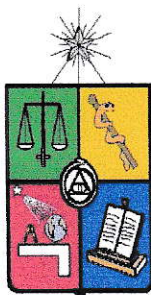


UCH -FC
Q. Ambiental
F 954
C.1



**“ESTUDIO DE CASO: CONTAMINACIÓN POR BETX DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS EN TERRENOS ALEDAÑOS A LA PLANTA
DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS
EN PUERTO MONTT”**

Seminario de Título entregado a la
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al título de
QUÍMICO AMBIENTAL



Alejandra Fuenzalida Cifuentes

Director de Seminario de Título: Dr. Roberto Lastrico O.

Profesor Patrocinante: Dr. Patricio Rivera L.

Agosto, 2006

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACIÓN
SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la escuela de Pre-grado de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile que el Seminario de Título Presentado por la alumna:

Alejandra Cecilia Fuenzalida Cifuentes

ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación de la Memoria de Título como requisito para optar al Título de Químico Ambiental.

Director de Seminario de Título: Dr. Roberto Lastrico.

Profesor Patrocinante: Dr. Patricio Rivera.

Comisión de Evaluación de Seminario de Título

M. Cs. Sylvia V. Copaja

Dr. Fernando Mendizabal

Roberto Lastrico
.....
Patricio Rivera
.....

Sylvia V. Copaja
.....
Fernando Mendizabal
.....



FOTO Y RESEÑA DEL ALUMNO



● IDENTIFICACIÓN

- Nombre: Alejandra Cecilia Fuenzalida Cifuentes
- Fecha de Nacimiento: 6 de Abril de 1979.
- Estado Civil: Soltera.
- Dirección: Avda. Suecia 3328 depto. 306. Ñuñoa
- Fono: 3414463
- e-mail: fuenzalidaalejandra@yahoo.com



● ANTECEDENTES ACADÉMICOS

- Educación Básica y Media: The Newland School (Santiago). 1997.
- Estudios Superiores: Universidad de Chile (Facultad de Ciencias).
Licenciatura en Ciencias Ambientales con mención en Química
(1998/2004).

● INVESTIGACIÓN



- Unidad de Investigación: "Estudio de la capacidad de retención en C-18 en presencia de un surfactante de complejos catiónicos utilizando diferentes ligantes". Laboratorio de Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile (2002/2004).

- Congresos:

- M.I. Toral, **A. Fuenzalida** y A. Cortes.

"Estudio de la Capacidad de Retención y Determinación de Complejos de Cobalto y Hierro en Presencia de Surfactantes en C-18".

XXV Jornada de Química La Serena / Chile. (Octubre 2004).

- M.I. Toral, **A. Fuenzalida** and A. Cortes.

"Study of the Capacity of Retention and Determination of Complexes of Cobalt and Iron in Presence of Surfactant in C-18".
Federation of Analytical Chemistry & Spectroscopy Societies (32nd FACSS).

International Conference on Analytical Sciences & Spectroscopy
Society for Applied Spectroscopy National Meeting (51st ICASS).
Quebec / Canadá. (Octubre 2005).



*Este es el fin de una de las etapas más importantes de mi vida
y no hubiera sido posible sin su apoyo incondicional,
a mis papás con mucho amor.*

Para mi compañero, mi apoyo y mi ángel especial.

AGRADECIMIENTOS



Tanto ésta como las diferentes etapas de mi vida no hubieran podido culminar con éxito sin el apoyo de Dios.

Existen personas en nuestras vidas que nos hacen felices por la simple casualidad de haberse cruzado en nuestro camino. Algunas recorren el camino a nuestro lado, otras aparecen entre un paso y otro, aportándonos diferentes cosas, que nos ayudan a crecer y ser mejores personas. A todas esas personas quiero agradecerles de manera especial.

Queridos profesores: agradezco a Patricio Rivera y Fernando Mendizabal todos los conocimientos que me entregaron en estos años de intenso estudio, así como la ayuda para desarrollar este seminario. Silvia Copaja, gracias por todo el apoyo entregado en estos años, por sus consejos y paciencia; por enseñarnos a enfrentar distintas dificultades, por incentivar el espíritu de investigación en cada uno de nosotros y finalmente por orientarnos hacia el ámbito profesional. A M. Inés Toral por acojerme en su laboratorio para desarrollar mi unidad de investigación, por incentivar la asistencia a congresos, por mantenerse siempre en contacto con nosotros y brindarnos constantemente su apoyo y comprensión tanto en lo personal como en lo académico.

Dentro del desarrollo de este seminario también agradecer a Roberto Lastrico y Eyleen Barrales de QUALANZ Consultores por confiar en mí y entregarme las herramientas para desarrollar mi seminario.



También quiero agradecer por su apoyo, a mis compañeros de universidad que se convirtieron en buenos amigos: Alfredo, Eli, Carola, Roxanna, Carmen, Katty, Fabián, Claudio, Rodrigo y Ale P.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional. A mis padres por entregarme todas las herramientas para desarrollarme como persona, por todo su amor y por confiar en mí. A mi hermano Pablo por sus consejos y apoyo. Finalmente a mis abuelitos, Sandra y Santiago por su compañía y cariño en estos años.

Un agradecimiento muy importante es para Alfredo Cortés, mi pareja y compañero incondicional, gracias primero por tu paciencia, comprensión, apoyo y por incentivar me a estudiar cuando estaba sin motivación. Por enseñarme a disfrutar todos los años de carrera y recorrerlos junto a mí. Sin tí creo que no estaría disfrutando de este momento tan especial. Supe que te encontré, cuando me enseñaste el significado de dos palabras....

Quiero agradecer de forma especial, a Margarita por su incondicional apoyo en los momentos difíciles y su por constante aliento cuando me veía desanimada. A Sandra, Romina, Pepe y Raúl por todo su cariño.

Finalmente quiero agradecer a mis niños, por su compañía, por alegrarme en los minutos de tristeza y ofuscación, por enseñarme que la vida es simple y se puede disfrutar con pequeñas cosas.

ÍNDICE



Página

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes Generales.....	1
1.2 Eventos de Contaminación Detectados.....	4
1.3 Antecedentes Cronológicos Bibliográficos de Derrames en Instalaciones de ESSO-COMAP en Puerto Montt.....	7
1.4 Fundamentación Teórica.....	16
1.5 Toxicología Asociada a BETX.....	25
1.5.1 Cáncer y BETX.....	33
1.6 Hipótesis.....	35
1.7 Objetivos.....	36
1.7.1 Objetivo General.....	36
1.7.2 Objetivos Específicos.....	36
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
2.1 Descripción de la Zona de Muestreo.....	37
2.2 Caracterización del Sector de Muestreo.....	41
2.3 Ubicación de los Pozos de Muestreo.....	42
2.3.1 Equipos y Métodos Utilizados.....	45
2.4 Toma de Muestras.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS



	Página
Figura 1 Mecanismos de Infiltración en Aguas Subterráneas	3
Figura 2 Estructura de BETX	18
Figura 3 Bioactivación del Benceno	34
Figura 4 Oxidación del Tolueno	35
Figura 5 Zona de Muestreo	38
Figura 6 Ubicación de los Pozos de Muestreo	44
Figura 7 Pozos de Muestreo	46
Figura 8 Ensayos Analíticos para Productos Derivados del Petróleo	50
Figura 9 Sistema de Purga y Trampa	52



Figura 10	Equipo de Cromatografía de Gases	54
Figura 11	Concentraciones de BETX encontradas en distintos puntos de muestreo	58
Figura 12	Pluma de Dispersión de BETX	59
Figura 13	Concentraciones de BETX y ubicación de los diferentes puntos de muestreo	61

LISTA DE ABREVIATURAS Y/O GLOSARIO

- **ATSDR:** Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.
- **Bailers:** Envases especiales para tomar muestras.
- **BETX:** Hidrocarburos aromáticos, correspondientes a la serie de compuestos homólogos formados por la sustitución alquímica de productos del benceno. Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos (o-xileno, m-xileno, p-xilenos).
- **Bioactivación:** Conjunto de reacciones metabólicas que incrementan la toxicidad de los xenobióticos. Es decir, los metabolitos resultantes de la transformación de la sustancia absorbida son más tóxicos que el compuesto original.
- **COMAP:** Unión de empresas SHELL y COPEC.
- **DIA:** Declaración de Impacto Ambiental.
- **DBO:** Demanda Biológica de Oxígeno.
- **EIA:** Estudio de Impacto Ambiental.

- **EPA:** Environmental Protection Agency.
- **IARC:** Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.
- **LC₅₀:** Concentración Letal 50. Concentración de vapor, niebla o polvo que, administrado por inhalación continua durante una hora a un grupo de ratas albinas adultas jóvenes, machos y hembras, causa con la máxima probabilidad, en el plazo de 14 días la muerte de la mitad de los animales del grupo.
- **LD₅₀ dérmico:** Dosis Letal 50 por absorción cutánea. Concentración de la sustancia que, administrada por contacto continuo a un grupo de conejos albinos, causa con la máxima probabilidad, en el plazo de 14 días, la muerte de la mitad de los animales del grupo.
- **LD₅₀ oral:** Dosis Letal 50 por ingestión. Concentración de la sustancia que, administrada por la vía oral a un grupo de ratas albinas adultas jóvenes, machos y hembras, causa con la máxima probabilidad, en el plazo de 14 días, la muerte de la mitad de los animales del grupo.
- **SEC:** Superintendencia de Electricidad y Combustibles.
- **SEIA:** Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

- **Silo:** Lugar subterráneo y seco donde se guarda trigo u otros granos, semillas o forrajes.

- **SNC:** Sistema Nervioso Central.

- **VPH:** Hidrocarburos Volátiles derivados del Petróleo.

- **Xenobiótico:** cualquier sustancia que no ha sido producida por la biota. Por ejemplo, productos industriales, drogas terapéuticas, aditivos de alimentos, compuestos inorgánicos, etc.

RESUMEN

Este trabajo se enmarca dentro del desarrollo del Estudio Ambiental: “Molinera del Sur-Planta de Almacenamiento de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo (CLP) ESSO-COMAP Puerto Montt”, que realizó la empresa QUALANZ Consultores Asociados.

Este Estudio es planteado luego de detectar, en junio de 2004, indicios de contaminación ambiental por el afloramiento de hidrocarburos en el sector donde se emplaza la Empresa Molinera del Sur de Puerto Montt.

Utilizando información de estudios anteriores se detecta que en Noviembre del 2003, personal de la planta COMAP informó la rotura del fondo del estanque N°1 y el derrame de aproximadamente 1.000 L de combustible (lo que equivale a 1 m³).

En Junio del 2004 en el sótano de la empresa Molinera del Sur se detectó la presencia de un producto con olor a combustible.

Los denominados hidrocarburos son compuestos orgánicos que contienen solamente átomos de carbono e hidrógeno. Dentro de este grupo se encuentran los hidrocarburos aromáticos (por ejemplo, benceno) y los arenos, que además de un núcleo aromático tienen una cadena alquílica como es el caso del tolueno, etilbenceno y xilenos. Este grupo se denomina comúnmente BETX.

Muchas de las sustancias tóxicas, cancerígenas, contaminantes ambientales y sustancias peligrosas son compuestos de base aromática. Es esta base aromática la que hace que estos compuestos sean muy estables y por lo tanto persistan en el medio ambiente.

En este trabajo se estudiará el grupo de los compuestos designados comúnmente como BETX (Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos). Los BETX son compuestos derivados del petróleo que se encuentran en el rango de C_6 a C_8 (rango gasolina), es decir, dentro de los VPH (hidrocarburos volátiles).

El método EPA que se utilizó para realizar los análisis de BETX en las muestras de aguas subterráneas es el Método EPA 8260B, 5030B.

En base a los resultados entregados por el laboratorio ALS Environmental (Tabla 5) los pozos que presentan una mayor concentración de BETX son los pozos Q11, Q12, P9, P11 y P12. De los cuatro compuestos estudiados el benceno es el que se encuentra en mayores concentraciones (Figura 11).

Al observar la figura que muestra la pluma de contaminación (Figura 12) se puede deducir la dirección de ésta, así como se extensión. La figura indica por lo tanto que la contaminación se dirige hacia el borde costero.

Las mayores concentraciones se encuentran cercanas al estanque N°1 que es el estanque al que corresponde la ruptura informada el mes de Noviembre del año 2003. Aunque de acuerdo o antecedentes bibliográficos recopilados no se puede tomar sólo este estanque como el "responsable" de la contaminación encontrada en el lugar.

ABSTRACT

This work is framed within the development of the Environmental Study: "Molinera del Sur-Planta de Almacenamiento de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo (CLP) ESSO-COMAP Montt Port", that realized QUALANZ Consultores Asociados company.

This Study is raised after detecting, in June of 2004, indications of environmental contamination by the hydrocarbon outcrop where the company Molinera del Sur de Puerto Montt is located.

Using information of previous studies, we knew that in November of 2003 personnel of COMAP informed the breakage into the bottom of the tank N°1 and the spill of approximately 1000 L of fuel (that it's equivalent to 1 m³).

In June of 2004 in the cellar of the Molinera del Sur company, it was detected the presence of a product with a scent similar to fuel.

The denominated hydrocarbons are organic compounds that contain only carbon and hydrogen atoms. In this group we can find aromatic hydrocarbons (for example, benzene) and arens, that in addition to an aromatic nucleus have an alquylic chain as it is toluene, ethylbenzene and xylenes. This group commonly denominates BETX.

Many of toxic, cancerigenic, environmental pollutant and hazardous substances have an aromatic base. This aromatic base is the responsible of the stability of these compounds and of their persistence in the environment.

In this work the group of compounds commonly designated like BETX (Benzene, Ethylbenzene, Toluene and Xylenes) will be studied. The BETX are compounds that derivate from petroleum and are in the rank of C₆ to C₈ (gasoline rank), that is to say, within the VPH (volatile hydrocarbons).

The EPA method that was used to make the analysis of BETX in the underground water samples is the Method EPA 8260B, 5030B.

The results given by laboratory ALS Environmental (Table 5) show that the wells that present the bigger concentration of BETX are the wells Q11, Q12, P9, P11, P12. But is the benzene the compound that present the biggest concentration of all the compound studied. (Picture 11).

When observing the figure that shows the contamination area (Picture 12) we can deduce the direction of this one, as well as its extension. The figure indicates therefore that the contamination direction goes towards the coastal edge.

In addition, the greater concentrations are near the tank N°1 which corresponds to the tank where a rupture was informed on November of 2003.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

Este trabajo se enmarca dentro del desarrollo del Estudio Ambiental: “Molinera del Sur-Planta de Almacenamiento de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo (CLP) ESSO-COMAP Puerto Montt”, que realizó la empresa QUALANZ Consultores Asociados.

Este Estudio es planteado luego de detectar, en junio de 2004, indicios de contaminación ambiental por el afloramiento de hidrocarburos en el sector donde se emplaza la Empresa Molinera del Sur de Puerto Montt. En este lugar se desconoce el grado de compromiso de la contaminación en los suelos y aguas subterráneas.

Según la Organización Mundial de la Salud, el agua está contaminada cuando su composición o su estado están alterados de tal modo, que ya no reúnen las condiciones para las utilidades a las que se hubiere destinado en su estado natural. (M. Seóñez Calvo y col, 2000).

Como cualquier cuerpo de agua, las aguas subterráneas al contaminarse pueden sufrir cambios en sus propiedades: físicas, químicas y biológicas (como pH, CE, DBO, etc) lo que finalmente se traducirán en un cambio en su calidad.

Dentro de los factores que pueden influir en el comportamiento que tendrán los contaminantes en el cuerpo de agua se puede mencionar la velocidad de flujo, que se relaciona con la velocidad que tendrá el contaminante en dicho cuerpo de agua. Generalmente, la velocidad de flujo de las aguas subterráneas será lenta lo que produce una diferencia entre el tiempo en que tiene lugar la contaminación y el momento en que puede ser detectada.

Cuando el agua contaminada avanza por el terreno se produce una dispersión de ésta y por lo tanto de los contaminantes que pueda contener. Este movimiento produce una pluma de dispersión que indicará el sentido en que avanzan las aguas contaminadas.

A continuación, en la siguiente figura (Figura 1), se muestran las diferentes formas de infiltración que pueden tener los distintos contaminantes en las aguas subterráneas.

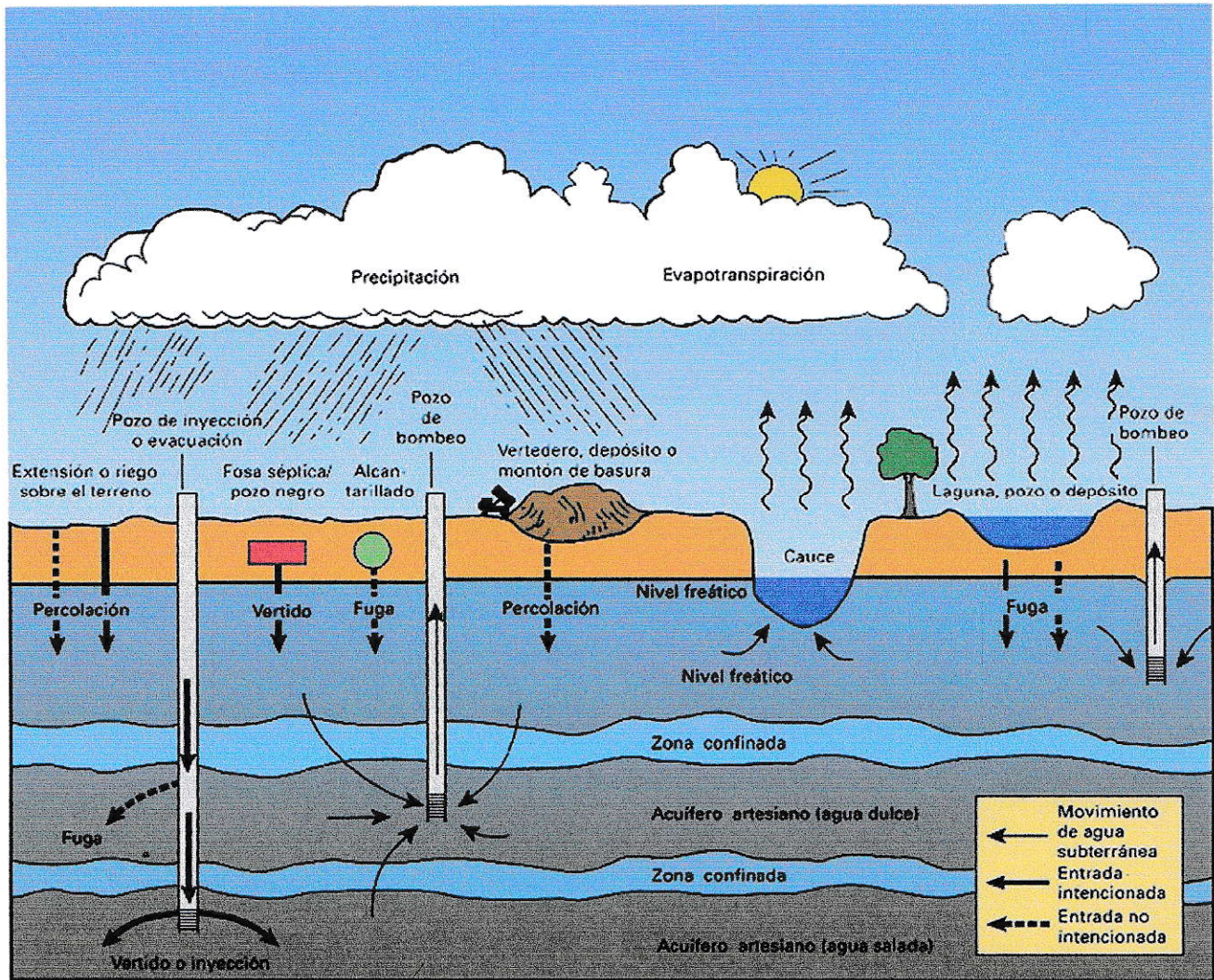


Figura 1: Mecanismos de Infiltración de Contaminantes en Aguas Subterráneas

1.2 Eventos de Contaminación Detectados

Utilizando información de estudios anteriores en Noviembre del 2003, personal de la planta COMAP informó la rotura del fondo del estanque N°1 y el derrame de aproximadamente 1000 L de combustible (lo que equivale a 1 m³). En ese momento no se tomaron acciones correctivas.

En total, entre ambas empresas (ESSO y COMAP), existen 20 estanques superficiales y 7 estanques enterrados.

En la siguiente tabla (Tabla 1), se detallan los estanques existentes en ambas plantas (Julio 2005), con los productos que contienen y su capacidad de almacenamiento.

Tabla 1: Estanques pertenecientes a las plantas de almacenamiento de CLP.

Estanque	Producto	Capacidad (m ³)
Estanques Superficiales		
COMAP 1	Petróleo Diesel	4.709
COMAP 2	Kerosene Aviación (Jet A-1)	692
COMAP 3	Gasolina 93 sin plomo	1.670
COMAP 4	Kerosene Aviación (Jet A-1)	674
COMAP 5	Gasolina 97 sin plomo	1.459
COMAP 6	Gasolina 93 sin plomo	2.936
COMAP 7	Petróleo Diesel	4.900
ESSO 1	Kerosene Aviación (Jet A-1)	2.988
ESSO 2	Gasolina 93 sin plomo	1.134
ESSO 3	Gasolina 93 sin plomo	830
ESSO 4	Gasolina 97 sin plomo	406
ESSO 5	Gasolina 97 sin plomo	399
ESSO 6	Kerosene Aviación (Jet A-1)	396
ESSO 7	Petróleo Diesel	3.690
ESSO 8	Aditivos gasolinas	0,7
ESSO 9	Drenaje agua de gasolinas	2,2
ESSO 10	Drenaje agua de Jet A-1	2
ESSO 11	Aditivos (actualmente fuera de servicio)	5
ESSO 12	Espuma para red de incendios	3
ESSO 13	Drenaje agua de petróleo diesel	3
Estanques Enterrados		
COMAP recuperador	Recuperador producto	15
COMAP slop	Restos combustibles gasolina de lavado de camiones	9
ESSO slop 1	Vapores multiproducto de transferencia de la mesa de carga	0,8
ESSO diesel	Diesel para camiones	8
ESSO estruje	Restos combustibles Jet A-1 y petróleo diesel de lavado de camiones	6
ESSO slop 2	Múltiples productos muestreo buque tanque (gasolina, kerosene, petróleo diesel)	1
ESSO lavado	Restos combustibles gasolina del lavado de camiones (actualmente fuera de servicio)	6

De la tabla anterior se desprende que el contenido del estanque N°1 corresponde a petróleo diesel y su capacidad total es de 4.709 m³.

En Junio del 2004, en el sótano de la empresa Molinera del Sur se detectó la presencia de un producto con olor a combustible. La empresa Copec como coordinadora de las plantas se hizo cargo de las medidas de emergencia.

Desde Junio del 2004 hasta el 17 de Julio del 2005, el total de producto recuperado corresponde a 28.939 L (28,939 m³). Se ha determinado que el producto recuperado corresponde a mezclas de combustible (gasolina, diesel y kerosene).

1.3 Antecedentes Cronológicos Bibliográficos de Derrames en Instalaciones de ESSO-COMAP en Puerto Montt

La planta de almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo ESSO-COMAP ubicada en Puerto Montt conforme lo acordado con la autoridad debía dejar de operar en Octubre de 2005. A raíz de los problemas energéticos que existían en el país, se solicitó una prórroga que no fue aceptada y la planta dejó de operar el 30 de Septiembre de 2005.

A continuación se describen los antecedentes encontrados en la prensa y en la página web de la SEC, respecto a las plantas de almacenamiento de combustibles ESSO-COMAP, ordenados cronológicamente:

- Junio de 2004: la Dirección Regional de la SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) en Puerto Montt fue informada por Copec de la presencia de hidrocarburos en un sitio aledaño a las instalaciones de la empresa Molinera del Sur.

La SEC y CONAMA concurren al lugar y constataron que Copec estaba realizando una excavación para instalar una cámara impermeable para la recuperación de hidrocarburos, ya que el agua de la napa subterránea se encontraba contaminada con combustible. Se informó que se trataban de volúmenes menores, sin afectar las

instalaciones de Molinera del Sur, constatándose además que no existieron viviendas afectadas por este evento.

Al ser consultados sobre posibles derrames de hidrocarburos en las plantas o en el ducto submarino de carga de sus instalaciones, los jefes de planta de Copec y ESSO contestaron negativamente, de acuerdo a sus controles internos.

Posteriormente sobre el afloramiento detectado, Copec informó que se trataba de una situación "puntual" que se encontraba bajo su monitoreo y control.

- Julio de 2004: la empresa Molinera del Sur informó de un incendio en la cámara construida por Copec para recuperar los combustibles detectados y de la inundación de su subterráneo con aguas e hidrocarburos. Personal de la SEC comprobó un afloramiento de mayor extensión y gravedad que lo informado hasta esa fecha por Copec.

- Agosto de 2004: SEC instruyó a Copec sobre un conjunto de acciones, relacionadas principalmente con el envío de información del estado de las instalaciones de almacenamiento, la ejecución de sondajes para determinar el área afectada, y la entrega de las características del producto aflorado. La compañía recién comenzó a informar en Enero de 2005 sobre el análisis de plomo en el producto aflorado, se constató que en Septiembre de 2004 ya se contaba con esa información.

- 21 de octubre de 2004: la jefatura del departamento de combustibles líquidos de SEC realiza una visita inspectiva a las plantas, tras lo cual instruyó a Copec que certificara tres de sus estanques de almacenamiento, que no contaban con certificaciones vigentes.

- Diciembre de 2004: se impartieron nuevas instrucciones sobre como realizar una inspección y limpieza del fondo de tres estanques, certificar la hermeticidad de un estanque y acreditar la impermeabilización de la red de drenaje.

- Abril de 2005: ante el incumplimiento de sus instrucciones, SEC ordenó a la compañía el envío en forma perentoria de diversos antecedentes, incluyendo la realización de la limpieza e inspección del fondo de tres estanques de almacenamiento que no se encontraban con certificaciones vigentes. Dicha inspección fue realizada a fines de ese mes por Cesmec.

- Mayo de 2005: Cesmec informó que detectó roturas en planchas de fondo en los estanques N°5 de gasolina y N°7 de petróleo diesel. En el caso del primero, el piso presentaba corrosión localizada, con profundidades de hasta 4,3 mm, además de roturas en dos planchas, estimándose que se filtraron al subsuelo 30.870 L en el período de un año. El otro estanque, en tanto, presentaba corrosión localizada, con picaduras de hasta 4,6 mm de profundidad y la rotura de una plancha, proyectándose que se filtraron 2.460 L al subsuelo en el mismo período.

Bajo este escenario, la SEC ordenó revisar los fondos del total de los estanques y realizar sondajes en el trayecto de las tuberías subterráneas a mesa de carga de camiones. Ambas compañías debieron realizar una auditoría, con una empresa independiente, a sus instalaciones y operaciones, con el fin de evaluar su sistema de gestión de seguridad y riesgos, el estado de sus instalaciones, los trabajos de inspección y reparación realizados en ellas desde el afloramiento de hidrocarburos y la magnitud del volumen de combustible aflorado.

La auditoría realizada a Copec por RMC Engineering Solutions, entregada el 18 de Julio de 2005, indicó que en relación con los volúmenes filtrados de combustible "a fines de 2003 se produjo una filtración de combustibles (de 3.000 L aprox.), en las líneas de alimentación a la mesa de carga, la cual fue reparada en ese momento". Esta situación no fue informada a la SEC, como tampoco había sido señalada en el curso de la investigación realizada por la Superintendencia, a pesar de su directa relación con la filtración investigada.

▪ Septiembre de 2005: concluida la investigación de los hechos, la Superintendencia formuló cargos a Copec S.A. por las siguientes infracciones:

- Incumplir instrucciones de la Superintendencia.
- Entregar información incompleta a SEC respecto de la información solicitada.
- No velar por la correcta operación, inspección y mantención de la Planta de Almacenamiento y Distribución de Combustibles Líquidos de Copec en Puerto Montt.
- Falta de cuidado en la operación de la planta, a fin de impedir o reducir cualquier filtración que cause peligro o daño al vecindario o a las instalaciones de uso público, cursos de aguas superficiales, subterráneas, lagos o mares.
- No informar a la SEC el accidente de filtración de combustible en líneas subterráneas de alimentación a mesa de carga.
- No contar con un programa de seguridad para la planta, en las condiciones que establece el Reglamento.
- Tres semanas después Copec presentó sus descargos, los cuales de acuerdo a la Resolución Exenta emitida resultaron insuficientes para explicar las infracciones cometidas.

- Febrero de 2006: La Superintendencia de Electricidad y Combustibles decidió aplicar una multa de 500 Unidades Tributarias Anuales (UTA) a la Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A., por su responsabilidad en la filtración, por un período de uno a dos años, de aproximadamente 36.500 L de gasolina y diesel al subsuelo del Terminal Marítimo y Plantas de Almacenamiento de Combustibles Líquidos de Puerto Montt, afectando al acuífero y terrenos aledaños.

La sanción, equivalente a \$188.478.000 de acuerdo con el valor de la UTA en Febrero, fue impuesta tanto por la filtración detectada como por la comprobación de que la compañía no veló por la correcta inspección y mantención de sus instalaciones, a lo que se sumó la falta de cumplimiento a las instrucciones y solicitudes de información realizadas por esta Superintendencia durante su investigación.

Las dos empresas que controlaron por más de cuatro décadas el abastecimiento de combustibles desde Puerto Montt, entregaron por separado las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) para que sea la CONAMA la que finalmente evalúe el plan de saneamiento.

De acuerdo a dichos informes, Copec tardará 20 meses en realizar el proceso; mientras que ESSO, asegura poder hacerlo en 21 semanas plazo sujeto a modificaciones. Ambas anunciaron que deberán remover en total cerca de 700 m³ de terreno contaminado por la operación de descarga de combustibles.

Copec deberá retirar unos 500 m³ correspondientes a 700 m², los que serán sacados desde los antiguos estanques 5 y 7, además de la mesa de carga. En esos sectores, los estudios realizados por la consultora Qualanz determinaron la presencia de contaminantes derivados del petróleo y de gasolina que hacen necesario retirar el suelo.

Copec consideró que este saneamiento, permitirá el uso más restrictivo que considere en el futuro su dueño, el Ministerio de Bienes Nacionales, el que podría ser la construcción de viviendas familiares. De acuerdo a los informes de la petrolera, si el predio termina siendo usado con fines industriales, no sería necesaria la remoción de suelo.

En todo el resto del entorno, así como en el agua subterránea, se encontraron contaminantes, pero en niveles bajos que no hacen necesario su saneamiento, según la petrolera.

En tanto, ESSO deberá retirar los cinco estanques subterráneos del lugar, además de entre 130 a 160 m³ de suelo y casi un kilómetro de tubería subterránea.

A pesar que Copec no reconoce su responsabilidad en el afloramiento de combustibles desde el sector de la Molinera del Sur, la empresa anunció que también saneará esta área.

Según la petrolera, llegaron a un acuerdo con la Compañía Molinera del Sur S.A. e Induservcom Ltda., propietarias del sector donde ocurrió el afloramiento. De acuerdo al mismo, Copec saneará el terreno en un plazo de 24 meses, el que comenzó a correr en Julio de 2005.

- Marzo de 2006: Los informes entregados por cinco servicios públicos relativos al plan de descontaminación de los terrenos del ex-puerto petrolero de calle Serrano han resultado alarmantes.

Las empresas ESSO y Copec, presentaron dos Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), para pedir a la Corema la aprobación de su plan de abandono del sitio que ocuparon por 40 años. El objetivo es que el predio quede en condiciones de ser utilizado por la ciudad en el futuro.

Tras recibir los documentos, la Conama pidió la opinión de 11 servicios públicos, de los cuales cinco (la Municipalidad, Gobernación Marítima, Dirección de Aguas, Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y el Servicio de Geología y Minas) han presentado informes demoledores contra los planes de las petroleras.

Todos los informes critican el hecho que las petroleras no hayan incluido en el informe los terrenos aledaños afectados por la contaminación y que no hayan propuesto medidas de mitigación. De acuerdo a los antecedentes de la SEC, el área afectada alcanza incluso el bordo costero y a dos empresas privadas.

Además, coinciden en que las compañías cometieron un error al presentar su plan a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), cuando en realidad debieron presentar un Estudio de Impacto Ambiental, debido a la peligrosidad del material almacenado y la futura utilización del terreno.

Las observaciones presentadas por la SEC y por la Gobernación Marítima, establecieron la posibilidad cierta que la contaminación de combustibles que afloró en la costanera esté llegando al borde costero e incluso, afectado los recursos naturales de bahía de Puerto Montt. La Gobernación Marítima estableció que luego de la extracción del combustible desde la zona de la costanera, los residuos del separador aceite/agua, se han lanzado a una cámara de aguas lluvias ubicada en la Molinera del Sur, y desde ahí, al mar.

ESSO y Copec presentaron planes de abandono y remediación de los terrenos que ocuparon por 40 años, afirmando que son capaces de sanearlos en un plazo inferior a los 20 meses. Además, enviaron carta a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), en la que hacen saber su decisión de retirar del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el plan de abandono del ex puerto petrolero de calle Serrano, proyecto que se había presentado a través de una DIA.

1.4 Fundamentación Teórica

Dentro de los contaminantes líquidos en fase no acuosa, que son sustancias orgánicas poco solubles en agua, se encuentran los llamados líquidos ligeros en fase no acuosa. Éstos se caracterizan por tener una densidad inferior respecto al agua y por ser derivados del petróleo. Además, al ser absorbidos por los suelos, se separan en tres fases: libre, vapor y disuelta. Al llegar por infiltración a la zona saturada, se disponen en forma de película flotante y su movimiento será horizontal a favor del sentido de flujo del agua subterránea.

Los denominados hidrocarburos, son compuestos orgánicos que contienen solamente átomos de carbono e hidrógeno. Dentro de este grupo se encuentran los hidrocarburos aromáticos (como por ejemplo, el benceno) y los arenos, que además de un núcleo aromático tienen una cadena alquílica como es el caso del tolueno, etilbenceno y xilenos. Este grupo se denomina comúnmente BETX.

A pesar de ser compuestos relativamente insolubles en agua, se han encontrado desechos y filtrados que contienen entre 10 y más de 1.000 mg/L de BETX. Estos compuestos pueden detectarse frecuentemente en aguas profundas y provienen principalmente de escapes subterráneos de tanques de almacenamiento de gasolina. (M. Seóñez Calvo, 2000).

Las principales características de estos compuestos son las siguientes:

- Son compuestos combustibles.
- Son muy poco solubles en agua.
- Los líquidos tienen bajos puntos de ebullición y los sólidos tienen bajos puntos de fusión.
- Con una misma fórmula molecular se pueden representar compuestos diferentes (isomerismo). (Clair N. Sawyer y col, 2001).

Todos los compuestos aromáticos de esta serie (BETX) contienen anillos de seis átomos de carbono como el benceno (C_6H_6) que es el precursor de la serie aromática.

Muchas de las sustancias tóxicas, cancerígenas, contaminantes ambientales y sustancias peligrosas son compuestos de base aromática. Es esta base aromática la responsable que estos compuestos sean muy estables y por lo tanto persistan en el medio ambiente.

En este trabajo se estudiará el grupo de los compuestos designados comúnmente como BETX (Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xilenos). Los BETX son compuestos derivados del petróleo que se encuentran en el rango de C_6 a C_8 (rango gasolina), es decir, dentro de los VPH (hidrocarburos volátiles). (ALS Environmental, 2005).

Las estructuras de estos compuestos aparecen en la siguiente figura (Figura 2):

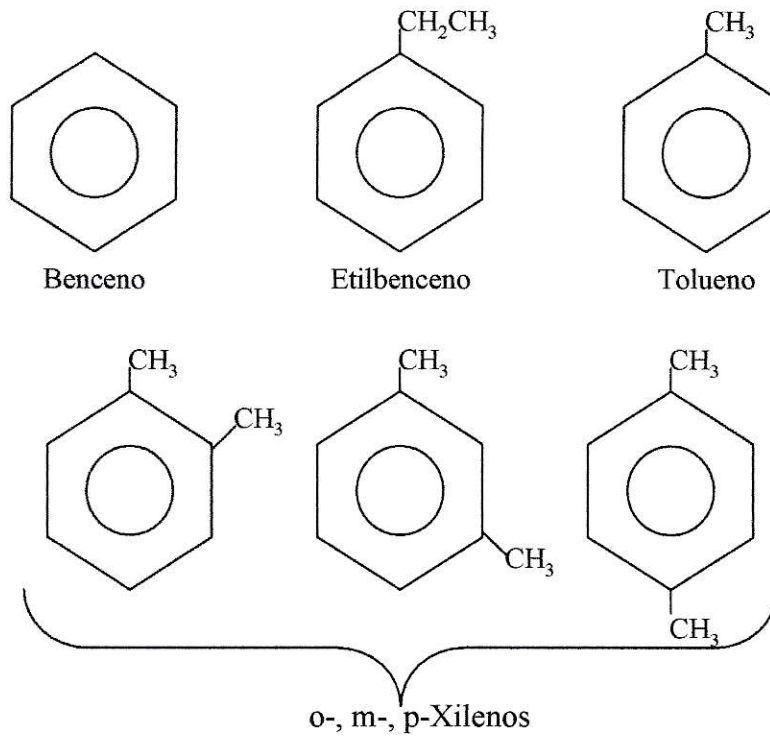


Figura 2: Estructura de BETX

A continuación se detallan algunas de las características de los BETX separadas según el compuesto:

● **Benceno:**

El benceno es conocido también con el nombre de benzol. Es un líquido incoloro de olor dulce, volátil, inflamable y ligeramente soluble en agua. Esta baja solubilidad es la responsable que el benceno pueda pasar a través del suelo y llegue a contaminar el agua subterránea.

Las fugas de gasolina desde tanques subterráneos liberan benceno al agua y al suelo, para luego pasar al aire. Si esto ocurre, el benceno puede reaccionar con otras sustancias para luego degradarse o en caso contrario ser arrastrado por la lluvia nuevamente al suelo o agua, donde su degradación será lenta.

Es posible detectar el olor del benceno en el aire cuando se presenta en concentraciones en el rango entre 1,5 a 4,7 mg/L y en el agua cuando la concentración es de 2 mg/L (a pesar que la mayoría de las personas comienza a detectar su sabor cuando las concentraciones se encuentran entre 0,5 a 4,5 mg/L).

● **Etilbenceno:**

El etilbenceno es un líquido inflamable, incoloro, de olor similar a la gasolina.

Las fugas de gasolina desde tanques subterráneos liberan etilbenceno al agua y al suelo, para luego pasar fácilmente al aire por ser un compuesto volátil. Cuando llega al aire se demora aproximadamente 3 días en degradarse a otros productos químicos. En aguas superficiales el etilbenceno se degrada al reaccionar con otras sustancias químicas que se encuentran presentes en el agua.

● **Tolueno:**

El tolueno es un líquido incoloro transparente con un olor característico. Es un buen solvente. Este compuesto es añadido a la gasolina junto con el benceno y el xileno.

El tolueno entra al agua superficial y al agua subterránea cuando ocurren derrames o escapes de productos derivados del petróleo desde tanques subterráneos, contaminando suelos y aguas. Generalmente no permanece en el ambiente por mucho tiempo ya que es degradado a otras sustancias químicas por microorganismos que se encuentran en el suelo o, se evapora desde aguas y suelos superficiales. Al llegar a las aguas subterráneas no se degrada fácilmente ya que el número de microorganismos presentes en ellas es pequeño.

El tolueno puede ser incorporado por peces y mariscos, plantas y animales que viven cerca de las aguas contaminadas, pero no se concentra o acumula en altos niveles porque la mayoría de estos organismos pueden degradarlo a otros productos los que luego son excretados.

Es posible que una persona detecte el olor de este compuesto en el aire cuando la concentración alcanza las 8 mg/L. En el agua es posible detectar su sabor cuando la concentración se encuentra entre 0,04 a 1 mg/L.

● **Xilenos:**

Existen tres formas de xileno en las cuales las posiciones de los grupos metilos varían en el anillo de benceno: *meta*-xileno, *orto*-xileno y *para*-xileno (*m*-, *o*-, y *p*-xileno). Estos se conocen como isómeros. Por lo tanto cuando se habla de xilenos totales o simplemente xilenos nos estamos refiriendo a las tres formas mencionadas con anterioridad.

La mezcla de xileno generalmente contiene los tres isómeros y además contiene 6 a 15% de etilbenceno. Es un líquido inflamable, incoloro, de olor dulce, volátil, inflamable y poco soluble en agua.

Los xilenos pueden filtrarse al suelo, aguas superficiales o al agua subterránea como consecuencia de derrames accidentales o de escapes desde los tanques de almacenamiento del petróleo. Al ser un compuesto volátil, la mayor parte del xileno que entra al suelo y al agua se evaporará al aire donde es degradado por la luz solar a otros compuestos menos perjudiciales. Es por este motivo que raramente se encuentra xileno en altas concentraciones en la superficie del suelo o en el agua superficial a menos que recientemente haya habido un derrame o que exista una fuente de contaminación continua.

Este compuesto puede movilizarse a través del suelo y entrar al agua subterránea donde puede permanecer durante meses antes de ser degradado por microorganismos.

Cuando las concentraciones en el aire se encuentran en el rango de 0,08 a 3,7 mg/L es posible detectar su olor característico. En el agua es posible detectar la presencia de xileno cuando se encuentra entre 0,53 a 1,1 mg/L. (ATSDR, 2005).

En la siguiente tabla (Tabla 2) aparecen los valores de las fichas de seguridad correspondientes a BETX:

Tabla 2: Datos de Fichas de Seguridad para BETX.

	Benceno	Etilbenceno	Tolueno	Xilenos
Densidad (20°C) (g/cm ³)	0,88	0,87	0,87	0,86
Presión de Vapor (20°C) (hPa)	101	9,5	29	10
Solubilidad en Agua (20°C) (g/L)	1,770	poco soluble	0,52	0,2
Temperatura de Ignición (°C)	555	430	535	465
Punto de Inflamación (°C)	-11	15	4	25
Toxicidad aguda				
LC ₅₀ (inhalativo, rata) (mg/L/4h)	44	17,2	49	6.350
LD ₅₀ (dérmico, conejo) (mg/kg)	>8.260	15.500	12.124	4.500
LD ₅₀ (oral, rata) (mg/kg)	930	3.500	636	2.840

Por tratarse de compuestos tóxicos y cancerígenos, resulta importante evaluar los posibles riesgos que podrían presentar a la salud dependiendo de su concentración (por ejemplo uno de los efectos conocidos del benceno sobre la salud es la inducción de leucemias). Además de evaluar los efectos que pudieran causar a las personas expuestas a estos compuestos, en el caso que la contaminación de las aguas subterráneas estudiadas sea significativa. (Carlos E. Peña y col, 2001).

Las empresas evalúan los resultados de forma general, por lo tanto, la idea de este trabajo es hacer una evaluación de manera detallada en relación a los BETX. Para ello se utilizarán los análisis de muestras de aguas subterráneas realizados por QUALANZ Consultores Asociados para el desarrollo del Estudio Ambiental: “Molinera del Sur-Planta de Almacenamiento de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo (CLP) ESSO-COMAP Puerto Montt”. Los análisis de las muestras de aguas subterráneas obtenidas en los diferentes puntos de muestreo fueron realizados por laboratorios externos a la consultora (ALS Environmental).

1.5 Toxicología asociada a BETX

Una sustancia tóxica es una sustancia que resulta dañina para los organismos vivos por los efectos que puede producir en: tejidos, organismos o procesos biológicos. La toxicidad de una sustancia dependerá básicamente, del tipo de organismo que ha estado expuesto, la concentración, estabilidad, persistencia y ruta de exposición de la sustancia en cuestión. En el caso de los seres humanos expuestos a sustancias consideradas tóxicas, el grado del daño producido, dependerá principalmente de las vías de contacto.

La vía de ingreso de los tóxicos es a través de las superficies epiteliales en contacto con el ambiente del intestino delgado (ingesta), los pulmones (respiración) y la piel (contacto cutáneo).

Se considera que una sustancia entró al organismo cuando se encuentra en el torrente sanguíneo. Los órganos que se encuentran más involucrados, son los relacionados con la transformación y excreción de los tóxicos, es decir, el hígado y los riñones.

A continuación aparecen los efectos tóxicos detallados para cada compuesto:

● **Benceno**

El benceno puede entrar al cuerpo a través de los pulmones, el tubo digestivo y la piel.

Al estar expuesto a altas concentraciones de benceno en el aire, la mitad del benceno que ha sido inhalado pasa a través de los pulmones y entra al torrente sanguíneo. Al exponerse al benceno en alimentos o bebidas, la mayor cantidad del benceno ingerido pasa a través del tubo digestivo y llega al sistema circulatorio. Si es absorbido a través de la piel, una pequeña concentración llegará al sistema circulatorio.

Una vez en la sangre, se moviliza a través del cuerpo y puede ser almacenado transitoriamente en la médula de los huesos y en el tejido graso. El benceno es convertido en metabolitos por el hígado y los riñones, de los cuales la mayoría abandona el cuerpo a través de la orina dentro de las 48 horas luego de la exposición.

La exposición breve (5 a 10 minutos) a altas concentraciones de benceno en el aire (10 a 20 g/L) puede producir la muerte. Niveles más bajos (0,7 a 3 g/L) pueden producir letargo, mareo, taquicardia, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento. En la mayoría de los casos, los efectos desaparecerán cuando la exposición termina y la persona empieza a respirar aire fresco.

La ingestión de alimentos o bebidas que contienen niveles altos de benceno puede producir vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia, convulsiones, taquicardia, coma y la finalmente la muerte. Los efectos del consumo de alimentos o líquidos que contienen bajos niveles de benceno no se conocen.

El respirar benceno durante períodos prolongados, puede provocar daño en los tejidos que producen las células de la sangre, especialmente la médula de los huesos. Una disminución de los glóbulos rojos puede producir anemia. La reducción de otros componentes de la sangre puede causar hemorragias.

La exposición prolongada al benceno puede desarrollar un tipo de cáncer denominado leucemia. La exposición se ha asociado con el desarrollo de un tipo especial de leucemia llamada leucemia mieloide aguda.

Tanto la EPA como la IARC han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos. (ATSDR, 2005).

● **Etilbenceno**

Existe poca información de los efectos del etilbenceno sobre la salud de seres humanos.

Personas expuestas a altas concentraciones de etilbenceno en el aire presentan los siguientes síntomas: mareos, irritación de garganta y ojos, opresión en el pecho.

Estudios en animales han descrito efectos sobre el sistema nervioso, hígado, riñones y ojos al inhalar etilbenceno.

No existe ningún estudio que demuestre que la exposición al etilbenceno produzca cáncer en seres humanos.

Tanto la EPA como la IARC han determinado que el etilbenceno no se puede clasificar en relación a carcinogenicidad en seres humanos. (ATSDR, 1999).

● **Tolueno**

El tolueno ingresa al cuerpo de forma similar a la explicada para el benceno. Luego de ser absorbido más del 75% es eliminado dentro de las primeras 12 horas a través de la orina luego de ser transformado a sustancias menos dañinas.

La posibilidad de que afecte al sistema nervioso central, principalmente al cerebro es motivo de preocupación. Puede causar dolores de cabeza y somnolencia dependiendo de la concentración a la que se ha estado expuesto, la duración de la exposición, la susceptibilidad genética y edad.

La exposición diaria a bajas concentraciones puede producir cansancio, confusión, debilidad, sensación de embriaguez, pérdida de la memoria, náusea y pérdida del apetito. Síntomas que generalmente desaparecen cuando cesa la exposición. La exposición por un período prolongado, puede traer como consecuencia cierto grado de sordera y pérdida de la visión en color.

Los efectos del tolueno en animales son similares a los observados en seres humanos. El efecto principal es sobre el cerebro y el sistema nervioso, pero los animales expuestos a cantidades moderadas o altas de tolueno también pueden experimentar efectos adversos en el hígado, los riñones y los pulmones.

Tanto la EPA como la IARC han determinado que el tolueno no es clasificable en cuanto a su carcinogenicidad en seres humanos. (ATSDR, 2000).

● Xilenos

La vía más frecuente de ingreso de xilenos al cuerpo es la respiratoria, para luego ser absorbido rápidamente por los pulmones. La cantidad que queda retenida oscila entre 50% y 70% de la cantidad inhalada.

La absorción de xilenos luego de ingerir alimentos o agua es rápida y completa. La absorción a través de la piel después de contacto directo también es rápida. La concentración de xilenos en forma de vapor absorbida a través de la piel es aproximadamente 12% de la cantidad absorbida a través de los pulmones.

En seres humanos y animales de laboratorio, el xileno es degradado a otras sustancias, especialmente en el hígado. Este proceso transforma a la mayoría del xileno que se ingiere o inhala a una sustancia más soluble que es eliminada rápidamente por la orina.

Generalmente, la mayor parte del xileno que entra al cuerpo es eliminado dentro de 18 horas después de cesar la exposición. El xileno que se almacena en tejido graso o en músculos puede prolongar el tiempo que permanecerá el xileno en el cuerpo.

Los científicos han descubierto que las tres formas de xileno y las mezclas de xilenos afectan la salud de manera similar. No se han descrito efectos nocivos causados por los niveles de xileno que ocurren normalmente en el ambiente.

Tanto las exposiciones breves como prolongadas a altas concentraciones, pueden producir numerosos efectos sobre el sistema nervioso, como por ejemplo, dolor de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y pérdida del sentido del equilibrio. Algunas personas expuestas brevemente a altas concentraciones fallecieron.

La exposición de mujeres embarazadas a altas concentraciones, puede ser perjudicial para el feto. Estudios en animales preñados, indican que concentraciones altas de xileno pueden aumentar la tasa de muertes, reducir el peso, alterar el esqueleto y también retardar el desarrollo del esqueleto del feto. En muchos casos, estos mismos niveles también son nocivos para las madres.

Los resultados de los estudios en animales, indican que, la exposición a grandes concentraciones de xileno puede producir alteraciones del hígado, riñones, pulmones, corazón y sistema nervioso. La exposición breve de animales, a concentraciones de xilenos muy altas produce espasmos musculares, incoordinación, sordera, alteraciones del comportamiento, alteraciones del peso de algunos órganos, alteraciones de la actividad de algunas enzimas y también la muerte.

Tanto la EPA como la IARC han determinado que no existe suficiente información para determinar si el xileno es carcinogénico y lo consideran no clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. (ATSDR, 2005).

En la siguiente tabla (Tabla 3) aparecen las propiedades químicas, las rutas de exposición, los órganos afectados y los efectos para la salud asociados a los BETX.

Tabla 3: Propiedades químicas, rutas de exposición, órganos afectados y efectos para la salud de BETX.

Compuesto	Propiedades Químicas	Rutas de Exposición	Órganos Afectados	Efectos para la Salud
Benceno	Líquido Incoloro Aroma característico Inflamable Poco soluble en agua Volátil	Inhalación Absorción por la piel Ingestión	Ojos Piel Sistema respiratorio Sistema circulatorio SNC Médula espinal	Cáncer (leucemia) Tumores en animales (posiblemente en humanos) Anemia Encefalopatías Lesión en el SNC Anormalidades cromosómicas
Etilbenceno	Líquido Incoloro Aroma característico Inflamable Poco soluble en agua Volátil	Inhalación Absorción por la piel Ingestión	Ojos Piel Sistema respiratorio SNC	Quemaduras en la piel Cáncer (posiblemente) Encefalopatías Lesión en el SNC Trastornos hepáticos o renales
Tolueno	Líquido Incoloro Aroma característico (dulce-picante, similar al benceno) Inflamable Poco soluble en agua	Inhalación Absorción por la piel Ingestión	Ojos Piel Sistema respiratorio SNC Médula espinal Hígado Riñones	Disfunción cerebral permanente Encefalopatías Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso
Xilenos (o-Xileno, m-Xileno, p-Xileno)	Líquidos Inflamables Moderadamente soluble en agua	Inhalación Absorción por la piel Ingestión	Ojos Piel Sistema respiratorio Sistema circulatorio SNC Hígado Riñones Tracto gastrointestinal	Lesión en el SNC Encefalopatías

1.5.1 Cáncer y BETX

Existe evidencia de que ciertos hidrocarburos son cancerígenos. Se ha comprobado que a corto plazo pueden producir tumores en ratones, cuando se aplican en su piel aún en pequeñas cantidades.

¿Cómo pueden los hidrocarburos producir cáncer?

Esto se puede explicar ya que, el organismo para eliminar los hidrocarburos, los oxida para que sean más solubles en agua y de esta forma puedan ser excretados.

Son estos productos de la oxidación metabólica, los posibles responsables la inducción del cáncer.

En cuanto al benceno, se ha descubierto que es un compuesto muy tóxico para los humanos ya que, además de causar un grave daño hepático, es inductor de cierto tipo de leucemias (una forma de cáncer).

Para eliminar el benceno el organismo, a través de ciertas enzimas, oxida el anillo aromático se éste. Se piensa que los intermediarios de esta oxidación son los causantes del daño en nuestro organismo.

Un ejemplo de lo explicado anteriormente ocurre cuando el benceno es oxidado a fenol, por los P-450 (enzimas) del hígado y este compuesto se transporta hasta la médula ósea, donde se transforma en hidroquinol, un diol que causa daño en la médula ósea. Este ejemplo se representa en la figura que aparece a continuación (Figura 3):

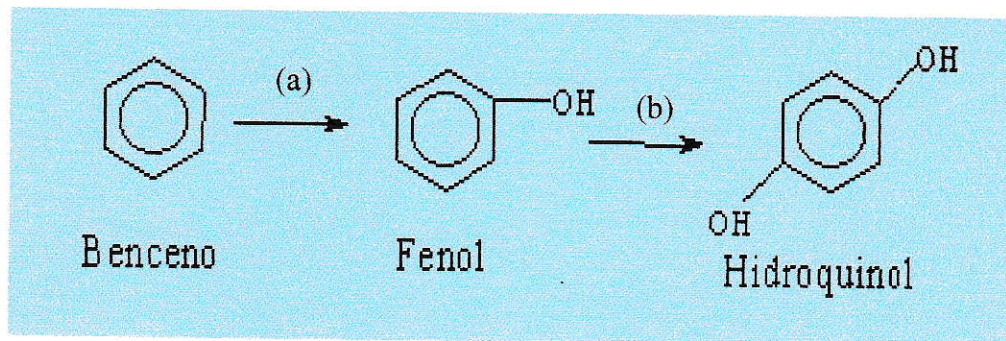


Figura 3: Bioactivación del Benceno: (a) Oxidación y (b) transformación en hidroquinol

Pero el tolueno, que también posee un anillo aromático, tiene una toxicidad inferior respecto al benceno. El grupo metilo que posee este compuesto, es el responsable que el producto de la oxidación de éste sea el ácido benzoico, el cual puede ser excretado fácilmente por el organismo (ninguno de los intermediarios de este proceso causa problemas). (Hart H. y col, 1995).

A continuación (Figura 4) aparece la reacción de oxidación del tolueno.

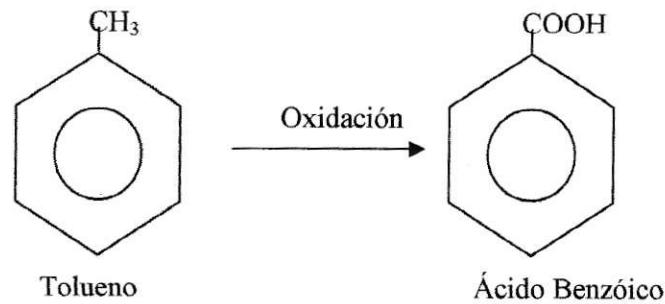


Figura 4: Oxidación de Tolueno

Luego de realizar una investigación bibliográfica sobre los BETX surge la siguiente hipótesis:

1.6 Hipótesis

Los derrames de combustibles líquidos derivados del petróleo ocurridos en Noviembre del 2003, en las instalaciones pertenecientes a ESSO-COMAP, han contribuido con concentraciones apreciables de BETX en aguas subterráneas, tanto en el sector de las Plantas de Almacenamiento como en el sector correspondiente a la empresa Molinera del Sur, afectando el medio ambiente y la salud de las personas.

A partir de esta hipótesis se plantean los siguientes objetivos:

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

- Realizar un estudio de caso para el área de agua subterránea contaminada por BETX (Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno) tanto en el área de las plantas de almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo perteneciente a ESSO-COMAP como en los terrenos pertenecientes a la empresa Molinera del Sur en Puerto Montt, X Región.

1.7.2 Objetivos específicos

- Identificar en el sitio señalado, la presencia de sustancias específicas derivadas del petróleo (BETX) en el agua subterránea y delimitar el alcance de la contaminación.
- Analizar las concentraciones de BETX encontradas en las muestras tomadas en terreno y revisar las metodologías de análisis utilizadas por los laboratorios externos.
- Relacionar las concentraciones de BETX encontradas en las muestras de aguas subterráneas con los posibles riesgos a la salud de las personas y/o efectos adversos en el medio ambiente utilizando valores de referencia.
- Determinar, en el caso que sea posible, las características de la pluma de contaminación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción de la Zona de Muestreo

La zona de muestreo se encuentra al este del centro cívico de la ciudad de Puerto Montt, camino a la Bahía Pichipelluco. (QUALANZ, 2005).

La zona de muestreo se divide en dos sectores (Figura 5):

- Sector 1: Plantas de Almacenamiento de CLP y calle Huasco de Puerto Montt.
- Sector 2: Molinera del Sur, Avda. Juan Soler Manfredini de Puerto Montt.

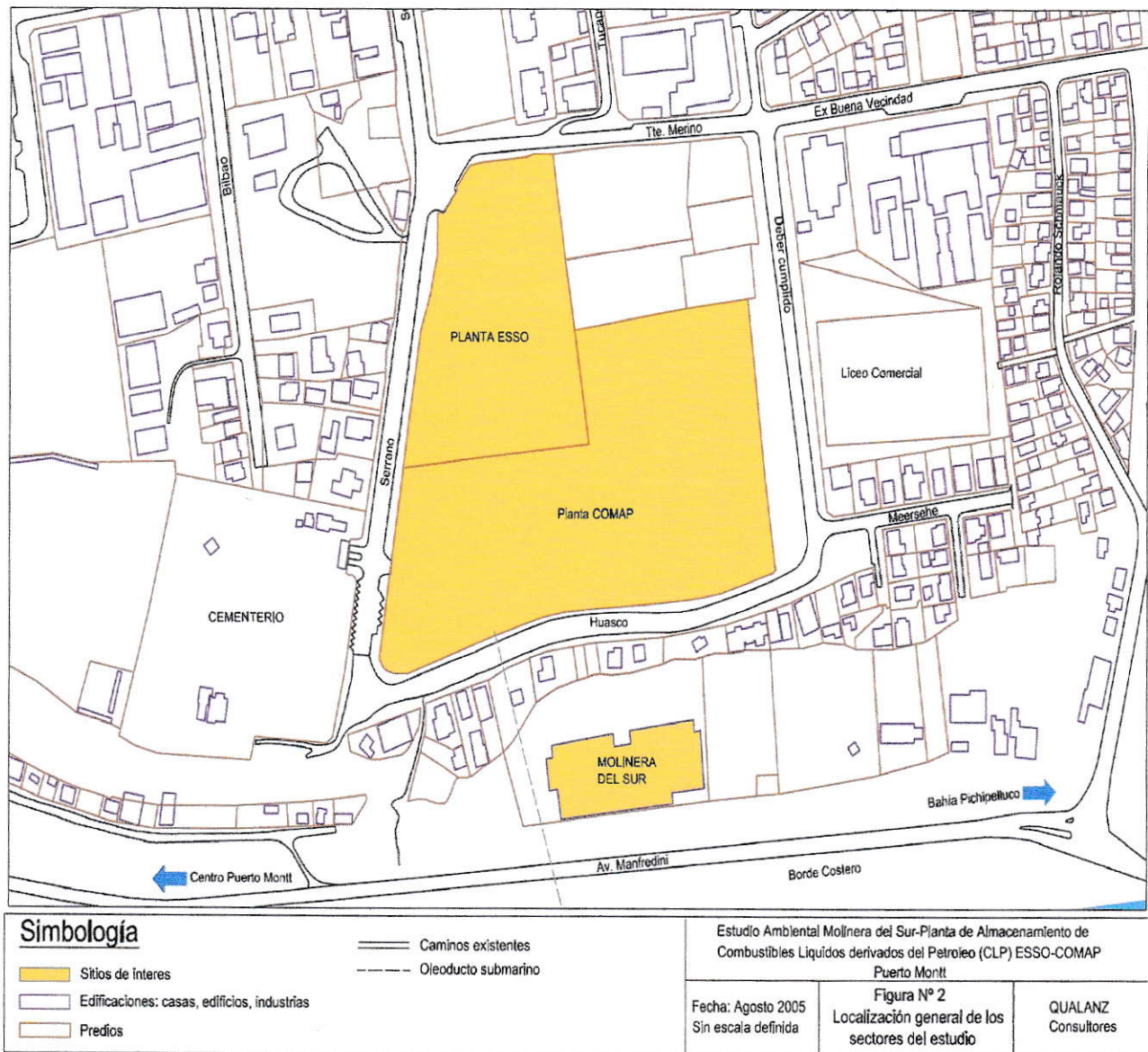


Figura 5: Zona de Muestreo

Sector 1: Plantas de Almacenamiento de CLP y calle Huasco

Las plantas de almacenamiento de combustible están ubicadas en calle Serrano #14 y 50, en Puerto Montt, X Región.

La operación de las plantas por parte de ESSO y COMAP empieza en Septiembre de 1961.

Actualmente la propiedad es utilizada como terminal para el almacenamiento y distribución de combustibles líquidos.

Las actividades que se realizan en las plantas corresponden a recepción del combustible desde tubería submarina, almacenamiento en estanques superficiales, transporte de combustibles y carga de camiones.

La planta COMAP almacenó Gasolina 93 octanos con plomo hasta el año 2001 y la planta ESSO hasta el año 2000. (ARCADIS Geotécnica, 2003).

Sector 2: Molinera del Sur, Avda. Juan Soler Manfredini

La empresa Molinera del Sur, está ubicada bajo el nivel de las plantas de almacenamiento, en Av. Juan Soler Manfredini # 680, en Puerto Montt.

Comenzó a operar como empresa Molinera en 1991. Los silos en los que está ubicada la planta datan del los años 60.

En el proceso productivo no se utilizan hidrocarburos. Sólo se utilizan para energizar una secadora y un generador eléctrico.

En sector aledaño a la Molinera existe una servidumbre del oleoducto submarino operado por ESSO.

2.2 Caracterización del Sector de Muestreo

El sector donde se ubican las plantas de almacenamiento de combustibles está separado de la molinera, por un escarpe natural de 30 m de desnivel aproximadamente. Es decir, las plantas de almacenamiento se encuentran sobre Molinera del Sur. (QUALANZ, 2005).

Estudios realizados con anterioridad señalan que el nivel estático de la napa se encuentra entre 15-23 m bajo el nivel del suelo en el sector de las plantas de almacenamiento. Bajo el nivel del suelo en el sector de la Molinera el nivel estático de la napa es de 2,08 m.

De los estudios realizados por Qualanz es posible estimar una velocidad de flujo en el rango de 100 m/año.

Además, cabe señalar que en un diámetro de 2 km de las plantas no existen pozos de aprovechamiento de aguas, ni se observan escurrimientos de aguas superficiales en las cercanías.

2.3 Ubicación de los Pozos de Muestreo

Luego de analizar las exploraciones anteriores y verificar la existencia de producto en el sector, Qualanz elaboró un plan de monitoreo para así determinar la extensión del producto encontrado sobrepasando la zona de las plantas de almacenamiento y del molino.

Se realizaron perforaciones hasta no encontrar producto, para de esta manera delimitar la pluma de extensión del producto.

A continuación se detallan los puntos del resumen del plan de monitoreo que son de interés para este trabajo:

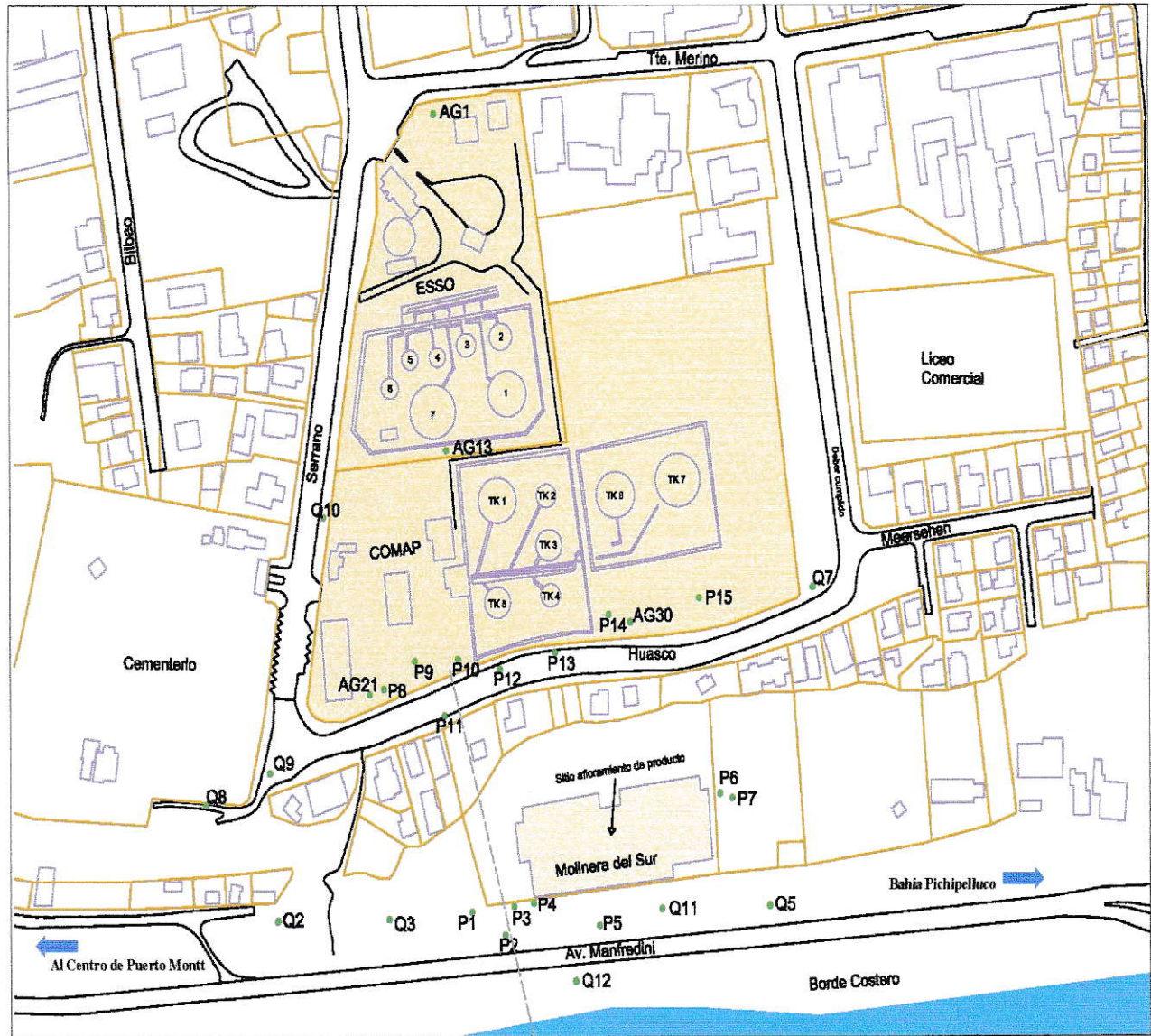
1. Realizar 7 pozos en Av. Manfredini: Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q11 y Q12 (Figura 6).
Si en el pozo Q2 no se detecta contaminación, no se realiza el pozo Q1.
Si en el pozo Q11 no se detecta contaminación, el pozo Q4 no se realizará.
Si se en los pozos Q1 y/o Q5 se encuentra contaminación se realizarán otros pozos laterales hasta determinar el área de la contaminación.

2. Realizar 5 pozos en calle Huasco: Q6, Q7, Q8, Q9 y Q10 (Figura 6).

Si en el pozo Q8 se no detecta contaminación, el pozo Q6 no se realiza. Si en los pozos Q6 y/o Q7 se encuentra contaminación se realizarán otros pozos laterales hasta determinar el área de la contaminación.

3. Muestreo de agua subterránea en aquellos pozos donde no se detectó hidrocarburos de manera visual.

En la siguiente figura (Figura 6) se ubican los pozos de muestreo realizados en estudios anteriores y los pozos realizados para este estudio.



Simbología ● Q Pozos nuevos Qualanz ● P Pozos antiguos 2004-2005 ● AG Pozos antiguos 2003	■ Sitios de interés □ Edificaciones: casas, edificios, industrias ▭ Predios — Carminos existentes - - - Oleoducto submarino	Estudio Ambiental Molinera del Sur-Planta de Almacenamiento de Combustibles Líquidos derivados del Patroleo (CLP) ESSO-COMAP Puerto Montt - Etapa I		
		Fecha: Agosto 2005 Sin escala definida	Lámina N° 3 Localización de sondajes	QUALANZ Consultores

Figura 6: Ubicación de Pozos de Muestreo

2.3.1 Equipos y Métodos Utilizados

- Las perforaciones se realizaron con una máquina de rotación directa con aire y perforación con martillo de fondo de 6” de diámetro de la empresa Perfomaq de Osorno. (QUALANZ, 2005).
- La medición de compuestos volátiles en terreno se realizó durante el proceso de perforación empleando un Detector de Foto-Ionización (PID) modelo AreaRae marca RAE System con una resolución de 0,1 mg/L para compuestos orgánicos volátiles en un rango de 0 – 200 mg/L.
- El desarrollo de los pozos se efectuó hasta obtener agua clara sin turbidez y hasta que el fino y arena en el fondo del pozo fueron removidos. Se utilizaron dos tipos de bombas según el pozo:
 - Pozos profundos: 1 Waterra Standard performance pump, WSP-12V-5.
 - Pozos someros: 1 Waterra Standard performance pump, WSP-12V-1.

A continuación (Figura 7) se representa un ejemplo de los pozos:

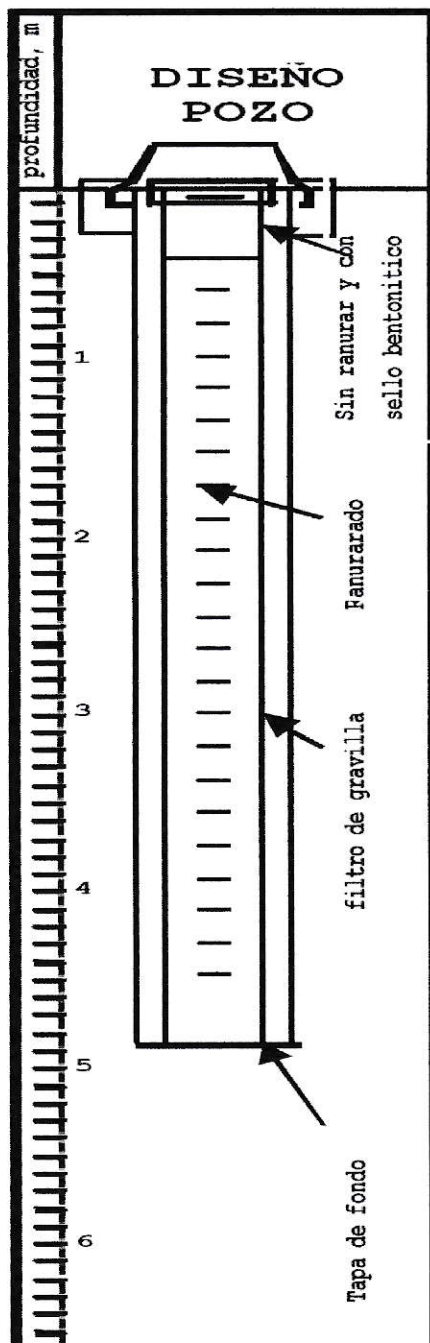


Figura 7: Pozos de Muestreo

2.4 Toma de Muestras

La toma de muestras de agua subterránea fue realizada de la siguiente manera:

- Se tomó muestras de agua subterránea en los pozos donde no se detectó presencia de producto de forma visual.
- Antes de obtener las muestras de los respectivos pozos se bombeó 3 volúmenes de agua utilizando las bombas mencionadas anteriormente.
- La toma de muestra se llevó a cabo utilizando Bailers.
- Las muestras se envasaron en los recipientes entregados por el laboratorio, dependiendo del análisis será el envase a utilizar.
- Las muestras se mantuvieron a 4°C hasta su envío al laboratorio encargado de realizar los análisis siguiendo los procedimientos indicados por el laboratorio.

2.5 Análisis de Laboratorio

El laboratorio responsable del análisis de las muestras es ALS Environmental ubicado en Los Ebanistas 8521 comuna de La Reina que cuenta con certificación ISO 9001-2000 y con la acreditación Nch-ISO 17025 of 2001.

A continuación se detallan ciertos puntos de interés que se desprenden del instructivo para toma de muestras ambientales entregado por ALS Environmental:

- ALS Ambiental provee todos los recipientes, etiquetas, químicos preservantes y materiales de filtración en terreno para muestras rutinarias entregadas para análisis.
- Los tiempos de retención señalados a continuación (Tabla 4) son los tiempos máximos recomendados para retener muestras entre colección y extracción o análisis.

Tabla 4: Detalles de Muestreo.

Aguas/Soluciones	Recipiente	Volumen Mínimo (mL)	Conservación	Tiempo de Análisis máx.
Hidrocarburos Volátiles	Vidrio Teflón (tapa)	40	4°C	14 Días
Hidrocarburos Semi-Volátiles	Vidrio Teflón (tapa)	1000	4°C	14 Días

▪ Muestras de agua

Todos los frascos, botellas, y recipientes serán entregados precargados con los reactivos de conservación. No es necesario enjuagar o ambientar el frasco antes de llenarlo. En el caso de los parámetros que necesiten ser llenados sin espacio o la presencia de aire, es importante minimizar las burbujas de aire en la muestra.

▪ Para todas las muestras

- Sellar bien los recipientes de muestra.
- Rotular todos los recipientes claramente con marcador imborrable.
- Mantener todas las muestras en frío (4°C) evitando el congelamiento a menos que sea indicado.
- Completar el sometimiento de la muestra o los formularios de la cadena de custodia u orden de trabajo con toda la información necesaria.
- Empacar las muestras con cuidado en un cooler o nevera para evitar que se resquebrajen las muestras.
- Enviar las muestras a ALS Environmental lo antes posible después de recolectarlas.
- Es recomendable muestrear mas del volumen mínimo para análisis de muestras de control de calidad (replicados, adición estándar) o repeticiones.

En la siguiente figura (Figura 8) aparecen los ensayos analíticos de laboratorio que se realizan a los productos de petróleo en ALS Environmental:

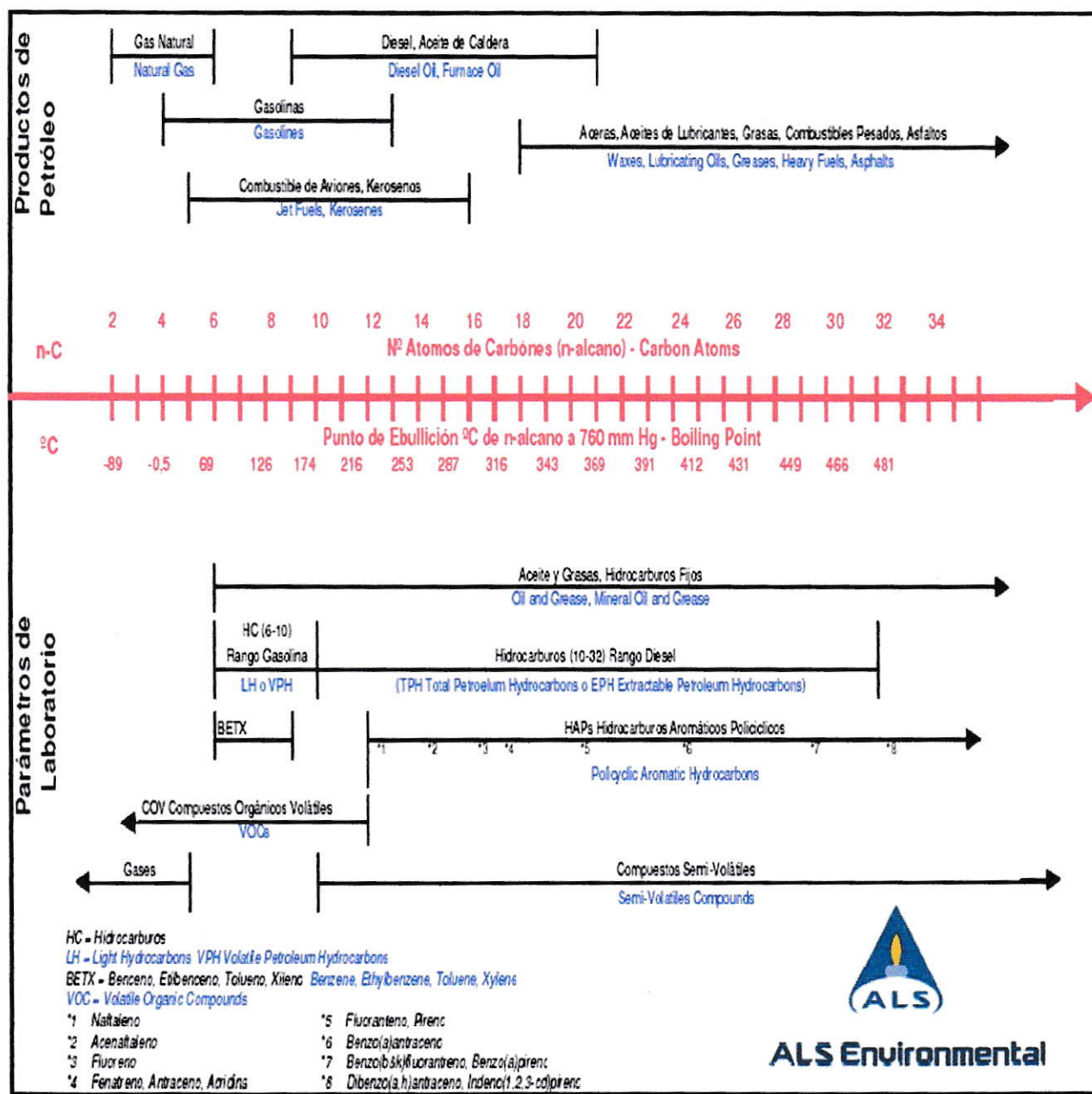


Figura 8: Ensayos Analíticos para Productos Derivados del Petróleo

2.5.1 Análisis de BETX (Benceno, Etilbenceno, Tolueno, Xileno)

La metodología EPA utilizada para realizar los análisis de BETX en las muestras de aguas subterráneas corresponde a los métodos EPA 8260B y 5030B (que indican determinación de compuestos orgánicos por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y preparación de muestras líquidas utilizando sistema de purga y trampa).

Los análisis se realizaron utilizando un cromatógrafo de gases Agilent Technologies 6890N con detector selectivo de masa.

De la muestra que se encuentra refrigerada se toman 5mL, se adicionan 5µL de estándar interno deuterado (se utilizó Clorobenceno D5, cuya concentración es 40 µg/mL) y se inyecta (la jeringa de inyección se lava con metanol, agua destilada y luego se ambienta con la muestra) en sistema de purga y trampa (que consiste en volatilizar los compuestos los cuales son adsorbidos por una pre-columna y posteriormente son desorbidos para ingresar al cromatógrafo de gases). Las especificaciones de este sistema se detallan a continuación:

- Equipo de purga y trampa: TEKMAR DOHRMANN 3100 Sample Concentrator.
 - Pre-columna: VOCARB 3000. Se calienta a 225°C por 10 minutos. Posteriormente los volátiles pasan al cromatógrafo.

- Programa Computacional: TEKLINK 3100.

En la siguiente figura (Figura 9) aparece el sistema de purga y trampa:

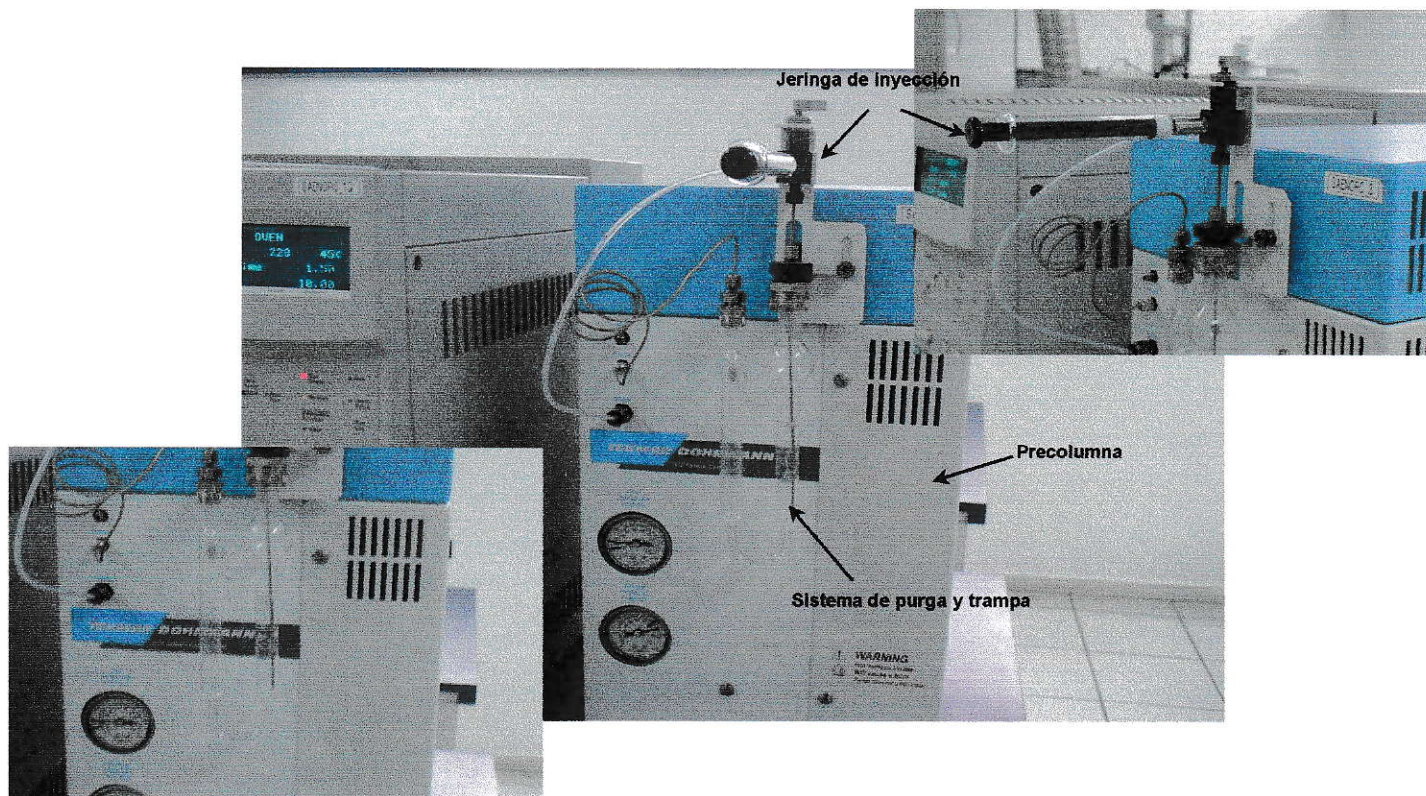


Figura 9: Sistema de Purga y Trampa

Los compuestos volátiles quedan retenidos en una pre-columna. Como el sistema está a cierta temperatura los hidrocarburos son arrastrados hacia el cromatógrafo de gases utilizando Helio como gas de arrastre.

A continuación se detallan las especificaciones del equipo de cromatografía (Figura 10):

- Cromatógrafo: Agilent Technologies 6890N.
 - Temperatura horno: 45°C (por 1,5 minutos), luego aumenta 10°C (por 1 minuto) hasta 150°C, finalmente aumenta 15°C por minuto hasta 250°C.
 - Columna: DB-VRX (30m x 250µm x 1,4µm nominal). Esta columna es una columna capilar.
 - Inyector: Temperatura inyector: 200°C. El sistema de inyección que tiene el equipo es en modo split (divisor de flujo).

- Tipo de Detector: Detector selectivo de masa Agilent 5973.
 - Temperatura en el detector: 245°C.

- Gas carrier: Helio.

- Límite de Detección: 0,001 mg/L



Figura 10: Equipo de Cromatografía de Gases

Con este equipo se logra cuantificar desde C_6 hasta C_{10} (rango en el que se encuentran los BETX).

Como blanco se utiliza agua destilada la cual previamente se hierve 15 minutos para descarbonizarla (es decir, para eliminar el CO₂). Se toma una alícuota de 5mL de agua destilada y se adicionan 5µL de estándar interno deuterado, posteriormente se inyecta de la misma forma explicada anteriormente al sistema de purga y trampa.

Para realizar la curva de calibración se utiliza Standar Mix 8260 de calibración para volátiles (5 µg/mL). La curva de calibración se realiza considerando las siguientes concentraciones: 20, 50 y 100 ppb (por ejemplo para 20 µg/mL se inyectan: 5mL de agua destilada a los cuales se adiciona 5µL del estándar interno y 2µL del estándar mix de calibración. Los estándares se diluyen en metanol).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación (Tabla 5) se presentan los resultados de los análisis de BETX realizados por ALS Environmental para las muestras de agua subterránea recolectadas en los diferentes pozos ubicados tanto en las plantas de almacenamiento de CLP y sus alrededores como en la Molinera del Sur y sus alrededores. (ALS Environmental, 2005).

Tabla 5: Concentraciones de BETX encontradas en los distintos puntos de muestreo.

Punto de Muestreo	Benceno (mg/L)	Etilbenceno (mg/L)	Tolueno (mg/L)	Xileno (mg/L)
Q2	-	-	-	-
Q5	-	-	-	-
Q7	-	-	-	-
Q8	-	-	-	-
Q9	0,002	<0,001	0,002	<0,001
Q10	-	-	-	-
Q11	2,242	0,010	1,702	0,849
Q12	2,274	0,040	0,931	0,275
P3	0,238	<0,001	0,011	0,048
P6	-	-	-	-
P7	-	-	-	-
P9	2,075	0,099	1,367	1,350
P11	1,707	0,027	0,868	1,234
P12	2,672	0,046	1,021	0,301
P14	0,033	0,001	0,004	0,001
P15	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
AG1	-	-	-	-
AG13	-	-	-	-

- : no se analizó porque no se detectó HV (C6-C10)

El término no detectado, quiere decir, que no se realizaron análisis para las muestras en que los pozos en el análisis de hidrocarburos volátiles entregan resultados bajo el límite de detección (que es 0,001 mg/L) del equipo por lo que se asume que la concentración de BETX será poco significativa.

Por otra parte cuando los resultados indican valores bajo el límite de detección quiere decir que la concentración del compuesto analizado es inferior a la que puede detectar el equipo al realizar el análisis correspondiente a BETX.

En el siguiente gráfico (Figura 11) se representan los resultados de los análisis de BETX para las muestras de agua subterránea recolectadas en los diferentes pozos entregados por ALS Environmental.

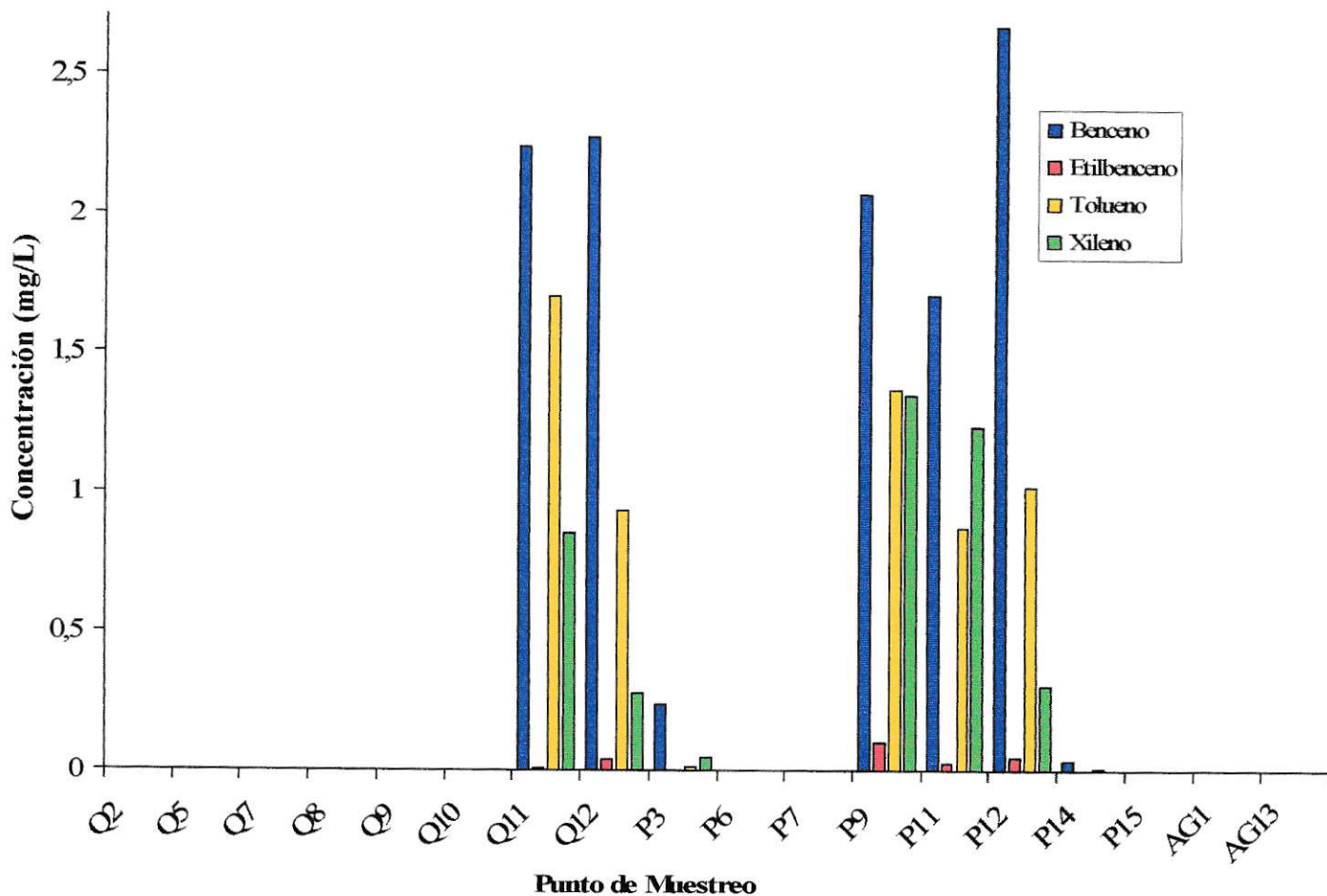


Figura 11: Concentraciones de BETX encontradas en los distintos puntos de muestreo

En base a los resultados entregados por el laboratorio ALS Environmental (Tabla 5 y Figura 11) los pozos que presentan una mayor concentración de BETX son los pozos Q11, Q12, P9, P11 y P12. Además del gráfico se desprende que, de los cuatro compuestos estudiados el benceno es el que se encuentra en mayores concentraciones.

La pluma de dispersión se obtuvo de acuerdo a las concentraciones encontradas en los diferentes puntos de muestreo (Figura 12).

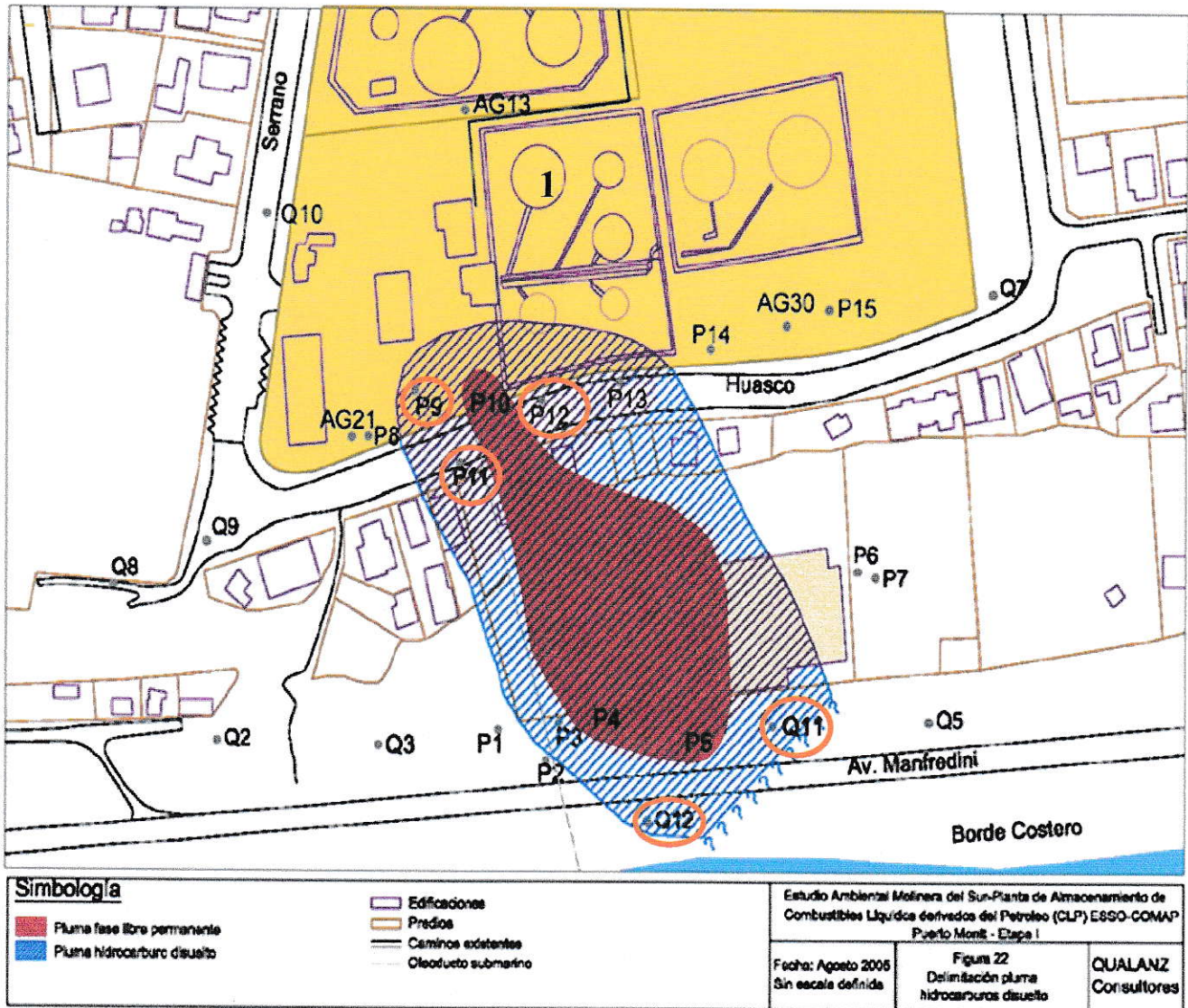


Figura 12: Pluma de dispersión de BETX

Al observar la figura que muestra la pluma de contaminación (Figura 12) se puede deducir la dirección de ésta, así como su extensión. La figura indica por lo tanto que la contaminación se dirige hacia el borde costero, dejando a su paso una amplia extensión de terrenos contaminados en la Molinera del Sur y sus alrededores.

Las mayores concentraciones se encuentra cercanas al estanque N°1 que es el estanque al que corresponde la ruptura informada el mes de Noviembre del año 2003.

Esta información concuerda con los resultados obtenidos (Figura 12) de los cuales se puede desprender que la pluma de contaminación tiene su origen aguas arriba de la molinera.

En la figura que aparece a continuación (Figura 13) se muestran las concentraciones de BETX encontradas en el agua subterránea a través de los siguientes gráficos dibujados con un método de interpolación del software “Surfer”. (QUALANZ, 2005).

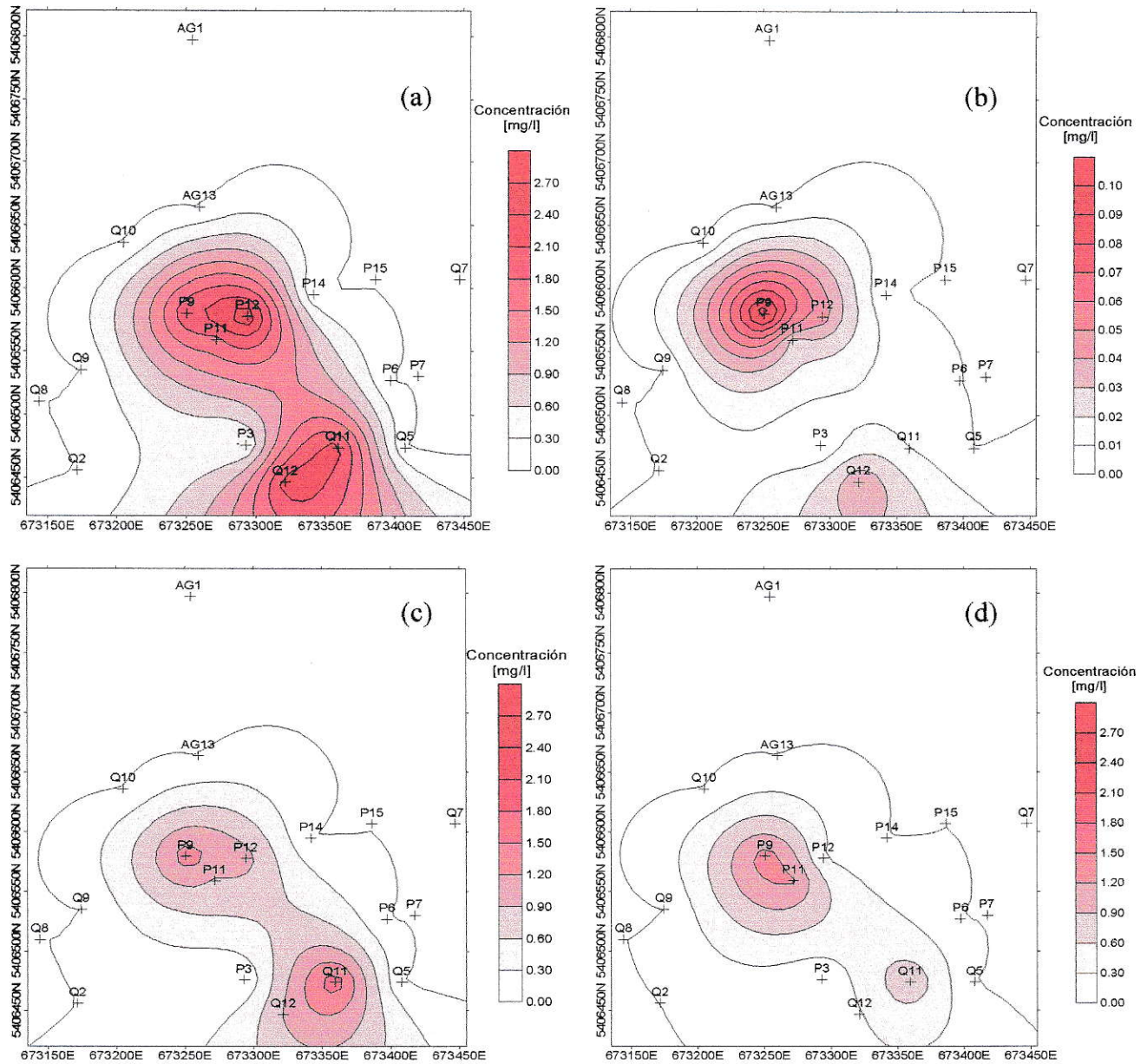


Figura 13: Concentraciones de BETX y ubicación de los diferentes puntos de muestreo:

(a) Benceno, (b) Etilbenceno, (c) Tolueno, (d) Xilenos

Los resultados expresados utilizando el programa computacional "Surfer" (Figura 13) indican las concentraciones encontradas para los compuestos estudiados en los diferentes puntos de muestreo.

Los ejes muestran la orientación de las plumas de contaminación para los diferentes compuestos, es decir para los cuatro compuestos la orientación de la pluma será nor-este lo que indica que la dirección de la contaminación es hacia el borde costero.

Además, se corrobora el hecho que el contaminante que presenta las mayores concentraciones (expresadas en mg/L) es el benceno, que aparece con la coloración más intensa de todos los cómputos.

Nuevamente se puede observar que, los pozos que presentan las mayores concentraciones son los pozos Q11, Q12, P9, P11 y P12, siendo el pozo P12 el que presenta las mayores concentraciones para benceno, P9 para etilbenceno y xilenos y finalmente Q11 para tolueno.

La exposición a estos compuestos dependerá de los trabajos que sean realizados en los terrenos, indudablemente existirá un mayor grado de exposición en los terrenos que pertenecen a la empresa Molinera del Sur ya que el nivel de la napa se encuentra sólo a 2 m bajo el nivel del suelo en cambio en el sector de las plantas este nivel será entre 15 a 20 m aproximadamente.

En el caso que los terrenos pertenecientes a las plantas de almacenamiento sean utilizados para construir complejos habitacionales, al excavar estos suelos el personal a cargo de la construcción se verá expuesto a inhalar polvo con BETX. Si las obras requieren de excavaciones más profundas este riesgo aumenta.

También dependerá de la época del año en que se efectúen los trabajos ya que al tratarse de compuestos volátiles e inflamables los riesgos de inhalación o explosión aumentarán considerablemente en las épocas más cálidas.

Los más expuestos serán los niños por lo que debe evaluarse el uso que se la dará al terreno luego de que las plantas de almacenamiento se trasladen.

Como investigación sería importante haber muestreado también los suelos del sector para saber exactamente el grado de contaminación que presentan en el caso que a futuro, los terrenos sean utilizados por ejemplo, para cultivos o para construcción de viviendas, y así tomar las medidas necesarias para no exponer a las personas a riesgos innecesarios para su salud, como consecuencia de una prolongada exposición en sitios contaminados.

Además, considerando que en este trabajo el tema central es el agua subterránea, cabe mencionar que como todo cuerpo de agua, ésta también se mueve de manera vertical, por lo tanto cabe suponer que los suelos si presentarán contaminación por BETX.

Para evaluar los posibles riesgos a los que están expuestos los trabajadores de la molinera que circulan por el sitio donde se produjo el afloramiento del producto resulta significativo tomar muestras dentro del recinto, para así realizar una evaluación de manera concreta basándose en las normas existentes para lugares de trabajo.

3.1 Valores de Referencia

En Chile, no existe legislación ambiental que especifique estándares de calidad para aguas subterráneas, sólo existe una Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (D.S. 46 año 2003) que entró en vigencia en febrero del presente año.

Existen normas internacionales de calidad para el agua potable que se pueden utilizar para realizar una comparación. En este caso se presentan las entregadas por la EPA para agua potable (Tabla 6).

Tabla 6: Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable.

Compuesto	MNMC ¹ (mg/L) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/L) ⁴
Benceno	Cero	0,005
Etilbenceno	0,7	0,7
Tolueno	1	1
Xilenos (o-Xileno, m-Xileno, p-Xileno)	10	10

1. Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMC) Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNMC permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.
2. Nivel Máximo del Contaminante (NMC) - Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NMC son normas obligatorias.
3. Técnica de Tratamiento (TT) Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.
4. Las unidades se expresan en miligramos por litro (mg/L) a menos que se indique otra cosa.

La primera columna corresponde a la meta planteada por la EPA tanto para agua potable como para cuerpos de agua como ríos y lagos. La segunda columna corresponde al límite establecido por la EPA para agua potable.

Para efectos prácticos de comparación se utilizará 0,001 mg/L para el benceno en lugar de 0 mg/L que es lo que aparece en la tabla.

Si nos basamos en la norma obligatoria (NMC) la interpretación de los resultados de los pozos analizados será:

- Para benceno: Las concentraciones encontradas en los pozos Q11, Q12, P3, P9, P11 y P12 superan el valor de la norma.
- Para etilbenceno: Todas las concentraciones de los pozos analizados se encuentran bajo los valores de esta norma.
- Para tolueno: Las concentraciones encontradas en los pozos Q11, P9 y P12 superan el valor de la norma.
- Para xilenos: Todas las concentraciones de los pozos analizados se encuentran bajo los valores de esta norma.

Esto no indica que las concentraciones de los pozos que no se analizaron si estén dentro de los rangos de la norma ya que el motivo por el cual no se analizaron es que existía producto libre en el pozo, por lo tanto se podría suponer que los valores serán mayores.

En términos prácticos se utilizarán los valores de las mayores concentraciones detectadas por los análisis de laboratorio para cada compuesto ya que siempre debemos considerar el peor escenario. Se compararán los valores con los valores NMC de la tabla anterior (Tabla 6) ya que estos valores son normas obligatorias. En base a esto se realizó la siguiente tabla (Tabla 7):

Tabla 7: Comparación de los valores de muestras reales con NMC.

Compuesto	NMC (mg/L)	Valores Máximos Muestras Reales (mg/L)	Diferencia Muestra-Norma (mg/L)	(Muestra/Norma) - 1
Benceno	0,005	2,672	2,667	533,4
Etilbenceno	0,7	0,099	-0,601	-0,857
Tolueno	1	1,702	0,702	0,702
Xilenos (o-, m-, p-Xileno)	10	1,234	-8,766	-0,877

Por lo tanto se puede decir que la mayor concentración de benceno detectada en los pozos supera 533 veces la norma aproximadamente. En términos de concentración la muestra supera a los valores de concentración de la norma en 2,7 mg/L aproximadamente.

La mayor concentración de tolueno detectada en los pozos supera 0,702 veces la norma aproximadamente y en términos de concentración la norma es superada en 0,702 mg/L.

En el caso de etilbenceno y xilenos los valores negativos indican que la norma no es superada.

En nuestro país el 17 de febrero del presente año entró en vigencia para todo el país la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (D.S. 46 año 2002) publicada en el Diario Oficial el 17 de enero de 2003.

En la nueva norma, las concentraciones máximas permitidas están relacionadas con la "vulnerabilidad intrínseca del acuífero", es decir, la rapidez con la que un contaminante se puede trasladar hasta el cuerpo de agua subterráneo. Si la vulnerabilidad es calificada, por la Dirección General de Aguas, como alta, sólo se podrá disponer residuos líquidos mediante infiltración, cuando la emisión sea de igual o mejor calidad que la del contenido natural del acuífero. En los casos que sea calificada como media o baja, deberán cumplir con los límites de emisión establecidos en la norma.

Independiente del grado de vulnerabilidad del acuífero, no se podrá emitir directamente a la zona saturada, salvo que la descarga sea de igual o mejor calidad que la del contenido natural.

En la siguiente tabla (Tabla 8) aparecen los límites máximos permitidos para los BETX que tienen norma en nuestro país.

Tabla 8: Límites Máximos Permitidos según el D.S. 46/02.

Límites Máximos Permitidos para Descargar Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Media y Baja	
Contaminante	Límites Máximos Permitidos (mg/L)
Benceno	0,01
Etilbenceno	-
Tolueno	0,7
Xilenos (o-Xileno, m-Xileno, p-Xileno)	0,5

Si nos basamos en el D.S. 46/02 la interpretación de los resultados de los pozos analizados será:

- Para benceno: Las concentraciones encontradas en los pozos Q11, Q12, P3, P9, P11 y P12 superan el valor de la norma.
- Para etilbenceno: No existe valor de referencia.
- Para tolueno: Las concentraciones encontradas en los pozos Q11, Q 12, P9, P11 y P12 superan el valor de la norma.
- Para xilenos: Las concentraciones encontradas en los pozos Q11, P9 y P11 superan el valor de la norma.

Esto no indica que las concentraciones de los pozos que no se analizaron si estén dentro de los rangos de la norma ya que el motivo por el cual no se analizaron es que existía producto libre en el pozo, por lo tanto se puede suponer que los valores serán mayores.

De la misma manera que se realizó la comparación anterior se utilizarán los valores de las mayores concentraciones detectadas por los análisis de laboratorio para cada compuesto. Se compararán los valores con los valores que establece el D.S. 46/02 de la tabla superior (Tabla 8) ya que estos valores son normas obligatorias en Chile. En base a esto se realizó la siguiente tabla (Tabla 9):

Tabla 9: Comparación de los valores de muestras reales con norma del D.S. 46/02.

Compuesto	D.S. 46/02 (mg/L)	Valores Máximos Muestras Reales (mg/L)	Diferencia Muestra-Norma (mg/L)	(Muestra/Norma) - 1
Benceno	0,01	2,672	2,662	266,2
Etilbenceno	-	0,099	-	-
Tolueno	0,7	1,702	1,002	1,431
Xilenos (o-, m-, p-Xileno)	0,5	1,234	0,734	1,468

Por lo tanto se puede decir que la mayor concentración de benceno detectada en los pozos supera 266 veces la norma. En términos de concentración la muestra supera a los valores de concentración de la norma en 2,66 mg/L.

La mayor concentración de tolueno detectada en los pozos supera 1,4 veces la norma y en términos de concentración la norma es superada en 1,002 mg/L.

Para xilenos la norma es superada 1,47 veces y en términos de concentración la norma es superada en 0,73 (mg/L)

En el caso de etilbenceno no existe norma por lo tanto no se puede evaluar.

Como propuesta para el futuro es importante considerar que, los trabajadores de la empresa que circulaban continuamente por el sitio de afloramiento del producto con olor a combustible podrían verse afectados directamente ya que podrían haberse encontrado inhalando BETX continuamente sin notarlo y tal vez esto podría traer consecuencias futuras para su salud. Por lo tanto se debería realizar un seguimiento de estos trabajadores con el fin de mantener un control y evitar posibles enfermedades como consecuencia de la inhalación de los vapores del producto encontrado en el subterráneo de la molinera.

Además de considerar una medida de remediación para los suelos afectados en la zona de la molinera ya que son los que se verán más expuestos por la poca profundidad hasta llegar al agua subterránea, como el polvo que se levantará con los vientos del sector o al ser removidos los suelos, que es la medida propuesta por las empresas.

IV. CONCLUSIONES

Luego de realizar este trabajo se pueden desprender las siguientes conclusiones:

El afloramiento de hidrocarburos en el sótano de la empresa molinera el año 2004 podría explicarse por la existencia de una rotura en el fondo del estanque N°1 perteneciente a COMAP y el derrame de aproximadamente 1.000 L de combustible (petróleo diesel) informado el año 2003.

Al observar la pluma de contaminación (Figura 12) y seguir su trayectoria tiene mayor asidero el hecho que sea el estanque N°1 el que se filtró o de acuerdo a los antecedentes cronológicos recopilados podría ser una combinación de los tres estanques incluyendo el N°5 y N°7 (Figura 6). No se especifica si estos estanques pertenecen a ESSO o COMAP ya que en cualquiera de ellos el estanque N°5 contiene gasolina y el N°7 contiene petróleo diesel (Tabla 1), lo que hace difícil realizar el análisis considerando estos estanques por falta de información.

Las cantidades de producto recuperado hasta Julio del 2005, (que se mencionaron con anterioridad) que corresponden a 28.939 L, cantidad que supera los 1.000 L que se habrían derramado desde estanque N°1, por lo tanto basándonos en esta información se deben considerar las filtraciones mencionadas con anterioridad.

Además, el producto recuperado corresponde a una mezcla de combustible (kerosene, gasolina y diesel) y el estanque N°1 contiene sólo petróleo diesel, por lo que no puede ser la única fuente de la contaminación del lugar.

Es posible que otros derrames o rupturas antiguas que no fueron registrados hayan contribuido a aumentar las concentraciones de BETX. También pueden corresponder a fuentes externas a las plantas de almacenamiento de combustibles.

Si bien los antecedentes existentes no permiten precisar la edad o antigüedad del producto, ni el porcentaje exacto de mezcla, es posible estimar si se trata de gasolina o diesel, utilizando los análisis disponibles. En general, de Mayo a Julio el producto recuperado, aumentó en la cantidad de gasolina, manteniéndose una mezcla con producto más pesado (diesel).

Por las concentraciones de BETX informadas, se puede decir que a pesar de existir bombas que han recuperado el producto que se puede detectar a simple vista, no ha sido posible eliminar de las aguas subterráneas o recuperar utilizando bombas los BETX. Es por este motivo que resulta importante estudiar medidas para eliminar la contaminación por BETX en estas aguas.

Al observar la figura correspondiente a la pluma de contaminación (Figura 12), si se considera que la velocidad de flujo del agua subterránea se encuentra entre 50 y 200 m/año y la aparición de hidrocarburos en la molinera ocurrió el 2004, resulta probable

que el origen del derrame se encuentre dentro del recinto de las plantas de almacenamiento. Considerando además que, en base a la información disponible del estudio es posible estimar que la mayor cantidad de producto corresponde a diésel, ya que al recuperar el producto en fase libre se realizaron análisis que concuerdan con lo expuesto con anterioridad.

En cuanto a las zonas exteriores, las personas que circulan por el sector del molino, donde la napa se encuentra cercana a la superficie del suelo (2 m aproximadamente), sólo podrían verse afectadas de forma transitoria ya que al encontrarse en espacios abiertos la posible concentración de BETX se disipará rápidamente. En la zona de las plantas la napa se encuentra a mayor profundidad por lo que no debiera representar riesgo para la población que transita por el sector.

En el caso que los terrenos de las plantas sean utilizados para construir viviendas, existe riesgo para la población ya que se realizarán excavaciones en el sector lo que trae como consecuencia que los BETX podrían ser inhalados por las personas, ya que se habrá extraído una superficie del suelo lo que hace que se encuentren más disponibles.

Además, se debe considerar que los suelos podrían contener concentraciones importantes de los compuestos mencionados por lo que es necesario realizar un análisis de los suelos antes de tomar decisiones respecto su uso utilización futura.

Si consideramos las tablas comparativas (Tablas 7 y 9) se puede decir que: si consideramos que el agua subterránea fuera utilizada para beber es decir que tuviera que cumplir las normas de agua potable la situación de riesgo es clara ya que las concentraciones de benceno y tolueno superan lo que establece la norma siendo el benceno el que presentará la situación más crítica por los efectos toxicológicos descritos anteriormente y sobretodo por la posibilidad de que las personas que ingieran agua con esas concentraciones de benceno pudieran llegar a desarrollar cáncer.

Si el agua subterránea fuera utilizada para riego se debe estudiar la posible acumulación de BETX en las especies que serán regadas con esta agua contaminada y el posible riesgo que existe al consumirlas.

En el caso de la norma chilena si las concentraciones encontradas fueran emitidas a las aguas subterráneas se puede decir que tanto la concentraciones de benceno como de tolueno y xilenos superarán lo que dicta la norma, lo que traería como consecuencia sanciones legales para la empresa emisora.

Por lo tanto, en base lo dicho con anterioridad, es prudente recomendar tomar medidas al respecto ya que los efectos de estos compuestos pueden dañar la salud de las personas en algunos casos de manera irreversible así como también se pueden presentar efectos adversos para los animales presentes en el sector.

Finalmente es importante recalcar que los terrenos donde está situada la empresa molinera son los más afectados y por este motivo cabe sugerir que en lo posible la empresa debiera considerar un traslado hacia otro sitio o bien tomar ciertas medidas para disminuir el daño.

V. BIBLIOGRAFÍA

- ALS Environmental. Instructivo para Toma de Muestras Ambientales.[en línea] <<http://www.alsenviro.com>> [consulta: 01 octubre 2005].
- ALS Environmental. Productos del Petróleo y sus Ensayos Analíticos de Laboratorio.[en línea] <<http://www.alsenviro.com>> [consulta: 01 octubre 2005].
- ARCADIS Geotécnica (AG). 2004. Estudio Ambiental Plantas de Despacho de Combustibles Líquidos Puerto Montt; Informe Fase II. Arcadis Geotécnica.
- ATSDR. Septiembre 2005. Resumen de Salud Pública Benceno [en línea] <<http://www.atsdr.cdc.gov/es>> [consulta: 06 diciembre 2005].
- ATSDR. Junio 1999. Resumen de Salud Pública Etilbenceno [en línea] <<http://www.atsdr.cdc.gov/es>> [consulta: 06 diciembre 2005].
- ATSDR. Septiembre 2000. Resumen de Salud Pública Tolueno [en línea] <<http://www.atsdr.cdc.gov/es>> [consulta: 06 diciembre 2005].
- ATSDR. Septiembre 2005. Resumen de Salud Pública Xileno [en línea] <<http://www.atsdr.cdc.gov/es>> [consulta: 06 diciembre 2005].

- CHANG R. 1992. Química. 4^a ed. México. McGraw-Hill. pp 1014-1016.
- CHILE. 2003. Ministerio Secretaría General de la Presidencia D.S. 46. Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.
- EPA. ToxFACs Organic Chemicals [en línea] <<http://www.epa.gov>> [consulta: 20 abril 2006].
- HART H. y col. 1995. Química Orgánica. 9^a ed. México. McGraw-Hill. p 137.
- MANAHAN S. E. 1993. Environmental Chemistry. 6th ed. Lewis Publishers. pp 649-664; 683-685; 766-775.
- MERCK. 2006. Ficha de Seguridad Benceno. [en línea] <<http://www.merck.cl>> [consulta: 29 mayo 2006].
- MERCK. 2006. Ficha de Seguridad Etilbenceno. [en línea] <<http://www.merck.cl>> [consulta: 29 mayo 2006].
- MERCK. 2006. Ficha de Seguridad Tolueno. [en línea] <<http://www.merck.cl>> [consulta: 29 mayo 2006].

- MERCK. 2006. Ficha de Seguridad Xileno (o-xileno, m-xileno y p-xileno). [en línea] <<http://www.merck.cl>> [consulta: 29 mayo 2006].
- OSSES H. 2006. Artículos en diario Llanquihue. [en línea] <<http://www.diariollanquihue.cl>> [consulta: 25 mayo 2006].
- PEÑA, CARLOS E. CARTER and FÉLIZ AYALA-FIERRO. 2001. Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Distributed on the Internet via the South West Hazardous Waste Program Website at <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>. p 147-160, 102-136.
- QUALANZ Consultores Asociados. 2005. Estudio Ambiental: Molinera del Sur-Planta de Almacenamiento de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo (CLP) ESSO-COMAP Puerto Montt.
- SAWYER C. N. y col. 2001. Química para la ingeniería ambiental. 4^a ed. Bogotá. McGraw-Hill. pp 206-246; 458-464; 676-677.
- SEC. 2005. [en línea] <<http://www.sec.cl>> [consulta: 25 mayo 2006].
- SEOANÉZ CALVO MARIANO. 2000. Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos. Madrid, Mundi-Prensa. pp 137-140.

- SKOOG D.A. y col. 2001. Principios de Análisis Instrumental. 5ª ed. Madrid. McGraw-Hill. pp 759-779.
- SOLOMONS G. 1996. Fundamentos de Química Orgánica. 2ª ed. México. Limusa. pp 555-561.
- VEGA DE KUYPER JUAN CARLOS. 1999. Manejo de Residuos de la Industria Química y Afín. 2ª ed. México. Alfaomega. p 115.

ANEXO

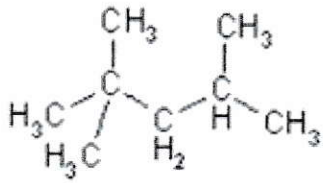
LA GASOLINA Y SUS OCTANOS

La gasolina está compuesta por una mezcla de hidrocarburos volátiles. Contiene alcanos, cicloalcanos y algunos hidrocarburos aromáticos.

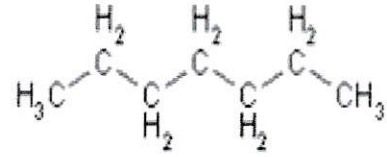
Las gasolinas se clasifican de acuerdo con su índice de octano que es una medición de su tendencia a producir detonaciones o dicho de otra manera es una medida de su capacidad antidetonante. Es decir mientras mayor sea el índice de octano de un hidrocarburo mejor será el funcionamiento de un motor de combustión interna.

Las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. El índice de octano de una gasolina se obtiene por comparación del poder detonante de la misma con el de una mezcla de isooctano y heptano.

Al isooctano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0. Una gasolina de 97 octanos se comporta, en cuanto a su capacidad antidetonante, como una mezcla que contiene el 97% de isooctano y el 3% de heptano.



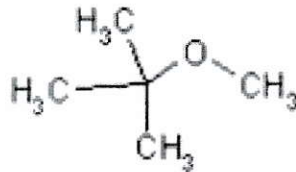
Isooctano (2, 2, 4-trimetilpentano)



Heptano

Figura: Estructuras de Isooctano y Heptano

El octanaje de los hidrocarburos se puede mejorar mediante la adición de pequeñas cantidades de compuestos denominados agentes antidetonantes como por ejemplo para las gasolinas sin plomo se utiliza el metil t-butil éter (MTBE).



Metil t-butil éter (MTBE)

Figura: Estructura de Metil t-butil éter