancia (m)</b>	<b>Valor</b>	<b>Categoría</b>
<30	4	Vulnerabilidad Menor
31-60	3	Vulnerabilidad Media
61-90	2	Vulnerabilidad Alta
91<	1	Vulnerabilidad muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

<b>DENSIDAD POBLACIONAL BARRIOS</b>		
<b>Densidad (hab/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor</b>	<b>Categoría</b>
<5.000	4	Vulnerabilidad Menor
5.001-10.000	3	Vulnerabilidad Media
10.001-15.000	2	Vulnerabilidad Alta
15.001<	1	Vulnerabilidad muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

NIVEL SOCIECONÓMICO POBLACIÓN BARRIOS		
Nivel (Letra/\$)	Valor	Categoría
C2 / >1.360.000	4	Vulnerabilidad Menor
C3 / 899.000	3	Vulnerabilidad Media
D / 562.000	2	Vulnerabilidad Alta
E / <324.000	1	Vulnerabilidad muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

#### Reclasificación Variables de Amenaza

ÁREA DESPLAZAMIENTO HIDROCARBURO (subt)		
Distancia (m)	Valor	Categoría
91<	4	Amenaza Menor
61-90	3	Amenaza Media
31-60	2	Amenaza Alta
<30	1	Amenaza muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ÁREA IGNNICIÓN/EXPLOSIÓN OLEODUCTO		
Distancia (m)	Valor	Categoría
801<	4	Amenaza Menor
601-800	3	Amenaza Media
401-600	2	Amenaza Alta
<400	1	Amenaza muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## ANEXO 4. CONFIGURACIÓN DE MATRÍZ DE SAATY PARA VARIABLES DE VULNERABILIDAD Y AMENAZA

### Configuración Matriz para variables de Vulnerabilidad

VARIABLES	VAR-1	VAR-2	VAR-3	VAR-4	VAR-5	MATRIZ NORMALIZADA					SUMA VECTOR	NORMALIZACIÓN VECTOR	PORCENTAJE
VAR-1	1	1/5	1/3	1/3	1/6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,26	0,05	5,20
VAR-2	5	1	2	2	1/2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	1,23	0,25	24,53
VAR-3	3	1/2	1	1	1/4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,64	0,13	12,82
VAR-4	3	1/2	1	1	1/4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,64	0,13	12,82
VAR-5	6	2	4	4	1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	2,23	0,45	44,62
Σ	18,0	4,2	8,3	8,3	2,2								100

VAR 1	Distancia A2 Urbana Oleoducto	Moderadamente Importante	5,000
VAR 2	Distancia Pozos Oleoducto	Extremadamente Importante	8,000
VAR 3	Densidad Poblacional Maipú	Fuertemente Importante	7,000
VAR 4	Nivel Socioeconómico Maipú	Fuertemente Importante	7
VAR 5	Presencia Aguas Subterráneas Maipú	Extremadamente Importante	9

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### Configuración Matriz para variables de Amenaza

VARIABLES	VAR-1	VAR-2	MATRIZ NORMALIZADA		SUMA VECTOR	NORMALIZACIÓN VECTOR	PORCENTAJE
VAR-1	1	2	0,7	0,7	1,33	0,67	66,67
VAR-2	1/2	1	0,3	0,3	0,67	0,33	33,33
Σ	1,5	3,0					100

VAR 1	Desplazamiento Hidrocarburo Horizontal Subt.	7	Fuertemente Importante
VAR 2	Posible Área Ignición Hidrocarburo Superficie	8	Extremadamente Importante

Fuente: Elaboración propia, 2021.